



Aplikasi *Bioleaching* Dalam Pemisahan Logam dari Batuan Mineral *Pyrite* dengan Menggunakan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan Fungi *Aspergillus niger*

Ronny Kurniawan, S. Juhanda, Vitri Banimulyanty, Lena Marita

Program Studi Teknik Kimia, FTI, itenas Bandung, Jl. PHH. Mustafa No 23 Bandung

E-mail:ron_itenas@yahoo.com

Abstract

Pyrite (FeS₂) is one of the types of sulphide minerals which are common in the nature. Many methods can be used to separate the metal content in pyrite, either chemical treatment, biological treatment, and physical treatment. This study generally aims to study the process of extracting metals Fe, Zn, and Al in the mineral pyrite using bioleaching process, and specifically aims to determine the effect of time and type of microorganisms based on the concentration and yield of the extraction and to study the effect of microorganisms on the selectivity of the metals extracted in the process of the mineral pyrite bioleaching. Parameters used are microorganisms volume (20% of the total volume of work), bioleaching temperature (35°C), the speed of stirrer (70 rpm) and time of bioleaching (10, 20, and 30 days); the type of the analyzed metal are Al, Zn, Fe; and the type of microorganism are Thiobacillus ferrooxidans bacteria and Aspergillus niger fungi. The used analysis are AAS and ICP / MS. The result revealed that the time of bioleaching makes some effect on metal concentration in rafinat. The longer time of bioleaching can give the greater value on metal concentration in rafinat. The highest metal concentrations in the rafinat obtained at 759 ppm for the Al using a Thiobacillus ferrooxidans bacteria. The highest yield in the rafinat obtained at 15,021% for the Zn using a Thiobacillus ferrooxidans bacteria. Generally, Thiobacillus ferrooxidans bacteria is better for extracting metals; Fe, Zn, and Al.

Keywords: pyrite, bioleaching, Thiobacillus ferrooxidans, Aspergillus niger

Pendahuluan

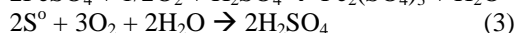
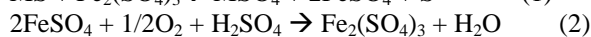
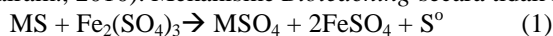
Indonesia merupakan negara yang cukup luas dan memiliki sumber daya alam yang berlimpah. Hal tersebut didasarkan pada letak Indonesia yang secara geologis berada pada pertemuan tiga lempeng yang mengakibatkan munculnya deretan gunung api yang mendukung pertumbuhan tanaman dan kaya akan barang tambang galian yang mengandung mineral-mineral alam. Mineral-mineral alam tersebut antara lain: bauksit, grafit, kalsit, magnesit, *pyrite*, dan lain sebagainya. Masing-masing dari mineral tersebut memiliki kandungan logam dan manfaat yang berbeda-beda.

Sebagai contoh mineral yang biasa dimanfaatkan yaitu mineral *pyrite*. *Pyrite* digunakan dalam pembuatan asam belerang dan belerang oksida. Selain itu, *pyrite* juga sering digunakan sebagai bahan dalam pemurnian emas, tembaga, kobalt, nikel, dan lain-lain (Hilyan, Hidayanti., 2012).

Oleh karena itu, dengan semakin majunya ilmu pengetahuan dan teknologi maka manusia sudah sepatutnya melakukan berbagai inovasi untuk meningkatkan nilai guna mineral-mineral tersebut sehingga dapat lebih bermanfaat.

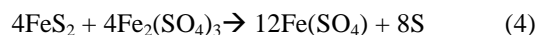
Salah satu proses yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai guna *pyrite* yaitu dengan proses pemisahan. Proses *bioleaching* merupakan teknologi alternatif yang dapat dikembangkan sebagai salah satu teknologi untuk memperoleh logam di masa mendatang. Salah satu penerapan proses ini adalah untuk melepaskan dan mengekstraksi logam yang ada dalam mineral sehingga mineral tersebut terpisah dari logam dan aman terhadap lingkungan (Flo, Nindy., 2012).

Bioleaching adalah proses pelarutan logam atau pemisahan (ekstraksi) logam dengan menggunakan bantuan mikroorganisme (Pani, Balam., 2010). Mekanisme *Bioleaching* secara tidak langsung (*Indirect Mechanism*) :

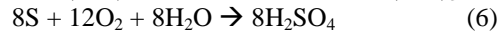
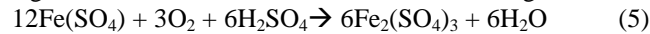


Mekanisme tidak langsung dilakukan dengan cara mengoksidasi mineral sulfida oleh ion besi (Fe^{3+}). Reaksi pertama dikendalikan langsung oleh mikroorganisme, reaksi kedua terjadi secara alami tanpa melibatkan mikroorganisme. Pada reaksi ketiga juga terjadi karena melibatkan mikroorganisme. Pelarutan logam terjadi oleh siklus proses antara reaksi pertama dan kedua dan pembentukan ion H^+ dengan mengoksidasi sulfur. Untuk reaksi pada *Bioleaching Pyrite* (FeS_2) adalah sebagai berikut (olson, Gregory J., 1990),

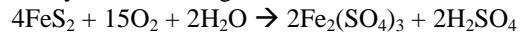
Mengoksidasi *pyrite*:



Ferro sulfat dan sulfur yang terbentuk kemudian dioksidasi oleh mikroorganisme menurut persamaan reaksi berikut:



Jadi, dari keseluruhan reaksinya adalah sebagai berikut:



Tujuan umum penelitian ini adalah untuk mempelajari proses ekstraksi logam Fe, Zn, dan Al di dalam mineral *pyrite* dengan menggunakan proses *bioleaching* sedangkan tujuan khususnya untuk mengetahui pengaruh waktu dan jenis mikroorganisme berdasarkan konsentrasi dan *yield* logam dari hasil ekstraksi mineral *pyrite* dengan proses *bioleaching* dan untuk mengetahui pengaruh jenis mikroorganisme terhadap selektifitas logam-logam yang terekstraksi pada proses *bioleaching* dari mineral *pyrite*.

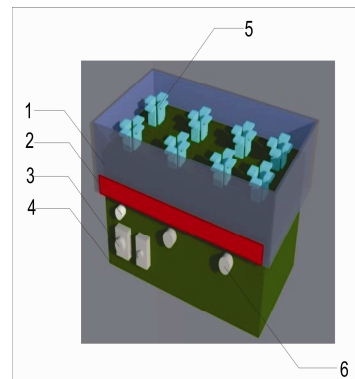
Metodologi

Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan proses *bioleaching* secara *batch* dengan menggunakan alat berupa labu erlenmeyer 250 ml yang dimasukkan ke dalam *water bath* yang dilengkapi juga dengan *shaker*. Parameter yang digunakan adalah temperatur *bioleaching* sebesar 35°C, kecepatan pengadukan 70 rpm dan jumlah mikroorganisme yang ditambahkan adalah jumlah dari 20% total volume kerja. Variabel yang digunakan yaitu jenis mikroorganisme (*Aspergillus niger* dan *Thiobacillus ferrooxidans*); dan waktu *bioleaching* yaitu 10, 20, dan 30 hari.

Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 1 Foto dan Skema Alat Utama Proses *Bioleaching*

Keterangan :

1. *Water bath* (dilengkapi dengan *Heater*)
2. *Shaker*
3. *Timer*
4. Regulator temperatur
5. Dudukan untuk menyimpan labu erlenmeyer
6. Pengatur kecepatan

Bahan yang digunakan :

1. Batuan mineral *pyrite* yang diperoleh dari daerah Karawang Jawa Barat
2. Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*
3. Fungi *Aspergillus niger*

Prosedur Kerja

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap :

1. Tahap pendahuluan (penyiapan mikroorganismenya)
2. Tahap pemisahan logam dengan proses *bioleaching*

Analisis

Analisis yang dilakukan dalam proses *bioleaching* batuan mineral *pyrite* ini adalah analisis konsentrasi logam dalam rafinat dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) dan *Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry* (ICP/MS).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Bahan Baku

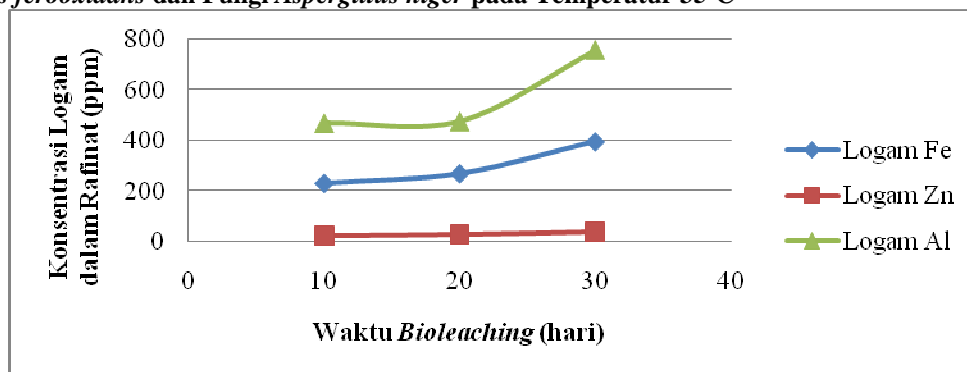
Pada penelitian ini, bahan baku yang digunakan berupa batuan mineral *pyrite*. Batuan mineral tersebut didapatkan dari daerah Karawang, Jawa Barat. Untuk mengetahui kandungan senyawa dalam batuan mineral tersebut, dilakukan analisis pengujian menggunakan metode X-RF. Adapun hasil analisisnya adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Analisis Batuan Mineral *Pyrite* Menggunakan X-RF

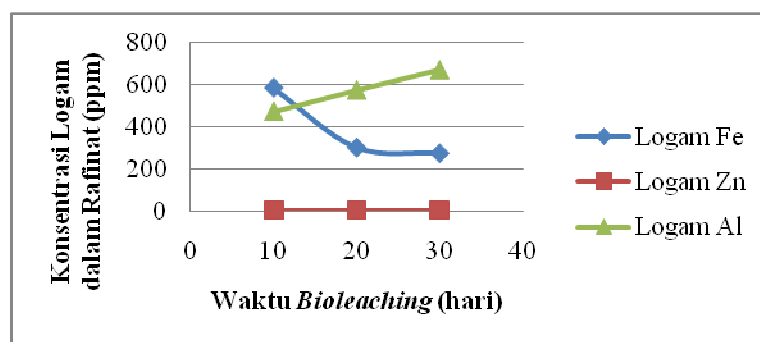
Senyawa	% berat
SiO ₂	17,88
Al ₂ O ₃	8,20
Fe ₂ O ₃	25,61
TiO ₂	0,13
CaO	0,10
K ₂ O	0,94
MnO	0,001
MgO	0,22
Na ₂ O	tt
P ₂ O ₅	0,031
SO ₃	46,60
ZnO	0,13
PbO	0,071

(Sumber: Laboratorium Pengujian Tekmira)

Pengaruh Waktu *Bioleaching* Terhadap Konsentrasi Logam di dalam Rafinat dengan Menggunakan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan Fungi *Aspergillus niger* pada Temperatur 35°C



Gambar 2 Pengaruh Waktu *Bioleaching* Terhadap Konsentrasi Logam dengan Menggunakan Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* pada T = 35°C



Gambar 3 Pengaruh Waktu *Bioleaching* Terhadap Konsentrasi Logam dengan Menggunakan Fungi *Aspergillus niger* pada T = 35°C

Berdasarkan kurva pada Gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa banyaknya logam yang terlarut di dalam rafinat dipengaruhi oleh jenis mikroorganismenya. Dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Aspergillus niger*, dapat dilihat bahwa konsentrasi logam Al dan Zn yang terekstrak di dalam rafinat semakin besar seiring dengan berjalannya waktu *bioleaching* selama 30 hari. Namun terjadi penyimpangan untuk logam Fe yang terekstrak dalam rafinat dengan menggunakan *Aspergillus niger*.

Secara teori, nilai konsentrasi akan terus meningkat seiring dengan semakin lama waktu *bioleaching*. Berdasarkan keterangan di atas, khususnya untuk bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*, bakteri ini menghasilkan asam sulfat sebagai pengekstrak logam, dimana asam sulfat yang dihasilkan bereaksi dengan logam tersebut menghasilkan senyawa logam sulfat yang mudah larut (Olson, Gregory J., 1990). Sedangkan untuk fungi *Aspergillus niger* menghasilkan asam sitrat (Ghorbani Y dkk., 2007). Keefektifan proses *bioleaching* bergantung terhadap kemampuan mikroorganismenya dan komposisi mineral dan kimia dari logam yang akan diekstraksi. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses *bioleaching* antara lain adalah nutrisi, kebutuhan O₂ dan CO₂, pengadukan, pH, dan temperature.

Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* mengoksidasi unsur logam. Proses ini membebaskan sejumlah energi yang digunakan untuk membentuk senyawa yang diperlukannya. Selain energi, proses oksidasi tersebut juga menghasilkan senyawa asam sulfat. Maka aktivitas *Thiobacillus ferrooxidans* akan mengubah besi yang tidak larut dalam air menjadi besi sulfat yang larut dalam air (Olson, Gregory J., 1990), Zhang Lin (2008).



Sama halnya dengan logam Fe, logam Zn dan Al juga mengalami reaksi oksidasi seperti berikut:



Proses metabolisme dari fungi melibatkan sintesis karbohidrat, dimana mengubah glukosa yang dihasilkan dari sintesis karbohidrat menjadi produk asam organik. Reaksinya adalah sebagai berikut:



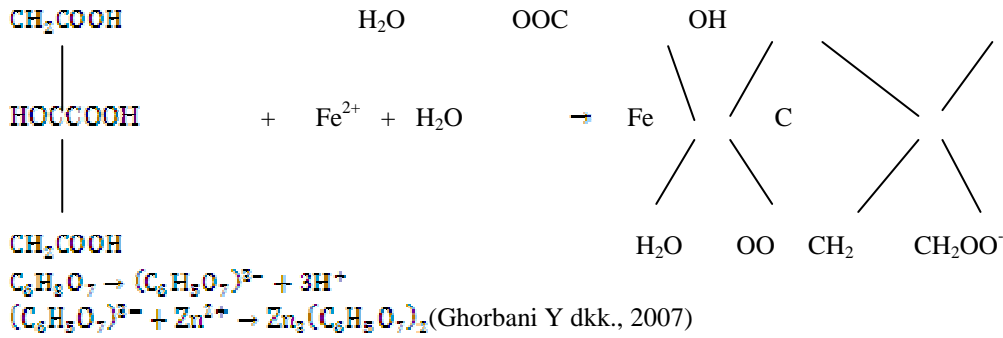
Dimana: C₆H₈O₇ = asam sitrat

Proses *bioleaching* dengan menggunakan *Aspergillus niger* disebabkan adanya reaksi kimia oleh asam organik, dimana asam organik (asam sitrat) akan mengekstraksi logam di dalam larutan. Asam yang dihasilkan akan berdampak terhadap meningkatnya pelarutan logam seiring dengan menurunnya pH dan meningkatnya jumlah logam yang terekstrak dimana akan membentuk senyawa organik kompleks. Selama proses akan terjadi penurunan pH, penurunan ini disebabkan oleh asam sitrat yang terbentuk oleh fungi *Aspergillus niger* dimana glukosa yang digunakan sebagai sumber energi diproduksi dengan oksidasi tidak sempurna oleh *Aspergillus niger*.

Fungi mampu mengekstrak logam dengan proses asidolisis dan kompleksasi. Asam sitrat merupakan asam trikarboksilat yang memiliki tiga gugus karboksilat dan satu gugus hidroksil yang mampu mendonorkan H⁺ ketika kation Al³⁺ yang tersedia dalam sistem dan asam sitrat mengalami disosiasi secara sempurna dalam larutan (Ghorbani Y dkk., 2007). Reaksi kompleksasi yang terjadi adalah sebagai berikut:

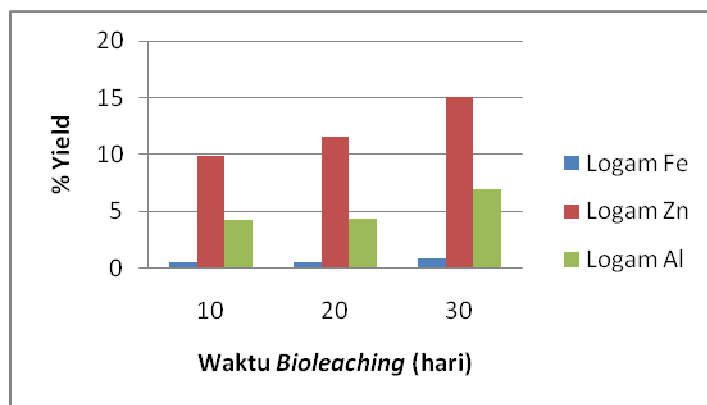


Reaksi di atas akan menghasilkan aluminium sitrat kompleks. Mekanisme reaksi untuk logam Fe dan Zn sama dengan mekanisme reaksi Al. Reaksi untuk logam Fe dan Zn adalah sebagai berikut:

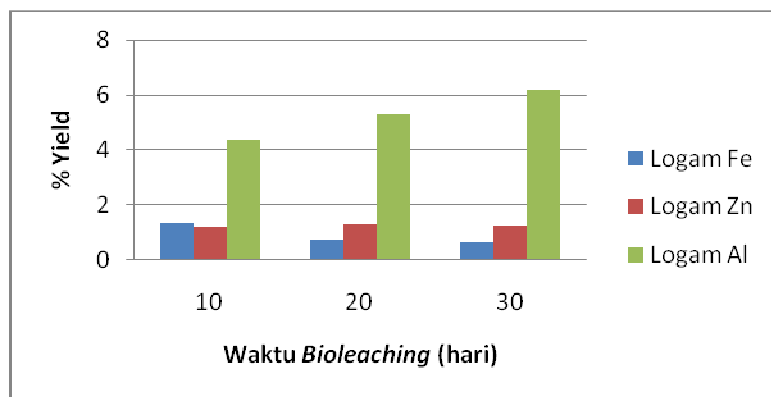


Pengaruh Jenis Mikroorganisme Terhadap Selektifitas Logam yang Terekstraksi

Kecenderungan selektifitas logam yang terekstraksi terhadap suatu jenis mikroorganisme adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Selektifitas Logam yang Terekstraksi terhadap Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*



Gambar 5 Selektifitas Logam yang Terekstraksi terhadap Fungi *Aspergillus niger*

% Yield pada Gambar 4 dan 5 adalah % massa logam di dalam rafinat terhadap kandungan logam awal di dalam mineral (*pyrite*). Berdasarkan karakteristik diagram batang pada gambar di atas, dapat diketahui bahwa bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan fungi *Aspergillus niger* mempunyai kemampuan berbeda dalam melakukan proses *bioleaching*.

Proses *bioleaching* menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* lebih selektif untuk memisahkan logam Zn dan Al dibandingkan menggunakan fungi *Aspergillus niger*. Sedangkan untuk logam Fe ditunjukkan perolehan *yield* paling besar pada hari ke-10 dengan menggunakan *Aspergillus niger*, dan lama-kelamaan menurun mencapai titik paling rendah pada hari ke-30 dibandingkan dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.

Kesimpulan

1. Semakin lama waktu *bioleaching*, semakin besar jumlah logam yang terekstraksi.



2. Logam Al terekstraksi paling tinggi dibandingkan dengan logam lainnya dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dan fungi *Aspergillus niger*.
3. *Bioleaching* menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* secara umum lebih baik mengekstraksi semua logam (Fe, Al, dan Zn).
4. Konsentrasi logam di dalam rafinat tertinggi adalah 759 ppm untuk logam Al pada proses *bioleaching* menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*.
5. Perolehan (yield) logam di dalam rafinat tertinggi diperoleh sebesar 15,021 % untuk logam Zn pada proses *bioleaching* dengan menggunakan bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*

Daftar Pustaka

- Flo, Nindy. (2012). "Pyrite". Diakses 10 Juli 2014, dari <http://www.nindyblogspot.com/htm>.
- Ghorbani, Y, dkk. (2007). "Use of Some Isolated Fungi in Biological Leaching of Aluminium from Low Grade Bauxite". *Jurnal of Biotechnology*. Diakses 18 Juli 2014, dari <http://www.sciencedirect.com>.
- Hilyan, Hildayanti. (2012). "Sumber Daya Mineral di Indonesia". Diakses 10 Juli 2014, dari <http://www.hildayantihilyan.blogspot.com>.
- Olson, Gregory J. (1990). "Rate of Pyrite by *Thiobacillus ferrooxidans* Results of an Interlaboratory Comparison". Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. Diakses 18 Juli 2014, dari <http://www.pyritebioleaching.co.id>.
- Pani, Balam. (2010). "Environmental Chemistry Bioleaching". Diakses 11 Juni 2013, dari http://www.booksgoogle.co.id/environmental_chemistry_bioleaching.
- Zhang Lin, QIU Guan-zhou. (2008). "Bioleaching of pyrite by *A. ferrooxidans* and *L. ferriphilum*". Changsha, China: School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University. Diakses 24 Juni 2014, dari <http://www.sciencedirect.com>.





Lembar Tanya Jawab

Moderator: Zubaidi Achmad (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Notulen : Putri Restu D. (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Frity Lisa Taroreh (Biologi Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga)
Pertanyaan : Mengapa dalam penelitian ini digunakan bakteri dan fungi secara bersamaan?
Jawaban : Bakteri dan fungi dilakukan tidak bersamaan melainkan sebagai variabel dalam penelitian. Peran bakteri yaitu: mengoksidasi substrat yang digunakan, mengoksidasi mineral sulfur menjadi asam sulfat. Dalam suasana asam logam akan mudah terekstraksi. Peran fungi sama dengan bakteri bedanya fungi akan mengoksidasi substrat organik menjadi asam sitrat.
2. Penanya : Nurhidayati (Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Surakarta)
Pertanyaan : Variabel apa yang digunakan dan apakah sudah dilakukan optimasi waktu? Apakah perbedaan leaching dan bioleaching?
Jawaban : Variabel yang digunakan waktu dan jenis bakteri/fungi. Belum dilakukan optimasi karena akan dilakukan penelitian lebih lanjut. Leaching menggunakan pelarut khusus sedangkan bioleaching hanya dengan air.
3. Penanya : Hendro (Kementrian Perindustrian)
Pertanyaan : Apakah perlu ditambahkan nutrisi untuk bakteri?
Jawaban : Ya, diberikan tambahan nutrisi yang berbeda pada waktu-waktu yang berbeda.

