



Proses Pengolahan dan Pemurnian Bijih Tembaga dengan Cara Konvensional dan Biomining

Untung Sukamto, Dyah Probawati, Anton Sudiyanto

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

E-mail : cak_oen2000@yahoo.com, dprobawati@gmail.com, anton_sudiyanto@yahoo.co.id

Abstract

Indonesia has ore reserves of copper (Cu) which is very large, most of the reserves with porphyry Cu content in the ore vary between 0.1 - 2%. In addition to Cu, usually ore associated with other metals such as gold (A), silver (Ag) and rare metals such as Palladium (Pd), Selenium (Se) and others. Several types of Cu ore there is Bornite (Cu_5FeS_4), Chalcopyrite ($CuFeS_2$), Covellite (CuS) with some impurities such as pyrite (FeS_2), Magnetite (Fe_3O_4), hematite (Fe_2O_3), or Quartz (SiO_2). Caused most of the sulfide minerals in the conventional treatment (physical - chemical) would be more effective if the initial process is "concentrating using flotation and gravity if it is in many ores of gold (Au) in the form of Native. Furthermore, conventional purification process using Pyro way Metallurgy, Metallurgy and Electro Hydro Metallurgy.

Biomining mineral extraction using bacteria. Definition biomining intact is the process of extracting valuable minerals from ore or tailings from mining rest with the help of microorganisms, especially bacteria. Biomining process copper ore by leaching microbial-based reaction that uses bacteria *Acidithiobacillus ferrooxidans* biomining is an effective technology and environmentally friendly which can be used for purification of ore and precious metals in concentrate.

Keywords : Processing Refining Copper Ore – Conventional – Biomining

Pendahuluan

Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur kristal FCC. Tembaga ini mempunyai sifat sifat yang sangat baik yakni; sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, mampu tempa, duktil dan mudah dibentuk menjadi plat-plat atau kawat.

Bijih-bijih tembaga dapat diklasifikasikan atas tiga golongan yaitu Bijih Sulfida, Bijih Oksida, dan Bijih murni (native).

Tabel 1. Mineral Tembaga Terpenting

Mineral	Rumus kimia	Kandungan tembaga
Chalcopyrite	$Cu Fe S_2$	34,6 %
Bornite	$Cu_5 Fe_2 S_3$	55,6 70 %
Chalcocite	$Cu_2 S$	68,5 %
Melachite	$Cu CO_3 Cu(OH)_2$	57,4 %
Native Copper	Cu	99,99 %
Herogenite	$Cu_2O_3 CuO_n H_2O$	-

Ditinjau dari sifat kimianya logam-logam mempunyai oksida-oksida pembentuk basa dan berdasarkan sifat-sifat logam terhadap oksida ini logam-logam tersebut dapat digolongkan menjadi;

- Logam Mulia, yaitu logam yang tidak dapat mengalami oksida, misalnya; Au, Pt, Ag dan Hg.
- Logam setengah mulia, yaitu logam yang agak sukar teroksidasi, misalnya Cu.
- Logam tidak Mulia, yaitu logam-logam yang dalam keadaan biasa dan pada perubahan temperatur mudah teroksidasi, misalnya K, Na, Mg, Ca, Al, Zn, Fe, Sn, Pb dll.

Terlihat bahwa logam Cu merupakan logam setengah mulia yang agak sukar teroksidasi, maka pada **Tabel 1** mineral tembaga terpenting berada pada senyawa sulfida dan hidroksida.

Proses ekstraksi logam-logam secara kimia-fisik (konvensional) biasa dilakukan dengan metode Pyrometallurgy atau Hydrometallurgy dan pemurnian logamnya menggunakan Electrometallurgy. Logam dalam mineral akan mudah diekstrak dari suatu bijih menggunakan metode Pyrometallurgy apabila mineralnya dalam senyawa oksida, sedangkan logam pada mineral dengan senyawa hidroksida dan karbonat akan mudah diekstrak menggunakan metode Hydrometallurgy. Oleh karena itu bijih tembaga senyawa sulfida untuk dapat diekstrak dengan Pyrometallurgy, maka logam pengotor maupun logam utamanya harus diubah dulu menjadi senyawa oksida dengan proses Pemanggangan (Roasting). Sedangkan bijih dengan senyawa hidroksida maupun karbonat dapat





diekstraksi dengan Hydrometallurgy.

Berbeda dengan konsep kimia-fisik yang berprinsip konvensional, teknologi Biomining untuk memperoleh tembaga menggunakan prinsip dari proses bioleaching yang mengubah bijih tembaga memperoleh tembaga yang umumnya berbentuk tembaga sulfida tak larut menjadi bentuk tembaga sulfat yang lebih larut dalam air menggunakan prinsip dari proses bioleaching. Proses ini bertujuan untuk menciptakan kondisi asam dari senyawa sulfur yang tereduksi sehingga dapat menghasilkan logam terlarut tembaga yang diinginkan untuk diproses lebih lanjut dalam proses smelting. Proses biomining pada dasarnya adalah proses Hydrometallurgy namun reagen pelindi (leaching)-nya tidak menggunakan bahan kimia tetapi menggunakan bakteri, sehingga lebih ramah lingkungan.

Kajian Proses

Proses Fisik-Kimia (Konvensional)

Untuk mendapatkan metal Cu yang lebih murni biasanya dilakukan cara metalurgi ekstraksi (pengambilan logam) terpadu, atau dengan kata lain baik secara pyrometallurgy, hydrometallurgy dan electrometallurgy. Disamping mendapatkan metal / logam utama, juga akan didapatkan metal sampingan yang tidak kalah pentingnya dengan metal utamanya. Seperti halnya dalam ekstraksi logam tembaga akan didapatkan emas dan perak dan gas SO_2 yang dijadikan produk samping.

Bijih tembaga pada umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu : sulfide ore, oxide ore maupun native ore. Ore / bijih yang sangat penting adalah sulfide ore, karena pada umumnya mempunyai kadar relatif tinggi. Mineral penting pada bijih tembaga biasanya adalah: Chalcocite (Cu_2S), Chalcopyrite (CuFeS_2), Bornite (Cu_2CuSFeS), Covellite (CuS); disamping itu ada karbonat misalnya Malachite ($\text{CuCO}_3 \text{ Cu(OH)}$) dan azurite ($2 \text{ CuCO}_3 \text{ Cu(OH)}_2$).

Bijih tembaga berbentuk sebagai vein / urat, yang tersebar di dalam batuan beku merupakan butiran-butiran kecil. Biasanya berasosiasi dengan silica (50-60 %), besi (10-20 %), sulfur (10 %) dan sejumlah kecil alumina, calcium, oksida, cobalt, selenium, tellurium, perak dan emas.

Konsentrasi (proses pemisahan mineral berharga dengan mineral pengotornya) tembaga biasanya dengan proses meja goyang, sluice box atau flotasi tergantung pada ukuran butir mineralnya. Apabila ukuran butirannya kasar (> 200 mesh atau $> 74 \mu\text{m}$) digunakan proses meja goyang atau sluice box, bila ukuran butirannya halus (< 200 mesh atau $< 74 \mu\text{m}$) maka menggunakan proses flotasi. Dengan proses konsentrasi ini diharapkan mineral tembaga akan terpisah dari kotoran maupun mineral zinc, timbal dan non sulfida. Pada umumnya hasil dari proses konsentrasi menghasilkan konsentrat (sekumpulan mineral berharga) berkadar 25-30% Cu.

Konsentrat hasil konsentrasi masih mengandung besi dalam jumlah yang banyak perhatikan komposisi Chalcopyrite (CuFeS_2) dan Bornite (Cu_2CuSFeS). Disamping itu masih ada logam impurities (pengotor) lainnya. Untuk dapat diambil metalnya maka dilakukan ekstraksi melalui 3 tahap, yaitu : Tahap I Smelting (peleburan) dalam reverberatory furnace (tungku pantul), untuk mendapatkan matte ($\text{Cu}_2\text{S FeS}$); Tahap II Conversion / Bessemering : merupakan proses dari matte untuk dijadikan Blister Copper (Crude Copper) dan Tahap III Refining (pemurnian) untuk mendapatkan tembaga murni (kadar 98 % Cu). Untuk mendapatkan kadar 99,95 % Cu dilakukan elektrolisa (lihat **Gambar 1**).

Secara sederhana proses pengolahan untuk ekstraksi bijih tembaga-besi-sulfida menjadi tembaga terdiri dari beberapa unit operasi dan unit proses sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 2**.

Dari Gambar 1. dan 2. dapat dijelaskan bahwa pengolahan bijih tembaga konvensional melalui beberapa tahap, yaitu: liberasi, pengapungan (flotasi), pemanggangan, peleburan, perubahan dan elektrolisis.

Pabrik pengolahan (mill) menghasilkan konsentrat tembaga dari bijih yang ditambang melalui pemisahan mineral berharga dari pengotornya (proses konsentrasi). Langkah-langkah utamanya adalah penghancuran (crushing), penggerusan (grinding/milling), pengapungan (flotasi), dan pengeringan (drying). Penghancuran dan penggerusan mengubah bongkah bijih menjadi berukuran halus. Penghalusan ukuran butir berfungsi untuk membebaskan butiran (liberasi) yang mengandung tembaga dan emas, serta untuk proses pemisahan dan menyiapkan ukuran yang sesuai dengan proses selanjutnya (konsentrasi dan ekstraksi).

Bijih yang sudah halus diolah selanjutnya melalui proses flotasi, yaitu untuk menghasilkan konsentrat tembaga. Permukaan mineral yang bersifat hydrophobic atau aerophilic (menolak air) dipisahkan dengan yang bersifat hydrophilic atau aerophobic (menerima air). Pada proses pengapungan (flotasi), bubur konsentrat (slurry) yang terdiri dari bijih yang sudah halus (hasil gilingan) dicampur dengan reagen, kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian tangki pengaduk yang disebut sel flotasi, secara bersamaan dipompakan udara ke dalam slurry tersebut.

Reagen yang digunakan berupa kapur, pembuih (frother) dan kolektor. Kapur berfungsi untuk mengatur pH. Pembuih membentuk gelembung stabil yang tidak mudah pecah. Gelembung-gelembung mengapung ke permukaan sel flotasi sebagai buih. Reagen kolektor bereaksi dengan permukaan partikel mineral sulfida logam berharga, sehingga menjadikan permukaan tersebut bersifat menolak air (hydrophobic). Butir mineral sulfida tersebut





menempel pada gelembung udara yang terangkat dari zona slurry ke dalam buih yang mengapung di permukaan. Buih bermuatan mineral berharga tersebut yang menyerupai buih deterjen berkilap metalik akan meluap dari bibir atas mesin flotasi dan masuk ke dalam palung (launders) sebagai tempat pengumpulan mineral berharga. Mineral berharga yang terkumpul di dalam palung tersebut adalah konsentrat. Konsentrat (dalam bentuk slurry, 65% solid). Selanjutnya konsentrat dikeringkan sampai kandungan airnya tinggal 9%.

Emas kasar dan bebas, tidak bereaksi dengan baik pada proses flotasi. Emas tersebut dipisahkan dan diambil dengan menggunakan konsentrator (misalnya Knelson), yaitu sebuah sistem pengambilan yang juga berfungsi sebagai pemisahan, dilakukan secara gravitasi dan menggunakan daya sentrifugal. Dengan demikian, perolehan emas dari bijih akan mengalami peningkatan. Bahan yang tak bernilai ekonomi terkumpulkan di dasar sel flotasi, sebagai limbah yang disebut tailing. Tailing ini disalurkan menuju areal pembuangan (tailing dump).

Pada umumnya konsentrat tembaga dari hasil proses flotasi mengandung beberapa unsur dengan kisaran kadar: 30% Cu, 30 ppm Au, 50 ppm Ag, 30% S, 25% Fe, 15% gangue minerals yang selanjutnya dilebur dan dimurnikan.

Konsentrat tembaga hasil proses flotasi dipanggang (roasting) untuk mengubah besi sulfide menjadi besi oksida, sedangkan tembaga tetap sebagai sulfida melalui reaksi : $4\text{CuFeS}_2 + 9\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2$.

Konsentrat bijih yang sudah melalui pemanggangan kemudian dilebur dalam Reverberatory Furnace hingga mencair dan terpisah menjadi 2 (dua) lapisan. Lapisan bawah berupa copper matte, mengandung Cu_2S dan besi cair, sedangkan lapisan atas merupakan terak silikat yang mengandung FeSiO_3 . Copper matte dipisahkan dari terak berdasarkan perbedaan gravitasi. Selanjutnya copper matte (68% Cu) dipindahkan ke dalam tungku Bessemer Converter dan secara bersamaan ditiupkan udara sehingga terjadi reaksi redoks yang menghasilkan tembaga lepuh (blister copper, 98,9% Cu). Blister Copper masih mengandung sejumlah unsur-unsur besi, belerang, seng, nikel, arsen dsb. sehingga blister ini harus diproses ulang (refining) yang pelaksanaannya dapat dilakukan pada Bessemer Converter (**Gambar 3**)

Selain itu pemurnian tembaga dapat juga dilakukan dengan cara elektrolisis (electrometallurgy). Blister Copper digunakan sebagai anoda, sedangkan tembaga murni digunakan sebagai katodanya. Elektrolit yang digunakan adalah larutan CuSO_4 . Selama proses elektrolisis, Cu dipindahkan dari anoda ke katoda, dengan menggunakan potensial tertentu sehingga bahan pengotor dapat terpisah.

Unsur-unsur dan mineral ikutan dalam konsentrat yang diolah, menjadi bagian dari by product yang terdiri atas gas buang SO_2 , lumpur anoda (anode slime), terak besi (slag) dan gipsum. Limbah gas SO_2 tersebut diproses lebih lanjut menjadi asam sulfat yang dapat digunakan sebagai bahan baku pupuk, sedangkan terak besi dan gipsum digunakan sebagai bahan baku industri semen. Lumpur anoda mengandung emas berkadar $\pm 3,25\%$ dan $\pm 6,25\%$ perak.

Proses pengolahan bijih dengan tenaga listrik (electrometallurgy) mempunyai prinsip seperti pada elektrolisa dan electrothermis. Pada proses ini kecuali diperlukan arus listrik sebagai sumber energi juga diperlukan elektroda (electrodes) dan cairan elektrolit (electrolyte).

Elektroda harus memiliki sifat-sifat :

1. Konduktor listrik yang baik.
2. Potensial yang terbentuk di sekitar elektroda harus rendah.
3. Tidak mudah bereaksi dengan metal yang lain dan tidak membentuk campuran yang dapat mengganggu proses elektrolisa.

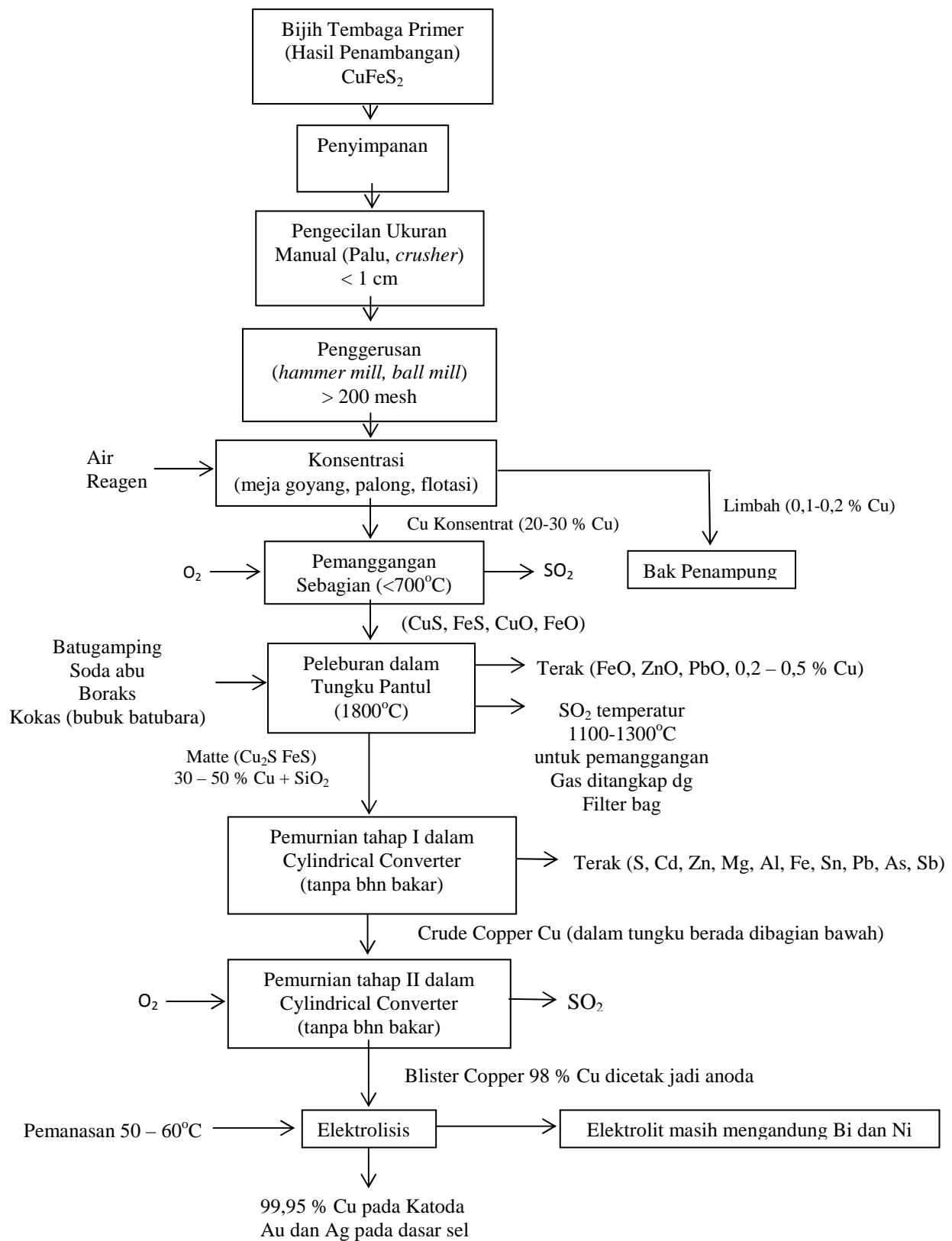
Bila elektroda itu padat, ada syarat tambahan agar proses elektrolisa berlangsung memuaskan, yaitu harus :

1. Mudah diperoleh atau disiapkan dengan murah.
2. Tahan korosi dalam zat larut.
3. Stabil, kuat dan tidak mudah terkikis (resistance to abrasion).
4. Harus murah harganya.

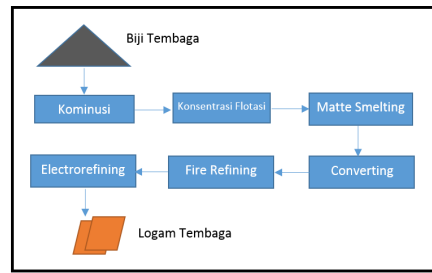
Elektrolit harus memiliki sifat-sifat :

1. Memiliki daya hantar ion yang tinggi.
2. Tidak mudah terurai atau bereaksi (high [chemical](#) stability).
3. Memiliki daya larut yang tinggi bagi [metal](#) yang diinginkan.

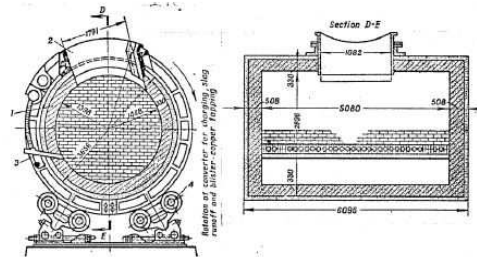




Gambar 1. Diagram Alir Pengolahan-Pemurnian Bijih Tembaga Konvensional



Gambar 2. Diagram Alur Proses Pengolahan Biji Tembaga

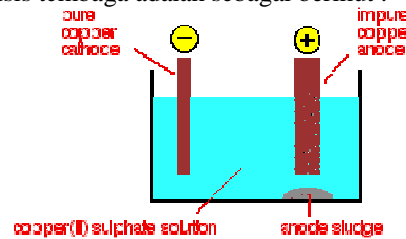


Keterangan : 1-lining; 2-nose or mouth; 3-tuyere; 4-roller stand

Gambar 3. Bessemer Converter untuk Biji Tembaga

Peralatan yang biasa dipakai *electric arc furnace*.

Proses Electrometallurgy digunakan untuk memurnikan blister copper (98 % Cu) menjadi 99,95 % Cu dan memisahkan tembaga dengan emas dan perak. Shell terbuat dari beton dilapisi dengan timbal. Anoda terbuat dari tembaga yang akan dimurnikan, disusun dalam shell / tangki berselang seling dengan katoda yang terbuat dari lembaran tipis tembaga murni masing-masing seberat 10 lbs. Elektrolit terbuat dari campuran 4 % tembaga dengan 16 % asam sulfat dengan pemanasan 140 °F. Anoda dialiri arus positif sedangkan katoda dialiri arus negatif. Arus listrik yang digunakan adalah arus DC, sehingga diperlukan alat DC Regulated Power Supply dengan pengatur Voltage dan Amper. Pada umumnya voltage yang dibutuhkan ialah 0,30 – 0,35 V, sedangkan current densitynya antara 15 – 20 ampere / ft². Pada saat proses berlangsung shell dipanaskan antara 50-60°C agar arus listrik tidak terhambat. Diagram singkat elektrolisis tembaga adalah sebagai berikut :



Pada katoda, ion tembaga (II) diubah menjadi tembaga. $Cu^{2+} + 2 e^{-} \rightarrow Cu (s)$

Pada anoda, tembaga diubah menjadi larutan sebagai ion tembaga (II). $Cu (s) \rightarrow Cu^{2+} + 2 e^{-}$

Pengotor pada anoda akan terendapkan menjadi lumpur anoda (anode sludge). Sedangkan katoda akan habis menjadi ion tembaga (II), yang selanjutnya akan diubah menjadi tembaga murni pada anoda.

Ekstrasi Tembaga Dengan Metode Hydrometallurgy

Metoda ini dilakukan dengan cara melarutkan (leaching) bijih-bijih tembaga ke dalam suatu larutan tertentu, kemudian tembaga dipisahkan dari bahan ikutan lainnya (kotoran).

- Untuk leaching bijih tembaga yang bersifat oksida/karbonat, digunakan asam sulfat (H₂SO₄), seperti ditunjukkan pada reaksi: $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 + 2 H_2SO_4 \rightarrow 2 CuSO_4 + CO_2 + 3 H_2O$
- Untuk leaching bijih yang bersifat sulfida atau native digunakan ferri sulfat (Fe₂(SO₄)₃), seperti bijih chalcocite: $Cu_2S + 2 Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow Cu SO_4 + 4 FeSO_4 + S$

Untuk bijih chalcopyrite dan bornite, reaksinya berjalan lambat dan tidak dapat larut seluruhnya. Setelah hasil leaching dipisahkan dari bagian-bagian yang tidak dapat larut, kemudian larutan ini diproses secara elektrolisa, sehingga didapatkan tembaga murni. Adapun prosesnya adalah sebagai berikut :

- Mula-mula batuan tembaga dihancurkan hingga menjadi halus sampai mess tertentu.
- Selanjutnya tempatkan pada suatu tabung yang terbuat dari bahan tahan asam (plastik, fiber, dll) lalu ditambah air dengan ukuran tertentu.

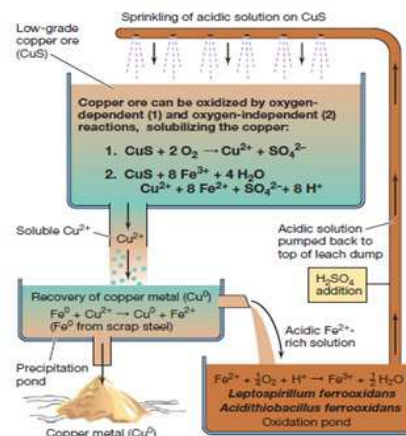
- c. Kemudian tambahkan asam sulfat (H_2SO_4) pekat sambil diaduk agar terbentuk larutan tembaga sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).
- d. Setelah terbentuk larutan tembaga sulfat pindahkan pada suatu tabung elektrolisis yang bertujuan untuk mengambil ion tembaga dari larutan tembaga sulfat yang terbentuk pada proses pengasaman.
- e. Secara bertahap ambil tembaga yang menempel pada katoda, dan tembaga hasil dari katoda adalah tembaga murni.
- f. Selanjutnya tembaga hasil dari katoda siap untuk proses peleburan pada tungku peleburan tembaga yang mampu menghasilkan suhu 1300°C .

Proses Biomining

Biomining yaitu ekstraksi bahan tambang menggunakan bakteri. Definisi Biomining secara utuh adalah proses ekstraksi mineral berharga dari bijihnya ataupun dari sisa tailing pertambangan dengan menggunakan bantuan mikroorganisme khususnya bakteri. Biomining ini merupakan teknologi yang efektif sekaligus ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk menambang logam dari bijihnya maupun mengekstrak logam dari mineral berharga.

Biomining pada Tembaga

Teknologi Biomining untuk memperoleh tembaga menggunakan prinsip dari proses bioleaching yang mengubah bijih tembaga yang umumnya berbentuk tembaga sulfida tak larut menjadi bentuk tembaga sulfat yang lebih larut dalam air. Proses ini bertujuan untuk menciptakan kondisi asam dari senyawa sulfur yang tereduksi sehingga dapat menghasilkan logam terlarut tembaga yang diinginkan untuk diproses lebih lanjut dalam proses smelting. Mikroba yang digunakan adalah bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* yang secara alami hidup dan terdapat di dalam bijih mineral hasil tambang dan melalui biomining populasi bakteri tersebut ditingkatkan dan digunakan dalam reaksi berbasis *microbial leaching*.



Sumber: Madigan, dkk, 2012

Gambar 4. Susunan dari reaksi serta mekanisme dalam microbial leaching mineral tembaga sulfida untuk menghasilkan logam tembaga

Proses reaksi utama pada bioleaching pada tembaga dimulai ketika terjadi oksidasi spontan dari sulfida oleh ion Fe (III) yang dihasilkan dari proses oksidasi ion Fe (II) oleh bakteri *A. ferrooxidans*. Fe (II) yang dioksidasi oleh bakteri ini terkandung secara alami dalam bijih tembaga. Reaksi oksidasi spontan CuS dengan ion Fe (III) berlangsung dalam kondisi anaerob (tidak ada O_2) sehingga dihasilkan ion Cu (II) serta ion Fe (II) pada akhir reaksinya. Efisiensi dari proses leaching ini dapat dilakukan dengan menggunakan tempat pembuangan seperti kolam besar yang dalam untuk menciptakan kondisi anoksigenik.

Proses berikutnya adalah tahapan yang disebut "Metal Recovery" dari Ion Cu (II) yang terbentuk dari reaksi awal. Potongan besi atau besi rongsok (*scrap steel ion*) atau (Fe^0) ditambahkan ke dalam kolam pengendapan untuk memperoleh kembali tembaga dari cairan leaching melalui proses reaksi kimia sebagaimana yang ditunjukkan dalam **Gambar 4** sehingga dihasilkan mineral tembaga yang lebih murni (Cu^0). Selain itu reaksi ini menghasilkan larutan kaya ion Fe(II) yang selanjutnya akan dipompa kembali menuju kolam oksidasi yang tidak terlalu dalam untuk selanjutnya dioksidasi kembali menjadi ion Fe (III) oleh bakteri pengoksidasi besi. Larutan asam yang mengandung ion Fe (III) ini lalu dipompa kembali ke bagian atas pengumpulan untuk selanjutnya ion Fe (III) ini digunakan mengoksidasi kembali CuS untuk menghasilkan logam tembaga yang lebih larut dalam air.

Kolam leaching yang digunakan dalam proses biomining tembaga ini juga diatur sedemikian rupa mengalami kenaikan temperatur pada tiap prosesnya yang juga memengaruhi jenis populasi mikroba yang berperan untuk mengoksidasi besi (ion Fe (II)). Dimulai dari *A. ferrooxidans* yang aktif mengoksidasi dan hidup pada kisaran suhu



30°C, kemudian pada suhu yang lebih tinggi digantikan oleh *Leptospirillum ferrooxidans* dan *Sulfobacillus*, lalu pada suhu 60-80°C proses oksidasi besi dilakukan oleh Arkea (Organisme yang hidup dalam lingkungan ekstrim dan berbeda dengan bakteri) seperti *Sulfolobus*.

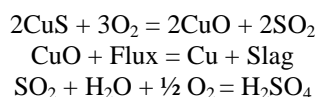
Diskusi

Indonesia mempunyai cadangan bijih tembaga (Cu) yang sangat besar, sebagian besar dalam cadangan porphyry dengan kadar Cu dalam bijih beragam antara 0,1-2%. Di samping Cu, biasanya bijih berasosiasi dengan logam lain seperti emas (Au), Perak (Ag) dan logam jarang seperti Palladium (Pd), Selenium (Se) dan lain-lain. Beberapa jenis bijih Cu yang ada adalah Bornite (Cu_5FeS_4), Calcopryrite (CuFeS_2), Covellite (CuS) dengan beberapa pengotor seperti Pyrite (FeS_2), Magnetite (Fe_3O_4), Hematite (Fe_2O_3), ataupun Quartz (SiO_2). Disebabkan kebanyakan mineral sulfida maka akan lebih efektif jika proses awal yang dilakukan adalah "Pengkonsentrasian" dengan menggunakan proses flotasi serta Gravity jika memang dalam bijih banyak emas (Au) dalam bentuk Native.

Process flotasi secara umum tidak begitu sulit, flotasi CuS tidak jauh berbeda dengan PbS dan ZnS. Intinya adalah sama-sama mineral sulfide, yang bisa diambil dengan reagent Xanthate. Reagent lain bisa digunakan untuk mengambil bijih tembaga secara khusus, sebagai contoh Merkaptto Benzo Tyazone (MBT) yang efektif untuk mengambil Bornite dan Calcopryrite.

Konsentrat yang dihasilkan biasanya berkadar Cu 20 – 30 % tergantung dari bijih dan proses flotasinya sedangkan ikutannya untuk Emas sekitar 10 – 30 gpt dan Perak sekitar 30 – 70 gpt tergantung kadar logam tersebut dalam bijih. Namun yang bisa dipastikan untuk bijih dengan kadar bijih > 0,5 % maka recovery Cu bisa 85 – 90 % sedangkan Emas dan Perak hanya mengikuti saja sekitar 75% dan 65%, semakin tinggi recovery Cu maka semakin tinggi juga recovery Au dan Ag.

Bagi perusahaan yang mempunyai proses peleburan langsung maka konsentrat yang didapatkan bisa dilebur langsung, namun bagi perusahaan yang tidak mempunyai fasilitas peleburan biasanya konsentrat dijual dengan harga Internasional dan recovery (diskon) pasar (tergantung negosiasi juga). Ada beberapa proses yang ada di dunia ini untuk teknologi peleburan secara continous, salah satunya adalah Mitsubishi Process yang ada di PT. Smelting Gresik. Teknologi lain adalah Flash Smelter dan Flash Converter dari Outotek (Outocumpu). Selain teknologi tersebut untuk proses matte smelting dan converting masih banyak teknologi yang dapat diterapkan antara lain : Ausmelt/Isasmelt matte smelting, Chuquicamata smelter, Teniete/Noranda matte smelting, Vanyukov Furnace, Peirce-Smith Converter dll. Apapun teknologi yang digunakan, namun yang pasti adalah proses yang diambil adalah proses oksidasi:



Tentu saja bukan hanya itu reaksi yang terjadi, banyak mineral lain yang bereaksi namun intinya tetap sama. Jika dilihat dari reaksi yang kemungkinan terjadi, maka sesungguhnya tidak ada yang terbuang dari proses peleburan konsentrat tembaga ini. Gas yang dihasilkan bisa ditangkap untuk dijadikan asam sulfat (H_2SO_4) untuk dijual ke Pabrik Pupuk, Slag yang dihasilkan bisa dijadikan campuran semen dan dijual ke Pabrik Semen, Energi yang dihasilkan dari reaksi exotherm ini digunakan untuk PLTU guna memenuhi kebutuhan proses lebih lanjut. Sungguh tepat PT. Smelting didirikan di Gresik, dekat dengan PT. Petrokimia dan PT. Semen Gresik. Selain semua itu, masih juga dihasilkan Anode Slime yang mempunyai kandungan Au, Ag dan logam jarang dengan kadar yang cukup tinggi.

Copper Anode yang dihasilkan masih harus dilakukan electrorefining agar Tembaga yang dihasilkan menjadi murni. Proses electrorefining mirip dengan electrolisa hanya saja menjadikan logam campuran sebagai Anoda dan didapatkan logam murni di Katoda, sehingga setelah dilakukan electrorefining dan peleburan lanjut didapatkan Copper Cathode. Sedangkan sisa yang ada di anoda disebut dengan "Anode Slime".

Sampai saat ini belum ada pengolahan Anode Slime di Indonesia dengan Recovery > 99,2 % sehingga anode slime yang dihasilkan oleh PT. Smelting pun saat ini masih dimurnikan (dijual) ke luar negeri. Namun seiring dengan kemajuan teknologi, ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk mengambil Au, Ag dan logam jarang yaitu jalur hydrometallurgy dan jalur paduan pyro-hydrometallurgy. Proses Phytometallurgy sudah jarang diterapkan untuk pengolahan tembaga, karena kemudian diketahui proses hydrometallurgy lebih ekonomis untuk pengolahan tembaga. Hydrometallurgy dipakai karena keuntungan-keuntungannya antara lain :

- o Biaya pengolahan yang rendah
- o Recovery yang tinggi
- o Proses pengolahan relatif mudah
- o Investasi alat yang rendah sehingga memungkinkan percepatan BEP
- o Proses pengolahan yang relatif lebih singkat





Proses biomining pada dasarnya adalah proses Hydrometallurgy namun reagen pelindi (leaching)-nya tidak menggunakan bahan kimia tetapi menggunakan bakteri, sehingga lebih ramah lingkungan.

Penggunaan teknologi Biomining ini menjadi sangat beralasan dan dapat menjadi sebuah alternatif karena saat ini bijih mineral berharga yang berkualitas tinggi sudah berkurang secara drastis akibat tingginya permintaan dunia terhadap logam dan mineral, khususnya tembaga dan emas. Hal ini menyebabkan hanya tersisa bijih kualitas rendah yang untuk mengolahnya diperlukan energi tinggi dan bahan baku yang memakan biaya tinggi jika menggunakan teknik tambang konvensional. Selain itu terdapat biaya lingkungan tambahan yang harus dikeluarkan oleh perusahaan tambang akibat tingginya polusi udara berupa emisi gas SO₂ yang berbahaya akibat kegiatan pertambangan (meskipun saat ini akan menjadi by product jika gas SO₂ ditangkap kembali). Ditambah pula dengan semakin ketatnya standar lingkungan yang mengatur tentang tata kelola limbah berbahaya hasil kegiatan pertambangan akan menyebabkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan tambang terhadap perlindungan lingkungan semakin tinggi.

Kelebihan Biomining dibanding teknik penambangan konvensional maupun tradisional yang biasa digunakan yang paling utama adalah mampu menghasilkan mineral dari bijih mineral kualitas rendah maupun sisa tailing penambangan sekalipun dengan hasil yang lebih banyak secara signifikan. Biomining yang diterapkan untuk memperoleh mineral tembaga dan emas juga memberikan manfaat berupa cara pengoperasian yang mudah, hanya membutuhkan sedikit bahan baku (*low capital*), minim biaya operasi, memerlukan waktu konstruksi infrastruktur pertambangan yang lebih singkat, menghasilkan tailing yang jauh lebih tidak aktif secara kimiawi sehingga tidak berbahaya terhadap lingkungan, mengurangi emisi gas berbahaya yang dapat menyebabkan polusi dan hujan asam, serta biaya yang jauh lebih murah dalam perawatan karena hanya berupa biaya pemberian nutrisi yang berguna untuk pertumbuhan mikroba di dalam tangki bioreaktor ataupun dump/kolam leaching dibanding dengan biaya yang dikeluarkan dari proses pyrometallurgy secara konvensional.

Secara ekonomis, industri tambang yang menerapkan teknologi Biomining ini akan mendapatkan keuntungan berupa efisiensi biaya produksi karena hanya membutuhkan infrastruktur yang lebih sedikit serta membutuhkan sedikit tenaga kerja dengan sedikit keluaran biaya lingkungan atau *environmental cost* karena hanya menghasilkan emisi gas B3 yang lebih rendah dan tailing yang lebih bersih.

Pada akhirnya, tidak dapat diragukan lagi bahwa Biomining merupakan salah satu terobosan *Green Technology* yang mampu menghasilkan dan mengekstraksi logam atau mineral berharga dengan meminimalkan efek buruk yang dihasilkan terhadap lingkungan. Semakin menipisnya kandungan bijih mineral kualitas tinggi pada bumi, memberikan konsekuensi bahwa cara paling ekonomis untuk tetap memperoleh mineral berharga yang penting adalah dengan menggunakan bijih kualitas rendah yang jumlahnya masih cukup melimpah ataupun tailing sisa pertambangan. Proses fisika-kimia atau yang biasa disebut pyrometallurgy dan teknologi tambang konvensional haruslah diakui tidak lagi efektif akibat biaya yang mahal, energi yang diperlukan dan polusi yang dihasilkan sedangkan Biomining adalah jawaban yang tepat untuk meningkatkan hasil tambang seperti emas maupun tembaga hingga mencapai nilai dua kali lipat dari hasil pertambangan biasa dan sudah dapat diterapkan dalam berbagai kegiatan industri pertambangan yang memerhatikan pengelolaan lingkungan di dalam sistemnya.

Penutup

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pengolahan mineral tembaga untuk saat ini yang terbaik dan termurah dari biaya produksi adalah proses hydrometallurgy yang dilanjutkan dengan proses elektrolisa kemudian dilanjutkan dengan proses peleburan. Apalagi proses ekstraksinya menggunakan Biomining yang dapat mengekstraksi bijih tembaga kadar rendah dan juga tailing sehingga ramah lingkungan.

Phyrometallurgy tetap digunakan tetapi dipakai pada pengolahan-pengolahan mineral lain seperti nikel, manganese, chrom dll.

Mudah-mudahan ke depan Indonesia mempunyai dan bisa mengolah dari bijih hingga dihasilkan logam murni baik Cu, Au, Ag, Pd, Se dll. serta by product logam assosiasi dan gas buangnya sehingga meningkatkan nilai tambah suatu smelter plant, sesuai dengan amanat Peraturan Menteri ESDM No. 7 Tahun 2012 yang disempurnakan dengan Permen ESDM No 11 tahun 2012 dan terakhir adalah Permen ESDM No. 20 Tahun 2013 tentang Perubahan kedua atas peraturan Menteri ESDM No 7 Tahun 2012 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral melalui kegiatan Pengelolaan dan Pemurnian Mineral, Permendag No 52/M-DAG/per/8/ 2012 tentang perubahan atas Permendag No. 29/M-DAG/per/5 /2012 tentang ketentuan ekspor produk pertambangan dan Permenkeu No. 128/pmk.011/2013 tentang perubahan atas peraturan menteri keuangan nomor 75/pmk.011/2012 tentang penetapan barang ekspor yang dikenakan bea keluar dan tarif bea keluar.

Masalah yang ada bukanlah masalah teknologi karena banyak orang Indonesia yang pandai dan sudah berpengalaman. Masalah terbesar adalah kekuatan pendanaan serta kekuatan kemauan dan politik.





Daftar Pustaka

- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Stahl, D.A., Clark, D.P. 2012. *Brock Microbiology of Microorganism*. San Fransisco : Pearson Benjamin cummings. Hal : 710
- Mahler, Armando .2008, Dari Grasberg sampai Amamapare. Gramedia
- Robert D. Pehlke, 1975, Unit Processes of Extraktive Metallurgy, American Elsevier Publishing Company inc. New York – London – Amsterdam
- Sukandarrumidi, 2009. Geologi mineral logam. Gadjahmada University Press, Yogyakarta
- Suprpto, Sabtanta Joko., 2008,. Pertambangan Tembaga di Indonesia : Raksasa Grasberg dan Batu Hijau, Warta Geologi volume 3 no.3 September 2008 hal 6-13
- <http://kampungminers.blogspot.com/2013/03/mineralogi-endapan-bijih-tembaga-cu.html>
- <http://purwaningsiheka44.blogspot.com/2012/11/tembaga.html>
- <http://bloghimakiunila.blogspot.com/2013/01/1.html>
- <http://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/pengolahan-mineral/pengolahan-bijih-tembaga/>
- <http://www.ilmukimia.org/2013/05/ekstraksi-tembaga.html>
- http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/bahan-baku-dan-produk-industri/bijih-tembaga/
- <http://teknologi.kompasiana.com/terapan/2014/01/02/biomining-ekstraksi-bahan-tambang-menggunakan-bakteri-624834.html>
- <http://thisan04.blogspot.com/2013/11/genesa-tembaga.html>





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Eny Kusriani (Universitas Indonesia)

Notulen : Sri Wahyuni SR (UPN "Veteran" Yogyakarta)

- Penanya :** Titik Mahargiani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

Pertanyaan : Ekstraksi yang dilakukan untuk padatan, metoda apa saja yang digunakan dan apa keunggulannya? Ukurannya bagaimana, tertentu tidak?

Jawaban : Ekstraksi metoda yang dilakukan untuk Material bijih standar. Yang penting adalah : reagen, fluks dan reduktor.

Hasil proses pyrometalurgi adalah bijih, yang terdiri dari metal, slag (kerak) dan gas.

Gas merupakan by- product, untuk oksida dari lyching

Keunggulan hydrometalurgi:

Hasil: gas Sulfida (lebih baik dari proses pyrometalurgi) maksudnya: pemisahan gas dan sulfidanya.

Jika mengandung sulfida harus di"roasting" (bakar) dulu agar berubah menjadi senyawa oksida. Hasilnya gas SO₂ (pengotor), dipisahkan. Bisa juga diambil sebagai H₂SO₄, ini disalurkan ke pabrik pupuk (pupuk Gresik). Pabrik pupuk Gresik menggunakan smelter dari Freeport (Papua), yaitu dengan menghilangkan unsur Phospor (P₂O₅). Slag yang mengandung besi, juga sebagai smelt Gresik.
- Penanya :** Angelia Salim (Universitas Katolik Parahyangan, Bandung)

Pertanyaan : Metode bioleaching merupakan proses yang tidak ekonomis, apa yang menjadi keunggulan proses bioleaching?

Jawaban : Dari beberapa penelitian bioleaching 1/3 – 1/2 biaya smelting, dan keunggulannya adalah: ekonomis, efisien, dan ramah lingkungan.

