

SEPARATION OF METALS FROM SPENT CATALYSTS WASTE BY BIOLEACHING PROCESS

Ronny Kurniawan, Sirin Fairus, Tria Liliandini, M.Febrian

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Itenas Bandung

Abstract

A kind of waste that hard to be treated is a metal containing solid waste. Leaching method is one the alternative waste treatment. But there still left an obstacle on this method, it is the difficulty to find the selective solvent for the type of certain metal that will separated. Bioleaching is one of the carry able alternative waste treatments to overcome that obstacle. Bioleaching is a metal dissolving process or extraction from a sediment become dissolve form using microorganisms. On this method, it is not a must to use a selective solvent to extract metal. This research have general purpose to separate certain metal contains from a solid waste by bioleaching method, and the special purpose on this research are to know influence of bioleaching time to the dissociated yield metal, and to know selectivity of the microorganisms to the metal containing spent catalyst waste on bioleaching process. Aqua DM is used as the solvent and this experiment varied spent catalysts as solid waste from several raw material (I, II, and III raw material), bioleaching time (5, 10, 15 days), and types of microorganisms (Escherichia Coli and Aspergillus niger), with amount of microorganisms (10% from the total work volume), and bioleaching temperature (37 °C). Metal concentration is used for the analysis on this research. From the results of this research, it is known that the bioleaching time influences metal concentration in rafinat, the longer time of bioleaching, the bigger of the metal concentration. The best metal yield Ni (i.e: 1.35% b/b) was reached from raw material III. Using Aspergillus niger fungi within 15 days. Generally, the yield of Cu, Zn, and Ni on bioleaching process using Aspergillus niger fungi was better then those were gained by Escherichia coli, except Cr

Key Words : Bioleaching, Logam, Escherichia coli, Aspergillus niger

PENDAHULUAN

Perkembangan industri diberbagai sektor saat ini semakin pesat. Hal ini akan berdampak pada meningkatnya volume limbah yang dihasilkan, baik limbah cair maupun limbah padat. Maka, diperlukan pengolahan limbah baik untuk tujuan memenuhi standar baku mutu buangan limbah maupun untuk tujuan *recovery* zat-zat yang masih berharga.

Jenis limbah yang cenderung sukar untuk ditanggulangi adalah limbah padat yang mengandung logam. Salah satu contohnya yaitu katalis padat yang mengandung logam dan memang tidak dapat diregenerasi kembali. Metode ekstraksi padat-cair (*leaching*) adalah salah satu alternatif pengolahan limbah yang dapat dilakukan. Namun masih terdapat kendala pada metode ini, yaitu sukarnya untuk menemukan pelarut yang selektif untuk jenis logam tertentu yang akan diolah atau *direcovery*.

Metode *bioleaching* merupakan salah satu teknologi alternatif untuk menanggulangi permasalahan ini. *Bioleaching* adalah suatu proses pelarutan/pelepasan logam atau pengambilan (ekstraksi) logam dari sedimen menjadi bentuk yang larut dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Sehingga pada dasarnya prinsip *bioleaching* dan *leaching* sama, hanya saja pada *bioleaching* yang berperan untuk mempercepat terjadinya difusi solut

(logam) ke dalam pelarut adalah mikroorganisme. Dengan demikian, tidak tersedianya pelarut yang selektif bukan lagi masalah, karena pelarut yang digunakan pada *bioleaching* tidak harus pelarut yang selektif terhadap logam yang diinginkan.

Sebagaimana pada penjelasan yang telah diuraikan sebelumnya, masalah utama dalam pengolahan limbah padat dengan metode *leaching* adalah sukarnya untuk menemukan pelarut yang selektif. Untuk menangani masalah tersebut salah satu alternatifnya adalah dengan menggunakan metode *bioleaching*.

Faktor-faktor penting yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas *bioleaching* logam dari limbah padat (sedimen) adalah jenis limbah padat yang akan diolah, pemilihan jenis mikroorganisme yang akan digunakan, waktu ekstraksi, serta pH medium dan temperatur *bioleaching*.

Jenis padatan logam yang dapat digunakan untuk aplikasi *bioleaching* dapat berupa bijih dengan kandungan logam yang rendah ataupun limbah padat yang mengandung logam, seperti: emas, timbal, seng, nikel, tembaga, krom, dan sebagainya. Pada penelitian ini digunakan limbah katalis logam yang diperoleh

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan, yaitu :

1. Bahan baku (*spent catalyst*)
2. *Escherichia coli* dan medium nutrisinya
3. *Aspergillus niger* dan medium nutrisinya
4. Aqua DM

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu :

1. Tahap pendahuluan, dan
2. Tahap pemisahan logam dengan *bioleaching*

Tahap Pendahuluan

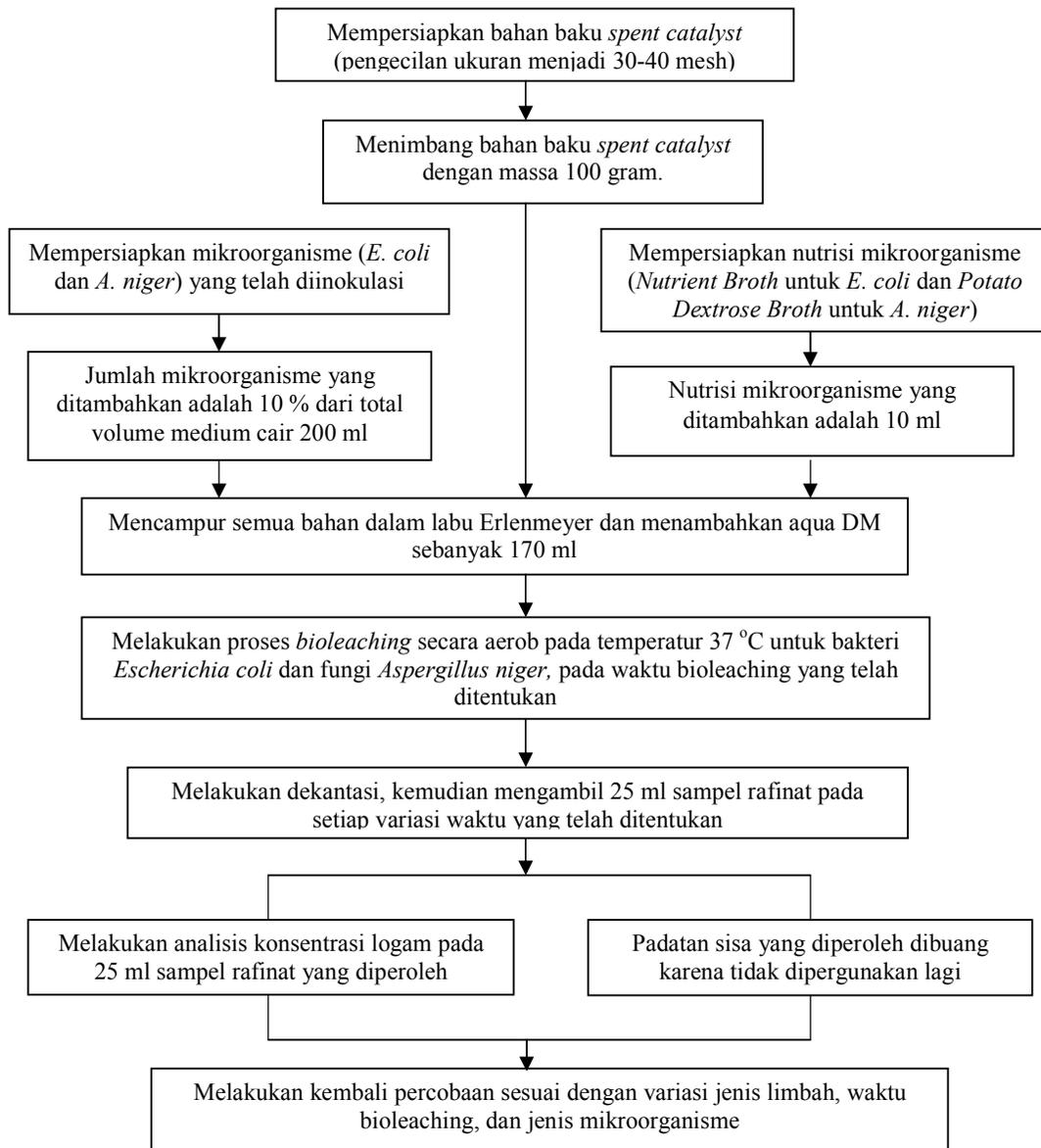
Tahap pendahuluan (pengembangbiakan mikroorganisme) terdiri dari :

1. Pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*
2. Pertumbuhan fungi *Aspergillus niger*

Analisis

Analisis yang perlu dilakukan dalam *bioleaching* limbah padatan logam ini adalah analisis konsentrasi logam dalam rafinat dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*).

Tahap Pemisahan Logam dengan *Bioleaching*



Gambar 2. Bagan alir pemisahan logam dengan *Bioleaching*

HASIL DAN PEMBAHASAN

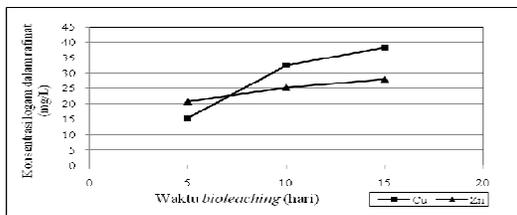
Pada penelitian ini kandungan logam dianalisis menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*). Data konsentrasi logam dalam bahan baku tertera pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Konsentrasi logam dalam setiap bahan baku (*spent catalyst*)

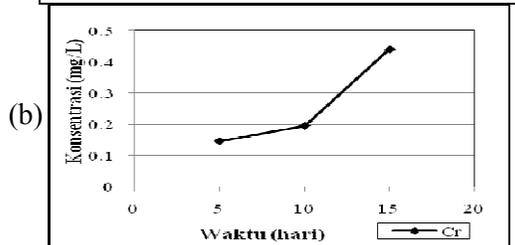
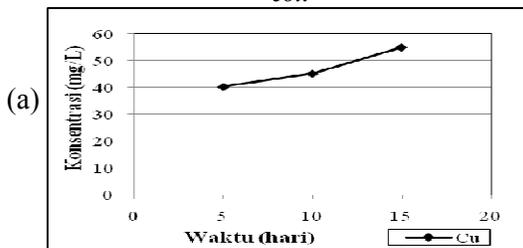
Bahan Baku	Konsentrasi Logam (mg/L)			
	Ni	Cu	Zn	Cr
I		13506.944	2985	
II		7222.222		160.294
III	0.567			

Pengaruh Waktu Bioleaching terhadap Konsentrasi Logam dalam Rafinat

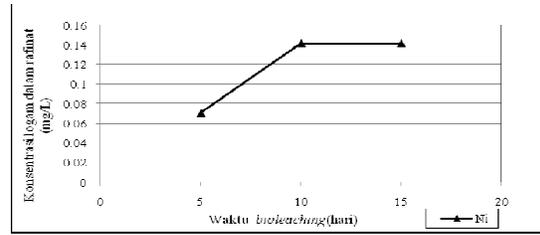
Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam yang terkandung di dalam rafinat. Pengaruh waktu *bioleaching* ini dapat diamati melalui kurva yang tertera pada gambar berikut ini.



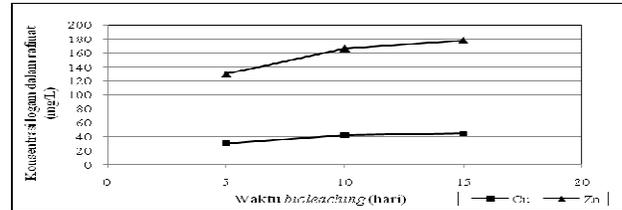
Gambar 2 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku I dan *Escherichia coli*



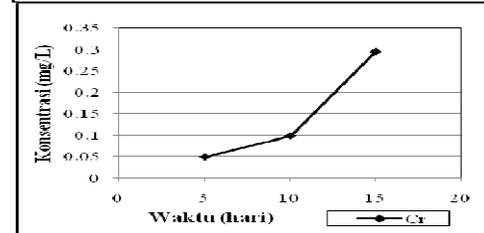
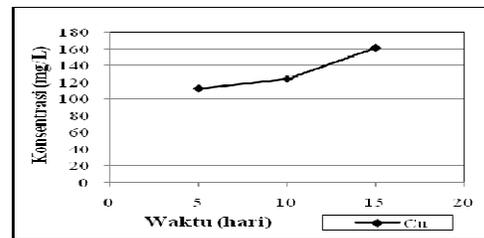
Gambar 3 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku II dan *Escherichia coli*; (a) Konsentrasi Cu, (b) Konsentrasi Cr



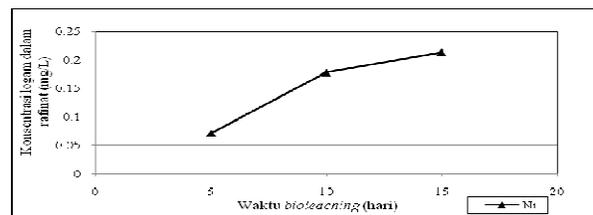
Gambar 4 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku III dan *Escherichia coli*



Gambar 5 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku I dan *Aspergillus Niger*



Gambar 6 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku II dan *Aspergillus Niger*; (a) Konsentrasi Cu, (b) Konsentrasi Cr



Gambar 7 Kurva pengaruh waktu *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku III dan *Aspergillus Niger*

Berdasarkan kurva yang terlihat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu *bioleaching*, konsentrasi logam yang terkandung di dalam rafinat juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori, yaitu waktu *bioleaching* akan berpengaruh pada proses pelarutan logam, dimana semakin lama waktu *bioleaching*, maka jumlah logam yang terlarut ke dalam rafinat juga semakin besar.

Pada penelitian ini dilakukan percobaan pendahuluan yang merupakan tahap pengembangbiakan inokulum mikroorganisme hingga mencapai tahap pertumbuhan stasionernya. Inokulum sel inilah yang selanjutnya digunakan pada proses *bioleaching*, sehingga selama *bioleaching* berlangsung pertumbuhan mikroorganisme untuk memperbanyak diri tidak terlalu besar, karena mikroorganisme ini akan lebih berkonsentrasi pada aktivitas metabolismenya dengan mengonsumsi makanan.

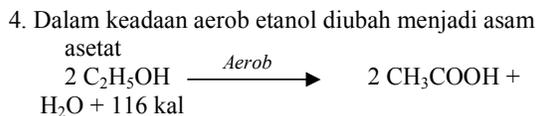
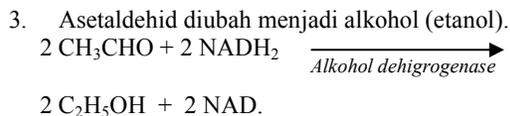
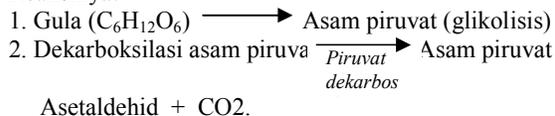
Aktivitas metabolisme yang dilakukan oleh mikroorganisme yaitu glikolisis. Glikolisis adalah pemecahan glukosa menjadi asam piruvat yang terjadi dalam sitosol semua sel dengan tujuan untuk menghasilkan energi (ATP). Dalam hal ini glukosa sebagai sumber karbon berasal dari medium nutrisi mikroorganisme yang ikut diumpangkan bersama mikroorganisme. Bakteri *Escherichia coli* diumpangkan bersama dengan nutrisi *Nutrient Broth* (mengandung *yeast extract* dan pepton sebagai sumber karbon), sedangkan fungi *Aspergillus niger* diumpangkan bersama dengan nutrisi *Potato Dextrose Broth* (mengandung *potato extract* dan *dextrose* sebagai sumber karbon). Aktivitas glikolisis yang terjadi berlangsung pada suasana aerobik.

Asam piruvat yang dihasilkan dari proses glikolisis selanjutnya akan dikonversi oleh mikroorganisme menjadi senyawa asam organik, seperti asam asetat dan asam sitrat. Proses produksi asam organik oleh mikroorganisme adalah sebagai berikut:

a. Pada bakteri *Escherichia coli*

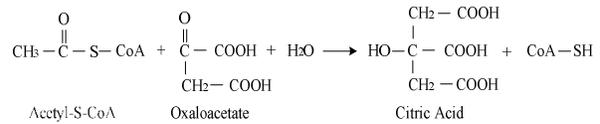
Pada keadaan aerob, bakteri *Escherichia coli* akan mengkonversi asam piruvat menjadi etanol yang kemudian dikonversi menjadi asam asetat.

Reaksinya:



b. Pada fungi *Aspergillus niger*

Asam piruvat hasil glikolisis menuju mitokondria, lalu berikatan dengan koenzim A membentuk asetil koA, 1 molekul NADH, dan CO₂, kemudian enzim piruvat karboksilase menjadi aktif untuk menghasilkan asam oksaloasetat yang diperlukan bagi biosintesis asam sitrat.



Asam organik inilah yang melarutkan solut logam menuju fasa cair. Pelarutan logam umumnya ditentukan oleh faktor konsentrasi dan kereaktifan asam organik. Semakin lama waktu *bioleaching*, maka semakin lama pula aktivitas metabolisme yang dilakukan oleh mikroorganisme. Hal ini akan berdampak pada peningkatan konsentrasi asam organik yang dihasilkan.

Sifat-sifat asam organik yang penting dalam pelarutan logam ditentukan oleh gugus karboksil (COO⁻) dan gugus hidroksil (OH⁻) fenolatnya serta tingkat disosiasinya. Gugus karboksil COOH dapat melepas proton dalam larutan dan menghasilkan ion, dimana ion ini dapat bereaksi dengan ion logam membentuk garam, seperti garam R-COOZn, R-COOCu, R-COOCr, dan R-COONi. Semakin meningkat konsentrasi asam organik maka semakin meningkat jumlah proton yang dapat dilepas, sehingga intensitas penyerangan proton terhadap ikatan logam semakin meningkat pula. Hal ini mengakibatkan jumlah logam yang *dileaching* akan semakin besar.

Namun lain halnya dengan yang terlihat pada Gambar 4.3, pada hari ke-10 dan hari ke-15 besarnya konsentrasi Ni dalam rafinat tetap. Ada beberapa faktor yang mungkin menyebabkan hal ini, diantaranya sebagai berikut:

a. Tercapainya kondisi kesetimbangan

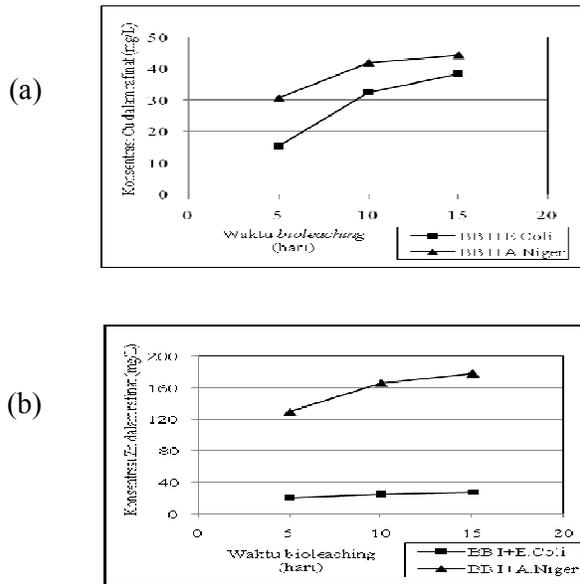
Pada saat logam mengalami pelarutan, maka reaksi yang berlangsung adalah difusi, dimana *driving forcenya* adalah perbedaan konsentrasi logam. Reaksi ini merupakan reaksi antara atom-atom pada lapisan permukaan kristal logam dengan larutan asam organik reaktif yang berada di luar kristal. Hasilnya, pada permukaan logam terjadi penyingkiran atom logam penyusun dan kemudian masuk ke dalam larutan asam organik. Selanjutnya di dalam lapisan logam akan mencari kesetimbangan baru dan pada bagian larutan akan terjadi peningkatan konsentrasi atom (ion logam).

Kondisi kesetimbangan tercapai jika tidak ada lagi *driving force*, yaitu ketika konsentrasi atom logam di dalam padatan dan larutan asam organik adalah sama. Maka dari itu tidak terjadi perpindahan atom (ion logam) ke dalam larutan asam organik (rafinat). Kondisi kesetimbangan ini cepat tercapai dapat disebabkan oleh kandungan massa logam Ni yang kecil di dalam bahan baku III.

- b. Kemungkinan bakteri *Escherichia coli* kurang bisa bertahan dengan kondisi lingkungannya. Hal ini dapat dipengaruhi oleh komposisi bahan baku III selain logam nikel yang tidak diketahui, karena nikel hanya berjumlah 0.28% dari keseluruhan bahan baku III. Kemungkinan lain yaitu adanya produk samping dari proses *bioleaching* yang dapat menjadi inhibitor bagi *Escherichia coli*. Kedua kemungkinan ini dapat menyebabkan *Escherichia coli* menjadi non-aktif lebih lepat sehingga asam organik yang dihasilkan juga akan terbatas.

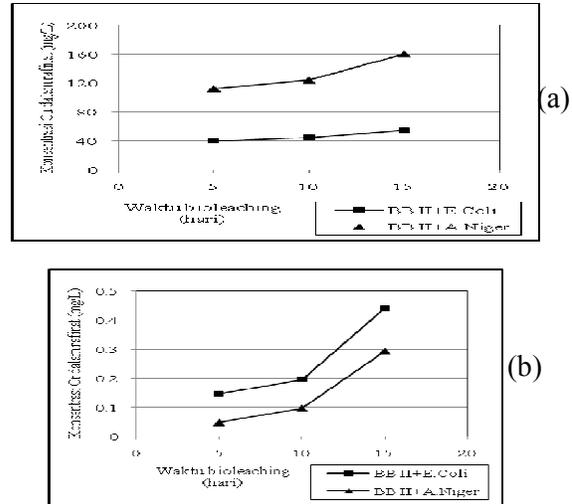
Pengaruh Jenis Mikroorganisme terhadap Konsentrasi Logam dalam Rafinat

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui pengaruh jenis mikroorganisme yang digunakan pada *bioleaching* terhadap konsentrasi logam dalam rafinat. Pengaruh jenis mikroorganisme ini dapat diamati melalui kurva yang tertera pada gambar berikut ini.



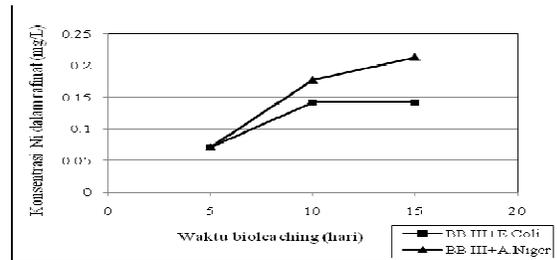
Gambar 8 Kurva pengaruh jenis mikroorganisme terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku I;

(a) Konsentrasi Cu, (b) Konsentrasi Zn



Gambar 9 Kurva pengaruh jenis mikroorganisme terhadap konsentrasi logam dalam rafinat dengan bahan baku II;

(a) Konsentrasi Cu, (b) Konsentrasi Cr



Gambar 10 Kurva pengaruh jenis mikroorganisme terhadap konsentrasi Ni dalam rafinat dengan bahan baku III

Berdasarkan kurva yang terlihat pada Gambar 8-10 dapat diketahui bahwa jenis mikroorganisme mempengaruhi besar konsentrasi logam yang terkandung di dalam rafinat. Berikut ini adalah penjelasan dari kecenderungan yang terlihat pada kurva di atas, yaitu sebagai berikut:

- Pada Gambar 8 dapat terlihat bahwa pada operasi *bioleaching* bahan baku I yang menggunakan *Aspergillus niger*, konsentrasi Cu dan Zn yang terkandung dalam rafinat lebih besar dibandingkan dengan operasi *bioleaching* menggunakan *Escherichia coli*.
- Pada Gambar 9 dapat terlihat bahwa pada operasi *bioleaching* bahan baku II yang menggunakan *Aspergillus niger*, konsentrasi Cu yang terkandung dalam rafinat lebih besar dibandingkan dengan operasi *bioleaching* menggunakan *Escherichia coli*. Namun, konsentrasi Cr dalam rafinat dengan menggunakan *Escherichia coli* lebih besar dibandingkan jika menggunakan *Aspergillus niger*.
- Pada Gambar 10 dapat terlihat bahwa pada operasi *bioleaching* bahan baku III yang menggunakan *Aspergillus niger*, konsentrasi Ni

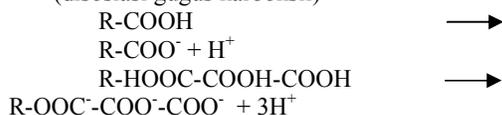
yang terkandung dalam rafinat lebih besar dibandingkan dengan operasi *bioleaching* menggunakan *Escherichia coli*.

Berdasarkan penjelasan di atas diperoleh kecenderungan bahwa konsentrasi logam Cu, Zn, dan Ni dalam rafinat yang diperoleh dari operasi *bioleaching* menggunakan *Aspergillus niger* lebih besar bila dibandingkan dengan operasi *bioleaching* menggunakan *Escherichia coli*. Hal ini sangat dipengaruhi oleh jenis asam organik yang dihasilkan oleh mikroorganismenya.

Escherichia coli memproduksi asam asetat (CH₃COOH), sedangkan fungi *Aspergillus niger* memproduksi asam sitrat (C₃H₄OH(COOH)₃). Jika ditinjau kembali sifat-sifat asam organik yang penting dalam pelarutan logam adalah ditentukan oleh gugus karboksil (COO⁻) dan gugus hidroksil (OH⁻) fenolatnya serta tingkat disosiasinya. Gugus karboksil COOH dapat melepas proton dalam larutan dan menghasilkan ion, dimana ion ini dapat bereaksi dengan ion logam membentuk garam. Maka dengan kata lain jumlah gugus karboksil menentukan jumlah proton yang mungkin dapat dilepas oleh suatu asam organik. Asam asetat hanya ada satu proton yang mungkin dapat dilepaskan, tetapi pada asam sitrat mungkin dapat melepaskan tiga proton. Selain itu, asam asetat mempunyai harga pka 4.67 sedangkan asam sitrat mempunyai harga pka 3.13, 4.67, dan 6.4. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat disosiasi asam sitrat lebih besar daripada tingkat disosiasi asam asetat.

Pada percobaan ini diperkirakan kondisi sistem pada operasi *bioleaching* berada pada suasana asam karena dihasilkannya asam organik secara kontinu. Berdasarkan literatur pada pH antara 3 dan 9 adalah merupakan daerah disosiasi gugus karboksil, dan pada pH >9 merupakan daerah disosiasi gugus OH fenolat. Maka dari itu reaksi yang terjadi pada proses *bioleaching* adalah sebagai berikut:

a. Reaksi pelepasan proton dari asam organik (disosiasi gugus karboksil)



b. Reaksi pengikatan logam



Namun lain halnya untuk kurva yang terlihat pada Gambar 4.9(b), yaitu konsentrasi logam Cr dalam rafinat lebih besar bila menggunakan *Escherichia coli* dibandingkan bila menggunakan *Aspergillus niger*. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.2 dapat diamati bahwa pada *bioleaching* bahan baku II dengan *Aspergillus niger*, konsentrasi logam Cu dalam rafinat relatif besar, maka dari itu ada kemungkinan asam sitrat yang diproduksi lebih dominan digunakan untuk melarutkan logam Cu jauh lebih besar dibandingkan logam Cr.

Perolehan (Yield)

Perolehan (*yield*) logam didasarkan pada perbandingan antara massa perolehan logam dalam rafinat setelah melalui proses *bioleaching* dengan massa logam awal dalam umpan bahan baku. Pada Tabel 2 tertera data kandungan logam dalam 100 gram bahan baku, dan pada Tabel 3 tertera data yang merupakan hasil perhitungan perolehan (*yield*) logam dalam rafinat.

Tabel 2 Massa logam awal dalam setiap 100 gram massa umpan bahan baku

Bahan Baku	Massa Logam Awal (gram)			
	Ni	Cu	Zn	Cr
I		67.333	14.88	
II		36.003		0.799
III	0.0028			

Tabel 3 Perolehan (*yield*) logam dalam rafinat setelah melalui proses *bioleaching*

Mikro-organismenya	Bahan Baku	Waktu (hari)	Volume Rafinat (ml)	% Yield (b/b)			
				Ni	Cu	Zn	Cr
<i>Escherichia coli</i>	I	5	200	0.005	0.028		
		10	175	0.009	0.033		
		15	150	0.010	0.036		
<i>Escherichia coli</i>	II	5	200	0.022			0.0037
		10	175	0.025			0.0048
		15	150	0.029			0.0094
<i>Escherichia coli</i>	III	5	200	0.502			
		10	175	0.942			
		15	150	0.942			
<i>Aspergillus niger</i>	I	5	200		0.009	0.175	
		10	175		0.012	0.217	
		15	150		0.013	0.229	
<i>Aspergillus niger</i>	II	5	200		0.062		0.0012
		10	175		0.068		0.0023
		15	150		0.083		0.0060
<i>Aspergillus niger</i>	III	5	200	0.502			
		10	175	1.169			
		15	150	1.350			

Berdasarkan data perolehan logam pada Tabel 3 dapat diamati bahwa perolehan logam dalam rafinat nilainya cukup rendah. Perolehan tertinggi dicapai pada *bioleaching* logam Ni dari bahan baku III dihari ke-15 yaitu 1.35% b/b dengan menggunakan fungi *Aspergillus niger*.

Ada beberapa faktor yang mungkin dapat menyebabkan perolehan yang rendah ini, diantaranya sebagai berikut:

a. Waktu *bioleaching* belum maksimal.

Waktu *bioleaching* sangat berpengaruh pada perolehan logam dalam rafinat. Perolehan logam akan maksimal ketika tercapai kondisi kesetimbangan, yaitu ketika tidak terjadi lagi pelarutan logam ke dalam rafinat. Berdasarkan hasil analisis kandungan logam dalam bahan baku diketahui bahwa bahan baku I mengandung Cu 67.33% dan Zn 14.88%, bahan baku II mengandung Cu 36% dan Cr 0.8%, dan bahan baku III mengandung Ni 0.0028%. Kandungan logam tersebut relatif cukup besar, khususnya kandungan Cu dan Zn. Selain itu ada kemungkinan proses pelarutan logam juga terjadi pada logam lain yang terkandung dalam bahan baku I,II, dan III tetapi tidak dianalisis.

Oleh karena itu, ada kemungkinan waktu *bioleaching* yang diberikan belum cukup untuk melarutkan logam dalam jumlah besar dan mencapai kondisi kesetimbangan. Hal ini dapat diamati dari *yield* logam yang masih cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu *bioleaching*. Berdasarkan data literatur umumnya *bioleaching* dioperasikan sekitar 60-100 hari dengan perolehan logam dalam rafinat sekitar 60-90%. Namun perlu diperhatikan bahwa penentuan waktu *bioleaching* disesuaikan dengan kondisi operasi baik dari segi karakteristik bahan baku, karakteristik mikroorganisme, dan juga rasio bahan baku dengan medium cair yang diumpangkan.

- b. Medium nutrisi umpan relatif kurang mencukupi kebutuhan mikroorganisme.

Sebagaimana penjelasan sebelumnya bahwa logam larut ke dalam rafinat karena adanya asam organik yang dihasilkan dari aktifitas metabolisme oleh mikroorganisme. Senyawa glukosa sebagai sumber karbon diperoleh dari medium nutrisi yang diumpangkan. Dengan pertimbangan bahwa *bioleaching* akan dilangsungkan dalam waktu yang cukup lama, maka dibutuhkan nutrisi yang cukup untuk menunjang aktivitas metabolisme mikroorganisme untuk menghasilkan asam organik secara kontinu.

Oleh karena itu, jika nutrisi yang diumpangkan tidak mencukupi kebutuhan mikroorganisme, maka aktivitas metabolisme mikroorganisme akan menurun. Hal ini akan berdampak pada penurunan produksi asam organik dan juga pelarutan logam ke dalam rafinat. Maka dari itu pada percobaan ini ada kemungkinan medium nutrisi yang diumpangkan relatif kurang mencukupi kebutuhan mikroorganisme untuk waktu *bioleaching* selama 15 hari.

- c. Rasio umpan medium cair dengan massa bahan baku.

Sama halnya dengan ekstraksi padat cair (*leaching*), perbandingan antara umpan medium cair dengan massa bahan baku sangat

berpengaruh pada perolehan solut dalam rafinat. Pada *leaching* medium cair berperan sebagai pelarut (*solvent*), sehingga semakin besar volume pelarut maka semakin besar *driving force* yang terbentuk, sehingga perolehan solut dalam rafinat saat kesetimbangan juga akan semakin besar.

Pada percobaan *bioleaching*, medium cair terdiri dari aqua DM, nutrisi, dan kultur mikroorganisme. Selama *bioleaching* berlangsung mikroorganisme akan mengkonsumsi nutrisi untuk bermetabolisme dan memproduksi asam organik. Medium cair yang mengandung asam organik inilah yang berperan sebagai *solvent* untuk melarutkan logam ke dalam rafinat. Pada penelitian ini komposisi umpan terdiri dari 100 gram bahan baku dan 200 ml medium cair. Dengan pertimbangan bahwa kandungan logam dalam bahan baku cenderung tinggi, maka kemungkinan volume medium cair yang diumpangkan belum mencukupi untuk melarutkan logam dalam jumlah besar.

Perlu diperhatikan bahwa jika kandungan logam dalam bahan baku relatif besar, maka volume medium cair yang diumpangkan juga harus besar. Hal ini bertujuan untuk memperbesar *yield* logam dan juga untuk menjamin mikroorganisme tetap hidup, karena jika volume medium cair kecil sedangkan kandungan logam dalam bahan baku besar, maka ini dapat bersifat *toxic* bagi mikroorganisme sehingga kemungkinan mikroorganisme akan menjadi non-aktif lebih cepat.

- d. *Performance bioleaching* yang selalu menurun.

Pada percobaan ini pengambilan sampel dilakukan pada hari ke-5, ke-10, dan ke-15 dengan volume sampel masing-masing 25 ml. Pada setiap pengambilan sampel tentu saja ada sejumlah mikroorganisme yang ikut terbawa. Hal ini akan berdampak pada menurunnya *performance bioleaching* karena semakin berkurang jumlah mikroorganisme yang tersisa, maka semakin menurun pula produksi asam organik, sehingga jumlah solut yang terlarut ke dalam rafinat akan semakin berkurang.

- e. Temperatur *bioleaching*.

Pada umumnya proses pelarutan dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur maka pelarutan solut dari padatan ke dalam fasa cair (rafinat) juga akan semakin besar. Maka dari itu pada proses *bioleaching* ini temperatur juga berpengaruh. Bakteri yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *mesophiles* yaitu bakteri *Escherichia coli* dengan temperatur optimum 37 °C. Fungi *Aspergillus niger* yang digunakan juga mempunyai temperatur optimum 37 °C.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Waktu *bioleaching* berpengaruh terhadap konsentrasi logam dalam rafinat. Semakin lama waktu *bioleaching* (5, 10, 15 hari) maka semakin besar konsentrasi logam dalam rafinat.
2. Secara keseluruhan *yield* logam Cu, Zn, dan Ni hasil *bioleaching* menggunakan fungi *Aspergillus niger* lebih besar daripada menggunakan bakteri *Escherichia coli*, kecuali untuk logam Cr.
3. *Yield* logam terbaik didapat pada *bioleaching* bahan baku III menggunakan fungi *Aspergillus niger* selama 15 hari dengan *yield* logam Ni sebesar 1.35% b/b.

DAFTAR PUSTAKA

- Erskini, “*Bioleaching Mineral Sulfida Cirot*”, Journal Ilmiah Nasional, Vol 14 No 136, Januari 1997.
- Oxoid, (1976), “*The oxoid Manual 3rd edition*”, Oxoid Limited.
- Pathak A, “*Bioleaching of Heavy Metals from Anaerobically Digested Sewage Sludge*”, Center for Energy Studies, Indian Institute of Technology, Haus Khas New Delhi, India, 2008
- Syamsul Bahri, “*Bioleaching (Biolind) Timbal dari Lumpur Limbah Industri Baterai Timbal-Asam Menggunakan Bakteri Thiobacillus thiooxidans*”, Tesis, ITB, 1998
- Treybal, Robert E., (1981), “*Mass-Transfer Operations*”, Mc-Graw -Hill Book Company, Singapore
- http://id.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Fungi>
- http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_sitrat
- http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_asetat