

# KARAKTERISASI MINERAL AMPAS PENGOLAHAN BIJIH EMAS PONGKOR

NGURAH ARDHA dan TATANG WAHYUDI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211  
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373  
e-mail: ngurah@tekmira.esdm.go.id.

## SARI

Mineral ampas dari proses sianidasi Unit Pengolahan Emas Pongkor saat ini berjumlah sekitar 1,46 juta ton yang masih mengandung rata-rata 1,3 g/ton Au dan 43 g/ton Ag. Perusahaan berupaya mengurangi jumlah mineral ampas tersebut. Selain pemanfaatan mineral ampas, juga merencanakan mengambil kembali kandungan mineral berharganya. Sebelum mempelajari teknologi yang tepat untuk kemungkinan mengolah kembali emas dan perak yang tidak terlindi, maka perlu mengkaji karakteristik keberadaannya di dalam ampas tersebut. Telah dilakukan pemercontohan secara acak mineral ampas di lokasi kolam pelimbahan. Pengujian menggunakan cara analisis XRD, analisis sebaran ukuran butiran, pengkayaan kandungan emas cara graviti, analisis kimia dengan *fire assay* dan AAS, analisis mineralogi optik dan SEM. Hasilnya menunjukkan partikel emas elektum berukuran 3 – 24  $\mu\text{m}$  dalam bentuk seperti emas refraktori terperangkap di dalam partikel pirit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dalam pengelolaan mineral ampas mengandung emas/perak, termasuk kemungkinan perencanaan teknologi untuk mengolah kembali emas/perak tersebut.

**Kata Kunci** : ampas mengandung emas/perak, mineral, karakteristik, elektum, Pongkor

## ABSTRACT

*Mineral tailing from sianidation of Pongkor gold processing plant currently reaches approximately 1.46 million tons, which contains 1.3 g/ton Au and 43 g/ton Ag in average. The company has attempted to minimize amount of the tailing. Besides utilization, one is planning to recover the valuable metal. Prior to effort in seeking proper technology of recovering the unleached gold and silver bearing tailing, hence, it is necessary to study the characteristics of the mineral tailing. Random sampling of mineral tailing had been done at the tailing pond. Such tests of using X-ray diffraction, particle size distribution analyzes, the enrichment of gold content by gravity concentration, chemical analyzes by fire assay and atomic absorption spectrometer, mineralogy analyzes using optical microscopy and scanning electron microscopy had been employed. The results show that the tailing contains gold electum with sizes between 3 and 24  $\mu\text{m}$  in the form of gold like refractory, which is encapsulated in pyrite particles. This information could be used as a reference in conducting mineral tailing management including potential scheme of technology for recovering the typical gold/silver.*

*Keywords: tailing bearing gold/silver, minerals, characteristic, electum, Pongkor*

## PENDAHULUAN

Ampas adalah material sisa, residu atau limbah dari suatu proses pemisahan, pengolahan dan/atau ekstraksi mineral berharga dari bijihnya yang dibuang karena dianggap sebagai pengotor dan tidak berharga. Ampas yang akan dibahas dalam studi ini adalah

material yang mengandung berbagai mineral-mineral sisa pengolahan bijih emas di Unit Pertambangan Emas (UPE) Pongkor, PT. Aneka Tambang, yang berbentuk lumpur dan saat ini ditempatkan di suatu kolam pelimbahan (*tailing pond*). Pengelolaan mineral ampas memerlukan biaya yang tidak kecil dalam suatu kegiatan pertambangan, khususnya untuk dapat

memperbaiki fungsi lingkungan yang baik secara terus menerus sampai saat penutupan tambang. Menurut Prasetyo (2011), ampas UPE Pongkor aman untuk dimanfaatkan karena kandungan unsur-unsur logam terlarut berada di bawah baku mutu. Berbeda dengan tambang emas di Kolar *gold field mine* (Karnataka, India) yang bijihnya dominan pirit, proses sianidasinya menggunakan asam sianida berlebih, dengan resiko ampas yang banyak mengandung sianida serta banyak air asam tambang akibat dari oksidasi pirit, sehingga masalah penanggulangan pencemaran lingkungan menjadi studi utama di sana (Rao dan Reddy, 2006). Sejak UPE Pongkor berdiri hingga saat ini, material ampas yang dibuang dilaporkan berjumlah sekitar 2 juta ton pada awal tahun 2009. Kapasitas produksi bijih sampai saat ini sekitar 1000 ton/hari, karena itu diperkirakan ada akumulasi material ampas sekitar 2,6 juta ton hingga awal tahun 2011 jika tidak dimanfaatkan.

Saat ini keberadaan material ampas di area kolam pelimbahan sekitar 56% dari 2,6 juta ton, karena sekitar 42,2% dari 2,6 juta ton telah dan sedang dimanfaatkan sebagai material pengisi (*back filling*) lubang tambang serta 1,8% dari 2,6 juta ton telah dimanfaatkan untuk batako (Prasetyo, 2011). Batako yang dihasilkan masih kategori kecil-kecilan yaitu hanya untuk keperluan internal perusahaan, padahal potensi untuk produksi batako masal sangat prospektif. Berkaitan dengan pemanfaatan ampas sebagai material pengisi, Oktaviani (2008) telah mengkaji optimalisasi proses pengisian lombong (*stope*) lubang tambang menggunakan material ampas UPE Pongkor dengan cara pemompaan. Supriadijaja dkk. (1998) melakukan pengkajian pengolahan dan pemanfaatan limbah ampas UPE Pongkor untuk material pengisi dengan cara flokulasi dan perkolasi serta pembuatan campuran material ampas dengan tras dan/atau abu terbang, lalu diuji kuat tekannya; kuat tekan terbaik ( $0,561 \text{ kg/cm}^2$ ) diperoleh pada penambahan abu terbang 50%. Walaupun beberapa kajian sudah dilakukan, namun hingga saat ini, permasalahan yang dihadapi UPE Pongkor adalah jumlah material ampas di area kolam pelimbahan masih berlimpah dan belum terpecahkan, karena laju volume *input* material ampas lebih besar daripada yang mampu dimanfaatkan. Oleh karena itu, UPE Pongkor terus berupaya mengurangi jumlah material ampas tersebut.

Menurut UPE Pongkor, ampas yang diendapkan pada kolam pelimbahan masih mengandung emas/perak sekitar 1 g/ton Au dan 40 g/ton Ag. Minat untuk mengambil kembali (*recover*) emas yang masih terkandung dalam ampas tersebut adalah suatu upaya

yang baik, karena berkaitan dengan ekosistem industri yang di dalamnya ada industri pengolah dan/atau pemanfaat limbah seperti mengambil kembali sisa emas/perak dan/atau pembuatan bata/genteng selain untuk *back filling* tentunya. Jika hal ini terwujud secara terintegrasi akan dapat mengoptimisasi perolehan emas/perak yang ada, sekaligus meminimalisasi eksploitasi sumber daya alam dan pada akhirnya mengurangi pencemaran lingkungan.

Tulisan ini difokuskan untuk mempelajari karakteristik material ampas UPE Pongkor dengan mengkajinya dari aspek yang berbeda yaitu kemungkinan masih ada mineral-mineral berharga khususnya emas yang belum sempat terlindi oleh larutan sianida dan bagaimana keterikatannya dengan mineral induknya. Hasil studi yang dituangkan dalam tulisan ini bertujuan untuk memberikan kontribusi mengenai karakteristik dan kandungan mineral logam khususnya emas yang masih ada di dalamnya, sehingga dapat dijadikan acuan untuk perencanaan pengelolaan mineral ampas yang lebih tepat di masa mendatang.

## METODOLOGI

### Bahan

Percontoh ampas pengolahan emas UPE Pongkor diambil secara acak dari 3 posisi kolam pelimbahan yaitu posisi dekat aliran ampas baru (percontoh 1), posisi tengah kolam pelimbahan (percontoh 2) dan posisi tanggul akhir kolam pelimbahan (percontoh 3). Percontoh di dekat aliran ampas baru diambil dengan cara penampungan langsung, sedangkan percontoh posisi tengah kolam pelimbahan dan posisi tanggul akhir kolam pelimbahan diambil mulai dari permukaan sampai ke bawah menggunakan pipa (sejenis *handauger*) yang ditekan hingga kedalaman sekitar 1 m.

### Pengujian dan Peralatan

Masing-masing dari 3 (tiga) percontoh dikeringkan dalam oven di laboratorium mineral tekMIRA. Pemercontohan kering oven menggunakan *rotary sampler*. Masing-masing dari 3 (tiga) percontoh kecil dianalisis kimia dengan metode kombinasi *fire assay* dan *atomic absorption spectrometer* (AAS). Sisa hasil *rotary sampler* dari 3 (tiga) percontoh besar digabung menjadi satu percontoh ampas UPE Pongkor. Uji karakteristik ampas diawali dengan menganalisis kandungan mineralnya menggunakan

metode difraksi sinar-X (XRD). Pada saat bersamaan dilakukan uji sebaran ukuran butiran atau kehalusan partikel-partikelnya menggunakan alat pengayak *Rotap* dengan serial ayakan 50, 60, 100, 140, 200, 325 dan 400 mesh *Tyler* atau lubang ayakan 300, 250, 150, 106, 75, 45 dan 38  $\mu\text{m}$ . Selanjutnya dilakukan proses pengkayaan kandungan logam secara gravitasi menggunakan meja goyang, dengan harapan jika masih ada emas/perak yang memiliki densitas lebih tinggi akan terkumpul dan lebih mudah tersingkap di bawah mikroskop atau peralatan uji lainnya. Konsentrat dan ampas meja goyang diambil untuk analisis kimia menggunakan metode *fire assay* dan AAS. Khusus untuk konsentrat meja goyang dilakukan analisis mineralogi menggunakan metode mikroskop optik dan metode *mikroskop pemindai elektron* (SEM).

## HASIL UJI DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Umum Bijih, Pengolahan dan Ampas

Komposisi mineral dan kandungan unsur-unsur logam dari material ampas sangat tergantung dari komposisi bijih dan cara pengolahannya. Secara umum material ampas berbentuk butiran halus akibat dari hasil penggerusan (*milling*) dan berkategori sebagai batuan halus yang miskin mineral berharga (*barren rock*). Sebelum melakukan uji laboratorium terhadap ampas, perlu diketahui terlebih dahulu komposisi mineral pada endapan bijih emas Pongkor yang diperoleh dari referensi. Salah satu hasil kajian Warmada (2006) menginformasikan bahwa endapan emas-perak Pongkor merupakan endapan epitermal bersulfida rendah tipe urat kuarsa-karbonatan. Mineral-mineral pengisi urat kuarsa-karbonatan tersebut meliputi pirit ( $\text{FeS}_2$ ), kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), sfalerit ( $\text{ZnS}$ ), emas murni (*native gold* - Au), emas elektum (Au-Ag) dan beberapa mineral-mineral kompleks Ag-sulfosalt seperti uytenbogaardtit ( $\text{Ag}_2\text{AuS}_2$ ), akantit-aguilarit ( $\text{Ag}_2\text{S-Ag}_4\text{SSe}$ ), proustit ( $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$ ). Mineral-mineral lain sebagai pengotor adalah kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), rhodokrosit ( $\text{MnCO}_3$ ), siderit ( $\text{FeCO}_3$ ), dolomit ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ ), ankerit ( $(\text{Ca,Fe,Mg,Mn})\text{CO}_3$ ), dan mineral silikat seperti illit/smektit ( $(\text{K,Al,SiO}_{10})(\text{OH})_2$ ), klorit ( $\text{Fe,Mg,Al}_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ) dan monmorilonit ( $\text{Na,Ca,Al,MgSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ). Ditinjau dari unsur-unsur kimianya ada tren kelompok unsur Ag-Au-Se yang berhubungan dengan mineral kompleks Ag-sulfosalt; dan kelompok unsur Cu-Pb-Zn-Cd yang berhubungan dengan mineral sulfida logam dasar.

Secara umum pengolahan bijih di UPE Pongkor diawali dengan penghancuran (*Jaw Crusher*) dan penggilingan (*Ball Mill*) hingga mencapai ukuran butiran sekitar 150 mesh atau 106  $\mu\text{m}$  dengan tingkat efisiensi sekitar 80%. Kemudian dilindi menggunakan NaCN selama 25 jam dalam 2 (dua) tangki berpengaduk. Larutan kaya emas/perak hasil pelindian diserap oleh karbon aktif dalam proses *carbon-in leach* (CIL) selama 32,5 jam dalam 5 tangki dengan laju perolehan sekitar 97% untuk emas dan 75% untuk perak. Setelah emas/perak masuk ke dalam karbon aktif dilanjutkan dengan proses membuang unsur-unsur pengotor seperti Fe, Cu, S, dll, yang ikut terlindi dan terabsorpsi oleh karbon aktif dengan menggunakan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  encer. Selanjutnya proses "elusi" yaitu melepaskan ion-ion Au/Ag dari karbon aktif menggunakan larutan NaCN selama 8 jam. Berikutnya adalah proses *electrowinning* untuk mentransfer emas/perak dari dalam larutan agar menempel ke logam katoda. Katoda kemudian dilelehkan untuk menghasilkan *dore bullion* yang mengandung emas 15-10% dan perak sekitar 85-90%. *Dore bullion* ini dikirim ke unit pemurnian logam mulia, Jakarta.

Ampas berbentuk lumpur; sebelum dialirkan ke kolam pelimbahan dilakukan proses detoksifikasi agar sisa sianida menjadi senyawa kompleks yang stabil dan tidak toksik. Lumpur ampas ditampung dalam kolam pelimbahan dengan laju alir sekitar 350 ribu ton per tahun atau sekitar 1000 ton per hari. Menurut UPE Pongkor, ampas masih mengandung emas/perak sekitar 1 g/ton Au dan 40 g/ton Ag. Berdasarkan hasil penelitian Prasetyo (2011), percontohan lumpur ampas setelah dipisahkan menjadi padatan dan cairan lalu dianalisis kandungan logam-logamnya. Percontohan padatan mengandung Mn = 6,68 mg/kg, Fe = 61,96 mg/kg, Pb = 0,28 mg/kg, Cd = 0,01 mg/kg, Zn = 0,42 mg/kg, Cu = 0,41 mg/kg. Percontohan cairan mengandung unsur-unsur Mn = 0,86 mg/L, Fe = 0,366 mg/L, Pb = 0,035 mg/kg, Cd = 0,027 mg/kg, Zn = 0,033 mg/kg, Cu = 0,22 mg/kg. Semua hasil analisis kimia tersebut menunjukkan konsentrasi di bawah baku mutu yang diijinkan. Bahkan UPE Pongkor secara berkala telah melakukan uji *Lethal Dose-50* (LD50) yaitu uji konsentrasi sifat racun yang dapat menimbulkan kematian pada 50% hewan percobaan, serta uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) yaitu uji penentuan kemampuan melepas unsur racun dari material ampas. Hasil-hasil uji tersebut dilaporkan berada di bawah baku mutu yang diijinkan. Oleh karena itu, ampas tersebut termasuk aman untuk dimanfaatkan.

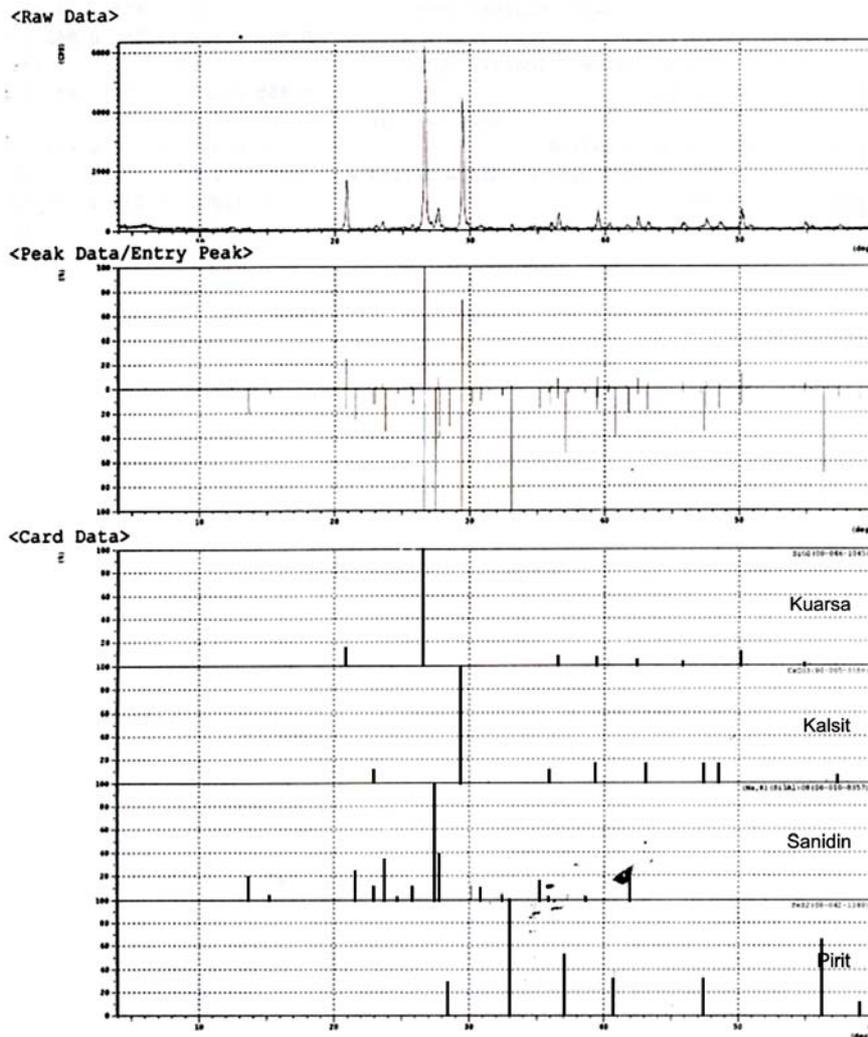
Selain data sekunder dari referensi di atas, berikut adalah data primer atau data riil hasil uji dan analisis di laboratorium *tekMIRA*.

### Kandungan Mineral Berdasarkan Analisis XRD

Berdasarkan hasil uji dengan cara difraksi sinar-X (XRD) terhadap percontoh ampas UPE gabungan (percontoh 1 + 2 + 3), terlihat dominasi puncak-puncak pulsa (*peaks*) seperti pada Gambar 1 yang mencerminkan kandungan dominan mineral-mineral pada ampas UPE Pongkor adalah:

- Kuarsa –  $\text{SiO}_2$  (dominan)
- Kalsit –  $\text{CaCO}_3$  (dominan kedua)
- Sanidin –  $(\text{K,Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$  atau alumina silikat atau felspar (dominan ketiga)
- Pirit –  $\text{FeS}_2$ .

Kandungan mineral-mineral ampas ini sesuai dengan karakteristik batuan awal dalam bijihnya yaitu sebagai batuan kuarsa karbonatan. Menurut Warmada (2006), sebagian besar mineral ampas terdiri dari mineral pengotor seperti kuarsa, grup kalsit (rhodokrosit, dolomit, ankerit, siderite) dan grup silikat (ilit/smektit, klorit dan monmorilonit), serta grup mineral logam (antara lain pirit). Emas tidak nampak dalam analisis XRD terhadap ampas UPE Pongkor ini; yang disebabkan karena sebagian besar logam-logam utama emas sudah terambil atau terlarut dalam proses sianidasi (sebanyak 97% untuk emas dan 75% untuk perak). Selain itu metode XRD hanya mampu mendeteksi mineral-mineral yang berkategori dominan. Dalam hal ini emas/perak konsentrasinya sangat rendah.

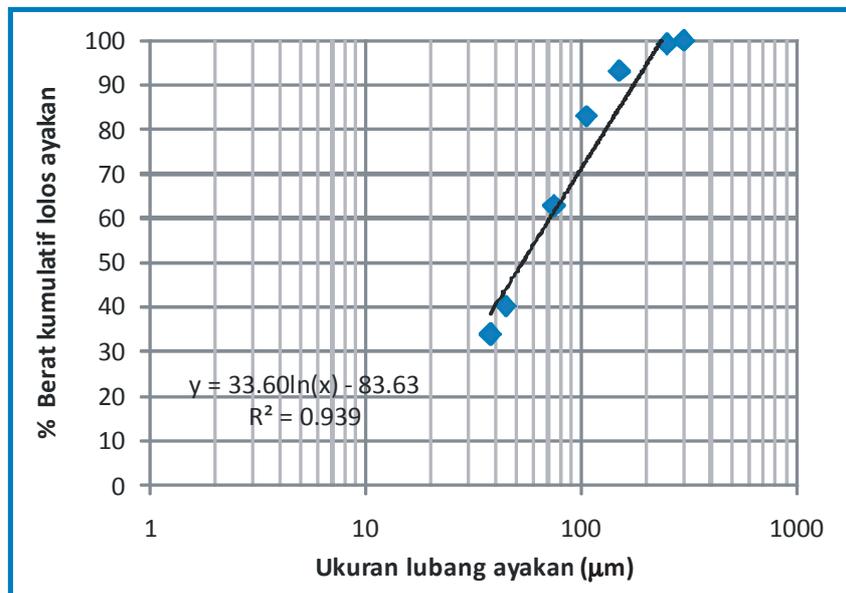


Gambar 1. Puncak-puncak pulsa (*peaks*) dari kandungan mineral ampas UPE Pongkor

**Sebaran Ukuran Partikel**

Sebaran ukuran partikel mineral ampas UPE Pongkor (percontoh gabungan) dapat dilihat pada Tabel 1. Partikel-partikel mineral ampas memiliki rentang ukuran kasar mulai dari 250 μm (60 mesh) hanya sebanyak 0,85% hingga ukuran paling halus lolos 38 μm (-400 mesh) sebanyak 33,9%. Untuk mempermudah mengetahui kuantitas sebarannya, maka data hasil uji ayak disusun dalam *plot* grafik ukuran partikel berskala logaritma, yang menghasilkan persamaan regresi linier logaritmik.

Karakteristik sebarannya menurut Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa ukuran rata-rata ( $d_{50}$ ) adalah 53,4 μm, yang berarti 50% lebih kasar dari 53,4 μm dan 50% lagi lebih halus dari 53,4 μm. Atau dapat juga dilihat bahwa 80% partikel-partikel mineral ampas ( $d_{80}$ ) berukuran -130,3 μm, yang berarti sebanyak 80% partikel-partikel mineral dalam ampas tersebut berukuran lebih halus dari 130,3 μm atau sekitar -120 mesh. Ukuran partikel-partikel mineral ini perlu dilihat lebih lanjut apakah ada partikel emas yang bebas atau partikel emas yang masih berikatan dengan mineral tertentu.



Gambar 2. Sebaran ukuran partikel-partikel mineral ampas UPE Pongkor

Tabel 1. Hasil ayak partikel-partikel mineral ampas UPE Pongkor

Ukuran		Berat (g)	Berat (%)	Berat kumulatif tertahan (%)	Berat kumulatif lolos (%)	Log (μm)
mesh	μm					
50	300	0	0	0,00	100	2,5
60	250	8,39	0,85	0,85	99,15	2,4
100	150	59,13	5,97	6,82	93,18	2,2
140	106	101,86	10,29	17,11	82,89	2,0
200	75	199,42	20,14	37,25	62,75	1,9
325	45	222,45	22,47	59,72	40,28	1,7
400	38	63,14	6,38	66,10	33,90	1,6
-400	-38	335,61	33,90	100	0,00	
		990	100,00			

## Kandungan Unsur Logam dan Oksida Logam

Dari hasil analisis mineral dengan cara XRD di atas, tidak terdeteksi adanya emas. Hal ini disebabkan karena analisis XRD hanya mampu mendeteksi mineral-mineral yang ada di permukaan percontohan dan keberadaannya harus dalam jumlah yang dominan. Sebaliknya emas dipastikan ada dalam jumlah yang sangat kecil dibandingkan dengan jumlah mineral-mineral pengotor pembawa emas. Untuk itu perlu dilakukan analisis kimia dengan cara kombinasi *fire assay* dan analisis serapan atom (AAS). Hasil analisis komponen-komponen kimia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis kimia ampas padat UPE Pongkor

Komponen Kimia	Per-contohan 1	Per-contohan 2	Per-contohan 3	Rata-rata
Au (g/ton)	1,5	2,1	0,41	1,3
Ag (g/ton)	40	83	8,13	43,7
Percontohan gabungan				
SiO <sub>2</sub> (%)	59,1			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4,19			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,31			
K <sub>2</sub> O (%)	4,34			
Na <sub>2</sub> O (%)	0,32			
Pb (%)	0,022			
Cu (%)	0,01			
LOI (%)	9,39			
TOTAL	79,682			

Catatan : CaO, MgO dan S yang kadarnya relatif tinggi tidak dianalisis.

Dari Tabel 2 dapat dilihat hasil analisis kimia terhadap 3 (tiga) percontohan mineral ampas padat UPE Pongkor yang terdiri dari Percontohan 1 yang diambil dekat keluaran ampas baru, Percontohan 2 yang diambil di tengah kolam pelimbahan, dan Percontohan 3 yang diambil dari ujung akhir tanggul kolam pelimbahan. Tiga titik percontohan diambil dengan pertimbangan bahwa emas sebagai mineral berat umumnya terendapkan pada posisi tidak merata, hal ini mungkin disebabkan karena emas/perak terdapat dalam jumlah yang sangat kecil dibandingkan dengan mineral pembawanya dan berada pada tempat-tempat tertentu dalam bijihnya. Selain itu mungkin disebabkan cara pemercontohan dan/atau secara alami emas/perak memiliki spesifik *gravity* yang lebih besar sehingga cepat mengendap di tempat yang dekat atau terdorong oleh aliran ke arah ceruk agak dalam. Dari tiga percontohan hasil analisis kimia terlihat

bahwa posisi ampas di tengah kolam pelimbahan memiliki kandungan emas/perak relatif lebih tinggi dibandingkan yang baru keluar dari pabrik. Kadar emas/perak dari ampas yang baru keluar dari pabrik sekitar 1,5 g/ton Au dan 40 g/ton Ag. Pada posisi tengah kolam pelimbahan kadar emas/perak lebih tinggi (2,1 g/ton Au dan 83 g/ton Ag) yang mungkin diakibatkan oleh fenomena segregasi yaitu emas/perak berdensitas lebih tinggi terdorong ke arah lebih dalam. Sebaliknya semakin jauh posisi ampas kolam pelimbahan dari keluaran ampas baru terlihat kadar emas/perak semakin kecil. Secara umum kadar emas/perak berfluktuasi dengan rata-rata kadar emas 1,3 g/ton dan perak 43,7 g/ton yang relatif sama dengan ampas yang baru keluar dari pabrik (percontohan 1), demikian pula kadar hasil analisis ini relatif sama dengan pernyataan pabrik UPE Pongkor yang mengatakan ampas masih mengandung 1 g/ton Au dan 40 g/ton Ag. Hasil analisis kimia lengkap seperti kandungan kimia ikutan atau kandungan kimia pembawa emas seperti silika, alumina, besi, potasium kadarnya tinggi, demikian pula LOI yaitu zat hilang bakar berupa zat-zat organik seperti karbon terdeteksi cukup tinggi, yang mungkin berasal dari lepasnya hancuran karbon aktif dari proses CIL, serpih kayu atau rumput yang masuk ke dalam kolam pelimbahan. Komponen-komponen kimia yang diperkirakan kadarnya juga tinggi yaitu CaO, MgO, dan S dengan jumlah total sekitar 20% tetapi tidak dianalisis. Semua komponen-komponen kimia pembawa emas ini jika dapat dikurangi jumlahnya akan dapat meningkatkan kadar emas/perak.

Upaya observasi keberadaan emas langsung dari percontohan mineral ampas dengan mikroskop optik mengalami kesulitan, percontohan ampas nampak didominasi oleh partikel-partikel kuarsa. Hal ini disebabkan karena jumlah emas sangat kecil dibandingkan dengan jumlah mineral ampas secara keseluruhan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengkayaan (pengonsentrasian) emas/perak dengan cara proses *gravity* agar mudah diobservasi di bawah mikroskop optik.

## Pengkayaan Emas

Pengkayaan emas/perak atau pengonsentrasian partikel ampas dalam penelitian ini bukan ditujukan untuk meningkatkan kadar sebagai suatu proses, melainkan hanya untuk mendapatkan percontohan yang mungkin dapat lebih mudah dilihat partikel-partikel emas/peraknya di bawah mikroskop optik. Pengkayaan emas/perak dilakukan dengan alat pengonsentrasi meja goyang. Meja goyang dapat memisahkan partikel-partikel mineral yang ringan dari

yang lebih berat, dalam hal ini proses *gravity* akan mengurangi jumlah pengotor ringan seperti kuarsa dan silikat.

Secara umum mineral ampas UPE Pongkor memiliki densitas rata-rata sekitar 1,34 ton/m<sup>3</sup>, sedangkan densitas rata-rata bijihnya sekitar 1,952 ton/m<sup>3</sup> (Oktaviani, 2008). Semakin tinggi kadar mineral bijih, densitasnya semakin besar. Dalam hal ini, mineral-mineral seperti kuarsa, kalsit, alumina silikat sebagai pengotor memiliki berat jenis rendah, sedangkan mineral-mineral logam dasar dan pirit, yang mungkin mengandung emas/perak tentu mempunyai densitas lebih besar. Hasil pengkayaan mineral-mineral berat dari ampas UPE Pongkor dapat dilihat pada Tabel 3.

Campuran antara mineral berat hasil meja goyang dengan mineral berat hasil pembersihan ulang terhadap *middling* diperoleh kadar emas 16,3 g/ton dan Ag 107,4 g/ton. Campuran mineral berat ini sebagai representasi dari ampas UPE Pongkor dibuat foto mikronya melalui analisis mineralografi dengan metode mineralogi optik. Dari analisis mineralografi ini diharapkan memperoleh data kandungan mineral yang lebih rinci serta diketahui karakteristik emas/perak dalam ampas UPE Pongkor tersebut.

**Komposisi Mineral dari Analisis Mikroskopi Optik**

Dari hasil pengamatan mineralografi percontoh mineral ampas UPE Pongkor yang telah melalui proses

Tabel 3. Hasil pengkayaan emas/perak dengan meja goyang terhadap mineral ampas UPE Pongkor.

Produk	Bobot (g)	Bobot (%)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Unit Au	Unit Ag	Distr Au	Distr Ag
Mineral berat hasil pengkayaan ulang <i>middling</i>	60,37	0,4	10,4	173	3,6	60,70	2,81	1,39
Mineral ringan sisa pengkayaan <i>middling</i>	3128,78	18,2	2,4	91	43,6	1654,86	33,57	37,87
<i>Middling</i>	3189,15	18,5	2,6	93	47,3	1715,57	36,38	39,26
Mineral berat	480,87	2,8	17,1	98	47,8	273,90	36,76	6,27
Mineral ringan	13534,98	78,7	0,4	30	35	2380,53	26,86	54,47
Umpan	17205	100	1,3	43,7	130	4370	100	100
Campuran mineral berat meja goyang + mineral berat hasil pengkayaan <i>middling</i> meja goyang.								
Mineral berat	480,87	2,8	17,1	98	47,88	274,4	13,28	5,26
Mineral berat hasil pengkayaan ulang <i>middling</i>	60,37	0,4	10,4	173	4,16	69,2	1,01	1,17
Mineral berat campuran	541,24	3,2	16,3	107,4	52,04	343,6	14,29	6,43

Pada mineral berat hasil pengonsentrasian meja goyang nampak kadar emas meningkat dari semula (*head sample* ampas) berkadar rata-rata emas 1,3 g/ton, perak 43,7 g/ton menjadi emas 17,1 g/ton, perak 98 g/ton. *Middling*-nya berkadar emas 2,6 g/ton, perak 93 g/ton selanjutnya dibersihkan ulang atau dikayakan kembali hingga menjadi kadar emas 10,4 g/ton, perak 173 g/ton. Mineral ringan atau ampas dari proses meja goyang berkadar emas 0,4 g/ton dan perak 30 g/ton.

pengonsentrasian dengan meja goyang dapat dilihat pada Tabel 4. Terlihat kandungan mineral-mineral logam didominasi oleh pirit (FeS<sub>2</sub>) sebanyak 14%. Sebaliknya partikel-partikel emas tidak ditemukan, karena tidak ada yang bebas/terliberasi. Mineral nonmetalik adalah mineral-mineral yang paling banyak sekitar 84% yang terdiri dari kuarsa, kalsit, dan alumina silikat, termasuk sejumlah tertentu material hilang bakar (LOI) yang mungkin berasal dari hancuran karbon aktif, serpih kayu atau rumput.

Tabel 4. Hasil analisis mineralografi ampas UPE Pongkor

No. Lab/ kode	Komposisi mineral (% berat)						Derajat liberasi emas (%)
	Pirit	Sfalerit	Kalkopirit	Magnetit	Limonit	Mineral bukan logam	
6421/08 C-MJ	14,30	0,16	0,17	0,53	0,85	83,99	00,00

Keterangan :

- Emas dalam keadaan terliberasi tidak ditemukan, tetapi emas berukuran halus (3 – 24  $\mu\text{m}$ ) ditemukan sebagai inklusi di dalam pirit sehingga tidak dapat dihitung secara mikroskopis.
- Mineral sulfida lainnya seperti galena dan arsenopirit tidak terdeteksi
- Mineral bukan logam terdiri dari kuarsa, alumina silikat, kalsit, LOI.

Logam perak meskipun berada dengan kadar lebih tinggi dari logam emas (berdasarkan hasil analisis kimia Tabel 2), namun secara eksplisit tidak dapat diobservasi keberadaannya karena hanya mengandalkan refleksi sinar optik. Walaupun demikian secara implisit perak ada dalam bentuk bercampur dengan emas; mungkin sebagai emas elektrik. Hal ini dapat diperkirakan berdasarkan warna mineral yaitu warna perak di bawah mikroskop adalah putih, sedangkan warna partikel emas kuning terang. Berikut disajikan data lebih rinci tentang keberadaan emas dari sejumlah tilikan fotomikrograf.

#### Foto Mikrograf Partikel-Partikel Ampas

Berdasarkan analisis kimia rata-rata mineral ampas UPE Pongkor diketahui mengandung emas sebanyak 1,3 g/ton. Untuk melihat kondisi atau karakteristik keberadaan emas di dalam mineral pembawa emasnya, maka dibuat sayatan poles. Percontoh dicetak dengan perekat resin transparan, kemudian diasah berulang-ulang mulai dari pengasah kasar hingga halus menggunakan bubuk silikon karbida, kemudian dipoles menggunakan pasta alumina, selanjutnya dikeringkan lalu dilihat di bawah mikroskop optik digital.

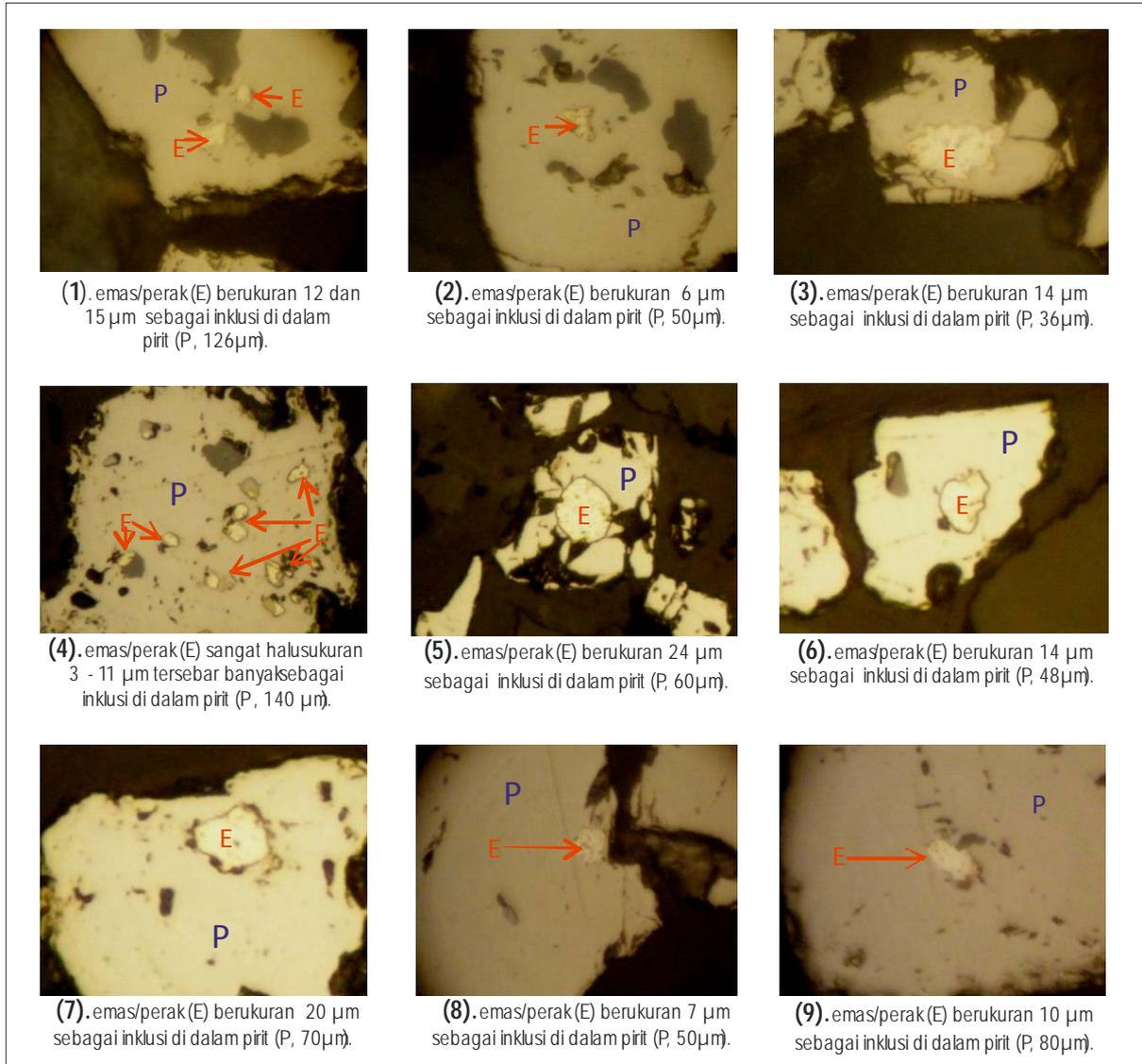
Hasil observasi nampak adanya partikel-partikel berwarna kuning muda yang diidentifikasi sebagai partikel emas mengandung perak, yang keberadaannya terinklusi di dalam mineral pirit. Secara mikroskopis warna emas adalah kuning terang, sedangkan warna perak adalah putih. Oleh karena warna yang tertangkap adalah kuning muda, maka dipastikan dalam emas ada perak sebagai emas elektrik. Emas/perak terinklusi dalam kuarsa tidak ditemukan. Demikian juga partikel emas/perak yang bebas atau terliberasi tidak ditemukan dalam ampas UPE Pongkor ini. Seluruh emas/perak nampaknya terinklusi atau dalam keadaan terjebak/tertutup di

dalam partikel pirit. Hal ini berarti partikel-partikel emas/perak *original* (sebelum diasah/dipoles) bersembunyi atau terbungkus di dalam mineral pirit. Setelah diasah/dipoles mineral-mineralnya ikut terasah, maka muncul partikel emas/perak di bawah mikroskop yang terlihat terinklusi dalam pirit. Berikut (lihat Gambar 3: Foto mikrograf 1 s/d 9) adalah foto-foto mikrograf sayatan poles yang memperlihatkan emas/perak (E) berukuran sangat halus berkisar antara 3  $\mu\text{m}$  hingga 24  $\mu\text{m}$  yang terperangkap di dalam partikel-partikel pirit (P) berukuran relatif kasar sekitar 36  $\mu\text{m}$  hingga 140  $\mu\text{m}$ .

Emas/perak kebanyakan terjebak dalam pirit sebaliknya tidak ditemukan terjebak dalam kuarsa. Hal ini mungkin disebabkan karena pirit memiliki sistem kristal kubus (*cubic*) yaitu semua bidang sisinya sama dengan kekuatan ikat yang sama, sehingga efek penggilingan relatif kurang mampu membelah pirit menjadi lebih halus, akibatnya emas/perak yang terinklusi di dalamnya tetap tersembunyi. Sebaliknya kuarsa memiliki sistem kristal heksagonal prismatik yang cenderung memiliki bidang sisi yang tidak sama, ada bidang sisi yang kuat, tapi ada juga bidang sisi lemah yang menyebabkan efek penggilingan menghasilkan kuarsa lebih mudah terbelah menjadi beberapa segmen lebih halus, sehingga emas/perak yang terinklusi di dalamnya lebih mudah tersingkap dan mudah diolah dengan cara sianidasi. Sebaliknya, kondisi emas/perak halus (berukuran 3 – 24  $\mu\text{m}$ ) yang terjebak di dalam partikel pirit (berukuran 36 -140  $\mu\text{m}$ ) kemungkinan mirip dengan jenis emas "refraktori". Hal ini sesuai dengan pendapat Vaughan (2004) bahwa emas refraktori banyak ditemukan terinklusi di dalam mineral sulfida seperti pirit dan/atau kalkopirit. Kondisi partikel emas/perak ultra halus terperangkap dalam pirit inilah yang menyebabkan asam sianida dalam proses sianidasi tidak mampu melarutkannya, karena tidak ada kontak antara larutan sianida dan emas/perak

yang tersembunyi. Selain itu juga karena sebagian pelarut asam sianida terabsorpsi oleh mineral sulfida, sehingga bijih sulfida tipe ini disebut sebagai bijih *preg-robber*.

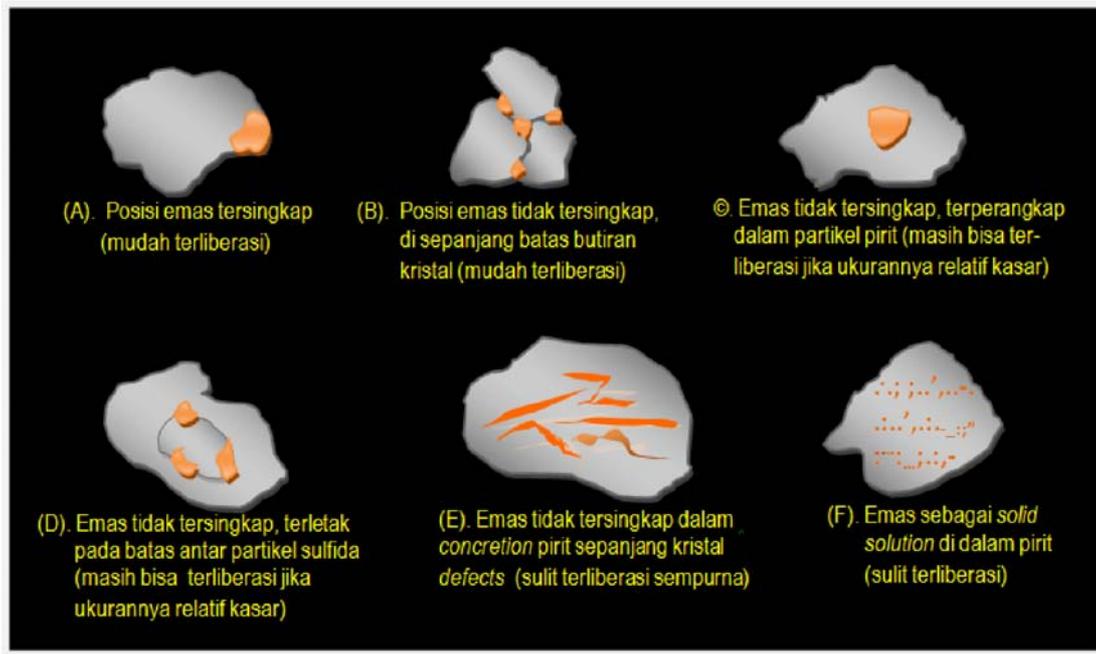
komplek, dengan berbagai variasi ikatan seperti diilustrasikan oleh Gambar 4. Untuk kasus mineral ampas UPE Pongkor, jika dibandingkan antara foto mikrograf hasil mikroskopi optik (Gambar 3) dengan



Gambar 3. Foto-foto mikrograf sayatan poles percontoh ampas Pongkor hasil pengkayaan dengan meja goyang

Marsden dan House (2006) mengatakan bahwa di alam banyak ditemukan emas refraktori yaitu emas sangat halus terperangkap di dalam partikel mineral sulfida dan/atau material karbonasius, antara lain dalam pirit atau kuarsa. Secara geologis-mineralogis ikatan emas/perak dengan pirit umumnya sangat

ilustrasi Gambar 4 nampak mirip dengan ilustrasi Gambar 4C dan 4D, namun kenyataannya emas/perak yang terperangkap dalam pirit pada ampas UPE Pongkor berukuran sangat halus (3 – 24  $\mu\text{m}$ ) yang menyebabkan kemungkinan sulit untuk terliberasi jika menggunakan penggiling *Ball Mill* standar.



Gambar 4. Ilustrasi berbagai posisi emas terinklusi di dalam partikel pirit (sumber: Marsden dan House, 2006, digambar kembali).

Salah satu cara yang memungkinkan untuk memperoleh kembali emas/perak jenis “refraktori” ini adalah dengan melakukan *pretreatment* melalui cara *roasting* (pemanggangan oksidasi) guna merusak struktur pirit, yaitu pirit akan menjadi *pseudohematit* yang *porous* karena ditinggalkan oleh sebagian sulfur yang menyebabkan emas/perak bisa tersingkap melalui pori-pori *pseudohematit*. Teknologi lain yang memungkinkan adalah *bioleaching* yang juga mampu mereduksi komponen sulfida agar emas bisa tersingkap. Proses cara *roasting* membutuhkan biaya mahal, selain timbul masalah lingkungan akibat terpapar partikel ultra halus dan gas  $SO_2$ , walaupun gas  $SO_2$  pada dasarnya bisa dikurangi dengan menambahkan dolomit ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ ) dan/atau kapur ( $CaCO_3$ ) ke dalam sistem *roasting* agar dapat mengabsorpsi gas  $SO_2$  sehingga tidak terlepas ke atmosfer dan tidak mencemari lingkungan. Oleh karena itu, upaya mengolah kembali emas/perak dari mineral ampas UPE Pongkor perlu dikaji lebih lanjut dengan alternatif teknologi *pretreatment roasting* atau *bioleaching* sebelum sianidasi.

#### Data Image Partikel Emas/Perak Cara SEM

Hasil analisis mikroskopi optik yang dipresentasikan oleh foto-foto mikrograf di atas, menunjukkan bahwa partikel emas/perak pada umumnya terbungkus/terjebak di dalam partikel pirit, maka untuk melihat

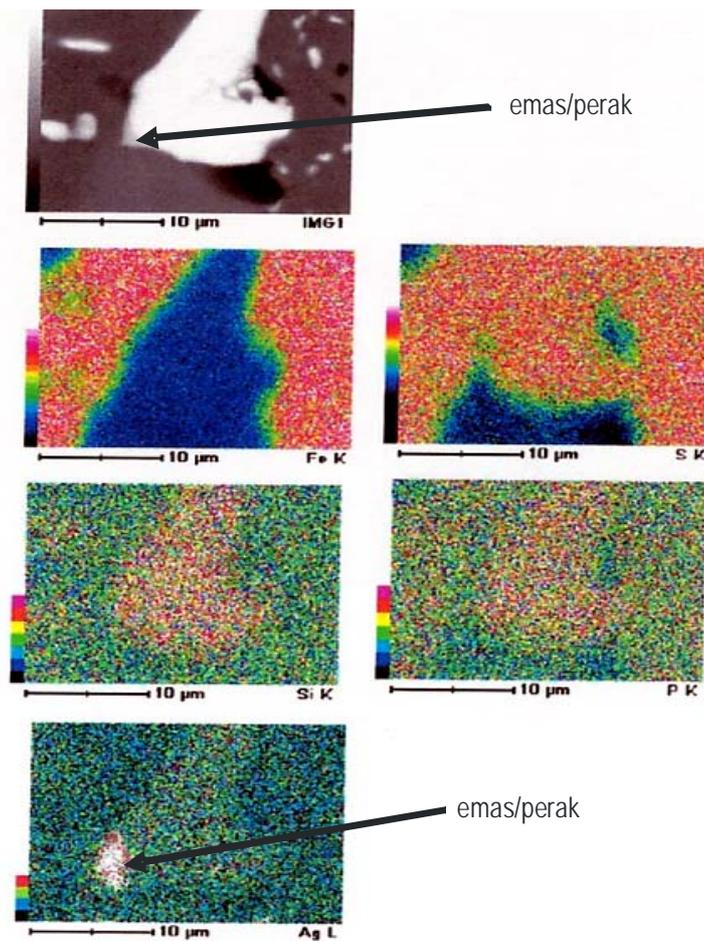
lebih rinci dan untuk memverifikasi fenomena di atas, diperlukan data kandungan elemen kimia pada partikel emas/perak dan/atau di sekeliling partikel emas/perak tersebut. Untuk itu telah dilakukan analisis *image* partikel menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) seperti dipaparkan pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa di sekeliling partikel emas yang berukuran sekitar  $10 \mu m$  dominan mengandung unsur-unsur Fe dan S yang berarti partikel emas berada di dalam mineral pirit (mineral sulfida). Analisis ini sesuai dengan hasil analisis mikroskopi optik sebelumnya. Selain itu terdeteksi pula ada sejumlah kecil unsur Si dan Ag yang keberadaannya bersatu di dalam *image* partikel emas. Hal ini berarti lebih mempertegas hasil analisis mikroskopi optik sebelumnya yang mengatakan jenis emasnya adalah jenis emas elektrik yang merupakan perpaduan antara Au-Ag. Adapun keberadaan unsur Si menunjukkan kemungkinan emas masih ada yang terikat dengan kuarsa. Keberadaan unsur P yang samar-samar belum jelas penyebabnya, namun kemungkinan berasal dari luar sebagai garam fosfor sianida di dalam pelarut asam sianida.

Dari data *image* yang dipindahkan ke data *counting* (semacam XRD) seperti pada Gambar 6, diketahui puncak-puncak pulsa yang muncul dominan S (sulfur) 25,6%, dominan kedua adalah Fe (besi) 23,7%, diikuti oleh Si (silikat) 1,4% yang berarti emas/perak

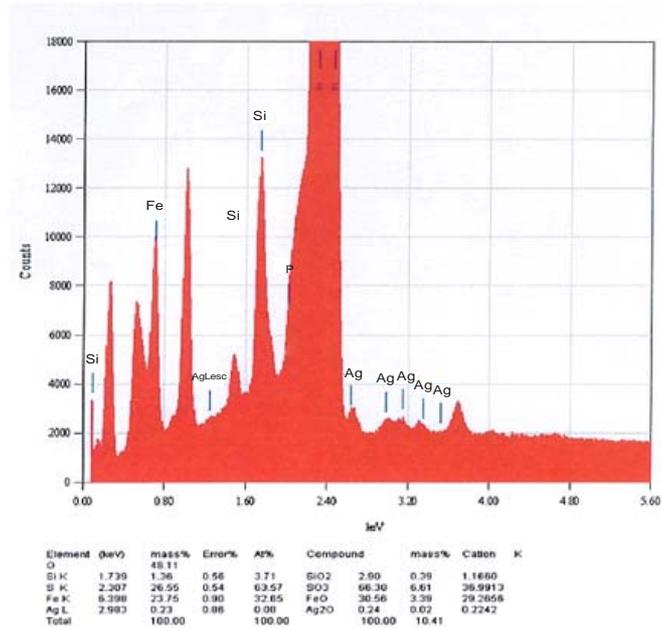
sebagian besar terinklusi di dalam pirit. Selain itu juga muncul puncak-puncak pulsa pendek tetapi jumlahnya banyak yang menunjukkan kandungan Ag. Di sini puncak-puncak pulsa emas tidak muncul, yang disebabkan karena partikel emas yang terdeteksi melalui mikroskop optik pada dasarnya dominan mengandung perak, yang sekali lagi mempertegas adanya emas elektorium. Jika emas *native* berwarna kuning terang agak kemerahan, tetapi emas dalam ampas UPE Pongkor berwarna kuning muda (lihat hasil fotomikrograf, Gambar 3) sebagai akibat dari adanya campuran warna putih dari perak. Emas elektorium adalah partikel emas yang mengandung perak > 20% (perbandingan berat atau volume antara emas/perak dalam bentuk *alloy*). Selain itu, dari hasil analisis kimia terhadap mineral berat hasil meja goyang terhadap ampas UPE Pongkor diketahui perbedaan kadarnya yaitu emas 16,3 g/ton dan perak 107,4 g/ton atau terdapat 15 bagian emas dan 85 bagian perak dalam satu partikel emas elektorium.

Hasil analisis *image* ini cocok dengan temuan Warmada (2006) bahwa secara geologis jenis emas pengisi urat kuarsa-karbonat-perak Pongkor sebagian besar berupa emas elektorium.

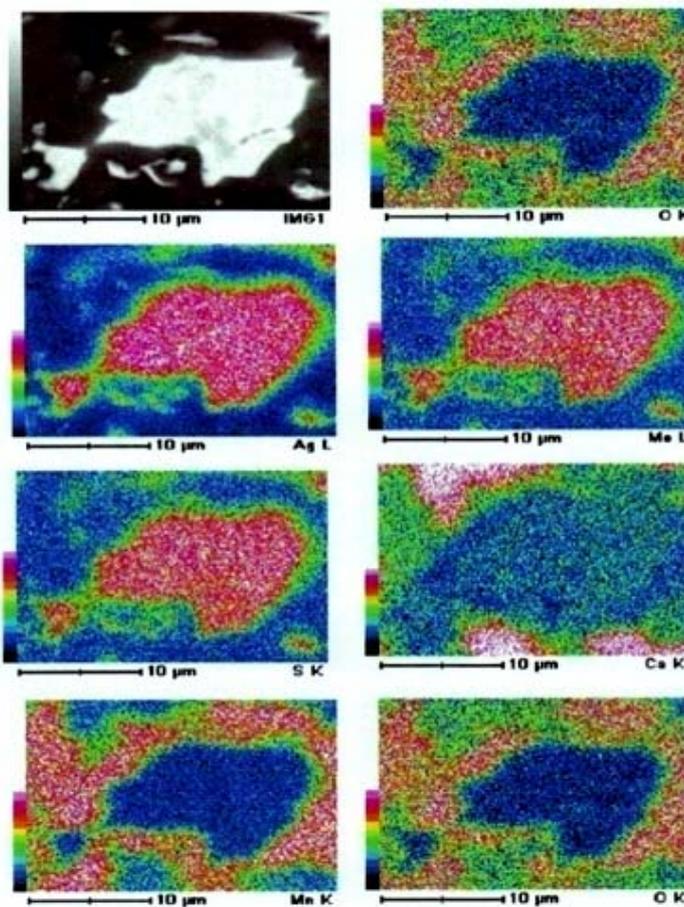
Untuk percontohan yang sama, namun *image* partikelnya yang berbeda terlihat seperti Gambar 7 yang menunjukkan bahwa *image* partikelnya dominan Ag yang berinklusi dengan Mo terjebak di dalam mineral oksida. Dari data *image* yang dipindahkan ke data counting (semacam XRD) seperti pada Gambar 8, diketahui puncak-puncak pulsa yang muncul dominan berturut-turut adalah Ag, Mo, Ca, S, Au. Unsur Au terlihat dalam jumlah kecil. Dalam percontohan ini, emas/perak terinklusi dalam oksida Mo dan di sekitarnya ada oksida kalsium, namun dipastikan jumlahnya tidak banyak. Yang banyak adalah menurut Gambar 5 dan 6 yaitu emas/perak terinklusi dalam pirit.



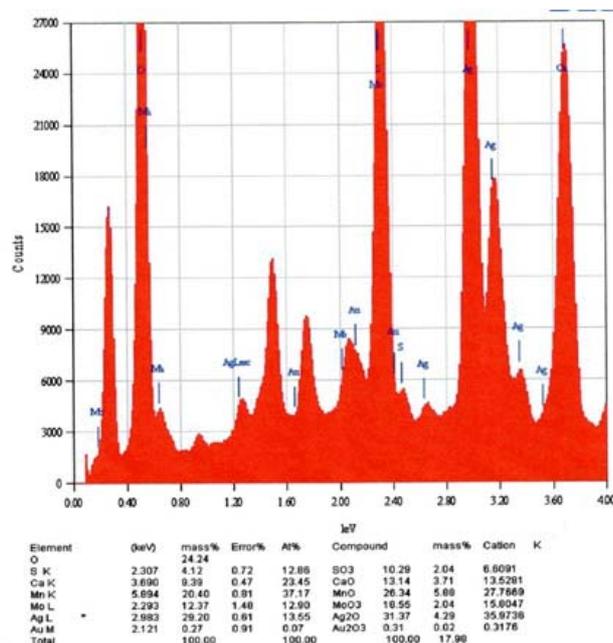
Gambar 5. Data *image* (SEM) partikel ampas UPE Pongkor, emas/perak terjebak dalam sulfida



Gambar 6. Data puncak-puncak elemen kimia ampas UPE Pongkor, meliputi S, Fe, Si dan Ag.



Gambar 7. Data *image* SEM partikel ampas UPE Pongkor, emas/perak terjebak dalam oksida



Gambar 8. Data puncak-puncak elemen kimia ampas UPE Pongkor meliputi Ag, Mo, Ca, S, Au.

## KESIMPULAN

Dari serangkaian hasil observasi di atas dapat diketahui bahwa pada dasarnya proses pengolahan dan pemurnian UPE Pongkor sudah optimal. Hal tersebut terlihat dari ampas yang keluar dan ditampung di kolam pelimbahan sudah tidak ditemukan adanya emas/perak yang bebas (terliberasi). Emas memang terdeteksi masih ada yang terlepas ke kolam pelimbahan ampas sekitar 1,3 g/ton dan perak sekitar 43,7 g/ton, namun karakteristiknya adalah sebagai emas elektrolyt yang bersifat seperti emas/perak refraktori, yaitu partikel emas/perak berukuran sangat halus (3 – 24  $\mu\text{m}$ ) terjebak di dalam partikel pirit yang berukuran sekitar 36 - 140  $\mu\text{m}$ , karena itu asam sianida tidak mampu kontak dengan emas tersebut dan tidak mampu melarutkannya. Partikel emas/perak dalam ampas yang terinklusi dalam kuarsa tidak ditemukan. Jika emas/perak dalam ampas ini akan diambil kembali, disarankan melakukan *pretreatment* terlebih dahulu yaitu dengan cara *roasting* oksidasi atau *bioleaching* sebelum dilindi dengan cara sianidasi atau cara pengolahan emas lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Kepala UPE Pongkor, PT. Antam, atas ijinnya untuk menguji dan mengambil percontohan ampas. Juga terima kasih untuk sdr. Eko Setyatmoko dan sdr. Sarjono selaku teknisi litkayasa yang telah membantu dalam uji analisis ayak dan uji pengkayaan cara graviti di laboratorium tekMIRA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Marsden, J. dan House, I., 2006; *The Chemistry of gold extraction*, 2<sup>nd</sup> edition, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc (SME), Colorado, USA, pp. 42-44.
- Oktaviani, R., 2008; Proses pengisian stope dengan material tailing di Pertambangan Emas Pongkor, *Jurnal APLIKA*, Vol. 8, No.1, Februari, hlm. 34 – 40.
- Prasetyo R, 2011; Kajian pemanfaatan limbah penambangan emas: studi kasus pemanfaatan tail-

- ing di PT. Antam UPE Pongkor”, Thesis S2, UI, <http://www.lontar.ui.ac.id/opac/themes/libri2>, diakses 2 Februari, jam 12.30.
- Rao, S.M, dan Reddy B.V., 2006; Characterization of kolar gold field mine tailings for cyanide and acid drainage, *Geotechnical and Geological Engineering*, 24: p.1545 – 1559.
- Supriadidjaja, A., Suriadarma, A., Ardiwilaga,S., Ruswandi, D., dan Amelia, R., 1998; Pemanfaatan limbah tailing proses sianidasi emas UPE Pongkor untuk material pengisi lubang tambang dalam; Laporan Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Mineral, Energi, Air dan Tanah; Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Bandung.
- Vaughan, J.P., 2004; The process mineralogy of gold: the classification of ore types, *Journal of Metal*, vol.56, No. 7, p.46 – 48.
- Warmada, I Wayan, 2006; Karakteristik mineralogi dan proses pengendapan emas pada endapan emas-perak epithermal Gunung Pongkor, Jawa Barat, *Media Teknik No.4, Tahun XXVIII*, Nopember, hlm. 32 – 36.