

APLIKASI ADSORBSI KARBON DAN RESIN PENUKAR ION SEBAGAI PENGGANTI PROSES MERRIL CROWE

^[1]Zhafran Naufal Yan Pratama, ^[2]Frideni Yushandiana P.G.F

Program Studi Teknik Metalurgi
Jurusan Teknik Pertambangan – Fakultas Teknologi Mineral
UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta. 55283

Abstrak

Pemanfaatan sumber daya mineral semakin meningkat, tidak terkecuali di Indonesia. Saat ini, Indonesia memproduksi sekitar 4% dari produksi emas global. Metode ekstraksi emas yang paling banyak digunakan saat ini adalah metode hidrometalurgi, yaitu metode pelarutan emas menggunakan reagen asam sianida. Proses ini umumnya disebut dengan proses sianidasi untuk mengekstrak kandungan emas dan perak dalam bijih menjadi larutan kaya yang senyawa kompleks sianida emas dan sianida perak. Kemudian tahap pemisahan padat-cair dan rekoveri larutan kaya hasil proses sianidasi umumnya dapat menggunakan beberapa metode kombinasi seperti proses merril crowe, proses adsorbsi karbon, proses resin penukar ion, dan proses elektrowinning. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai pertimbangan metode kombinasi antara proses adsorbsi karbon atau proses resin penukar ion yang dikombinasikan dengan proses elektrowinning sebagai pengganti metode *merril crowe* agar mampu menghasilkan peningkatan perolehan emas dan perak yang signifikan dalam produk akhir berupa *dore bullion*. melalui studi pustaka terhadap berbagai literatur yang berkaitan dengan tema dan tujuan penelitian. Metode *merril crowe* merupakan salah satu metode pada tahap pemisahan padat-cair dan rekoveri emas dari larutan kaya hasil sianidasi yang banyak digunakan karena kesederhanaan dan kemudahan kontrol terhadap prosesnya. Namun, metode ini memiliki kekurangan dalam kasus perolehan kadar emas-perak yang rendah dan akibat penambahan serbuk seng dapat menghasilkan pengotor baru pada produk akhir. Kekurangan dari metode *merril crowe* ini dapat diminimalisir dengan menggunakan metode kombinasi antara proses adsorbsi karbon atau resin penukar ion dan proses elektrowinning. Kombinasi kedua metode tersebut dapat diaplikasikan untuk menggantikan metode *merril crowe* akibat beberapa keunggulannya dalam segi perolehan emas-perak, tingkat kesterilan proses, dan efisiensi proses rekoveri untuk bijih emas kadar menengah hingga rendah. Namun, pada penerapan kombinasi kedua metode tersebut harus diperhatikan beberapa faktor utama pada proses adsorbsi karbon aktif atau resin penukar ion seperti kapasitas adaptif karbon dan resin, laju adsorpsi, kekuatan mekanik, ketahanan aus, karakteristik reaktivasi, distribusi ukuran partikel, densitas slurry, konsentrasi larutan, suhu operasi, laju alir larutan, serta konduktivitas larutan, voltase, dan efisiensi arus pada proses elektrowinning.

Kata Kunci : *Merril crowe*, Adsorbsi Karbon Aktif, Resin Penukar Ion, Elektrowinning.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya mineral semakin meningkat, tidak terkecuali di Indonesia. Indonesia merupakan negara yang luas dan memiliki sumber daya alam yang berlimpah. Emas, Nikel, Perak, dan Tembaga merupakan beberapa contoh logam berharga hasil eksploitasi sumber daya alam mineral yang pemanfaatannya luas dan berkaitan langsung dengan kebutuhan kehidupan masyarakat. Khususnya emas, logam berharga ini memiliki peran cukup penting, baik sebagai perhiasan, komponen elektronik, maupun standar keuangan. Saat ini,

Indonesia memproduksi sekitar 4% dari produksi emas global yang hampir setengahnya merupakan hasil produksi dari proses pertambangan Grasberg oleh PT. Freeport Indonesia. Selain PT. Freeport Indonesia, saat ini juga sudah semakin banyak perusahaan yang sudah mulai membangun dan mengoperasikan pabrik ekstraksi bijih emas secara mandiri, termasuk PT. Nusa Halmahera Mineral. Terlebih dengan adanya Undang-Undang Minerba sebagai tindak lanjut dari peraturan pelaksanaan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 yang

melarang perusahaan untuk mengekspor barang mentah hasil tambang.

Metode ekstraksi emas yang paling banyak digunakan saat ini adalah metode hidrometalurgi, yaitu metode pelarutan emas menggunakan reagen asam sianida. Proses ini umumnya disebut dengan proses sianidasi untuk mengekstrak kandungan emas dan perak dalam bijih menjadi larutan kaya yang senyawa kompleks sianida emas dan sianida perak. Larutan hasil proses sianidasi tersebut kemudian akan dimurnikan kembali pada tahap pemisahan padat-cair dan rekoveri untuk meningkatkan kadar emas dan perak terlarutnya sebelum diolah menjadi produk emas batangan berupa *dore bullion*.

Tahap pemisahan padat-cair dan rekoveri larutan kaya hasil proses sianidasi umumnya dapat menggunakan beberapa metode kombinasi seperti proses merril crowe, proses adsorpsi karbon, proses resin penukar ion, dan proses elektrowinning. Proses *merril crowe* merupakan proses pemisahan padat-cair dan rekoveri melalui mekanisme pengendapan dan presipitasi menggunakan serbuk seng. Proses *merril crowe* ini memiliki beberapa kekurangan yang menyebabkan perolehan emas dari proses ini tergolong rendah dan memungkinkan adanya deposit pengotor tambahan melalui serbuk seng yang digunakan. Oleh karena itu, pada perkembangannya metode kombinasi antara proses adsorpsi karbon atau proses resin penukar ion yang dikombinasikan dengan proses elektrowinning lebih banyak diaplikasikan akibat keunggulan dari segi perolehan emas dan perak, serta tingkat kesterilan proses dari tambahan bahan tertentu yang dapat menghasilkan pengotor baru.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai pertimbangan metode kombinasi antara proses adsorpsi karbon atau proses resin penukar ion yang dikombinasikan dengan proses elektrowinning sebagai pengganti metode *merril crowe* agar mampu menghasilkan peningkatan perolehan emas dan perak yang signifikan dalam produk akhir berupa *dore bullion*.

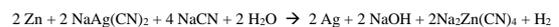
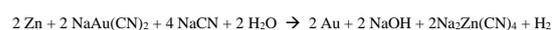
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui studi pustaka terhadap berbagai literatur yang berkaitan dengan tema dan tujuan penelitian terkait aplikasi proses adsorpsi karbon dan resin penukar ion sebagai pengganti proses merril crowe dalam sirkuit rekoveri larutan kaya emas dan perak hasil proses sianidasi.

MERRIL CROWE

Merril crowe adalah salah satu metode rekoveri emas dari larutan kaya hasil sianidasi menggunakan bantuan serbuk seng. *Merril crowe* meliputi proses pengendapan dan presipitasi serbuk seng yang melibatkan reaksi redoks klasik. Umumnya diterapkan pada larutan kaya emas dan perak yang berasal dari hasil proses pelindian sianidasi.

Keuntungan dari proses ini meliputi kesederhanaan dan kemudahan relative terhadap kontrol prosesnya. Namun, persyaratan untuk tahap pemisahan sebelum dilakukannya proses ini dan rendahnya tingkat perolehan akhir emas dan perak dari proses ini sering menjadi permasalahan utama. Larutan kaya umumnya harus dibersihkan terlebih dahulu dan dimasukkan dalam proses deaerator untuk menghilangkan sisa padatan dan oksigen. Setelah itu, larutan kaya harus diklarifikasi hingga sekitar 1 ppm atau dibawah 0,5 ppm padatan tersuspensi agar proses presipitasi dapat berlangsung secara optimal. Selanjutnya, proses presipitasi menggunakan serbuk seng dilakukan dengan penambahan serbuk seng sekitar 5 hingga 30 kali dari persyaratan persamaan stoikiometrinya. Hal tersebut bergantung pada komposisi larutan kaya dan efisiensi operasi proses yang ditargetkan. Proses presipitasi seng ini merupakan proses elektrokimia yang dilanjutkan dengan reaksi anodik dan katodik local memanfaatkan sifat keelektronegatifan unsur dalam larutan sianida. Berikut merupakan persamaan stoikiometri reaksi presipitasi seng yang berlangsung.



ADSORPSI KARBON

Karbon aktif merupakan bahan organik yang memiliki struktur dasar grafit, sehingga memiliki struktur pori internal yang sangat mengembang, memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar dengan nilai lebih dari 1.000 m²/g. Akibatnya, karbon aktif dapat digunakan dalam beragam aplikasi industri proses pemisahan.

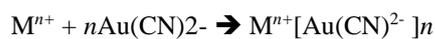
Sifat paling penting dari karbon aktif untuk digunakan dalam ekstraksi emas adalah sebagai berikut:

- Kapasitas adaptif
- Laju adsorpsi
- Kekuatan mekanik dan ketahanan aus

- Karakteristik reaktivasi
- Distribusi ukuran partikel

Pertimbangan nonteknis lainnya seperti biaya, ketersediaan, dan layanan oleh pemasok juga memengaruhi pemilihan karbon.

Larutan kaya hasil leaching nantinya akan diikat oleh pori-pori permukaan karbon aktif. Hal ini terjadi karena selektivitas karbon aktif dalam mengadsorpsi emas. Mekanisme kerja dari karbon aktif dapat digambarkan dengan persamaan reaksi berikut.



dimana pasangan ion, $M^{n+}[Au(CN)_2^-]_n$, adalah spesies emas yang teradsorpsi.

Proses adsorpsi karbon aktif secara umum dapat dilakukan melalui tiga metode yang berbeda, yaitu:

- *Carbon in pulp* (CIP)

Carbon in pulp (CIP) merupakan proses adsorpsi dengan karbon aktif yang dilakukan pada tangki yang berbeda dari tangki *leaching* dengan cara memompa larutan kaya hasil *leaching* ke tangki adsorpsi. Proses CIP lebih fleksibel daripada CIL karena jumlah tangki adsorpsi bisa ditambahkan sesuai dengan kebutuhan. Tingkat adsorpsi karbon aktif lebih rendah, sehingga kemungkinan kehilangan emas akibat partikel karbon yang hancur dapat dimilimalkan. Ukuran tangki untuk adsorpsi umumnya seperempat hingga sepersepuluh dari tangki pelindian. Proses ini umumnya dikonfigurasi dengan aliran *counter current* karbon yang dialiri slurry proses dalam beberapa tangki yang diaduk secara mekanis. Pada tangki terakhir konsentrasi emas dalam larutan akan habis akibat emas teradsorpsi ke karbon dan karbon segar atau karbon aktif kembali dimasukkan pada tangki terakhir ini yang ditransfer secara kontinyu ataupun batch. Hal tersebut mengakibatkan karbon pada tangki pertama memiliki muatan emas paling tinggi setelah mengalami kontak dengan larutan berkadar tertinggi dan karbon pada tangki terakhir memiliki muatan terendah dengan aktivasi tertinggi. Salah satu tantangan terbesar adalah mengontrol efisiensi penyaringan karbon antar tangki untuk memastikan aliran slurry tetap sesuai dengan yang diinginkan.

- *Carbon in column* (CIC)

Carbon in column (CIC) merupakan proses adsorpsi dengan karbon aktif yang dilakukan pada tangki yang berbeda dari tangki *leaching* dan dilakukan proses pemisahan *solid liquid* sebelum proses CIC berlangsung. CIC dilakukan untuk merecoveri emas dan perak dari larutan hasil *leaching* untuk mengambil kembali emas yang terbawa dalam *tailing*.

- *Carbon in leach* (CIL)

Carbon in leach (CIL) merupakan proses ~~adsorpsi~~ dengan karbon aktif yang dilakukan pada saat proses *leaching* berlangsung dengan cara penambahan karbon aktif pada tangki *leaching* secara langsung. Pada umumnya proses ini digunakan pada mineral bijih karbonat untuk mencegah mineral berharga atau emas teradsorpsi oleh karbonat dari bijih itu sendiri. Secara umum proses CIL mempunyai biaya modal lebih rendah daripada CIP (*Carbon in pulp*) karena proses adsorpsi dilakukan sekaligus dalam tangki pelindian dan jumlah tangki yang dibutuhkan lebih sedikit.

Berikut merupakan faktor-faktor utama yang memengaruhi efisiensi adsorpsi emas ke karbon, antara lain:

- Ukuran Partikel Karbon

Ukuran partikel karbon memiliki efek besar pada panjang pori rata-rata dalam partikel karbon dan laju adsorpsi meningkat dengan menurunnya ukuran partikel. Namun, pemilihan karbon berukuran partikel kecil juga harus mempertimbangkan beberapa faktor, antara lain: rentan terhadap kehilangan dan kecepatan fluidisasi yang lebih rendah. Sehingga pada umumnya digunakanlah karbon dengan distribusi ukuran lebar dengan sedikit perbedaan dalam proses pemuatan emas untuk meningkatkan efek kontak pertukaran ion (Bunzyl dan Schultz, 1982).

- Temperatur

Adsorpsi emas ke karbon merupakan reaksi *eksoterm*, sehingga menyumbang kemampuan untuk membalikkan adsorpsi dengan meningkatkan suhu. Akibatnya, kapasitas pemuatan berkurang seiring suhu meningkat. Namun, terdapat kondisi dimana Laju adsorpsi sedikit meningkat dengan meningkatnya suhu karena percepatan difusi spesies sianida emas, mengikuti perilaku yang dijelaskan oleh persamaan Arrhenius (MacDougall dan Hancock, 1981).

- **Konsentrasi Emas dalam Larutan**

Laju adsorpsi emas dan kapasitas pemuatan akan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi emas dalam larutan. Hal ini terjadi karena banyaknya partikel emas dalam larutan kaya akan menimbulkan potensi tumbukan yang besar untuk teradsorpsi sehingga laju adsorpsi emas akan meningkat (Marsden dan House, 2009).

- **Konsentrasi sianida bebas**

Laju pemuatan dan kapasitas emas pada karbon berkurang dengan meningkatnya konsentrasi sianida bebas. Namun, selektivitas karbon aktif untuk emas dibandingkan spesies sianida logam lainnya meningkat dengan meningkatnya konsentrasi sianida. Dalam praktiknya, konsentrasi sianida yang digunakan dalam sistem adsorpsi biasanya ditentukan oleh persyaratan untuk pelarutan emas yang optimal dan oleh tingkat degradasi sianida alami dalam rangkaian ekstraksi (Bailey, 1987).

- **pH Larutan**

Penurunan pH larutan meningkatkan laju adsorpsi dan kapasitas pemuatan. Dalam praktiknya, pH biasanya dipertahankan pada >10 untuk menghindari hilangnya sianida oleh hidrolisis, atau sebagai alternatif pH dapat dibiarkan menurun secara alami melalui CIP atau sirkuit CIL untuk membantu degradasi sianida sebelum pembuangan *tailing* (Marsden dan House, 2009).

- **Kekuatan ion**

Efek ini juga diilustrasikan oleh temuan bahwa kompleks sianida emas dapat dielusikan dari karbon dengan air terdeionisasi. Laju adsorpsi dan kapasitas pemuatan ditingkatkan dengan meningkatnya kekuatan ionik (Davidson, 1977).

- **Konsentrasi logam lain**

Dalam kondisi laboratorium, kapasitas pemuatan emas meningkat dengan meningkatnya konsentrasi kation dalam larutan dengan urutan sebagai berikut:



Dan berkurang dengan konsentrasi anion dalam urutan:



Efek ini diperparah dalam kondisi industri oleh adsorpsi spesies sianida logam lainnya yang bersaing untuk situs adsorpsi aktif dan tersedia. Ini menghasilkan kinetika adsorpsi yang lebih lambat dan mengurangi kapasitas keseimbangan untuk emas (Marsden dan House, 2009).

- **Oksigen terlarut**

Namun, efeknya paling signifikan dalam solusi kekuatan ionik rendah yang tidak lazim dari kebanyakan solusi pelindian industri. Meskipun demikian, beberapa manfaat diamati dalam sistem adsorpsi aktual - dikaitkan dengan oksidasi sianida katalitik. Ini menghasilkan penurunan konsentrasi sianida yang mendukung adsorpsi (Merwe dan Deventer, 1988).

- **Karbon *fouling***

Karbon *fouling*, atau keracunan karena adsorpsi, presipitasi, atau perangkap fisik spesies solusi lain dan konstituen bijih dapat memiliki efek buruk yang parah pada efisiensi adsorpsi emas (Marsden dan House, 2009).

Aktivasi Karbon

Bahan yang paling umum digunakan sebagai karbon aktif adalah kayu, gambut, tempurung kelapa, batubara, dan buah pips. Jenis bahan memiliki pengaruh pada struktur fisik produk, khususnya *volume* pori dan distribusi ukuran partikel.

Karbon diaktifkan dengan menghilangkan hidrogen atau fraksi yang kaya hidrogen dari bahan mentah berkarbon untuk menghasilkan residu berpori yang terbuka. Proses ini disebut aktivasi dan biasanya dicapai dalam dua tahap.

Pada tahap pertama, bahan dipanaskan hingga sekitar 500°C dengan penambahan reagen dehidrasi. Proses ini disebut karbonisasi pada tahap ini, sebagian besar pengotor dihilangkan sebagai atau tetap sebagai residu seperti tar pada karbon. Sehingga, atom karbon dibebaskan sampai batas tertentu dan dikelompokkan bersama sebagai formasi kristalografi. Formasi kristalografi ini dikenal sebagai kristalit elementer. Formasi ini menghasilkan produk dengan luas permukaan antara 10 dan 500 m²/g (dan kadang-kadang hingga 1.000 m²/g) yang sebagian besar disebabkan oleh pembentukan mikropori.

Tahap kedua terdiri dari memaparkan material karbon ke atmosfer udara oksidasi, karbon dioksida, dan atau oksigen (udara) pada suhu 700 hingga 1.000°C untuk membakar residu, seperti tar

dan untuk mengembangkan struktur pori internal. Reaksi lebih lanjut menghasilkan *burnout* sebagian atau seluruhnya dari lapisan karbon. Pelebaran pori-pori yang ada dan memperlihatkan permukaan kristalit elementer yang terbentuk selama karbonisasi. Atom karbon bagian tepi dan sudut kristalit elementer pada cacat atau diskontinuitas sangat reaktif karena valensi tidak jenuh dan disebut situs aktif.

Proses ini seringkali dilakukan selama reaktivasi karbon di pabrik ekstraksi emas dengan menambahkan uap ke dalam tanur reaktivasi. Aktivasi karbon dikatalisis oleh besi, tembaga, dan oksida dan karbonat dari logam alkali.

Regenerasi Karbon

Emas bukan merupakan satu-satunya bahan yang dapat terserap ke permukaan karbon bahan dan logam lain yang terdapat dalam bijih dan air sama-sama dapat terserap dan akan mengambil alih tempat penyerapan emas pada karbon. Bahkan karbon yang bersih pun dapat menciptakan pengotornya sendiri yang merupakan hasil dekomposisi sianida dalam proses elusi. Oleh karena itu, karbon harus diregenerasi terlebih dahulu sebelum dikembalikan ke alur CIP/CIL. Seluruh pengotor harus dipisahkan untuk membersihkan micropores pada karbon sehingga tersedia tempat untuk menampung emas.

Pada proses regenerasi karbon, terdapat 2 tahapan utama, yaitu:

- Pencucian asam pada elusi

Sebelum karbon diregenerasi, karbon terlebih dahulu dicuci dengan asam. Tahap ini disebut dengan elusi. Elusi dilakukan agar kandungan pengotor anorganik seperti reagen, logam lain, garam, dsb hilang karena terlarut karena larutan asam. Selain itu juga, proses elusi dilakukan untuk mengurangi kandungan emas yang tertangkap dalam karbon aktif sehingga persen kehilangan dapat diminimalisir.

- Regenerasi panas

Pada tahap ini, karbon dipanaskan sampai mencapai suhu tinggi (700°C). Regenerasi panas dilakukan untuk menghilangkan kandungan pengotor organik seperti minyak, lemak, sisa tumbuhan, ataupun sisa karbon itu sendiri.

Pada proses regenerasi dimulai dari proses penyaringan. Proses penyaringan dilakukan untuk mengurangi kandungan air permukaan pada karbon. Penyaringan dilakukan dalam beberapa

tahap hingga diperoleh persen padatan yang sesuai persyaratan. Setelah disaring, karbon dipanaskan didalam kiln. Pemanasan dilakukan untuk menghilangkan kandungan air kristal pada karbon. Selain itu juga, kandungan pengotor organik juga dihilangkan pada tahap ini. Proses pemanasan dilakukan beberapa tahap agar pengotor karbon dapat hilang secara maksimal. Selanjutnya, karbon didinginkan sebelum dikeluarkan ke tungku. Karbon panas tidak boleh langsung kontak dengan atmosfer karena akan menyebabkan pembakaran dan retak pada karbon akibat reaksi yang ditimbulkan antara karbon panas dengan oksigen (Marsden dan House, 2009).

Kinetika Adsorpsi Karbon

Adsorpsi sianida emas ke karbon aktif bergantung pada banyak faktor kimia dan fisika, yang mempengaruhi kinetika adsorpsi dan kapasitas muatan emas kesetimbangan. Laju awal adsorpsi emas sianida cepat, dengan adsorpsi terjadi di tempat yang paling mudah dijangkau di pori-pori makro, tetapi kinetika menurun seiring dengan mendekati kesetimbangan. Dalam kondisi ini laju dikendalikan oleh pengangkutan massal spesies sianida emas ke permukaan karbon aktif yang tersedia. Namun, setelah kapasitas adsorpsi ini telah digunakan, pseudoequilibrium ditetapkan saat adsorpsi harus berlangsung di pori-pori mikro. Hal ini membutuhkan difusi spesies sianida emas di sepanjang pori-pori dalam struktur karbon, biasanya proses jauh lebih lambat daripada difusi lapisan batas akibat panjang dan rumitnya pori-pori.

Energi aktivasi untuk adsorpsi emas ke karbon telah diperkirakan sebesar 11 kJ/mol, yang berada dalam kisaran kontrol transpor massa. Laju adsorpsi emas ke karbon memenuhi persamaan berikut :

$$\log C_t = mt + \log C_o$$

dimana :

C_t = konsentrasi emas pada waktu, C_o = konsentrasi emas awal
 m = konstanta laju (ditentukan dari plot $\log C$ versus waktu)

Elusi Karbon

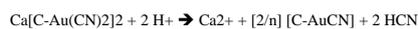
Elusi merupakan proses pelepasan emas dari karbon. Terdapat tiga metode dalam elusi, yaitu: Proses Zadra, Proses Zadra Tekanan Tinggi, dan Proses AARL. Sebelum dilakukan elusi terlebih dahulu dilakukan loaded carbon, yaitu

penyaluran karbon ke surge bin menggunakan pemompaan. Loaded carbon dilakukan setelah kadar emas dalam karbon mencapai minimal 1000 gpt dengan kapasitas 6 ton.

Setelah proses loaded carbon selesai, dilakukan proses elution di dalam elution column. Proses elusi dilakukan dalam 6 tahap. Namun, sebelumnya dilakukan pencucian carbon dalam column dengan menggunakan fresh water yang bertujuan untuk membersihkan karbon dari lumpur yang masih menempel. Tahapan – tahapan elusi, antara lain:

- Tahap Pencucian dengan Asam (Acid Wash)

Asam yang digunakan untuk mencuci karbon pada tahap ini adalah asam klorida. Pencucian dengan HCL ini bertujuan untuk menghilangkan atau melarutkan pengotor seperti ion organik, senyawa kalsium karbonat, magnesium karbonat dan silika yang teradsorpsi dan menutupi pori-pori karbon aktif. Persamaan reaksi :



Konsentrasi HCL yang dibutuhkan untuk proses elusi adalah 3% wt. Asam klorida ini diperoleh dengan cara mengencerkan larutan asam klorida yang mempunyai kemurnian 33% wt. Proses pengencerannya dilakukan dengan cara mengalirkan fresh water dari water tank dengan menggunakan elution water pump secara bersamaan masuk ke elution column. Larutan HCL yang telah digunakan dialirkan ke tangki terakhir untuk menjaga apabila sewaktu-waktu proses elution tidak berjalan dengan lancar (kemungkinan masih ada Au di dalam larutan), kandungan emasnya tidak terbuang. Selain itu larutan hasil pencucian asam bisa menurunkan pH sehingga proses pengendapan tailing di thickener bisa berjalan dengan baik.

- Tahap Pencucian Air (Water Fresh)

Tahap pencucian ini dilakukan dengan air panas yang bertujuan untuk mengeluarkan pengotor yang terlarut oleh HCL dari column. Air yang digunakan berasal dari fresh water tank yang terlebih dahulu melewati RHE (Recycle Heat Exchanger) dan PHE (Plate Heat Exchanger) untuk dipanaskan. Panas dalam PHE dihasilkan dari glycol yang dipanaskan oleh elution heater sedangkan RHE belum panas karena belum ada larutan yang keluar dari elution column. Air hasil dari pencucian keluar dari valve discharge elution

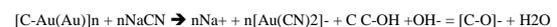
column dan dialirkan ke tangki terakhir adsorbition. Pada tahap ini dilakukan sampling pada saat akhir tahap 1 atau menit awal tahap 2 dan sampling kedua dilakukan saat menit terakhir.

- Tahap Pre-Treatment (Pre-Soak)

Pada tahap ini, emas dan perak mulai terlepas dari karbon dengan cara melemahkan ikatan antara senyawa kompleks emas dan perak dengan karbon. Prosesnya berlangsung dalam column dengan cara loaded carbon disemprot dengan larutan caustic cyanide yang merupakan campuran antara caustic (NaOH) dan cyanide (NaCN) yang dilarutkan dengan air dalam caustic cyanide tank yang dilengkapi dengan agitator. Konsumsi masing-masing reagent adalah 200-250 kg NaOH, 200-250 kg cyanide, dan selebihnya air untuk mencapai cyanide strenght antara 30.000 – 35.000 ppm atau masing-masing 3% NaOH dan 3% NaCN dengan Ph larutan sebesar 12,8. Larutan caustic cyanide melewati PHE untuk dinaikkan temperatur sampai 90-110 °C. Penyemprotan dengan caustic cyanide ini bertujuan untuk melemahkan ikatan kompleks Au/Ag dengan karbon dan tujuan dari pemanasan adalah untuk mempercepat reaksi.

- Tahap Pendaaur Ulangan Eluate (Recycle Elution)

Tahap ini merupakan puncak tahap pemisahan senyawa kompleks emas dan perak oleh air dari karbon. Senyawa kompleks emas dan perak dilarutkan oleh recycle water yang masuk ke dalam column. Hasil dari proses recycle elution masuk ke dalam eluate tank yang merupakan larutan kaya atau larutan elektrolit.



Sebelum masuk ke eluate tank larutan kaya terlebih dahulu melalui suatu saringan electrolyte filter. Alat ini terdiri dari dua buah filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran-kotoran yang terbawa oleh larutan sebelum masuk ke recycle tank dan eluate tank.

- Tahap Water Elution

Setelah melewati tahap keempat, masih ada kemungkinan emas dan perak tertinggal dalam karbon. Sehingga untuk mendapatkan emas dan perak yang masih tersisa ini, maka karbon yang masih ada di eluate column pada tahap ini disemprot atau dibilas dengan air panas. Air yang digunakan berasal dari fresh water tank yang dipanaskan terlebih dahulu di RHE dan PHE, pada

proses ini elution heater masih dijalankan (elution heater beroperasi dari awal tahap dua sampai akhir tahap lima) demikian juga dengan pompa sirkulasi panas. Air bilasan pada proses ini dialirkan ke recycle tank untuk elution berikutnya.

- Tahap Pendinginan (Cooling)

Pada tahap ini semua alat atau proses didinginkan, elution heater dimatikan tetapi pompa sirkulasinya masih berjalan. Air yang digunakan untuk mendinginkan karbon di elution column dialirkan ke recycle tank yang akan digunakan untuk proses elution selanjutnya bersama air yang berasal dari tahap lima.

RESIN PENUKAR ION

Resin penukar ion merupakan bahan sintetik yang terdiri dari matriks inert dengan gugus fungsi permukaan, seperti amina dan ester. Resin yang dibuat tanpa menggunakan pengencer pelarut dalam prosesnya memiliki tipe gel struktur matriks, sedangkan yang dibuat dengan pelarut memiliki struktur yang lebih terbuka dan berpori. Resin yang dibuat menggunakan pelarutan atau pengenceran lebih disukai untuk digunakan dalam sistem rekovery emas karena lebih memberikan luas permukaan yang tinggi untuk memungkinkan terjadinya adsorpsi ion dan memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik daripada resin tipe gel.

Resin umumnya diproduksi dengan ukuran diameter 0,25 hingga 0,60 mm. Struktur resin rentan terhadap kejutan termal dan osmotik, termasuk didalamnya guncangan osmotik akibat paparan berulang terhadap larutan asam dan basa dapat menyebabkan degradasi kimia dan fisik yang parah pada resin. Suhu operasi maksimum yang direkomendasikan untuk kebanyakan resin komersial adalah antara 60°C hingga 70°C. Faktor-faktor ini menghadirkan masalah yang signifikan untuk proses elusi dan regenerasi yang menyebabkan resin komersial tidak dapat bersaing dengan karbon aktif di sebagian besar sistem mineral akibat persyaratan untuk proses elusi dan regenerasi yang kompleks. Selain itu, resin juga memiliki selektivitas yang tergolong buruk. Namun, resin menawarkan beberapa keunggulan kimiawi jika dibandingkan dengan adsorpsi karbon aktif dan memiliki potensi teknis yang sangat baik untuk aplikasi dalam sistem rekovery emas dikemudian hari.

Resin memiliki potensi untuk memberikan kinetika pemuatan yang lebih cepat dan kapasitas pemuatan yang lebih tinggi daripada karbon aktif di

banyak sistem ekstraksi emas. Berikut beberapa karakteristik bijih yang menjadikan resin penukar ion lebih sesuai diaplikasikan dibandingkan adsorpsi karbon, antara lain :

- Partikel halus yang cenderung melapisi permukaan karbon dan menghalangi pori-pori, misalnya mineral lempung dan produk kalsin pemanggang.
- Terdapat kandungan kalsium karbonat dan foulant anorganik.
- Kondisi operasi pada suhu tinggi.
- Pengotor oleh senyawa organik yang terjadi secara alami seperti humates dan fulvates, atau reagen organik yang sengaja dimasukkan ke dalam proses seperti minyak tanah dan reagen flotasi.

Resin dapat diaplikasikan menggunakan metode perawatan dalam larutan (RIS) atau perawatan dalam pulp (RIP / RIL) dengan cara yang mirip dengan metode karbon aktif (CIC, CIP, dan CIL).

- *Resin In Solution (RIS)*

Sistem RIS dapat dioperasikan dalam metode yang disematkan atau sebagai lapisan yang terfluidisasi. Resin memiliki kepadatan lebih rendah dari karbon aktif dan laju aliran yang lebih rendah daripada yang digunakan dalam sistem karbon harus diterapkan untuk aplikasi sebagai lapisan yang terfluidisasi.

- *Resin In Pulp (RIP)*

Sistem ini dioperasikan dalam konfigurasi yang mirip dengan sistem CIP / CIL dengan konsentrasi resin dipertahankan antara 10 hingga 20 g/L. Densitas resin yang lebih rendah dibandingkan dengan karbon menghasilkan kecenderungan yang lebih besar untuk mengembangkan profil konsentrasi dalam tangki adsorpsi dengan peningkatan resin yang mengapung di permukaan slurry, seiring dengan semakin tingginya densitas slurry. Oleh karena itu, sistem adsorpsi dalam pulp perlu dioperasikan pada kepadatan slurry yang rendah, meskipun hal ini tergantung pada karakteristik slurry. Konsentrasi resin yang digunakan biasanya lebih tinggi daripada karbon dalam sistem CIP dan CIL, dengan konsentrasi volume mulai 5% hingga 15%.

Elusi Resin Penukar Ion

Resin yang telah digunakan harus dielusi untuk memungkinkan penggunaan dan perolehan emas pada tahap selanjutnya agar memungkinkan

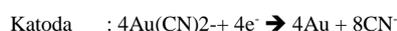
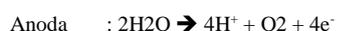
daur ulang resin kedalam sirkuit adsorpsi secara ekonomis. Resin yang dielusi harus mengandung 25 hingga 50 gram emas per ton agar dapat digunakan kembali secara efektif. Selain itu, untuk menghindari penumpukan elemen pengotor yang akan mengurangi adsorpsi emas, spesies teradsorpsi lain harus dikeluarkan dan dihilangkan dari sistem.

Semua sistem elusi yang tersedia untuk pengolahan resin basa lemah dan kuat beroperasi dalam kondisi suhu dan tekanan rendah. Hal tersebut dikarenakan suhu di atas sekitar 60°C dapat menyebabkan degradasi resin yang berlebihan. Perlengkapan dan proses dalam elusi resin ini kurang lebih sama dengan yang digunakan dalam elusi karbon. Proses perolehan kembali logam biasanya menggunakan elektrowinning atau presipitasi yang harus dioperasikan secara seri dengan proses elusi untuk mengurangi konsentrasi emas dalam eluant dan memungkinkan daur ulang solusinya yang harus dikeluarkan untuk menghilangkan ion logam pengotor yang dapat menumpuk di eluant.

ELEKTROWINNING

Electrowinning adalah proses pengambilan logam-logam yang terkandung di dalam air kaya dengan cara prinsip elektrolisa, yaitu mengendapkan logam yang diinginkan dari larutan kaya dengan memberikan arus listrik searah pada elektroda yang digunakan sehingga terjadi proses reduksi dan oksida. Proses ini bertujuan mengambil Au dan Ag yang terkandung dalam larutan kaya.

Larutan kaya yang telah diambil logam emas dan peraknya disebut *spent electrolyte*. Au dan Ag yang terkandung dalam larutan kaya akan menempel pada katoda. Hal ini karena Au dan Ag bermuatan positif, sedangkan katodanya bermuatan negatif. Pada katoda, tidak hanya ion Au dan Ag yang tereduksi menjadi bentuk solid (*cake*) akan tetapi terdapat logam pengotornya lain yang ikut tereduksi menjadi bentuk solid, sedangkan pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi air menjadi unsur-unsurnya. Reaksi elektrolisis yang terjadi pada proses *electrowinning* :



Deposisi emas selama proses elektrowinning dikontrol secara elektrokimia pada rentan potensial -0,85 V hingga -1,0 V, hal tersebut bergantung pada kondisi larutan. Laju reaksi di wilayah ini dapat dijelaskan melalui persamaan Butler-Volmer. Pada potensi yang lebih negatif, laju deposisi akan bergantung pada laju transpor massa spesies Au (I) sianida ke katoda. Pada kasus larutan yang mengandung konsentrasi emas rendah, sel elektrowinning harus dioperasikan dalam kondisi kontrol transport massa untuk memaksimalkan laju deposisi dan memungkinkan elektrowinning berlangsung secara ekonomis. Arus optimal untuk pengendapan emas merupakan kondisi saat laju pengendapan hanya dikontrol oleh transpor massa yang dapat meminimalkan reaksi samping yang terjadi di katoda. Akibatnya, untuk sistem elektrowinning yang beroperasi di atas rapat arus pembatas, laju ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi transportasi massa Au (I) sianida ke katoda, seperti konsentrasi emas dan koefisien perpindahan massa dari sistem.

Koefisien transfer massa bergantung pada hidrodinamika sistem sel-elektrolit. Berikut merupakan faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi sistem pada proses elektrowinning, antara lain :

- Konsentrasi Emas

Pengaruh konsentrasi emas pada laju pengendapan diilustrasikan oleh kurva arus-potensial untuk dua konsentrasi emas. Arus pembatas dua kali lipat untuk peningkatan 100% konsentrasi emas.

- Suhu Operasi

Peningkatan suhu elektrolit memiliki pengaruh sebagai berikut terhadap elektro deposisi emas :

- Koefisien difusi Au (I) sianida meningkat.
- Konduktivitas larutan meningkat.
- Kelarutan oksigen menurun, mengurangi jumlah oksigen yang tersedia untuk reduksi di katoda.

Peningkatan koefisien difusi dapat meningkatkan laju deposisi emas, sedangkan peningkatan konduktivitas dan penurunan kelarutan oksigen dapat meningkatkan efisiensi arus sel. Hal tersebut menghasilkan keuntungan pada operasi sistem *electrowinning* suhu tinggi.

- Luas Permukaan Katoda

Efisiensi elektrowinning dapat dimaksimalkan dengan memaksimalkan luas

permukaan katoda dengan menggunakan elektroda tiga dimensi seperti sabut baja pada sel Mintek.

- Laju Alir Larutan

Laju alir larutan dapat menentukan transport massa spesi dalam sel untuk pengangkutan emas sianida ke permukaan katoda. Laju alir yang rendah dapat menurunkan rapat arus pembatas dan mendorong pembentukan lumpur di bawah kondisi operasi tertentu. Sebaliknya, penggunaan laju alir yang tinggi dapat mendorong pembentukan produk di katoda.

- Konduktivitas Larutan

Konduktivitas larutan dapat menentukan penurunan potensial ohmik pada sel. Semakin tinggi konduktivitas suatu larutan, semakin rendah kehilangan listrik yang dapat terjadi dalam larutan. Umumnya sel elektrowinning dioperasikan dengan konduktivitas elektrolit sebesar 2 S/m. Larutan pelindian umumnya memiliki konduktivitas yang relatif rendah, sehingga harus ditingkatkan secara signifikan agar proses berjalan secara efisien. Faktor ini ditambah dengan densitas arus pembatas yang sangat rendah, sehingga mencegah penggunaan elektrowinning pada larutan dibawah 10 gram per ton Au.

- Voltase Sel

Tegangan dan arus yang harus diterapkan pada sel untuk mendapatkan emas yang paling efisien bergantung pada desain sel dan kondisi larutan, termasuk konduktivitas, pH, suhu, dan konsentrasi semua spesies ionik yang ada. Dalam sistem sel industri, umumnya digunakan voltase sebesar 2 V sampai 4 V untuk memungkinkan hilangnya larutan dan reaksi samping.

- Efisiensi Arus Sel

Laju deposisi meningkat dengan meningkatnya arus pada saat efisiensi arus maksimum diperoleh dalam sistem. Umumnya digunakan arus sel sebesar 30 hingga 100 A/m² dengan efisiensi arus tipikal 2% hingga 8% yang bergantung pada konfigurasi sel, konsentrasi emas, komposisi elektrolit, dan sifat hidrodinamik dari elektrolit.

- Konsentrasi Sianida

Pengaruh konsentrasi sianida pada kurva arus-potensial untuk pengendapan emas menunjukkan pergeseran negatif potensial sekitar 0,2 V untuk peningkatan sepuluh kali lipat dalam konsentrasi sianida dari 5 g/L NaCN menjadi 50 g/L. Tegangan yang lebih tinggi harus diterapkan pada konsentrasi yang lebih tinggi untuk memastikan

bahwa sistem dioperasikan pada kisaran arus pembatas.

Terakhir dilakukan pelepasan *cake* dari batang katoda dengan cara menyemprotkan air pada batang katoda, air sisa penyemprotan di tampung di dalam *spent sump*. Sedang *overflow* dari *electrowinning cells* akan masuk ke dalam *spent return sump* sebagai *barren solution*. *Barren solution* masuk ke dalam *cyanide holding tank* yang akan digunakan sebagai *make up cyanide* karena masih mengandung emas sianida dan digunakan untuk menaikkan pH di tangki *leaching* pertama. Secara umum, proses elektrowinning memiliki beberapa keuntungan utama jika dibandingkan dengan proses presipitasi seng pada proses *merril-crowe*, antara lain :

- Mampu menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi, dengan hanya sedikit proses pemurnian lanjutan.
- Mudah dioperasikan
- Tidak menghasilkan penambahan pengotor ke dalam proses
- Umumnya mampu mencapai efisiensi single-pass yang rendah untuk kebutuhan modal yang sebanding.

4. KESIMPULAN

Metode *merril crowe* merupakan salah satu metode pada tahap pemisahan padat-cair dan rekoveri emas dari larutan kaya hasil sianidasi yang banyak digunakan karena kesederhanaan dan kemudahan kontrol terhadap prosesnya. Namun, metode ini memiliki kekurangan dalam kasus perolehan kadar emas-perak yang rendah dan akibat penambahan serbuk seng dapat menghasilkan pengotor baru pada produk akhir. Kekurangan dari metode *merril crowe* ini dapat diminimalisir dengan menggunakan metode kombinasi antara proses adsorpsi karbon atau resin penukar ion dan proses elektrowinning. Kombinasi kedua metode tersebut dapat diaplikasikan untuk menggantikan metode *merril crowe* akibat beberapa keunggulannya dalam segi perolehan emas-perak, tingkat kesterilan proses, dan efisiensi proses rekoveri untuk bijih emas kadar menengah hingga rendah. Namun, pada penerapan kombinasi kedua metode tersebut harus diperhatikan beberapa faktor utama pada proses adsorpsi karbon aktif atau resin penukar ion seperti kapasitas adaptif karbon dan resin, laju adsorpsi, kekuatan mekanik, ketahanan aus, karakteristik reaktivasi, distribusi ukuran partikel, densitas slurry, konsentrasi larutan, suhu operasi, laju alir larutan,

serta konduktivitas larutan, voltase, dan efisiensi arus pada proses elektrowinning.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimus. 2018. *Meteks Meryll Crowe*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Bailey, P.R. 1987. Application of activated carbon to gold recovery. Pages 379– 614 in *The Extractive Metallurgy of South Africa*. Edited by G.G. Stanley. Monograph Series M7. Johannesburg: South African Institute of Mining and Metallurgy.
- Bunzyl, K., and W. Schultz. 1982. Kinetics of Differentially Small Conversions in Isotopic and Contact Ion Exchange. *Analytical Chemistry* 54:272–277.
- Cristovici, M.A. 1986. Recovery of gold from old tailings ponds. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin* 79:27–33.
- Davidson, R.J, dan D. Duncanson. 1977. The elution of gold from activated carbon using deionized water. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*:77:254–261.
- G. Deschênes. 2016. *Gold Ore Processing Project Development and Operations (Second Edition)*. Singapore: Fugue Pte Ltd.
- Himpunan Mahasiswa Tambang. 2015. *UU Minerba Tahun 2014*, <https://hmt.mining.itb.ac.id/uu-minerba-tahun-2014/>, diakses pada tanggal 02 Februari 2021 pukul 19.33 WIB.
- MacDougall, G.J., and R.D. Hancock. 1981. Gold complexes and activated carbon: A literature review. *Gold Bulletin* 14:(4):138–153.
- Mann, A.W. 1984. Redistribution of the oxidised zone of some W.A. deposits. In *Gold Mining, Metallurgy and Geology*. Melbourne: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Marsden, John.O, dan House, C. Lain. 2009. “The Chemistry of Gold Extraction Second Edition”. Colorado: SME.
- McQuiston, F.W, dan R.S. Shoemaker. 1975. *Gold and Silver Cyanidation Plant Practice. Volume 1. SME-AIME Monograph*. Salt Lake City, UT: SME- AIME.
- Van Der Merwe, P.F, dan J.S.J. Van Deventer. 1988. The influence of oxygen on the adsorption of metal cyanides on activated carbon. *Chemical Engineering Communications* 65:121–138.