

STUDI LITERATUR PEMILIHAN PROSES EKSTRAKSI EMAS BERDASARKAN JENIS PORFIRI DAN *LOW SULFIDATION*

Frideni Yushandiana Putri G.F.¹, Rifqi Alhady Aziz²

^{1,2}Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral,
UPN “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjadjaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283

Email : rifqialhady1@gmail.com²

+6281246956547²

Abstract

Indonesia as a country that has an important role in providing gold raw materials for the world must of course focus on processing gold. Gold processing itself is commonly found by adding gold deposits with porphyry copper and low sulfidation types. Both types have their own characteristics and their own processing methods to get pure gold metal. Porphyry copper minerals that are rich in gold have challenges in the form of high copper metal availability, low gold content in minerals, and sulfide impurities. Meanwhile, low sulfidation gold minerals have challenges in the form of refractory gold which is included in sulfide compounds, high gold content with low tonnage, and sulfide impurity content. This challenge will determine the appropriate gold extraction route, as applied to various gold extraction industries at PT NHM, Ok Tedi Mining Ltd, and various gold extraction industries in Indonesia.

Keywords : Porphyry, Low Sulfidation, Gold, Extraction, Process Consideration

Abstrak

Indonesia sebagai negara yang memiliki peran penting dalam penyediaan bahan baku emas untuk dunia sudah tentu harus fokus dalam mengolah emas. Pengolahan emas sendiri umum dijumpai dengan penambahan endapan emas dengan jenis tembaga porfiri dan sulfida rendah (*low sulfidation*). Kedua jenis tersebut memiliki karakteristiknya masing-masing dan cara pengolahan tersendiri untuk mendapatkan logam emas murni. Mineral tembaga porfiri yang kaya emas memiliki tantangan berupa keterdapatn logam tembaga yang cukup tinggi, kadar emas yang rendah dalam mineral, dan pengotor sulfida. Sedangkan mineral emas *low sulfidation* memiliki tantangan berupa emas refraktori yang terinklusi dalam senyawa sulfida, kadar emas yang tinggi dengan toanse yang rendah, serta kandungan pengotor sulfida. Tantangan tersebut akan menentukan jalur ekstraksi emas yang sesuai, seperti yang diaplikasikan pada berbagai industri ekstraksi emas di PT NHM, Ok Tedi Mining Ltd, dan berbagai industri ekstraksi emas di Indonesia.

Kata kunci : Porfiri, *Low Sulfidation*, Emas, Ekstraksi, Pertimbangan Proses

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya mineral yang melimpah, khususnya mineral emas akibat berada di diantara Lempeng Eurasia dan Lempeng IndoAustralia. Keberadaan emas di Indonesia dinilai menjadi sumber daya alam yang bernilai ekonomis tinggi (Yushandiana, dkk.

2022). Dikutip dari Booklet Peluang Investasi Emas-Perak Indonesia oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020), cadangan emas di Indonesia mencapai 2.600 ton atau 5% dari total cadangan emas di dunia. Jumlah ini membuat Indonesia masuk ke 5 besar negara yang memiliki cadangan emas terbesar, yang artinya Indonesia

sangat berperan penting dalam penyediaan bahan baku emas untuk seluruh dunia.

Emas sendiri merupakan jenis logam yang memiliki nilai ekonomis tinggi (*precious metal*). Mineral yang mengandung emas juga cukup banyak, diantaranya dalam endapan porfiri (*copper gold porphyry deposits*), endapan mineral sulfida kadar rendah (*low sulfide gold deposits*), atau dalam bentuk *native gold* dalam bentuk *nugget*. Menurut Sukandarrumidi (2009) pembentukan mineral emas sangat berkaitan dengan naiknya larutan fluida hidrotermal ke permukaan melalui rekahan pada batuan, yang kemudian terjadi proses diferensiasi dan proses pengendapan.

Berbagai mineral tersebut memiliki karakteristik masing-masing yang membuat proses ekstraksi logam emas dari mineralnya berbeda tiap jenisnya. Namun yang umum digunakan adalah metode ekstraksi secara hidrometalurgi karena sulitnya ditemukan emas dalam mineral dengan kadar tinggi (Wahyuningsih, 2022). Seperti di PT. Nusa Halmahera Minerals yang menggunakan metode ekstraksi secara hidrometalurgi menggunakan *agitation leaching* dan *merril crowe* dalam ekstraksi mineral emas tipe sulfida rendah (*low sulfide gold ore*).

Maka penelitian ini dilakukan untuk dapat mengetahui perbandingan proses ekstraksi tiap jenis mineral emas dan contoh perusahaan yang mengaplikasikan proses tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah studi pustaka dari berbagai literatur yang berkaitan dengan mineral emas dan cara pengolahannya. Sumber yang digunakan berasal dari buku, artikel penelitian, atau *website*.

2.1. Emas dalam mineralnya

Emas adalah unsur kimia dalam tabel periodik dengan nomor atom 76 dan memiliki simbol Au (bahasa latin 'aurum'). Logam emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah di tempa, serta termasuk ke dalam logam mulia karena keterdapatannya yang cukup langka dan memiliki sifat yang spesifik. Berat jenis logam emas dalam mineral tergantung pada jenis dan kandungan logam atau mineral lain yang berasosiasi dengannya. Mineral emas biasanya berasosiasi dengan kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan mineral non logam lain sebagai mineral pengotor (*gangue minerals*). Selain itu, biasanya mineral emas juga mengandung mineral sulfida seperti pirit, galena, arsnopirit, kalkopirit, kovelit, dan kalkosit.

Jika berdasarkan ukuran butir dalam mineral yang ditemukan di alam, logam emas dibagi menjadi 3 jenis. Jenis pertama adalah *free gold* atau *native* yang memiliki ukuran besar, dan umumnya mudah dipisahkan dari logam atau mineral yang berasosiasi. Jenis kedua adalah jenis *free milling*, yang memiliki ukuran besar namun tidak sebesar *free gold*. Jenis ini juga dapat

dipisahkan dari logam atau mineral lain yang berasosiasi dengan reduksi pada ukuran tertentu. Jenis ketiga adalah refraktori, yang memiliki ukuran sangat halus dan umumnya tersebar merata di mineral asosiasinya. Sehingga untuk jenis ketiga ini tidak dapat dipisahkan walau di reduksi ukurannya. Ukuran emas dalam mineral ini menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses pengolahan bijih emas. (Zhou, 2012).

2.2. Mineral Emas Sulfida Rendah (*Low Sulfide Gold Ore*)

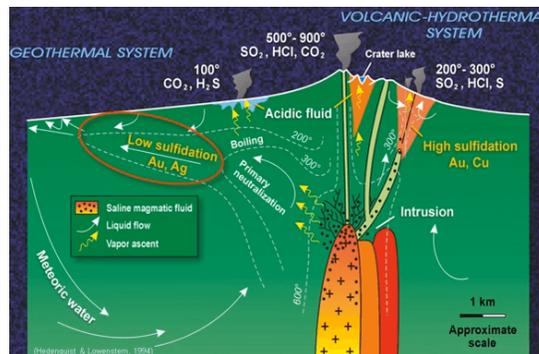
a. Deskripsi Singkat

Mineral emas sulfida merupakan bentuk dari logam emas yang berasosiasi dengan senyawa sulfida yang umumnya adalah pirit dan kalkopirit. Selain itu, ukuran emas dalam mineral ini juga dibagi menjadi jenis *native*, *free milling*, dan refraktori. Untuk jenis refraktori biasanya emas terinklusi di dalam mineral sulfida, yang bersifat stabil dan non-porous sehingga sulit untuk dilakukan pelindian (Arham, 2020). Mineral ini juga dibagi menjadi dua jenis, yaitu *low sulfide* dan *sulfide*.

Jenis *low sulfide* hanya mengandung kurang dari 0,5% S^{2-} , dan mineral *sulfide* mengandung lebih dari 0,5% atau 1% S^{2-} .

b. Genesa

Pembentukan mineral emas *low sulfide* termasuk kedalam jenis endapan primer, dimana endapan ini terbentuk dari proses magmatisme (Prihartini, R. 2016). Proses ini merupakan proses magma yang berkontak dengan air meteoritik, dan membentuk fluida berwarna bening, memiliki pH netral hingga sedikit basa, dan mengandung silika, merkuri, dan arsenic yang tinggi. Unsur ini nantinya yang akan berasosiasi dengan emas. Namun beberapa endapan juga terbentuk karena proses metasomatisme dan aktifitas hidrotermal, yang membentuk endapan dengan kandungan utamanya silika (Michaud, 2015). Dari pembentukan tersebut, mineral ini akan terkonsentrasi dan membentuk urat (*vein*) dan tidak tersebar merata, sehingga pada umumnya memiliki tonase yang rendah namun kadar emasnya cukup tinggi.



Gambar 2.1 Skema genesa mineral emas sulfida rendah

c. Kandungan

Endapan sulfida rendah biasanya berasosiasi dengan kuarsa-adularia, karbonat, dan serisit sedangkan mineral sulfida biasanya dalam bentuk H₂S dan sulfida kompleks. Salah satu deposit dengan tipe *epithermal low sulfidation* adalah Deposit Kencana yang ada di PT. NHM yang memiliki karakteristik seperti pada tabel 3.1

Tabel 2.1 Karakteristik deposit tambang kencana PT. NHM (Dept. Geologi PT NHM. 2015)

Mineralization type	Epithermal sulphidation low
Host rock	Andesite, volcaniclastic, Diorite, Basalt
Alteration	Argillic, Advace Argillic, Propylitic, Hematitic
Temperature	±210 – 220°C
Ore minerals	Gold, Silver, Pyrite, Chalcopyrite, Bornite, Galena, Sphalerite, etc

2.3. Mineral Tembaga Porfiri (Porphyry Copper Minerals)

a. Deskripsi Singkat

Endapan porfiri merupakan endapan penghasil mineral tembaga (Cu) terbesar, yang diperkirakan sekitar 50% logam tembaga dihasilkan dari endapan ini. Sedangkan mineral tembaga porfiri merupakan salah satu reservoir emas terbesar di kerak atas (Kerrich *et al.*, 2000). Mereka biasanya dikelilingi oleh

endapan dan *country rocks* yang mengandung emas, yang diduga emas berasalnya. Dikarenakan volumenya yang besar, badan bijih porfiri bernilai ekonomis dari konsentrasi tembaga serendah 0,15%, dan dapat memiliki jumlah produk sampingan yang ekonomis seperti molibdenum, perak, dan emas.

b. Genesa

Mineral porfiri ini termasuk ke dalam jenis endapan plaser atau sekunder, dimana emas ditemukan dalam bentuk emas alluvial akibat proses pelapukan terhadap batuan yang mengandung emas. (Lucas, 1985). Pembentukan mineral porfiri tidak terlepas dari proses tumbukan dan penunjaman lempeng.

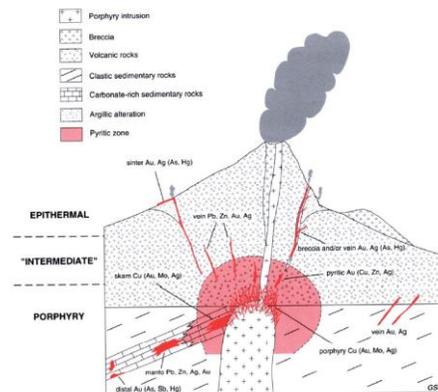


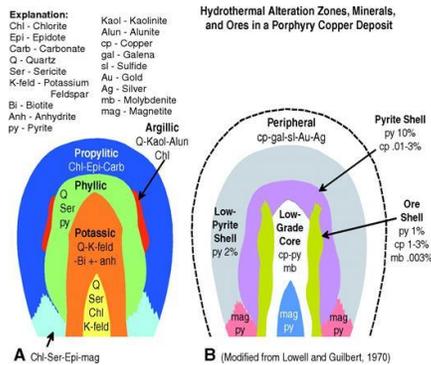
Figure 19-10. Schematic diagram of a porphyry copper system in the root zone of an andesitic stratovolcano showing mineral zonation and possible relationship to skarn, magmatic, "mesothermal" or "intermediate" precious metal and base metal vein and replacement, and epithermal precious-metal deposits.

Gambar 2.2 Schematic diagram of a porphyry copper system in root zone

Mineral porfiri ini terbentuk akibat suatu intrusi yang bersifat intermediat-asam, yang kemudian terjadi kontak dengan batuan samping yang mengakibatkan terjadinya mineralisasi. Oleh karena itu, mineral ini umumnya

dijumpai di kedalaman rendah namun memiliki tonase yang besar walau kadarnya cukup rendah jika dibandingkan dengan jenis *low sulfide*. Produk dari endapan mineral porfiri adalah mineral campuran logam Cu-Au atau Cu-Mo.

Berdasarkan asosiasi mineralnya, endapan porfiri dibagi menjadi 4 zona : *pottasic zone*, *phyllic zone*, *argillic zone*, dan *propylitic zone*. Keempat zona baik dari asosiasi mineral atau mineral bijihnya dapat dilihat skemanya pada gambar 3.3.



Gambar 2.3 Schematic alteration zones, minerals, and ores in a porphyry copper deposit (Timkin, dkk. 2022)

c. Kandungan dalam Mineral Tembaga Porifiri

Berdasarkan kandungannya, mineral tembaga porfiri dapat dikategorikan kaya emas (*gold-rich porphyry copper*) jika mengandung 0,4 g/t Au. Namun setidaknya jika perbandingan kandungan emas dan tembaga 1:1, sudah dapat disebut *gold-rich porphyry copper* (Kirkham dan Sinclair, 1995). Jika kandungan emas

0,8 g/t hingga 20 g/t, sudah dapat disebut emas porfiri.

Tabel 2.2 Grades and Cu/Au Atomic ratios for phorpyry copper deposits (Kesler, 2002)

Deposit	Cu (%)	Au (g/t)	Cu/Au (atomic)	Au content (ppm) if only Cu mineral is:	
				Bornite	Chalcopyrite
Ok Tedi	0.70	0.600	36,187	54.3	29.5
Panguna	0.46	0.550	25,942	75.7	41.1
Pebble	0.35	0.410	26,478	74.2	40.3
Pebble 2	0.54	0.460	36,412	53.9	29.3
Ray	0.95	0.007	4,209,494	0.5	0.3
Red Chris	0.58	0.460	39,109	50.2	27.3
Robinson	0.75	0.270	86,159	22.8	12.4
Sacaton	0.66	0.120	170,595	11.5	6.3
San Manuel	0.68	0.040	527,294	3.7	2.0
Santa Rita	0.94	0.034	857,538	2.3	1.2
Santo Tomas II	0.30	0.620	15,008	130.8	71.1
Schaft Creek	0.30	0.140	66,023	29.7	16.2
Skouries	0.54	0.800	20,937	108.5	59.0
Tanama	0.60	0.600	31,017	63.3	34.4
Taseko	0.61	0.789	23,980	81.9	44.5
Valley	0.44	0.006	2,274,604	0.9	0.5
Wafi	1.30	0.600	67,204	29.2	15.9

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Ekstraksi Mineral Emas Sulfida Rendah (*Low Sulfide Gold Ore*)

Beberapa tantangan dalam mengekstraksi mineral emas sulfida rendah diantaranya adalah ukuran butiran emas dalam mineral, adanya pengotor berupa mineral sulfida, dan keterdapatannya yang memiliki kadar tinggi namun tonasenya rendah.

a. Pengaruh ukuran butir emas dalam mineral

Ukuran butir emas dalam mineral ini akan sangat mempengaruhi proses ekstraksi, khususnya pada butiran emas refraktori yang tidak dapat terliberasi dengan reduksi ukuran. Ukuran butir emas refraktori yang halus dan tertutupi oleh senyawa sulfida yang bersifat stabil dan non-

porous, menyebabkan reagen pelindi yang digunakan tidak dapat berkontak dengan butir emas. Hal ini yang menyebabkan proses menjadi tidak efektif. Berbeda dengan emas *native* dan *free milling* yang dapat terliberasi, proses akan lebih berjalan efektif karena reagen pelindi dapat berkontak dan bereaksi dengan emas.

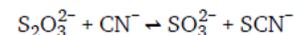
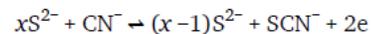
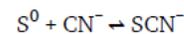
Namun terdapat cara yang mungkin dilakukan untuk membebaskan butir emas, yaitu dengan cara *roasting* atau pemanasan material dibawah titik leburnya dengan penambahan gas oksigen murni. Tujuannya, agar senyawa sulfida yang menutupi permukaan emas refraktori dapat teruapkan dan teroksidasi. Sulfida akan terpisah dari bijih dan menjadi sulfur dioksida (SO₂), sehingga akan membuka permukaan emas refraktori. Selanjutnya butiran emas dapat diproses secara normal. Tantangan lain dari metode *roasting* ini adalah gas sulfur dioksida yang bersifat racun. Sehingga dibutuhkan penanganan lanjutan terkait gas buang tersebut, sebelum dilepaskan ke lingkungan,

Metode ini diterapkan pada salah satu industri ekstraksi emas di wilayah Sumatra Selatan, Indonesia. Dengan mineral jenis *intermediate sulfidation epthermal*, yang mengandung emas dan *silver-bearing* kuarsa berbentuk uratan. Proses *roasting* ini dilakukan untuk

membebaskan emas berukuran refraktori yang terinklusi dalam mineral. Namun sebelum itu dilakukan proses kominusi menggunakan *SAG mill* dan konsentrasi dengan gravitasi, untuk memisahkan emas *native* dan emas *free milling*. Setelah *roasting*, dilakukan proses pelindian menggunakan sianida yang diikuti dengan penambahan karbon di tanki pelindian. Selanjutnya akan dilakukan elusi dan *electrowinning* untuk mendapatkan konsentrat emas terlarut. Lalu konsentrat akan dilelehkan dalam *furnace* untuk dicetak menjadi *dore bullion*.

b. Pengaruh pengotor mineral sulfida

Jumlah pengotor mineral sulfida dalam ekstraksi emas sangat mengganggu proses ekstraksi emas secara hidrometalurgi. Hal ini dikarenakan sulfida dalam mineral akan ikut mengonsumsi reagen pelindi, khususnya sianida sesuai reaksi berikut ini.



Pelarutan sulfida ini ikut mengonsumsi sianida, dimana kandungan 1% sulfur akan mengonsumsi 15,3 kg/t NaCN. Selain mengonsumsi sianida, ion sulfida juga dapat teradsorpsi pada permukaan emas dan menghambat pelarutan emas dengan pembentukan lapisan *inhibitor*.

Dikutip dari penelitian Fink (1950) dalam Marsden (2009), disebutkan bahwa konsentrasi ion sulfida serendah 0,5 mg/L terbukti mengurangi separuh laju reaksi pelindian emas.

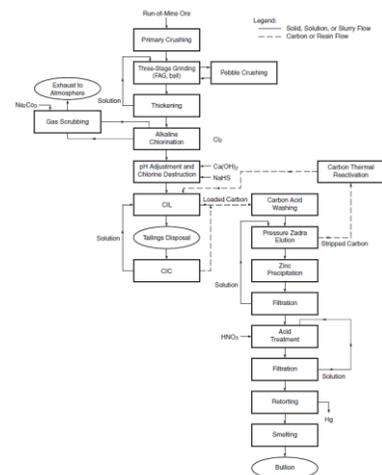
Maka untuk mengurangi pengotor mineral sulfida pada proses pelindian, dapat dilakukan beberapa hal seperti benefisiasi dengan flotasi seperti yang dilakukan oleh salah satu perusahaan penambangan dan pengolahan logam emas dan tembaga di Irian Jaya, Papua. Keterdapatannya emas di dalam mineral terasosiasi dengan kalkopirit (CuFeS_2), dengan pengotor berupa pirit (FeS_2) sehingga dilakukan *flash flotation* dengan tujuan untuk dapat mengapungkan kalkopirit yang terasosiasi dengan emas, meninggalkan pirit serta mineral pengotor lainnya, dan meningkatkan kadar emas. Dengan memanfaatkan sifat *hydrophobicity* yang dimodifikasi oleh *collector*, kalkopirit akan keluar sebagai konsentrat dalam *overflow* di proses flotasi secara singkat (*flash flotation*). Maka akan didapatkan konsentrat kalkopirit yang terpisah dengan mineral pengotor lain, dan meningkatkan kadar emas dalam konsentrat (Ardha, 2014).

Namun keberadaan pirit tadi cukup mengganggu, karena mungkin ikut dalam *overflow* sebagai konsentrat. Guna mencegah hal tersebut, maka digunakan sirkuit

flotasi yang lain berupa flotasi *rougher*, *scavenger*, *cleaner scavenger*, dan *rescavenger*.

Selain menggunakan flotasi, guna mengurangi kandungan sulfur dapat dilakukan *pre-treatment* dengan klorinasi, asam nitrat, pre-aerasi, dan *roasting* sebelum proses pelindian. Cara-cara tersebut memiliki prinsip yang sama, yaitu mengoksidasi sulfur menjadi gas sulfida, asam sulfat, dan lainnya agar sulfur terlepas dari persenyawaannya.

Metoda klorinasi digunakan pada Jerrit Canyon, Nevada, United States untuk jenis mineral *low sulfide*. Biji akan dilakukan flotasi bertahap terlebih dulu, kemudian akan dilakukan klorinasi. Hal ini bertujuan agar klorinasi tepat sasaran digunakan pada emas yang terjebak pada mineral sulfida. Diagram alir proses ini dapat dilihat pada gambar 4.1.

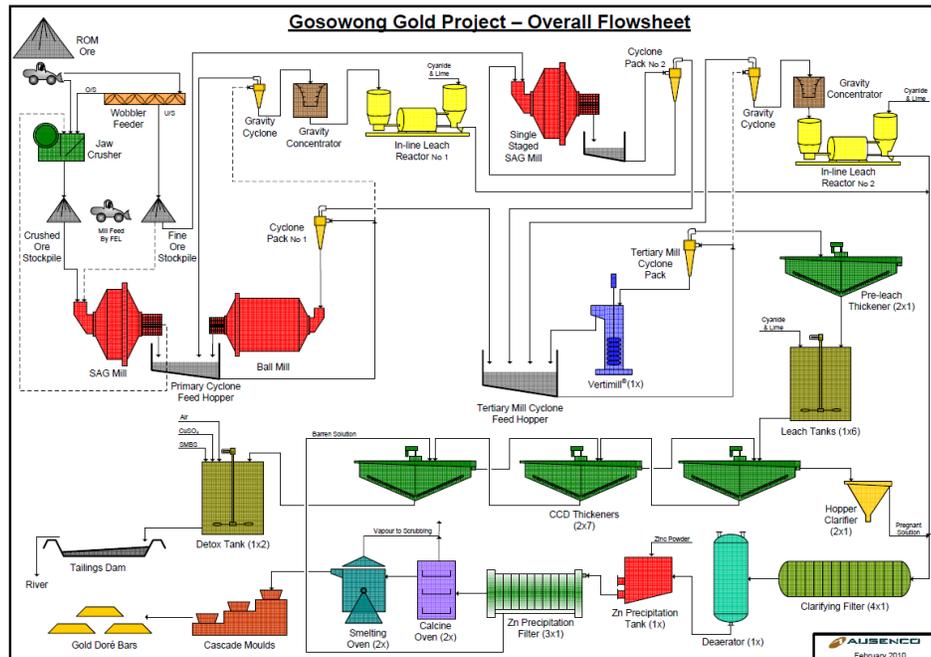


Gambar 3.1 Jerrit Canyon *flowsheet* process (Marsden, 2009)

c. Pengaruh kadar tinggi dan tonase yang rendah

Akibat proses genesa yang membentuk urutan dan terkonsentrasi, membuat kadar emas jenis *low sulfide* menjadi cukup tinggi namun dalam tonase atau jumlah yang terbatas. Hal ini akan mempengaruhi proses yang

digunakan, karena dibutuhkan proses yang dapat menghasilkan nilai *recovery* tinggi. Seperti yang dilakukan pada PT NHM, Maluku Utara, yang memiliki kadar emas tinggi menggunakan metode *agitation leaching* dan *merril crowe* dalam pengolahannya sesuai bagan alir pada gambar 4.2



Gambar 3.2 flowsheet gold extraction PT. NHM

Selain karena kadarnya emas dalam mineral tinggi, jenis emas yang terkandung di dalamnya adalah *native* dan *free milling gold*. Sehingga dalam pengolahannya, mungkin dilakukan *gravity circuit* dan *agitation leaching*. *Gravity circuit* dilakukan untuk jenis emas *native* ukuran besar, yang dilakukan benefisiasi dengan *gravity concentrator* dan dilanjutkan dengan pelindian intensif dalam *in-*

line leach reactor. Sedangkan untuk *agitation leaching* dilakukan untuk emas yang tidak dapat dipisahkan dengan *gravity concentrator*. Hasilnya, emas *native* atau *free milling* dapat secara optimal terlindi. Larutan kaya (*pregnant solution*) hasil pelindian kemudian akan dicuci dan dilakukan presipitasi menggunakan serbuk seng (*merril crowe process*). Dikarenakan kadar emas dalam larutan kaya tinggi,

maka proses *merril crowe* berlangsung cukup efektif. Tantangan penggunaan metode *merril crowe* adalah diperlukan filtrasi tambahan untuk mengurangi *turbidity* dan kandungan oksigen terlarut, ditambah dengan kadar emas dalam larutan kaya harus tinggi.

Berbeda dengan industri pengolahan mineral emas di Sumatra Selatan dan Sumatra Utara, Indonesia, dimana larutan kaya hasil pelindian dilakukan adsorpsi karbon untuk mendapatkan emas terlarut. Hal ini dilakukan karena kandungan emas dalam mineral awalnya tidak terlalu tinggi seperti pada PT NHM, sehingga proses *merril crowe* tidak efektif karena serbuk seng yang bersifat agresif juga dapat mengendapkan logam pengotor lain dalam larutan kaya seperti tembaga (Cu). Ditambah dengan pertimbangan tonase yang cukup sedikit, dibutuhkan metode yang efektif untuk menangani masalah kadar yang rendah.

3.2. Ekstraksi Mineral Tembaga Porfiri Kaya Emas (*Rich-Gold Porphyry Copper Ore*)

Sama seperti mineral emas *low sulfide*, mineral porfiri tembaga yang kaya emas juga menemui beberapa tantangan dalam pengolahannya. Diantaranya adalah kadar emas yang rendah dalam mineral, kandungan

tembaga di dalam mineral, dan adanya pengotor sulfida yang ikutan.

a. Pengaruh kadar emas yang rendah dalam mineral

Mineral tembaga-emas porfiri walau ditemukan dalam jumlah atau tonase yang besar, menemui kendala di kadar emas yang cukup kecil (Kesler, *et al.* 2002). Sehingga dibutuhkan proses ekstraksi dengan biaya yang murah untuk melarutkan emas dari jumlah mineral yang banyak. Namun metode ini akan sangat mungkin dilakukan, karena kandungan emas dalam mineral kebanyakan adalah *native gold* dan *free milling* yang memungkinkan emas dapat terlarut secara efektif dengan metode yang murah.

Salah satu metode yang umum dilakukan untuk mengolah emas adalah *heap leaching* (Padilla, 2008). *Heap leach* dilakukan dengan menumpuk mineral kemudian disempatkan reagen pelindi pada bagian atas tumpukan. Sehingga emas akan bereaksi dengan reagen pelindi menjadi larutan kaya, dan mengalir ke bawah tumpukan.

Hal ini yang diaplikasikan oleh salah satu perusahaan pengolahan emas di Jawa Timur. Mineral akan direduksi ukuran terlebih dulu untuk meliberasi emas, khususnya jenis *free milling* hingga ukuran 75 μm . Selanjutnya jika ukuran terlalu halus, akan dilakukan aglomerasi terlebih dulu agar butiran menjadi sedikit lebih besar. Tujuan

aglomerasi ini supaya reagen pelindi yang disemprotkan nantinya memiliki ruang untuk bersirkulasi dan berkontak dengan butiran emas dalam tumpukan. Larutan kaya hasil *heap leaching* kemudian akan dilakukan adsorpsi karbon, elusi karbon, dan *recovery* untuk didapatkan *bullion*. Pemilihan adsorpsi karbon dan elusi karbon dikarenakan kandungan emas yang tidak terlalu tinggi dalam larutan kaya. Jika menggunakan metode lain dalam pemisahan *solid-liquid* seperti CCD, maka akan banyak kadar emas yang terbuang. Terlebih karbon yang digunakan dalam proses dapat di daur ulang dan

membentuk siklus tertentu sebelum akhirnya karbon tersebut diganti baru.

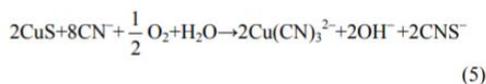
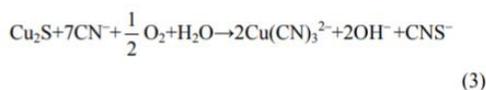
b. Pengaruh kandungan tembaga

Dalam mineral emas-tembaga porfiri, karena di dalamnya juga mengandung logam tembaga dalam jumlah yang cukup besar, tentunya akan mengganggu proses ekstraksi emas. Kandungan tembaga akan ikut mengonsumsi sianida dalam proses pelindian, bahkan 1% kandungan tembaga akan mengonsumsi lebih dari 51,5 kg/t sianida. Tingkat kelarutan mineral tembaga dalam siandia ditunjukkan pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Kelarutan mineral tembaga dalam 0,1% NaCN

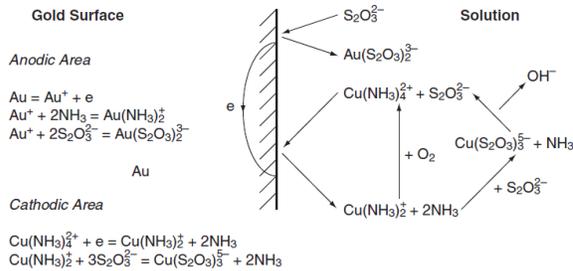
Mineral		Percent Total Copper Dissolved	
		23°C	45°C
Azurite	2CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	94.5	100.0
Malachite	CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂	90.2	100.0
Chalcocite	Cu ₂ S	90.2	100.0
Copper metal	Cu	90.0	100.0
Cuprite	Cu ₂ O	85.5	100.0
Bornite	Cu ₅ FeS ₄	70.0	100.0
Enargite	Cu ₃ AsS ₄	65.8	75.1
Tetrahedrite	4Cu ₂ S·Sb ₂ S ₃	21.9	43.7
Chrysocolla	CuSiO ₃	11.8	15.7
Chalcopyrite	CuFeS ₂	5.6	8.2

Sedangkan tembaga akan ikut mengonsumsi sianida sesuai persamaan reaksi berikut ini.



Selain itu, tembaga juga akan mengganggu proses hilirisasi ekstraksi emas. Dimana tembaga dapat ikut mengendap bersama dengan emas dan perak selama proses *recovery*, baik dengan *electrowinning* atau dengan presipitasi. Sehingga akan dibutuhkan proses lanjutan untuk menghilangkan Cu, bahkan setelah didapatkan *bullion*. Cara yang dapat dilakukan

adalah dengan metode *ammoniacal copper-thiosulfate*, untuk membentuk Cu menjadi $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$. Sehingga dalam proses pelindian, senyawa Cu tersebut tidak akan ikut larut dalam emas sesuai skema gambar berikut ini.

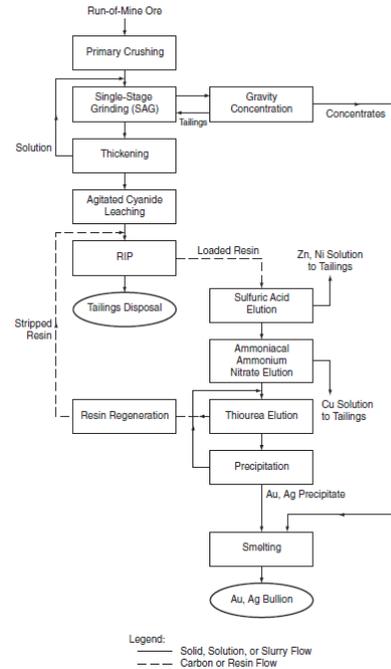


Gambar 4.3 Skema representative dari pelindian emas menggunakan *ammoniacal copper-thiosulfate*

Metode ini diaplikasikan pada salah satu perusahaan pengolahan emas di Uzbekistan, bernama Murantau, dikarenakan mineral yang diolah mengandung emas yang sebagian besar berasosiasi dengan arsenopirit.

Metode penambahan ammonia diaplikasikan pada larutan kaya hasil *agitation leaching* untuk membuang tembaga terlarut sebelum dilakukan presipitasi. Sehingga hasilnya akan didapatkan larutan emas yang lebih bersih dengan kadar yang lebih tinggi. Proses yang dilakukan sesuai dengan gambar bagan alir 4.4. Dalam bagan tersebut terlihat bahwa sebelum mengendapkan emas dalam larutan hasil pelindian, dilakukan pengendapan logam tembaga terlebih

dahulu. Hal ini akan mempengaruhi hasil *dore bullion* yang dihasilkan, dimana kadar tembaga dalam *dore* akan menurun.



Gambar 4.4 Flowsheet gold extraction Murantau, 1990.

c. Pengaruh pengotor sulfida yang ikutan

Walaupun dinamakan mineral emas-tembaga porfiri, namun tembaga dan emas di dalam mineral juga seringkali ditemukan dalam senyawa sulfida, seperti dalam kalkopirit, arsenopirit, dan kuprit. Dengan mineralnya yang memiliki kandungan emas kadar rendah, maka tidak sedikit industri pengolahan emas yang melakukan proses benefisiasi.

Benefisiasi yang mungkin dilakukan adalah dengan flotasi, karena sifat senyawa sulfida yang

4. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan ukuran dalam mineral emas dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *native* yang berukuran besar, *free milling* yang berukuran tidak terlalu besar namun dapat terliberasi, dan refraktori yang berukuran halus dan tidak dapat diliberasi.
- b. Jenis mineral emas sulfida rendah biasanya ditemukan dalam bentuk uratan yang terkonsentrasi, sehingga memiliki kadar yang cukup tinggi namun dalam jumlah atau tonase yang kecil. Keterdapatannya emas di dalamnya pada umumnya *free milling* dan refraktori. Emas refraktori biasanya terinklusi pada senyawa mineral sulfida seperti kalkopirit, arsenopirit, dan pirit, yang bersifat non-porous dan stabil sehingga reagen pelindi tidak dapat bereaksi dengan emas refraktori.
- c. Jenis mineral tembaga porfiri yang kaya akan emas akan ditemukan dalam endapan dengan kedalaman relatif rendah, memiliki jumlah atau tonase yang tinggi namun kadar emasnya rendah. Mineral ini bersifat porous, dan pada umumnya emas berasosiasi dengan tembaga atau molybdenum. Keterdapatannya emas di dalamnya pada umumnya *native* dan *free milling*.
- d. Dalam pemilihan proses ekstraksi emas sulfida rendah, perlu dipertimbangkan aspek pengaruh

ukuran butir emas dalam mineralnya, pengaruh pengotor mineral sulfidanya, dan pengaruh kadar emas yang tinggi namun tonasenya yang rendah.

- e. Dengan kadar emas yang tinggi dan tonase yang rendah dalam mineral emas sulfida rendah, dibutuhkan metoda yang dapat menghasilkan persen *recovery* emas yang tinggi.
- f. Sedangkan dalam pemilihan proses ekstraksi mineral tembaga porfiri yang kaya emas, perlu dipertimbangkan aspek pengaruh kadar emas yang rendah dalam tonase yang besar, pengaruh kandungan tembaga, dan pengaruh pengotor sulfidanya.
- g. Dengan kadar emas yang rendah dan tonase yang tinggi dalam mineral tembaga porfiri kaya emas, dibutuhkan metoda yang murah dan mudah untuk dapat mengambil emas dalam jumlah yang besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Anggia Magnalita Octaviani selaku pembimbing dari PT Nusa Halmahera Mineral (NHM) bidang *project metallurgy*,
2. Manajemen PT NHM yang sudah mengizinkan penulis melaksanakan penelitian via daring, dan
3. Berbagai pihak yang telah membantu kelancaran dalam penelitian ini baik secara langsung maupun tidak.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2014). Roasting and Refractory Gold Ore. 20 Desember 2021, diakses pada : <https://www.mgsrefining.com/blog/2014/07/16/roasting-and-refractory-gold-ore/>.
- Anonim. Tembang Gold-Silver Project, South Sumatra. 21 Desember 2021, diakses pada : <https://www.mining-technology.com/projects/tembang-gold-silver-project-south-sumatra/>.
- Ardha, Ngurah, dkk. 2014. *Konsep Desain Custom Plant Flotasi Untuk Mengolah Bijih Sulfida Marjinal Mengandung Emas/Perak*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Vol. 10, No. 1.
- Arham, La Ode, dkk. 2020. *Studi Ekstraksi Bijih Emas Asal Pesawaran dengan Metode Pelindian Agitasi dalam Larutan Sianida*. Journal of Science and Applicative Technology Vol.4 (2).
- Bas, A.D, et al., 2014. *Treatment of Copper-Rich Gold Ore by Cyanide Leaching, Ammonia Pretreatment and Ammoniacal Cyanide Leaching*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China
- Ernowo, dkk. 2019. *Geokimia Bijih dan Konsentrat dari Cebakan Tembaga-Emas Porfiri Grasberg, Tembagapura*. Buletin Sumber Daya Geologi vol. 14 no. 1
- Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral. 2020. *Peluang Investasi Emas-Perak Indonesia*. esdm.go.id
- Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D., Garwin, S., 2000. *The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution and origins*. In: Hagemann, S.G., Brown, P.E. (Eds.), *Gold in 2000*. Society of Economic Geologists Reviews in Economic Geology, vol. 13, pp. 501–552.
- Kesler, Stephen E., et. al. 2002. *Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate*. Ore Geology Reviews vol.21 pp. 103-124.
- Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., 1995. *Porphyry copper, gold, molybdenum, tungsten, tin, silver*. In: Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. (Eds.), *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*. Geological Survey of Canada Geology of Canada, vol. 8, pp. 421–446.
- Lucas, JM. 1985. *Gold Mineral Facts and Problems*. United State Dept of the Interior : Burreau of Mines Preprint from Bulletin pp 675, 1 – 6.
- Marsden, Jhon. et al. 2006. *The Chemistry of Gold Extraction*. America : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. pp. 582-532.
- Merdeka Copper Gold. 2017. *Annual Report*. merdekacoppergold.com
- Michaud, David. 2015. *Low Sulphidation Epithermal Gold Deposits*. 07 Desember 2021, diakses pada : <https://www.911metallurgist.com/blog/low-sulphidation-epithermal-deposits>

- Padilla, Gonzalo A., *et al.* 2002. *Technical Note on Optimization of Heap Leaching*. Elsevier
- Prihartini, R. 2016. *Optimasi Pencampuran Bijih Emas Untuk Memenuhi Target Produksi Dengan Program Linier Metode Simpleks Di PT Cibaliung Sumberdaya, Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang Provinsi Banten*. Repository UNISBA.
- Sukandarrumidi. 2009. *Geologi Mineral Logam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Timkin, Timofey, *et al.* 2022. *Geochemical and Hydrothermal Alteration Patterns of the Abrisham-Rud Porphyry Copper District, Semnan Province, Iran*. *Journal Minerals* 2022.
- Wahyuningsih, Tri, dkk. 2022. *Proses Acid Wash Untuk Menurunkan Kadar Pengotor pada Cake Hasil Merrill Crowe*. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*.
- Yushandiana, Frideni P.G.F, dkk. 2022. *Dry Stacking Sebagai Metode Penanganan Tailing Pengganti Tailing Dam*. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*.
- Zhou, 2012. *Process Mineralogy and Application in Mineralogy Processing and Extractive Metallurgy*. Peru : International Metallurgical Meeting.