

Original Article

e-ISSN: 2581-0545 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>

Received 7th December 2020
Accepted 18th December 2020
Published 20th December 2020

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v4i2.365

Studi Ekstraksi Bijih Emas Asal Pesawaran dengan Metode Pelindian Agitasi dalam Larutan Sianida

La Ode Arham ^{*a}, Fika Rofiek Mufakhir ^b, Hendra Saputra ^c^a Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia 35365^b Balai Penelitian Teknologi Mineral-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia^c Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia 35365* Corresponding E-mail: laode.arham@ta.itera.ac.id

Abstract: Research on the extraction of gold ore from Pesawaran, Lampung, Indonesia, was carried out using the agitation leaching method in cyanide solution. This study aimed to obtain information on the use of conventional cyanidation methods for extracting gold from the Pesawaran gold ore. The ore preparation was carried out in the form of crushing, grinding and sieving to obtain samples with fraction sizes of -60 + 100 mesh, -100 +150 mesh, -150 + 200 mesh and -200 mesh. The ore characterization was performed using XRD, XRF, SEM-EDX, and wet chemical analysis. The XRD analysis showed that the main mineral phases were silica, hematite, aluminium hydroxide and orthoclase. The major constituents of the ore were Si (53,628%), Fe (15,996%), K (19,744%) and Al (8,045%). The Au content was determined by wet chemical analysis and was found to be 9.67 ppm. The experimental results show that the highest percentage of gold extraction of 83.33% was obtained using sodium cyanide at a concentration of 1000 ppm, a percent solids of 40% and a grain size of 200 mesh. Higher gold extraction was not achieved despite the use of a high cyanide concentration was probably because the remaining gold was not properly liberated. The results of SEM-EDX analysis showed that the gold grain size was <20 µm, while the grinding was performed only to a sieve size of -200 mesh (74 µm).

Keywords: cyanidation, gold ore, leaching, Pesawaran

Abstrak: Telah dilakukan penelitian ekstraksi bijih emas asal Pesawaran, Lampung, Indonesia, menggunakan metode pelindian agitasi dalam larutan sianida. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi penggunaan metode sianidasi konvensional untuk mengekstraksi emas dari bijih emas asal Pesawaran. Preparasi yang dilakukan berupa peremukan, penggerusan dan pengayakan sehingga diperoleh bijih emas dengan ukuran fraksi -60 + 100 mesh, -100 +150 mesh, -150 + 200 mesh dan -200 mesh. Karakterisasi bijih dilakukan melalui analisa XRD, XRF, SEM-EDX, dan analisa kimia basah. Hasil analisa XRD menunjukkan fasa mineral utama dalam bijih adalah silika, hematit, aluminium hidroksida dan orthoclase. Kandungan unsur utamanya adalah Si (53,628%), Fe (15,996%), K (19,744 %) dan Al (8,045%). Kadar Au dalam bijih ditentukan dengan analisa kimia basah dan kadarnya ditemukan sebesar 9.67 ppm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persen ekstraksi emas tertinggi sebesar 83,33% diperoleh pada percobaan dengan konsentrasi sodium sianida sebesar 1000 ppm, persen padatan sebesar 40% dan ukuran butiran lolos 200 mesh. Persen ekstraksi yang lebih tinggi tidak dapat diperoleh meskipun dengan menggunakan konsentrasi sianida yang tinggi mungkin dikarenakan emas yang tersisa tidak terliberasi dengan baik. Hasil analisa SEM-EDX menunjukkan bahwa butiran emas lebih kecil dari 20 µm, sedangkan penggerusan hanya dilakukan hingga ukuran ayak -200 mesh (74 µm).

Kata Kunci : bijih emas, pelindian, Pesawaran, sianida

Pendahuluan

Ekstraksi logam mulia dari bijih emas menggunakan pelarut sianida adalah proses yang paling umum digunakan. Beberapa keuntungan menggunakan pelarut ini diantaranya adalah persen ekstraksi yang tinggi, kemudahan dalam pengontrolan, investasinya murah

dan instalasi yang mudah serta prosesnya yang sudah terbukti efektif [1-2]. Adapun kekurangan pelarut sianida ini adalah kinetika reaksi yang lambat dan potensi masalah lingkungan yang ditimbulkan [3-7]. Sampai saat ini, telah banyak dilakukan riset untuk



mengganti pelarut sianida ini, diantaranya dengan thiosulfat [8-10], iodine [11-12], klorin [13], tiosianat [14] dan alkalin glisin [15]. Namun demikian, pelarut pengganti sianida belum banyak yang diterapkan dalam skala industri, karena nilai keefektifan dan keekonomisan yang belum memadai.

Penggunaan sianida untuk ekstraksi bijih emas tipe oksida cenderung lebih efektif dibandingkan dengan bijih sulfida. Kandungan senyawa sulfida didalam bijih emas cenderung meningkatkan sifat refraktori bijih emas. Keberadaan mineral emas yang terjebak dalam mineral sulfida, menyebabkan mineral tersebut sulit untuk terlarut sehingga mempengaruhi persen ekstraksi emas [16].

Proses ekstraksi bijih emas secara hidrometalurgi lebih umum dikenal dengan sebutan proses pelindian. Secara umum proses pelindian bijih emas diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu pelindian agitasi pada tekanan atmosfer, pelindian pada tekanan tinggi dan pelindian tumpukan. Pemilihan metode pelindian sangat ditentukan oleh karakteristik bijih emas. Karakterisasi bijih emas yang baik akan menentukan pemilihan metode pengolahan yang tepat, yang akhirnya akan menentukan efektivitas proses pelindian bijih emas tersebut.

Pada penelitian ini, dilakukan metode pelindian bijih emas secara agitasi pada tekanan atmosfer. Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan di industri pengolahan bijih emas. Pemilihan metode ini didasarkan pada karakteristik bijih yang memiliki kadar emas yang cukup tinggi dan merupakan bijih emas tipe oksida.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi sianida, ukuran butiran dan persen padatan terhadap persen ekstraksi emas. Penelitian ini adalah penelitian dasar yang sedang dikembangkan untuk menemukan metode pengolahan bijih emas yang baik, yang sesuai dengan karakteristik bijih emas yang ada di Sumatera.

Metode

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah bijih emas asal Pesawaran, Lampung, Indonesia, yang diperoleh dari PT. Lampung Kencana Cikantor, pellet sodium hidroksida (NaOH) (99,99 % Merck), asam sulfat (H_2SO_4) (98%, Merck), larutan Ag Standar 1000 ppm (Merck), sodium sianida (NaCN) (99,99%, Merck), hidrogen peroksida

(H_2O_2) (30%, merck) indikator 4-(diphenylamino)benzaldehyde, kertas saring whatman 42 (Millipore) dan akuades.

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain *jaw crusher*; *riffle pplitter*; *ball mill*, shieve shaker, *magnetic stirrer*, *hot plate type* IKA RCT basic, neraca analitik, pH meter Hanna HI 8424, *inductively coupled plasma – Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES, agilent 5100), X-ray fluorescence (XRF, PANanalytical Epsilon 3 XLE dengan anoda Rh anode dan detektor Si-drift), X-ray diffraction (XRD, PANanalytical X'Pert3 Powder) dan scanning electron microscope (SEM) tipe phenom proX dengan katoda CeB6. Tahapan penelitian meliputi preparasi bijih emas, pelarutan bijih menggunakan pelarut sianida dan penentuan kandungan emas terekstraksi menggunakan ICP-OES sebagaimana dijelaskan dibawah ini.

1. Preparasi bijih emas:

Sebanyak 20 kg bijih emas dimasukkan kedalam alat *jaw crusher* untuk mengecilkan ukuran bijih emas. Sampel bijih emas yang telah dikecilkan ukurannya diperoleh dengan menggunakan *sample splitter*. Sampel bijih emas sebanyak 1 kg dipersiapkan untuk analisa XRF, XRD dan ICP OES. Sampel yang tersisa kemudian dimasukkan kedalam *ball mill* untuk menghaluskan ukuran bijih emas. Bijih yang telah berukuran halus diayak menggunakan *sieve shaker* untuk membagi bijih emas kedalam beberapa fraksi ukuran yaitu ukuran -60 + 100 mesh, -100 + 150 mesh, -150 + 200 mesh, dan -200 mesh.

2. Pelindian bijih emas:

a. Pelindian bijih emas dengan variasi konsentrasi sianida

Sebanyak 100 gram sampel bijih emas yang sudah digerus, dimasukkan kedalam gelas kimia berkapasitas 1 liter. Sebanyak 400 ml larutan NaCN ditambahkan kedalam gelas kimia, lalu pH larutan diatur agar berada pada rentang 10-10,5 menggunakan larutan NaOH 1M dan H_2SO_4 1M. Kadar oksigen terlarut (DO) juga diatur pada rentang 8-10 ppm menggunakan H_2O_2 . Selanjutnya dilakukan proses pelindian secara agitasi dengan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu kamar, dengan kecepatan pengadukan sebesar 400 rpm selama 10 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada 0,5, 1, 2, 4, 6, 8 dan 10 jam untuk mengukur persen ekstraksi emas yang telah terlarut.

Pengecekan konsentrasi sianida, pH, dan DO dilakukan pada setiap sampel yang diambil. Bila terjadi perubahan

konsentrasi sianida, pH dan DO, maka dilakukan pengkondisian kembali dengan menambahkan NaCN, H₂SO₄ atau NaOH, dan H₂O₂. Pada eksperimen ini, dilakukan pelindian dengan konsentrasi NaCN bervariasi, yaitu 300, 500, 750 dan 1000 ppm, sementara persen padatan yang digunakan adalah 20 % dan ukuran butiran yang digunakan adalah -100 + 150 mesh.

b. Pelindian bijih emas dengan variasi ukuran butiran

Prosedur eksperimen pelindian bijih emas dengan variasi ukuran butiran serupa dengan prosedur eksperimen pelindian bijih emas dengan variasi konsentrasi sianida, namun dengan konsentrasi sianida yang konstan. Konsentrasi sianida yang optimum pada percobaan sebelumnya, akan dipakai pada percobaan ini untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran butiran terhadap persen ekstraksi emas. Pada eksperimen ini, dilakukan pelindian dengan variasi ukuran butiran bijih emas yaitu -60 +100 mesh, -100 +150 mesh, -150 +200 mesh dan -200 mesh.

c. Pelindian bijih emas dengan variasi persen padatan

Pada eksperimen ini dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh persen padatan terhadap persen ekstraksi emas. Persen padatan yang digunakan adalah 20, 30, 40 dan 50%. Konsentrasi sianida dan fraksi ukuran butiran yang digunakan merujuk pada kondisi optimum pada eksperimen pelindian dengan variasi konsentrasi sianida dan pelindian dengan variasi ukuran butiran. Prosedur yang digunakan juga sama dengan prosedur eksperimen pelindian bijih emas dengan variasi konsentrasi sianida.

d. Penentuan konsentrasi emas terlarut dan konsentrasi sianida tersisa

Untuk menentukan konsentrasi emas terlarut, larutan hasil pelindian dianalisa menggunakan ICP-OES, sedangkan untuk menentukan konsentrasi sianida tersisa didalam larutan, dilakukan titrasi sampel larutan pelindian terhadap perak nitrat (AgNO₃) menggunakan indikator 4-(diphenylamino)benzaldehyde.

Hasil dan Pembahasan

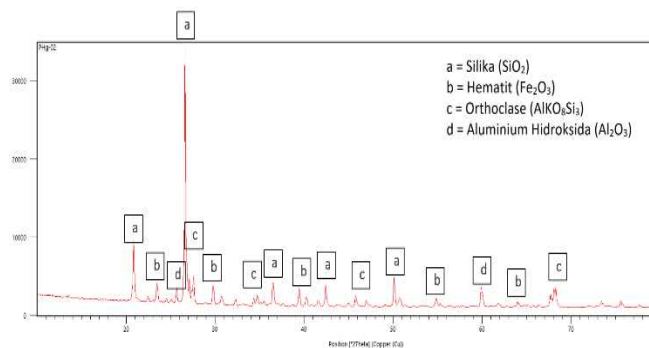
1. Karakterisasi Mineral

Karakterisasi bijih emas asal Pesawaran dianalisis menggunakan instrumen XRD, XRF, ICP-OES dan SEM-EDX, sehingga diperoleh data yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Karakterisasi menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui mineral apa saja yang terdapat di dalam sampel. Informasi ini penting karena mineral yang berbeda dapat memberikan respon yang berbeda terhadap efektivitas pelindian dengan pelarut sianida.

Hasil analisa XRD dapat dilihat pada [Gambar 1](#). Dari pola difraksi yang ditemukan, dapat diketahui jika bijih emas asal Pesawaran mengandung beberapa mineral yaitu silika, hematit, orthoclase dan aluminium hidroksida. Informasi tersebut menunjukkan bahwa bijih ini termasuk bijih emas tipe oksida dan tidak ditemukan adanya mineral clay. Hal ini berbeda dengan tipikal bijih emas asal Tanggamus, Lampung, Indonesia, yang merupakan biji emas tipe sulfida [\[17\]](#). Karakteristik bijih emas asal Pesawaran ini, berpotensi menghasilkan persen ekstraksi yang tinggi bila diekstraksi menggunakan larutan sianida.



Gambar 1. Hasil analisa XRD bijih emas asal Pesawaran

b. Karakterisasi menggunakan XRF dan ICP OES

Karakterisasi menggunakan XRF dan ICP-OES dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur dan konsentrasinya pada bijih emas asal Pesawaran. Berdasarkan analisa XRF, diketahui bahwa bijih emas asal pesawaran memiliki kandungan unsur utama berupa silikon, besi, aluminium dan kalium. Sementara unsur lainnya dapat dilihat secara lengkap pada [Tabel 1](#).

Pada analisa XRF, kandungan emas (Au) tidak terdeteksi, karena kadar emas yang rendah dibawah batas deteksi

alat XRF yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan metode analisa kimia basah untuk menentukan kadar emas pada bijih emas asal Pesawaran. Hasil analisis ICP-OES menunjukkan, kadar emas pada bijih emas asal Pesawaran mencapai 9,67 ppm dan nilai ini cukup tinggi jika dibandingkan kadar emas dari bijih emas yang diolah oleh PT. Aneka Tambang Tbk di Pongkor, Bogor, Indonesia, yang hanya sekitar 5 ppm [18].

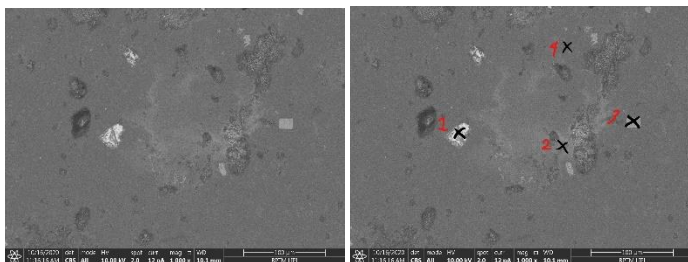
c. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX

Untuk mengetahui ukuran partikel emas yang terdapat pada bijih emas asal Pesawaran, dilakukan analisa menggunakan SEM-EDX. Penampakan bijih emas asal pesawaran pada perbesaran 1000x, dapat dilihat pada [Gambar 2](#).

Tabel 1. Hasil Analisa XRF dan ICP OES

Unsur Minor	Kadar (ppm)	Unsur Mayor	Kadar (%)
Au	9,67	Al	8,045
Cr	911,4	Si	53,628
Ni	339	P	0,664
Cu	106,7	K	19,744
Zn	307	Ti	0,517
Ga	27,5	Mn	0,165
As	117,6	Fe	15,996
V	34,6	Rb	0,13
Sr	721,8	Ag	0,448
Y	73,5	Ba	0,17
Zr	527,8		
Mo	24,1		
Sn	102,6		
Te	206,9		
Pb	667,3		
Eu	692,4		

Berdasarkan [Gambar 2](#) Terlihat bahwa morfologi bijih emas asal Pesawaran mengandung mineral yang berwarna putih mengkilap yang diduga mengandung kadar emas yang tinggi. Untuk menguatkan dugaan, dilakukan analisa unsur pada beberapa titik yang terlihat berbeda pada bagian bijih emas tersebut.

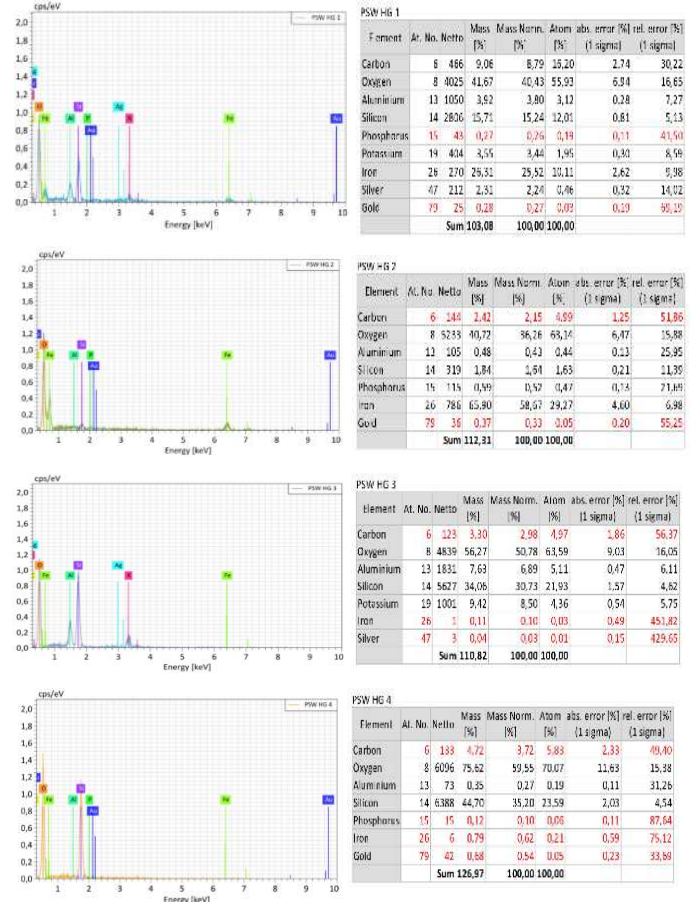


Gambar 2. Penampakan morfologi bijih emas Asal Pesawaran dibawah SEM (kiri: Penampakan dengan perbesaran 10x, Kanan: Titik yang dicurigai mengandung emas)

Hasil analisa SEM-EDX pada [Gambar 2](#) dan [Gambar 3](#) menunjukkan pada titik 1, yang berpenampakan

mengkilap ternyata mengandung emas dan perak serta beberapa unsur lain. Emas juga terdapat pada titik 2 dan 4 yang secara penampakan berwarna abu-abu dan kehitaman. Namun pada titik 3 yang juga terlihat mengkilap, justru tidak ditemukan adanya kandungan emas. Nampak bahwa partikel emas tersedia dalam ukuran yang sangat kecil serta tersebar diberbagai titik dengan kandungan senyawa yang berbeda-beda.

Diketahui pula, berdasarkan [Gambar 2](#), ukuran partikel emas pada sampel ini sangat kecil yaitu kurang dari 20 μm , serta berasosiasi dengan unsur-unsur lainnya yang kemungkinan akan menyebabkan bijih emas ini sulit terliberasi. Perlu dicatat bahwa penggerusan yang dilakukan pada sampel bijih emas dalam studi ini, hanya sampai menghasilkan ukuran butiran lolos 200 mesh (74 μm).

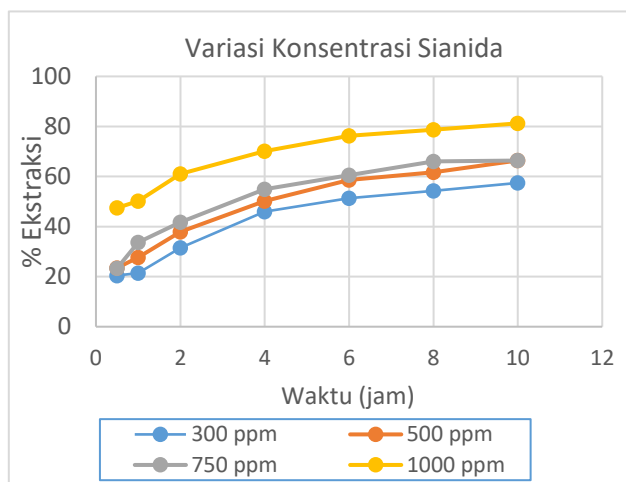


Gambar 3. Hasil analisa SEM-EDX pada titik-titik yang telah ditentukan (Kode PSW HG1= titik 1; Kode PSW HG2= titik2; Kode PSW HG3 = titik 3 dan Kode PSW HG4 = titik 4)

2. Pelindian

a. Pelindian dengan variasi konsentrasi sianida

Hasil eksperimen pelindian ini ([Gambar 4](#)) menunjukkan bahwa persen ekstraksi emas meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi sianida. Dengan menggunakan persen padatan yang tetap yaitu 20% dan ukuran butiran yang tetap yaitu -100 + 150mesh, persen ekstraksi optimum diperoleh pada penggunaan konsentrasi NaCN sebesar 1000 ppm. Persen ekstraksi maksimum yang diperoleh yaitu mencapai 81,25 %. Selain meningkatkan persen ekstraksi emas, peningkatan konsentrasi sianida juga akan meningkatkan laju reaksi pelindian bijih emas [[18, 19](#)].



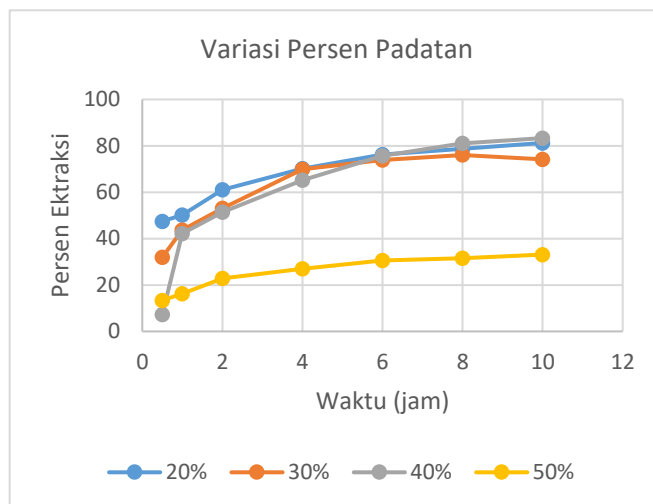
Gambar 4. Hasil Pelindian dengan variasi konsentrasi sianida

b. Pelindian dengan variasi persen padatan

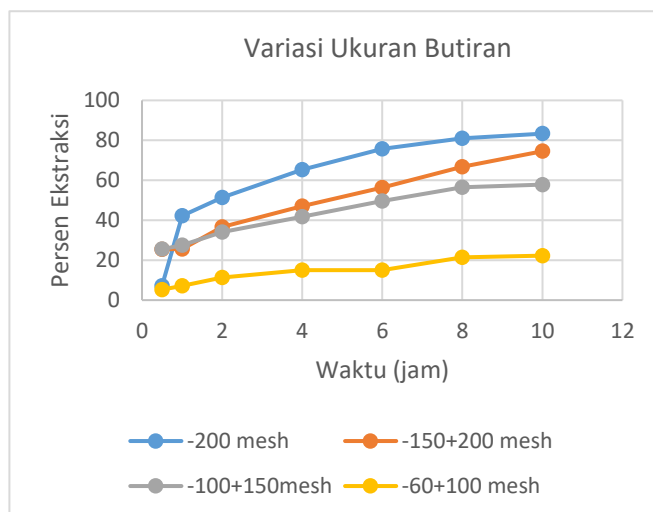
Berdasarkan hasil eksperimen pelindian dengan variasi persen padatan yang ditunjukkan oleh [Gambar 5](#)., diketahui bahwa kenaikan persen padatan dari 20 hingga 40% tidak begitu mempengaruhi persen ekstraksi bijih emas. Namun ketika persen padatan dinaikkan menjadi 50%, terjadi penurunan persen ekstraksi yang signifikan dan hanya mampu mengekstraksi emas sebesar 33,12 %. Hal ini mungkin disebabkan oleh konsentrasi bijih emas yang tinggi (>40%) yang menyebabkan *slurry* menjadi lebih kental sehingga pergerakan partikel menjadi lebih susah. Ketika konsentrasi larutan cenderung terlalu pekat (konsentrasi terlalu tinggi), maka laju reaksi dikontrol oleh laju perpindahan massa [[20, 21](#)].

c. Pelindian dengan variasi ukuran butiran

Pada eksperimen variasi ukuran butiran menunjukkan semakin kecil ukuran partikel maka akan menaikkan persen ekstraksi emas ([Gambar 6](#)). Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran partikel menyebabkan luas permukaan kontak partikel menjadi lebih besar.



Gambar 5. Hasil pelindian dengan variasi persen padatan



Gambar 6. Hasil pelindian dengan variasi ukuran butiran

Meskipun bijih emas asal Pesawaran ini merupakan bijih emas tipe oksida dan telah melalui proses penggerusan sehingga lolos saringan 200 mesh, akan tetapi persen ekstraksi maksimum tidak mencapai angka diatas 90 %. Hal ini dapat disebabkan oleh ukuran partikel bijih emas

yang sangat halus sehingga tidak terliberasi dengan baik. Sesuai dengan data SEM-EDX pada Gambar 2, partikel emas pada bijih emas asal Pesawaran ini memiliki ukuran <20 µm sedangkan penggerusan hanya sampai ukuran lolos 74 µm

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

Dalam rentang kondisi eksperimen yang digunakan pada studi ini, pelindian bijih emas asal Pesawaran dengan menggunakan larutan sianida menghasilkan persen ekstraksi maksimal sebesar 83,33%. Persen ekstraksi tersebut diperoleh dari percobaan dengan konsentrasi NaCN sebesar 1000 ppm, persen padatan 40% dan ukuran butiran lolos 200 mesh.

Peningkatan konsentrasi sianida akan meningkatkan persen ekstraksi emas dan juga laju pelindian bijih emas.

Pada variasi ukuran butiran, didapatkan informasi bahwa semakin kecil ukuran butiran, maka persen ekstraksi emas akan semakin meningkat

Peningkatan persen padatan sampai dengan 40% tidak menyebabkan penurunan persen ekstraksi, namun Ketika persen padatan ditingkatkan menjadi 50 % terjadi penurunan persen ekstraksi. Hal ini terjadi mungkin karena peningkatan viskositas larutan yang signifikan terjadi pada larutan dengan persen padatan 50%, yang menyebabkan laju ekstraksi dikontrol oleh laju difusi massa partikel sianida kedalam partikel bijih emas.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

Penghargaan

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristek/BRIN yang telah membiayai penuh penelitian ini, sesuai dengan kontrak penelitian No. 009/SP2H/LT/DRPM/2020. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada PT. Lampung Kencana Cikantor yang sudah bersedia memberikan sampel bijih emas.

Pustaka

- [1] R. K. Asamoah, "EDTA-enhanced cyanidation of refractory bio-oxidised flotation gold concentrates," *Hydrometallurgy*, 2020, doi: 10.1016/j.hydromet.2020.105312.
- [2] T. O. Nunan et al., "Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide," *Miner. Eng.*, 2017, doi: 10.1016/j.mineng.2017.01.006.
- [3] M. Tanriverdi, H. Mordoğan, and Ü. Ipekoğlu, "Leaching of Ovacik gold ore with cyanide, thiourea and thiosulphate," *Miner. Eng.*, 2005, doi: 10.1016/j.mineng.2004.06.012.
- [4] M. E. Wadsworth, X. Zhu, J. S. Thompson, and C. J. Pereira, "Gold dissolution and activation in cyanide solution: Kinetics and mechanism," *Hydrometallurgy*, 2000, doi: 10.1016/S0304-386X(00)00084-0.
- [5] S. Yu et al., "Ultrasound-assisted cyanide extraction of gold from gold concentrate at low temperature," *Ultrason. Sonochem.*, 2020, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105039.
- [6] F. Bisceglie, D. Civati, B. Bonati, and F. D. Faraci, "Reduction of potassium cyanide usage in a consolidated industrial process for gold recovery from wastes and scraps," *J. Clean. Prod.*, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.11.103.
- [7] M. A. Mamelkina et al., "Treatment of mining wastewater polluted with cyanide by coagulation processes: A mechanistic study," *Sep. Purif. Technol.*, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2019.116345.
- [8] M. Aazami, G. T. Lapidus, and A. Azadeh, "The effect of solution parameters on the thiosulfate leaching of Zarshouran refractory gold ore," *Int. J. Miner. Process.*, 2014, doi: 10.1016/j.minpro.2014.08.001.
- [9] I. Chandra and M. I. Jeffrey, "An electrochemical study of the effect of additives and electrolyte on the dissolution of gold in thiosulfate solutions," *Hydrometallurgy*, 2004, doi: 10.1016/j.hydromet.2003.12.002.
- [10] O. Sitando, X. Dai, G. Senanayake, A. N. Nikoloski, and P. Breuer, "A fundamental study of gold leaching in a thiosulfate-oxygen-copper system in the presence of activated carbon," *Hydrometallurgy*, 2020, doi: 10.1016/j.hydromet.2019.105232.
- [11] H. Zhang, C. A. Jeffery, and M. I. Jeffrey, "Ion exchange recovery of gold from iodine-iodide solutions," *Hydrometallurgy*, 2012, doi: 10.1016/j.hydromet.2012.05.007.
- [12] S. S. Konyratbekova, A. Baikunurova, G. A. Ussoltseva, C. Erust, and A. Akcil, "Thermodynamic and kinetic of iodine-iodide leaching in gold hydrometallurgy," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, 2015, doi: 10.1016/S1003-6326(15)63980-2.
- [13] K. S. Pak, T. A. Zhang, C. S. Kim, and G. H. Kim, "Research on chlorination leaching of pressure-oxidized refractory gold concentrate," *Hydrometallurgy*, 2020, doi: 10.1016/j.hydromet.2020.105325.
- [14] F. R. Mufakhir, J. M. Sinaga, S. Oediyani, and W. Astuti, "Pelarutan Emas pada Pelindian Konsentrat Emas Hasil Roasting Menggunakan Reagen Tiosianat," *J. Rekayasa Proses*, 2019, doi:

- 10.22146/jrekpros.41519.
- [15] E. A. Oraby and J. J. Eksteen, "The leaching of gold, silver and their alloys in alkaline glycine-peroxide solutions and their adsorption on carbon," *Hydrometallurgy*, 2015, doi: 10.1016/j.hydromet.2014.12.015.
- [16] J. Marsden, I. House, "The chemistry of gold extraction" SME. 2006.
- [17] F. R. Mufakhir et al., "Characterization of gold ore from Tanggamus mine Lampung Province," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 478, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/478/1/012018.
- [18] Chandra, "Studi Pemanfaatan Biopolimer Ekstrak Kayu sebagai Zat Aditif Pada Sianidasi untuk peningkatan recovery pengolahan emas di tambang emas Antam Pongkor" M.S. thesis, Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2013.
- [19] S. Aminah, "Studi pengaruh penambahan biopolimer ekstrak kayu terhadap performa sianidasi dan adsorpsi emas pada proses sianidasi carbon in leach (CIL)" M.S. thesis, Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2016.
- [20] O. Levenspiel. Chemical Reaction Engineering. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1999.
- [21] M. I. Jeffrey, P. L. Breuer, and W. L. Choo, "A kinetic study that compares the leaching of gold in the cyanide, thiosulfate, and chloride systems," *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, 2001, doi: 10.1007/s11663-001-0086-7.