

BIOEKSTRAKSI TEMBAGA DARI AIR ASAM TAMBANG DENGAN METODE PHYTOMINING MENGGUNAKAN TANAMAN *EICHHORNIA CRASSIPES* (MART.)

¹⁾Hanif Arfani Rahman*, ²⁾Muhammad Faisal Akbar, dan ³⁾Rizky Danu Pramudita

¹⁾Prodi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung,

²⁾ Prodi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung,

³⁾ Prodi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung

*E-mail: hanifarf.rahman@gmail.com

ABSTRAK

Air asam tambang merupakan salah satu *side effect* dari industri pertambangan yang memiliki dampak buruk bagi lingkungan. Air asam tambang mengandung beragam logam berat yang apabila mengontaminasi makhluk hidup, baik tumbuhan, hewan, atau bahkan manusia tentunya akan berakibat pada masalah yang serius. Beragam upaya dilakukan untuk menanggulangi masalah air asam tambang ini, mulai dari cara fisika-kimia biasa menggunakan zat-zat penetral tertentu hingga mulai dikembangkan cara lain seperti *phytomining*. *Phytomining* sendiri adalah proses penambangan suatu logam dengan bantuan tumbuhan, dan dalam kasus ini diharapkan bisa mengambil logam berat dari air asam tambang sehingga dapat meminimalisasi bahaya yang ditimbulkan. Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai *phytomining* logam tembaga dari air asam tambang menggunakan tanaman *Eichhornia crassipes* (Mart.) atau eceng gondok. Penelitian ini bertujuan untuk menunjukkan cara penambangan logam tembaga dari air asam tambang dengan tanaman eceng gondok hingga proses pemurnian tembaga tersebut menjadi katoda tembaga, serta menjelaskan mengapa cara tersebut lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penambangan biasa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur, yaitu mencari penjelasan dan data mengenai pengolahan air asam tambang melalui jurnal, artikel dan buku-buku terkait. Dari penelitian yang dilakukan, hasilnya adalah tahapan-tahapan *phytomining* logam tembaga dari air asam tambang yaitu fitoekstraksi dengan tanaman eceng gondok yang kemudian tanamannya dikeringkan dan dibakar hingga menjadi abu, dilanjutkan oleh *bioleaching* dengan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *Acidithiobacillus thiooxidans* yang kemudian disaring agar terpisah larutan hasil pelindian yang kaya akan tembaga dengan larutan sisa pelindiannya, kemudian dilakukan *solvent extraction* dengan Mextral 5460H, lalu dilakukan *stripping* untuk memperoleh larutan kaya tembaga, dan diakhiri dengan *electrowinning* hingga mendapatkan katoda tembaga. Pengolahan air asam tambang dengan metode ini terbukti lebih ramah lingkungan, lebih ekonomis, dan masih tetap akan mendapatkan logam tembaga dengan kemurnian tinggi.

Kata kunci: *phytomining*, eceng gondok, *bioleaching*, *solvent extraction*, *electrowinning*

ABSTRACT

*Acid mine drainage is one of many side effects in mining industry that has some adverse effects to the environment. Acid mine drainage contains many heavy metals that will cause serious problems if it contaminate living things such as plants, animals, and also humans. Much effort has been done to overcome the acid mine drainage problem, from the conventional physical-chemical treatment using many neutralizing agents, to other way such as phytomining that has been researched lately. Phytomining itself is a mining of metals process using plants, and in this case phytomining is expected to extract metals from the acid mine drainage so its dangerous effects can be minimalized. This study will discusses about phytomining of copper metals from the acid mine drainage using *Eichhornia crassipes* (Mart.) plants or also known as water hyacinth. The purposes of this study are to show the methods of the mining of copper metals from the acid mining drainage using water hyacinth plants until the copper-purifying process to obtain copper as cathodes, and explain why this methods is considered as safer for the environment compared with the common mining. The method of this research is the study of literatures, by looking for explanations and datas about the treatment of the acid mine drainage through related journals, articles, and books. The result of this study is the steps of phytomining of copper metals from the acid mine drainage. This steps are phytoextraction using water hyacinth plants, followed by bioleaching with *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus**

thiooxidans bacteria, and then solvent extraction process using Mextral 5460H, afterwards the stripping process to collect copper-rich solution, and ends with electrowinning process to obtain copper metals as cathodes. The acid mine drainage treatment using this methods is already proven to be safer for the environment, more economical, and will still produce the copper metals with high purity.

Keywords: phytomining, water hyacinth, bioleaching, solvent extraction, electrowinning

A. Pendahuluan

Air asam tambang atau dalam bahasa Inggris *Acid Mine Drainage* adalah limbah yang berasal dari daerah pertambangan yang berbentuk cairan. Limbah ini merupakan dampak negatif dari pertambangan karena dapat merusak lingkungan sekitar ^[1]. Air asam tambang ini terbentuk dari oksidasi mineral yang mengandung besi seperti pirit (FeS_2) dan pirotit (FeS). Hasil dari oksidasi ini akan menurunkan pH air menjadi di bawah 3 dan bisa menurunkan kualitas air. Air asam tambang mengandung logam-logam berat seperti Fe, Cu, Mn, dan lain-lain. Jika suatu ekosistem perairan terkontaminasi oleh air asam tambang maka akan berdampak pada populasi biota dari ekosistem tersebut. Populasi tersebut akan mengalami penurunan jumlah karena air asam tambang dapat meracuni biota dari ekosistem perairan. Dampak negatif lainnya yaitu jika logam-logam berat dari air asam tambang ini terakumulasi di tubuh seseorang, maka akan menyebabkan gangguan kesehatan yang serius. Oleh karena itu air asam tambang ini perlu dikelola dengan baik. Salah satu metode yang sedang dikembangkan yaitu fitoremediasi. Fitoremediasi adalah suatu teknologi menggunakan tanaman untuk menyerap logam-logam berat atau kontaminan sehingga jumlahnya berkurang. Fitoremediasi air asam tambang yang banyak dilakukan yaitu dengan tumbuhan *Eichhornia crassipes* (Mart.) atau biasa dikenal dengan eceng gondok ^[2]. Eceng gondok merupakan tanaman air yang termasuk ke dalam famili *Pontederiaceae*. Eceng gondok sering dianggap gulma air yang dapat merusak lingkungan perairan karena pertumbuhannya begitu cepat. Namun dibalik itu, eceng gondok dapat menyerap zat organik, zat anorganik dan logam berat dari lingkungan perairan yang tercemar. Eceng gondok termasuk kedalam tanaman *hyperaccumulator* karena dapat menyerap dan mempunyai toleransi tinggi terhadap logam berat. Hal ini dikarenakan eceng gondok memiliki kemampuan untuk membentuk fitokelatin yang merupakan senyawa peptida yang dihasilkan oleh tanaman untuk mengkhelat logam dalam jumlah yang besar. Salah satu logam berat yang dapat diserap yaitu Tembaga (Cu) ^[3].

Tembaga merupakan logam yang penting dalam kehidupan sehari-hari karena mempunyai sifat penghantar listrik dan panas yang baik. Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur FCC. Proses ekstraksi logam tembaga biasanya dilakukan dengan cara hidrometalurgi atau pirometalurgi. Namun kedua cara ini tidak ramah lingkungan karena menimbulkan sisa-sisa hasil dari proses ekstraksi yang berbahaya ^[4]. Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk mendapatkan (*recovery*) logam yang ramah lingkungan yaitu *phytomining*. *Phytomining* merupakan pengambilan logam-logam berharga dari lokasi pertambangan menggunakan tanaman tertentu. Metode *phytomining* ini merupakan pengembangan dari metode fitoremediasi ^[5].

Tujuan penulisan karya ilmiah ini adalah mendeskripsikan proses penanganan air asam tambang untuk diambil logam-tembaganya menggunakan metode *phytomining* dengan tanaman eceng gondok sebagai agen penambang, serta akan dijelaskan lebih lanjut mengenai ekstraksi logam tembaga dari proses *phytomining* dengan tanaman eceng gondok tersebut. Ekstraksi dengan metode tersebut bertujuan agar tercipta proses penambangan dan penanganan air asam tambang yang ramah lingkungan. Dipilihnya eceng gondok sebagai agen penambang dikarenakan eceng gondok termasuk tanaman liar yang tidak perlu perawatan khusus untuk tumbuh dan juga dapat menyerap logam dalam jumlah yang banyak.

Metode yang digunakan dalam karya ilmiah ini yaitu studi literatur. Dari studi literatur ini, diketahui bahwa air asam tambang merupakan salah satu *side effect* industri pertambangan yang berdampak buruk bagi lingkungan. Di lain sisi, air asam tambang masih mengandung berbagai logam berharga yang dapat diekstrak kembali. Oleh karena itu, salah satu ide yang dapat dimanfaatkan untuk mengambil kembali logam berharga tersebut adalah dengan metode *phytomining*. Dengan *phytomining* ini dapat diambil logam tembaga yang ada dalam air asam tambang dengan menggunakan eceng gondok. Masalah-masalah ini diambil dari berbagai sumber dan kemudian dilakukan pencocokan

antara masalah yang terjadi dengan solusi yang ditawarkan. Diharapkan nantinya air asam tambang dapat diminimalisasi kandungan logam beratnya dengan salah satunya menambang kembali logam tembaga yang ada menggunakan eceng gondok tersebut, sehingga menjadi lebih tidak berbahaya bagi lingkungan.

B. Metodologi Penelitian

Secara keseluruhan, metode penelitian yang digunakan dalam makalah ini adalah studi literatur, yaitu mencari penjelasan dan data mengenai pengolahan air asam tambang melalui jurnal, artikel, dan buku. Studi difokuskan pada pengolahan air asam tambang secara *phytomining* untuk mengurangi kadar logam tembaga dalam air asam tambang. Berfokus pada logam tembaga dikarenakan kandungan tembaga pada air asam tambang yang cukup melimpah dan proses pemurnian dari logam tembaga yang telah terbukti berhasil di beberapa perusahaan pertambangan/metalurgi. Selain itu, logam tembaga merupakan kebutuhan dasar dalam industri elektronik sehingga akan sangat bermanfaat bagi industri tersebut. Alur proses ekstraksi logam tembaga pada air asam tambang yang diajukan dalam makalah ini merupakan alur proses inovasi yang diajukan oleh penulis secara pribadi. Tiap bagian dalam alur proses ini dipilih karena telah terbukti berhasil dilakukan di beberapa perusahaan dalam mengolah logam tembaga. Data-data mengenai kandungan air asam tambang, efisiensi tiap proses dan perolehan tiap proses diolah baik secara analisis grafis maupun analisis deskriptif.

C. Pembahasan

1. Air Asam Tambang

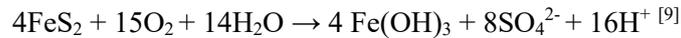
Air Asam Tambang merupakan cairan asam sulfat hasil pertambangan yang mampu menurunkan pH air hingga di bawah 3^[6]. Hal ini menyebabkan lingkungan yang tercemar air asam tambang akan bersifat asam. Kondisi ini mengakibatkan logam-logam berat dan berharga mampu terlarut pada air asam tambang. Logam-logam berat yang terlarut ini, diantaranya adalah Fe, Cu, Zn, Co, Cr, Mn, Pb, Cd dan logam lainnya^[7]. Berdasarkan percobaan yang uji kandungan logam berat air asam tambang yang dilakukan pada jurnal [7] di tiga lokasi, yaitu Lombong Barit, Sungai Lembing dan Lubuk Mandi yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.1 Tabel Kandungan Logam pada Beberapa Lokasi Pertambangan

Kandungan Logam (mg/L)	Lokasi		
	Lombong Barit	Sungai Lembing	Lubuk Mandi
Fe	7,14	36,31	2,15
Mn	3,30	7,17	1,12
Cu	11,06	9,19	0,17
Zn	1,58	6,56	0,62
Ni	0,00	0,09	0,21
Co	0,01	0,51	0,19
As	0,01	0,24	0,00
Cd	0,02	0,05	0,00
Pb	0,45	0,13	0,01

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa, logam Fe, Mn, Cu dan Zn memiliki kadar yang cukup tinggi pada air asam tambang, jika dibandingkan dengan Ni, Co, As, Cd dan Pb. Kandungan logam-logam yang cukup tinggi ini, jika tidak diolah dengan baik, maka dapat mencemari ekosistem lingkungan. Logam berat bersifat racun terhadap makhluk hidup melalui perantara, seperti air yang terkontaminasi oleh logam berat, logam berat tersebut akan terdistribusi ke dalam tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasikan^[8]. Jika keadaan ini berlangsung terus menerus, dalam jangka waktu lama dapat membahayakan bagi kesehatan manusia. Selain itu, adanya kontaminasi perairan oleh logam berat ini dapat menyebabkan kematian pada ikan dan organisme perairan^[8]. Di darat, adanya air asam tambang ini mampu menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman karena lingkungan yang cukup asam. Oleh karena itu, air asam tambang harus diolah dan dikelola dengan baik.

Asal mula air asam tambang ini berasal dari percepatan oksidasi besi pirit (FeS_2) dan mineral sulfida lain yang tersingkap oleh air dan oksigen, yang diakibatkan oleh penambangan dan pengolahan bijih logam ^[9]. Proses oksidasi pirit (FeS_2) yang membentuk air asam tambang dapat dituliskan reaksinya sebagai berikut :

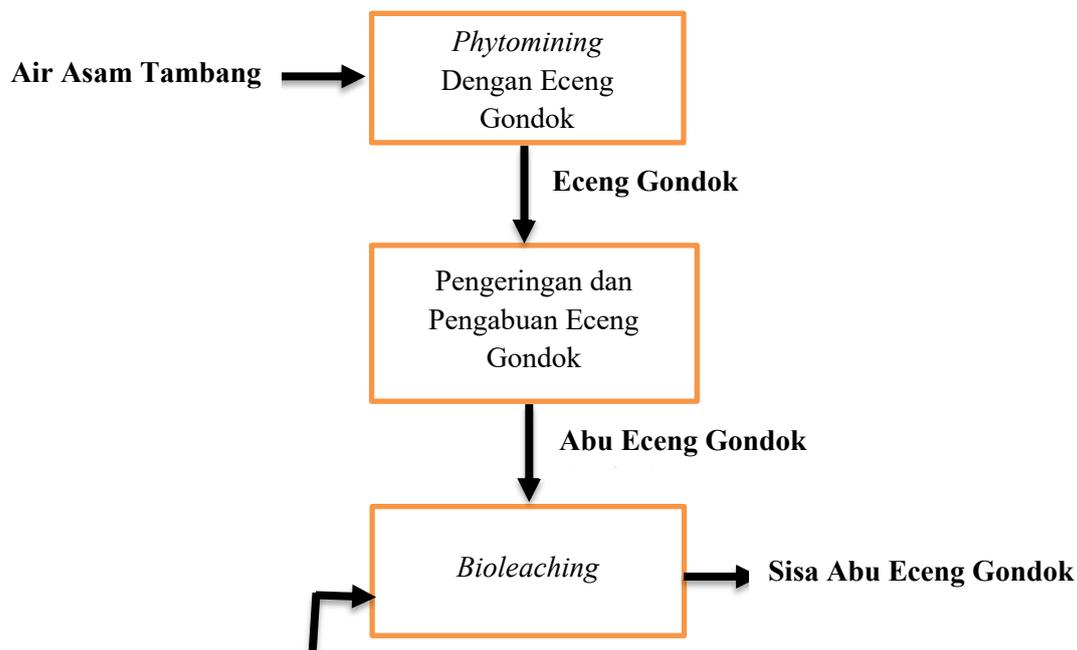


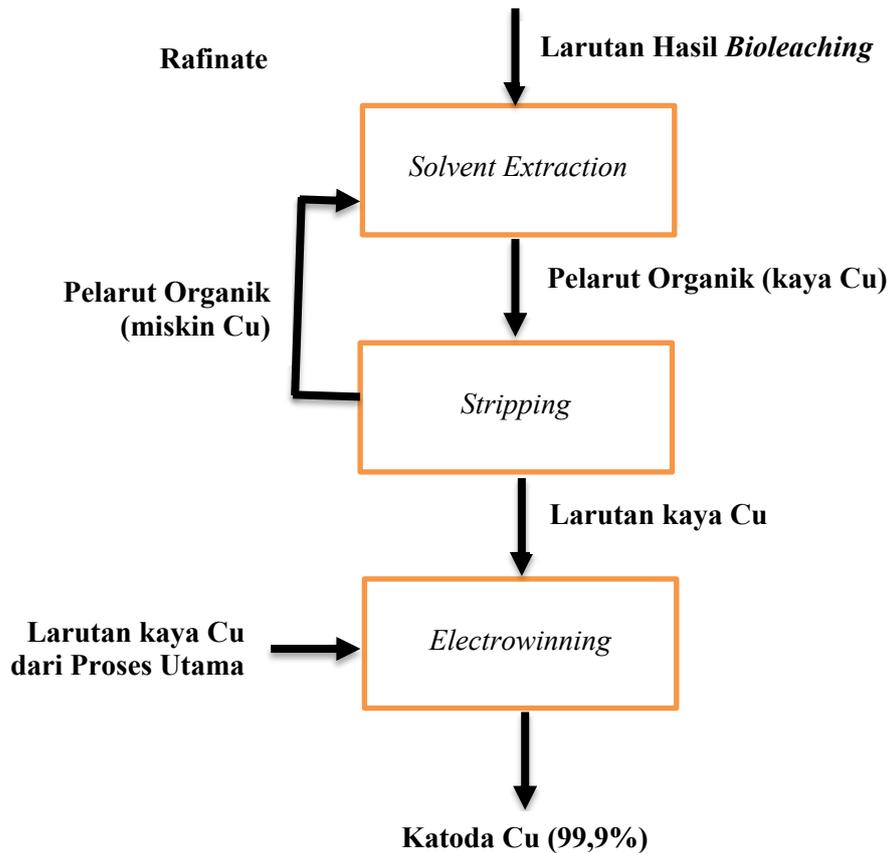
Berdasarkan reaksi tersebut perlu digarisbawahi bahwa oksidator utama dalam reaksi tersebut adalah besi bukan molekul oksigen, dan oksidasi pirit merupakan proses tahapan bertingkat yang melibatkan reaksi yang tidak membutuhkan oksigen (besi yang melakukan dekomposisi mineral) dan reaksi senyawa reaksi yang membutuhkan oksigen (reoksidasi *ferrous iron* menjadi *ferric* dan oksidasi senyawa sulfur tereduksi yang dihasilkan akan senyawa sulfur tereduksi yang dihasilkan akan menjadi intermediat yang kemudian akan menjadi sulfat ^[9]. Dari reaksi tersebut juga dapat dilihat bahwa hasil reaksi menghasilkan ion H^+ , yang mengindikasikan sifat asam pada air asam tambang ini.

2. Alur Proses Ekstraksi Tembaga dari Air Asam Tambang dengan Metode *Phytomining*

Alur proses ekstraksi tembaga pada makalah ini merupakan inovasi proses yang dipilih oleh penulis karena tiap bagian proses yang dipilih telah terbukti berhasil di beberapa perusahaan. Selain itu, tahapan awal pada proses ekstraksi tembaga pada air asam tambang merupakan tahap *phytomining* menggunakan eceng gondok. Tahap *phytomining* ini merupakan teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk membersihkan lingkungan yang tercemar logam berat dengan memanfaatkan kemampuan tanaman untuk menyerap dan mengakumulasi logam berat ^[10]. *Phytomining* ini merupakan perkembangan dari fitoremediasi. Jika dibandingkan dengan proses remediasi fisika maupun kimia, maka proses fitoremediasi ini merupakan proses yang lebih ramah lingkungan untuk menangani air asam tambang. Setelah dilakukan penyerapan dengan eceng gondok, tahapan proses selanjutnya adalah dengan melakukan pengeringan dan pengabuan pada tanaman eceng gondok sehingga dapat dilakukan proses *bioleaching* untuk mengambil logam berharganya menggunakan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *Acidithiobacillus thiooxidans*. Pemilihan proses *bioleaching* untuk melindi atau melarutkan logam tembaga karena murah dan ramah lingkungan.

Setelah proses *bioleaching* dilakukan, akan diperoleh larutan hasil *bioleaching* yang masih rendah kandungan tembaganya. Larutan ini, akan dikirimkan menuju tahap *solvent extraction* untuk ditingkatkan kadarnya hingga 87% menggunakan larutan organik Mextral 5640H. Tujuan dari *solvent extraction* ini adalah meningkatkan kadar dari tembaga pada larutan hasil pelindian sehingga akan meningkatkan efisiensi proses *electrowinning*. Sebelum masuk ke dalam tahap *electrowinning*, larutan kaya akan tembaga yang ada pada pelarut organik dilakukan *stripping* untuk kemudian dialirkan ke dalam tahap *electrowinning* untuk menghasilkan katoda tembaga murni. Diagram alir proses dapat dilihat pada gambar 6.1.





Gambar 2.1 Alur Ekstraksi Tembaga menggunakan metode *phytomining*

3. Fitoremediasi

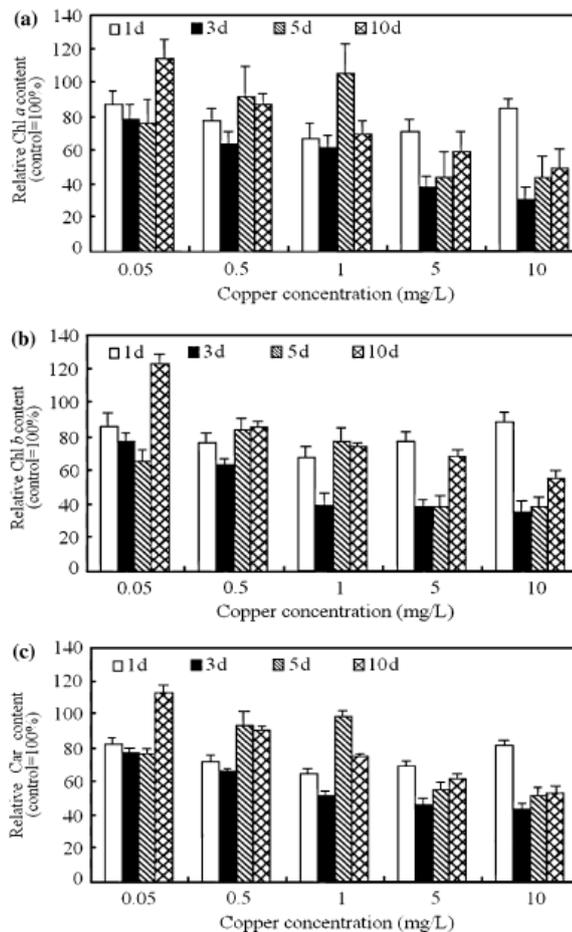
Fitoremediasi (Inggris: *phytoremediation*) berasal dari kata “*phyto*” yang berarti tumbuhan, dan “*remedium*” yang berarti mengembalikan keseimbangan. Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mengembalikan keadaan lingkungan kembali ke semula setelah tercemar oleh berbagai zat-zat berbahaya, khususnya logam berat, dengan memanfaatkan bantuan tumbuhan-tumbuhan tertentu yang dapat menyerap atau memisahkan zat berbahaya tadi ^[11]. Salah satu pemanfaatan fitoremediasi adalah dalam proses remediasi air asam tambang yang banyak mengandung logam berat, misalnya besi, tembaga, timbal, dan lain-lain.

Fitoremediasi dianggap sebagai salah satu solusi penganggulangan air asam tambang yang ramah lingkungan karena menggunakan tanaman, bukan menggunakan zat kimia lain, sebagai media penyerap kandungan logam ^[12]. Tanaman yang dapat hidup pada lingkungan yang tercemar logam berat dan dapat menyerap logam tersebut disebut sebagai tanaman hyperaccumulator yang dapat melakukan bioakumulasi zat-zat kimia. Tanaman ini nantinya akan dapat memisahkan kandungan logam yang ada dalam air asam tambang, kemudian dilakukan penanganan lebih lanjut agar dapat memperoleh logam yang dapat dimanfaatkan kembali.

Fitoekstraksi (Inggris: *phytoextraction*) adalah salah satu subproses dari fitoremediasi yang banyak dimanfaatkan dalam pengambilan tembaga dari lingkungan air asam tambang. Dalam fitoekstraksi, ion logam terlarut akan diserap oleh akar tanaman membentuk ligan dengan senyawa organik yang disekresikan oleh tanaman tersebut, kemudian masuk ke dalam *xylem* di dalam akar. Kemudian, sel-sel di dalam tumbuhan akan mentransportasikan ligan yang mengandung logam tadi ke bagian-bagian lain tanaman tersebut seperti bagian batang dan daun. Dalam periode waktu tertentu, tanaman dipanen untuk kemudian dilakukan ekstraksi lebih lanjut agar logam yang terdapat pada akar, batang, dan daun tanaman dapat diambil.

Salah satu kandungan logam berat yang ada dalam air asam tambang, yang dapat dimanfaatkan kembali, adalah tembaga. Beberapa tanaman *hyperaccumulator* untuk mengekstraksi kembali tembaga dari air asam tambang telah dilakukan penelitian, namun salah satu yang cukup populer dan efektif adalah tanaman *Eichhornia crassipes* (Mart.) atau yang lebih dikenal dengan nama tanaman eceng gondok. Tidak hanya tembaga, eceng gondok juga dapat menyerap kandungan logam lain seperti zinc, nikel, cadmium, dan perak. Pengembangan demi pengembangan terus dilakukan untuk mengetahui efektivitas eceng gondok dalam menyerap kandungan logam berat di dalam air asam tambang.

Pada percobaan [13], bibit eceng gondok yang baru berumur satu bulan diletakkan pada medium yang mengandung ion Cu^{2+} dengan berbagai konsentrasi, yaitu 0,05 mg/L, 0,5 mg/L, 1 mg/L, 5 mg/L, dan 10 mg/L serta medium tanpa kandungan Cu^{2+} sebagai kontrol. Eceng gondok ini kemudian dipanen dalam waktu 1, 3, 5, dan 10 hari setelah ditanam dalam berbagai medium tersebut. Setelah itu, dilakukan pengamatan pada *chlorophyll a* (Chl a), *chlorophyll b* (Chl b), dan *carotenoids* (Car). Sesuai dengan literatur, kandungan tembaga akan naik dari medium dimulai dari akar hingga sampai ke bagian daun eceng gondok. Besarnya kandungan tembaga pada Chl a, Chl b, dan Car ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Untuk mengetahui kandungan tembaganya dilakukan berbagai metode yang akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.



Gambar 3.1 Banyaknya kandungan tembaga pada Chl a (a), Chl b (b), dan Car (c) pada tanaman *E. crassipes* (eceng gondok) dengan menggunakan kontrol tanaman tanpa kandungan tembaga.

4. *Phytomining* dan *Bioleaching*

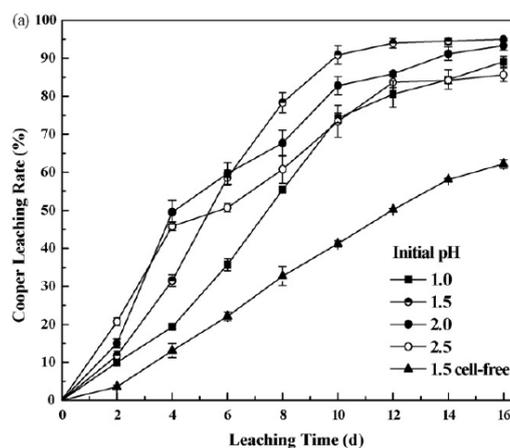
Terdapat sedikit perbedaan antara istilah *phytomining* dengan fitoremediasi yang telah dijelaskan sebelumnya. Dalam fitoremediasi, tanaman *hyperaccumulator* hanya digunakan sebagai media untuk menyerap kandungan logam sehingga mengurangi konsentrasi logam berat dalam air

asam tambang, namun apabila tanaman yang mengandung logam tadi diolah lebih lanjut dengan dibakar atau dibuat menjadi abu kemudian diambil kandungan logamnya maka proses tersebut telah memasuki tahap *phytomining*. *Phytomining* sendiri adalah salah satu cara penambangan atau pengambilan logam berharga dengan bantuan tumbuhan-tumbuhan tertentu. *Phytomining* merupakan cara penambangan yang ramah lingkungan karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan dalam prosesnya.

Setelah melewati tahap fitoekstraksi dalam fitoremediasi, dapat dilakukan *phytomining* untuk mengambil logam yang menempel pada tanaman *hyperaccumulator*. Oleh karena itu, diperlukan proses ekstraksi lebih lanjut. Proses ekstraksi dapat dilakukan dengan penambahan bahan kimia tertentu, namun apabila ingin melakukan ekstraksi yang lebih ramah lingkungan dapat pula dilakukan proses *bioleaching*. *Bioleaching* adalah proses ekstraksi logam menggunakan bantuan makhluk hidup, bisa berupa bakteri, fungi, atau tumbuhan. Organisme yang digunakan sebagai media *bioleaching* biasanya akan mengeluarkan zat-zat tertentu yang dapat digunakan sebagai larutan pengestraksi sebagai ganti dari zat kimia buatan.

Meskipun dapat menggunakan berbagai makhluk hidup, *bioleaching* paling umum menggunakan bakteri karena lebih mudah dan cepat dikembangbiakkan. Terdapat tiga buah teknik dalam proses *bioleaching* menggunakan bakteri. Yang pertama adalah *direct bioleaching* atau *one-step bioleaching*, yaitu proses penambahan langsung bakteri pelindi pada sumber logam yang akan dilakukan proses *bioleaching*. Selanjutnya adalah *semi-direct bioleaching* atau *two-step bioleaching*, yaitu pengembangbiakan bakteri pada medium tertentu sampai dengan kadar tertentu lalu bakteri tersebut digunakan untuk melindi umpan logam. Dan terakhir adalah *indirect bioleaching* atau *spent-medium bioleaching*, yaitu proses pengembangbiakan bakteri dalam medium tertentu sampai bakteri tersebut mengekskresi zat-zat kimia tertentu lalu dilakukan penyaringan antara bakteri dan cairannya, kemudian cairan yang telah bebas bakteri tersebut dimanfaatkan sebagai reagen pelindi bagi umpan logam.

Berdasarkan percobaan [14] bakteri yang umum digunakan dalam proses *bioleaching* tembaga adalah *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *Acidithiobacillus thiooxidans*. Ekstraksi tembaga oleh kedua bakteri ini ditunjukkan oleh grafik berikut. Secara garis besar, semakin lama waktu pelindiannya, maka persen tembaga yang terlindi juga semakin besar hingga akhirnya memiliki nilai yang stagnan pada angka sekitar 90%.



Gambar 4.1 Hubungan waktu leaching dengan persen lindi tembaga

Pada bagian sebelumnya telah dibahas mengenai *phytomining* tembaga dari air asam tambang menggunakan eceng gondok. Setelah dilakukan fitoekstraksi, kandungan tembaga yang ada dalam air asam tambang akan terakumulasi pada bagian-bagian di eceng gondok seperti akar, batang, dan daunnya. Untuk mengambil logam yang terakumulasi tersebut diperlukan penanganan lebih lanjut yaitu berupa *bioleaching*. Organisme yang dapat dimanfaatkan pun berupa bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *Acidithiobacillus thiooxidans*. Eceng gondok akan dipotong terpisah-pisah bagiannya yaitu bagian akar, batang, dan daun. Secara teoretis pada bagian akar akan terdapat banyak kandungan

tembaga karena pada bagian tersebutlah yang kontak langsung dengan air asam tambang yang mengandung tembaga.

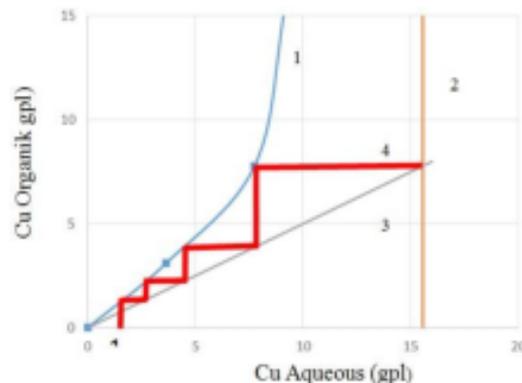
Setelah dipotong-potong, tiap bagian dikeringkan dan dibakar hingga tersisa abunya saja. Di sisi lain, bakteri telah dikembangkan untuk mendapatkan zat-zat pelindi kemudian disaring agar bakterinya terpisah dengan larutan yang telah terbentuk. Larutan tadi digunakan sebagai agen pelindi abu eceng gondok yang mengandung tembaga, dan dilakukan sampling dengan periode waktu tertentu untuk mengetahui persen tembaga yang telah terekstraksi dari abu tersebut. Larutan pelindi akan mengikat tembaga secara kimia sehingga didapatkan larutan hasil pelindian yang kaya. Kemudian, larutan kaya tadi disaring untuk mengurangi sisa abu eceng gondok. Larutan disimpan untuk kemudian dilakukan proses lebih lanjut untuk mengambil logam yang terikat di dalamnya. Proses selanjutnya adalah berupa *solvent extraction* (SX) dan *electrowinning* (EW) yang akan dijelaskan berikut.

5. Ekstraksi Pelarut/ *Solvent Extraction* (SX)

Ekstraksi pelarut atau dalam bahasa Inggris *solvent extraction* (SX) adalah salah satu teknik pemurnian logam dalam larutan. Teknik ini banyak digunakan dalam proses hidrometalurgi untuk memisahkan dan memurnikan logam seperti nikel, seng, tembaga, dan lain-lain. Pada saat ini banyak dari proses hidrometalurgi untuk ekstraksi tembaga menggunakan jalur ekstraksi pelarut (SX) - *electrowinning* (EW) [15]. Larutan dari hasil pelindian selanjutnya dilakukan ekstraksi pelarut untuk meningkatkan kadar logam yang ingin diambil (*recovery*) dan untuk mengurangi kadar pengotor dalam larutan. Hal ini dilakukan agar proses selanjutnya yaitu *electrowinning* dapat berjalan efisien. Ekstraksi pelarut biasanya dilakukan dengan ekstraktan berupa larutan organik [16]. Ekstraktan organik tembaga yang banyak digunakan yaitu LIX 84-I, LIX 984N, Acorga M5640 dan Mextral 5640H [17].

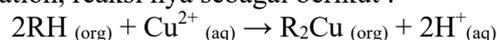
Pada Percobaan [17] dilakukan ekstraksi pelarut dari larutan yang kaya akan tembaga yang berasal dari limbah elektrolit pemurnian perak. Pada percobaan tersebut, ekstraktan organik yang digunakan yaitu Mextral 5640H yang diencerkan dengan Escaid 110. Percobaan ekstraksi pelarut ini dilakukan dalam gelas kimia berukuran 250 ml dan dilakukan pengadukan lalu dilakukan pengaturan pH dengan menambahkan NaOH 10 M dan H₂SO₄ 10 M hingga pH-nya sesuai. Setelah itu dilakukan pemanasan di atas *hot plate* dan digunakan corong untuk pemisahan larutan fasa organik dan *aqueous*. Variabel yang digunakan dalam percobaan ini yaitu pH, konsentrasi ekstraktan (v/v) dan nisbah O/A (perbandingan fasa organik dengan *aqueous*). Hasil yang didapatkan yaitu ekstraksi tertinggi dari Cu yaitu 97% pada pH 2, konsentrasi ekstraktan 25% (v/v) dan nisbah O/A-nya 2/1 [17].

Pada percobaan [17] juga dilakukan konstruksi diagram McCabe-Thiele. Hal ini bertujuan untuk memprediksi jumlah tahapan ekstraksi yang dilakukan agar mencapai nilai ekstraksi yang maksimal pada pH dan konsentrasi ekstraktan tertentu. Untuk mendapatkan persen ekstraksi Cu > 90% pada O/A 2/1 dan pH 0.8 diperlukan 4 tahapan ekstraksi. Hal ini digambarkan dalam diagram McCabe-Thiele dibawah ini:



Gambar 5.1 Diagram McCabe-Thiele pada O/A 2/1 dan pH 0.8

Pada ekstraksi pelarut tembaga dengan Mextral 5640H melibatkan reaksi pembentukan senyawa melalui pertukaran kation, reaksinya sebagai berikut :



dimana R merupakan bentuk umum dari senyawa organik dalam ekstrakatan [17].

Setelah dilakukan ekstraksi pelarut, dilakukan *stripping* untuk mendapatkan larutan Cu dalam fasa *aqueous* kembali. Pada percobaan [17] juga dilakukan percobaan *stripping* yang dilakukan di dalam gelas kimia berukuran 100 ml. Percobaan tersebut dilakukan dengan mencampur larutan organik hasil ekstraksi dengan larutan *aqueous* berupa CuSO₄ dengan kadar Cu 35 gpl. Dilakukan juga pemanasan diatas *hot plate* dengan temperatur tertentu dan dilakukan pengadukan selama 20 menit. Proses pemisahan larutan dilakukan dengan corong pemisah. Hasil yang didapat yaitu persen *recovery* dari Cu sebesar 87% pada nisbah O/A 2/1, Temperatur 46 °C dan konsentrasi asam sulfat 200 gpl. Reaksi kimia yang terjadi proses *stripping* merupakan reaksi kebalikan dari reaksi kimia pada proses ekstraksi pelarut. Ion tembaga dari fase organik dilepaskan untuk menjadi fase *aqueous* kembali. Reaksi nya sebagai berikut :



R merupakan bentuk umum dari senyawa organik dalam ekstrakatan dan ion H⁺ berasal dari asam sulfat. Senyawa organik yang terbentuk dapat dipakai kembali pada ekstraksi pelarut selanjutnya hingga batas tertentu dan larutan yang kaya akan Cu²⁺ ini selajutnya akan diproses dalam *electrowinning* untuk menghasilkan logam tembaga murni [17].

6. *Electrowinning*

Electrowinning merupakan proses dari elektrolisis untuk menghasilkan logam dari hasil pelindian dan ekstraksi pelarut. Proses ini merupakan proses akhir dari hidrometalurgi untuk menghasilkan logam dengan kemurnian yang tinggi [18]. Elektrolisis itu sendiri merupakan suatu proses reaksi kimia yang menggunakan listrik. Reaksi kimia dari elektrolisis itu sendiri tidak berjalan spontan sehingga membutuhkan listrik untuk berjalannya reaksi kimia tersebut. Pada *electrowinning* terdapat beberapa komponen yaitu diantaranya :

1. Katoda

Katoda merupakan elektroda negatif di mana terjadinya reaksi reduksi dari larutan hasil pelindian. Katoda harus bersifat konduktor agar reaksi dapat berjalan dan logam dapat terdeposisi pada permukaannya.

2. Anoda

Anoda merupakan elektroda positif di mana terjadinya reaksi oksidasi. Anoda yang digunakan pada proses elektrolisis biasanya bersifat inert, contohnya seperti platina (Pt) dan karbon (C).

3. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yaitu larutan yang mengandung ion ion terlarut yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari anoda ke katoda melalui pergerakan ion-ion.

4. Sumber Daya (*Power Supply*)

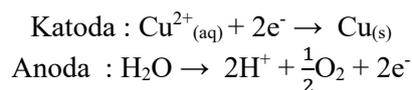
Power Supply merupakan perangkat yang memasok listrik ke sistem elektrolisis [19].

Pada percobaan [17] juga dilakukan *electrowinning* dari larutan hasil ekstraksi pelarut dan *stripping*. Percobaan *electrowinning* dilakukan pada gelas kimia berukuran 500 ml. Volume larutan elektrolit yang digunakan yaitu 400 ml dengan kandungan Cu sebesar 50 gpl dan asam sulfat sebesar 140 gpl. Pada percobaan tersebut menggunakan katoda berupa *stainless steel* 304 yang luas permukaan aktif untuk mengendapkan tembaga nya berukuran 4.5 cm x 5 cm dan hanya satu sisi saja. Anoda yang digunakan berupa paduan timbal berukuran 6 cm x 10 cm. Pada percobaan tersebut, dialiri arus listrik dengan rapat arus sebesar 200 A/m² dan tegangan yang terbaca pada *rectifier* sebesar 2.4 V [17].

Hasil yang didapatkan percobaan [17] tersebut didapatkan endapan logam Cu sebesar 2.08 gr. Berat endapan teoritis dapat dihitung melalui Persamaan Faraday yaitu :

$$m = \frac{Ar \times I \times t}{n \times F} \dots (1)$$

Bedasarkan persamaan (1) didapat bahwa berat teoritisnya sebesar 2.108 gr. Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa efesiensi arus dari proses tersebut yaitu 98.7%. Nilai Efesiensi arusnya tidak 100% dikarenakan terjadinya reaksi lain di katoda selain reaksi pengendapan seperti terjadinya reaksi reduksi ion H⁺ menjadi gas hidrogen. Reaksi dari proses *electrowinning* ini sebagai berikut :



Dari nilai efisiensi arus dan tegangan aktual dapat diketahui konsumsi energi listrik untuk proses *electrowinning* yaitu sebesar 2.1 kWh/Kg-Cu^[17].

D. Kesimpulan

Air asam tambang merupakan limbah cairan asam sulfat yang mengandung logam berat dari daerah pertambangan yang juga merupakan dampak negatif dari kegiatan pertambangan karena dapat merusak lingkungan sekitar yang tercemar. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dari air asam tambang ini. Salah satu cara pengelolannya yaitu dengan memanfaatkan air asam tambang ini dengan mengambil logam berharganya yaitu tembaga (Cu). Proses pengambilan logam tembaga dari air asam tambang ini dengan metode *phytomining* menggunakan tanaman eceng gondok. Tahapan pengambilan logam tembaga ini yaitu pertama Eceng gondok ditanam dalam lingkungan air asam tambang untuk mengambil ion tembaga yang terdapat dalam air asam tambang. Eceng gondok ini akan menyerap logam tembaga melalui akarnya. Setelah logam terakumulasi di eceng gondok, eceng gondok di potong potong lalu dikeringkan dan dibakar hingga menjadi abu. Setelah itu, abu eceng gondok ini dilakukan *bioleaching* dengan bakteri *Acidithiobacillus ferrooxidans* dan *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Bioleaching* ini bertujuan untuk melarutkan kembali tembaga yang ada didalam abu eceng gondok dan untuk meningkatkan kadar dari tembaga. Selanjutnya, larutan hasil *bioleaching* dilakukan ekstraksi pelarut untuk memurnikan larutan hasil *bioleaching* dengan ekstrak organik Mextral 5640H. Setelah itu dilakukan *stripping* untuk memperoleh larutan yang kaya akan Cu dan dilakukan *Electrowinning* untuk memperoleh katoda tembaga. Pengelolaan air asam tambang dengan metode *phytomining* ini dirasa cukup menguntungkan karena lebih ramah lingkungan, lebih ekonomis, serta bisa mendapatkan logam tembaga dengan kemurnian tinggi.

E. Daftar pustaka

- [1]. Suryadi, M.& Pamungkas, J.G. (2019) : Pengelolaan Air Asam Tambang (AAT) Dari Dinding Bekas Penambangan Sebagai Alternatif Penanggulangan Pencemaran Lingkungan : Studi Kasus Tambang Batu Hijau, Nusa Tenggara Barat, **18(3)**, 1.
- [2]. Azwari, F. & Triyono, J. (2019) : Fitoremediasi logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)", **15(2)**, 1-2.
- [3]. Djo, Y.H.W. et.al. (2017) : Fitoremediasi dengan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) Untuk Menurunkan COD dan Kandungan Cu dan Cr Limbah Cair Laboratorium Analitik Universitas Udayana, **5(2)**, 1-2.
- [4]. Sukanto, U., Probowati, D., Sudiyanto A. : (2015) : Proses Pengolahan dan Pemurnian Bijih Tembaga Dengan Cara Konvensional dan Biomining, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, 6-8.
- [5]. Muliadi, Liestianty, D., Yanny : (2013) : Fitoremediasi dan Potensi Fitomining Nikel Pada Lahan Pasca Tambang, Prosiding Seminar Nasional Insentif Riset SiNas, 2.
- [6]. Arnol et.al. (2018) : Desain Bioreaktor Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Menggunakan Sedimen Wetland Sebagai Sumber Inokulum Mikroba Bakteri Pereduksi Sulfat, **2**, 255
- [7]. Hatar, H. et al. (2013) : *Heavy Metals Content In Acid Mine Drainage at Abandoned and Active Mining Area*, 643-645.
- [8]. Mujiyanti, D.R. et al. (2014) : Penentuan Kandungan Timbal, Tembaga Dalam Air-Sedimen Pada Salah Satu Lubang Tambang Intan Di Kelurahan Sungai Tiung Kota Banjarbaru, **8 (2)**, 113-114.
- [9]. Tresnadi H. (2014) : Pengelolaan Air Asam Tambang Di Pit 1 Bangko Barat, Tanjung Enim Sumatera Selatan, 3-4.
- [10]. Reptana I. (2013) : Fitoremediasi: Akumulasi Dan Distribusi Logam Berat Nikel, Cadmium Dan Chromium Dalam Tanaman, 1-2.
- [11]. Reichenauer TG, Germida JJ (2008) : *Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater*, *ChemSusChem*, **1 (8-9)**, 708-717.
- [12]. Das, Pratyush Kumar (2018) : *Phytoremediation and Nanoremediation : Emerging Techniques for Treatment of Acid Mine Drainage Water*, *Defence Life Science Journal*, **3(2)**: 190–196.

- [13]. Hamilton et al. (2007) : *Physiological responses induces by cooper bioaccumulation in Eichhorna crassipes*, 5-6.
- [14]. Xiang Y. et al. (2010) : *Bioleaching of cooper from waste printer circuit boards by bacterial consortium enriched from acid mine drainage*, 5-6.
- [15]. Ochromowicz, K. dan Chimielewski, T. (2012) : *Solvent Extraction of Copper (II) From Concentrated Leach Liquors*, **49 (1)**, 1-2.
- [16]. Soeezi, A. et.al. (2019) : *Extraction and Stripping of Cu and Ni From Synthetic and Industrial Solution of Sarcheshmeh Copper Mine Containing Cu, Ni, Fe and Zn Ions*, **30 (2)**, 1-2.
- [17]. Fathoni, M.W. dan Mubarak, M.Z. (2017) : *Studi Recovery Tembaga Dari Limbah Elektrolit Pemurnian Perak Menggunakan Proses Ekstraksi Pelarut – Electrowinning Dengan Mextral 5640H Sebagai Ekstraktan*, **32 (1)**, 1-12.
- [18]. Bramantyo, R.C. dan Soedarsono, J.W.M (2014) : *Studi Pengaruh Konsentrasi Larutan Pelindi dan Suhu Electrowinning Terhadap Perolehan Kembali Seng Dari Dross Seng Dengan Metode Hidro-Elektrometalurgi*, 5.
- [19]. Aziz, A. (2015) : *Pengaruh pH dan Tegangan Listrik Dalam Elektrolisis Limbah Padat Baja (Slag EAF) Sebagai Upaya Mereduksi Logam Fe Pada Limbah Padat Industri Galvanis*, *Skripsi Program Sarjana Universitas Islam Negeri Walisongo*, 23-28.

