

PROSES PELINDIAN DENGAN BAKTERI DARI BIJIH URANIUM ASAL LEMAJUNG KALIMANTAN

Z.Armiya*, E.Suwadji**

*Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

**Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PROSES PELINDIAN DENGAN BAKTERI DARI BIJIH URANIUM ASAL LEMAJUNG KALIMANTAN. Percobaan pelindian dilakukan dengan menggunakan 40 kg bijih U Lemajung dalam drum plastik yang berisi 160 liter larutan 9 K (Silverman). Pelindian dilakukan selama 5 bulan. Parameter pertumbuhan bakteri dan uranium yang terekstraksi diamati dengan menentukan kadar Fe^{+2} , Fe^{+3} , Fe total, kadar O_2 larutan, potensial redoks (mV), pH, jumlah bakteri, dan kadar U. Untuk mempertahankan lingkungan hidup bakteri dan isi larutan, pada percobaan ini ditambahkan larutan H_2SO_4 encer dan $Fe_2SO_4.H_2O$. Bakteri inokulumnya *Thiobacillus ferrooxidans* F 402. Hasil percobaan menunjukkan terjadinya proses pertumbuhan bakteri yang sangat baik, yang ditunjukkan oleh terjadinya perubahan, potensial redoks dan oksidasi $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$. Pemulihan (recovery) U pada akhir percobaan ialah 28,4% dengan kadar U sebesar 250 ppm dalam 160 liter larutan pelindi.

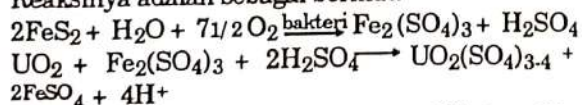
ABSTRACT

BACTERIAL LEACHING OF URANIUM ORE FROM LEMAJUNG, KALIMANTAN. Leaching experiment was conducted using 40 kg Lemajung U ore in plastic tank containing 160 liters of 9 K (Silverman) solution. The leaching period was 5 months. Bacterial growth parameter as well as extracted uranium, was assayed by observing the concentration of Fe^{2+} , Fe^{3+} , total Fe, and O_2 , redox potential, pH, number of bacteria and the concentration of U. Inoculum bacteria was *Thiobacillus ferrooxidans* F 402. Result of the experiments showed that bacteria grew well indicated by changes of redox potential and the oxydation of $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$. Uranium recovery was 28,4% or 250 ppm of U in 160 liters solution at the end of the experiment.

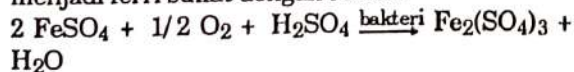
PENDAHULUAN

Pada proses pelindian secara bakteri dari bijih uranium digunakan bakteri dari jenis *Thiobacillus ferrooxidans*. Fungsi bakteri ini adalah sebagai katalisator dalam proses oksidasi mineral-mineral besi-sulfida seperti pirit (FeS_2) yang terdapat dalam bijih. Dari reaksi tersebut dihasilkan ferri-sulfat dan asam sulfat yang diperlukan untuk melindi uranium dalam bijih.

Reaksinya adalah sebagai berikut:



$UO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow UO_2(SO_4)_{3-4} + 2H_2O + 4H^+$
Selanjutnya, ferro sulfat oleh bakteri diubah lagi menjadi ferri sulfat dengan reaksi:



Proses ini sangat tergantung dari pertumbuhan bakteri disamping faktor-faktor lain seperti: jenis batuan, kandungan mineral-mineral, dan permeabilitas dari batuan tersebut [1].

Pada penelitian terdahulu telah dilakukan isolasi beberapa strain bakteri *Thiobacillus*

ferrooxidans dalam berbagai macam media untuk pembiakannya [2].

Beberapa percobaan juga telah meneliti pengaruh ukuran bijih uranium Kalimantan, dan ternyata jenis yang pembiakannya terbaik adalah *Thiobacillus ferrooxidans* F 402 yang berasal dari Kalimantan [2].

Pada penelitian ini percobaan pelindian dilakukan dengan strain yang berasal dari batuan Kalimantan, yang telah berhasil dikembangkan di Laboratorium Biologi PAIR. Dan medium yang digunakan adalah 9 K.

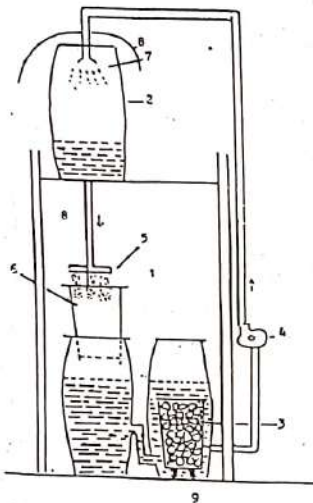
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan bakteri dalam kondisi yang mungkin dapat diterapkan di lapangan. Selain itu juga untuk mendapatkan pengalaman teknis yang berguna untuk penelitian selanjutnya, sehingga akan diperoleh hasil yang memadai.

TATAKERJA

Bijih yang digunakan berasal dari Lemajung Kalimantan dengan kandungan U 3522 ppm dan Fe 5310 ppm. Bijih yang semula berbentuk bong-

kah kemudian dihancurkan sampai berukuran 0,5 inci.

Sampel seberat 40 kg dimasukkan ke dalam ember berisi 20 liter, kemudian ember tersebut dimasukkan ke dalam tangki atau drum plastik yang berisi cairan H_2SO_4 yang telah diencerkan sampai pH 2.5. Drum ini dihubungkan dengan drum lain sehingga jumlah cairan untuk kedua drum tersebut 160 liter. Cairan dari drum plastik dipompakan ke drum pada bagian atas, yang kemudian dialirkan kembali ke drum bagian bawah dengan cara disemprotkan. Bagan dari instalasi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan sirkulasi sistem pelindian dalam tangki plastik untuk 40 kg bijih uranium.

Keterangan gambar:

1. Drum plastik berisi larutan pelindi.
2. Drum tempat penampungan larutan pelindi bagian atas.
3. Ember berisi bijih uranium.
4. Pompa sirkulasi 140 Watt (23 l/menit).
5. Aliran semprotan (2 l/menit).
6. Penampung tempat masuk larutan.
7. Semprotan bagian atas.
8. Kain hitam sebagai penutup.
9. Kaki (balok) penyangga.

Untuk melihat pertumbuhan bakteri dan laju pelindian uranium, ditentukan beberapa parameter: Fe^{+2} , Fe total, Eh (mV), kadar O_2 larutan, pH, pertumbuhan bakteri, dan kadar Uranium.

Untuk mempertahankan kondisi lingkungan percobaan, dilakukan penambahan larutan H_2SO_4 encer dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Dalam hal ini teknik pelindian dengan sistem tangki lebih diutamakan sehingga tidak dilakukan ulangan, tetapi setiap pengambilan contoh dilakukan 5 kali. Selama percobaan dilakukan penambahan bakteri dan beberapa kali penambahan bahan, antara lain:

- Bakteri, satu kali dengan kepadatan 9×10^3 /ml
- H_2SO_4 encer, lima kali masing-masing 20 cc dengan pH yang sama.
- $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, lima kali masing-masing 500 gram.

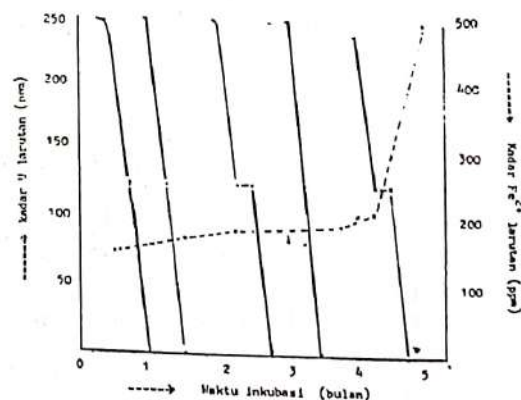
Penetapan kadar U larutan dilakukan dengan metode JOHNSON dkk. [3], sedangkan kadar Fe dengan kertas uji dari Merck 100014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan bakteri yang dihasilkan sangat baik, yaitu pada tiga minggu setelah pemberian inokulum. Keadaan ini ditandai dengan terjadinya perubahan Fe^{2+} dari 500 ppm menjadi 0 ppm, seperti yang terlihat pada tabel 1 dan gambar 2.

Tabel 1. Perubahan kadar Fe^{2+} larutan (ppm) selama masa inkubasi 5 bulan.

Kadar Fe^{+2} (ppm)				
Waktu inkubasi (bulan)				
I	II	III	IV	V
500	250	250	250	250
500	0	250	0	250
250	0	0	0	0
0	0	0	0	0
$312,5 \pm 239$	$62,5 \pm 125$	125 ± 144	$62,5 \pm 125$	125 ± 144



Gambar 2. Perubahan kadar Fe^{2+} dan U sebagai fungsi waktu

Demikian pula yang terjadi setiap 3-4 minggu berikutnya. Setelah didahului oleh penambahan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 500 g selalu terlihat proses oksidasi $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$. Kegunaan penambahan FeSO_4 sampai dengan lima kali tersebut, selain untuk memberikan sumber energi bagi pertumbuhan bakteri juga untuk mempertahankan perbandingan $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$. Apabila hasil perbandingannya lebih kecil, maka potensial redoks larutan menjadi lebih besar dari 350 mV. Dan keseimbangan yang paling baik, dimana terjadi pelindian yang didahului oleh oksidasi U^{4+} (yang sukar larut) menjadi U^{6+} (yang mudah larut) ialah pada potensial redoks 450 mV [5]. Pada potensial redoks di atas 550 mV, hampir seluruh Fe^{2+} berubah menjadi Fe^{3+} . Tabel 2 menunjukkan nilai potensial redoks 300-500 mV, yang berarti perbandingan $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ masih dalam batas yang memungkinkan terjadinya pelindian U yang optimal, dengan pengendapan Fe^{3+} yang terbatas.

Tabel 2. Perubahan potensial redoks (mV) masa inkubasi 5 bulan.

Potensial redoks (mV)				
Waktu inkubasi (bulan)				
I	II	III	IV	V
240	340	360	385	400
240	350	395	385	420
300	350	370	390	420
340	360	375	370	450
280 ± 49	350 ± 8	375 ± 15	383 ± 9	423 ± 21

Hal ini dapat dilihat pada nilai kadar Fe total yaitu 250-500 ppm (Tabel 1). Kelarutan Fe^{3+} sangat dipengaruhi oleh pH larutan, dimana pada pH rendah pelarutan Fe^{3+} bisa lebih banyak. Tabel 3 menunjukkan kelarutan Fe^{3+} pada berbagai pH larutan yaitu 2,0-3,0, yang mana pada pH 3,0 kelarutan Fe^{3+} menjadi berkurang.

Tabel 3. Perubahan pH selama masa inkubasi 5 bulan

Nilai keasaman (pH)				
Waktu inkubasi (bulan)				
I	II	III	IV	V
3,0	2,2	2,0	2,0	2,2
3,0	2,0	2,3	2,0	1,9
2,5	2,0	2,1	2,2	2,0
2,2	2,0	2,0	2,0	2,2
$2,7 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,15$

Pengendapan yang terjadi pada pH diatas 3,0 akan menghambat proses pelindian U, karena tertutupnya permukaan mineral, yang akhirnya akan mencegah masuknya bakteri dan unsur nutrisi yang diperlukan oleh bakteri [5]. Dalam hal ini penambahan H_2SO_4 adalah untuk mempertahankan pH dibawah 3,0, agar pelindian U yang terjadi dapat optimal.

Hasil pelindian menunjukkan kenaikan kadar U larutan, yaitu 75 ppm pada bulan pertama kemudian menjadi 250 ppm pada bulan ke tiga (lihat tabel 4 dan gambar 2). Artinya pelindian berjalan sangat baik. Demikian pula halnya

Tabel 4. Perubahan kadar U larutan (ppm) selamamasainkubasi.

Kadar U (ppm)				
Waktu inkubasi (bulan)				
I	II	III	IV	V
t.d.*	t.d.	88	78,8	100,6
75	85	t.d.	t.d.	td.
t.d.	t.d.	t.d.	99,2	250
t.d.	t.d.	84,4	100,4	t.d.

t.d. = tidak diukur

dengan keadaan bakteri, walaupun terjadi pemekatan U dalam larutan tetapi tidak mempengaruhi pertumbuhan bakteri, sebab ternyata masih ada bakteri di dalam larutan. Hal ini mungkin disebabkan inokulum bakteri yang diberikan (berasal dari *T. ferrooxidans* F 402) sudah teradaptasi lama di Kalimantan. Oleh karena kehidupan bakteri sangat membantu pelindian U yang optimal, maka kondisi lingkungan larutan pelindian harus diatur sedemikian rupa sehingga tercipta kesesuaian antara pH, potensial redoks, kelarutan Fe^{2+} , Fe^{3+} , dan lain-lain. Hal ini dapat dicapai dengan mempertahankan kondisi larutan pelindian pada setiap siklus pelindian, yaitu dengan memberikan penambahan larutan pH 2,0 sebanyak satu liter setiap harinya. Pada percobaan ini digunakan bijih dengan ukuran 0,5 inci, hal ini mengingat penelitian akan disesuaikan dengan penerapan di lapangan. Biaya untuk memperoleh ukuran bijih yang halus selain mahal juga sukar dalam pelaksanaannya.

Oleh karena itu ukuran bijih ini dianggap cukup sesuai pada pelindian ini, meskipun ukuran lebih halus tetapi lebih memungkinkan bagi bakteri dengan mineralnya.

Dalam percobaan ini telah dilaksanakan sistem aerasi yang menggunakan larutan pelindian 160 liter. Dengan kecepatan 2 liter per menit, larutan

pelindi disirkulasikan dengan pompa 140 watt. Sistem ini merupakan pelindian tangki (tank leaching), dimana seluruh permukaan bijih terdapat dalam kelembaban 100% atau terendam dalam larutan. Pada sistem ini masih terjadi kontak bakteri dengan permukaan mineral [4], hal ini dimungkinkan oleh adanya bantuan aliran sirkulasi yang baik. Pada sistem pelindian yang lain, yaitu dengan sistem *heap* atau *dump*, bijih tidak terendam seluruhnya, tetapi bagian puncak dari tumpukan bijih saja yang disiram dengan larutan pelindi, pada selang waktu tertentu. Pada sistem ini kelembaban yang diperoleh adalah 80 - 100% [4]. Pada sistem pelindian tangki ini ternyata aerasi larutan cukup baik, yaitu 5-7 ppm kadar O₂ larutan (Tabel 5).

Dari hasil analisa percobaan, telah diperoleh kadar U sebesar 250 ppm dalam 160 liter larutan, dengan demikian diperoleh pemulihan (recovery) U sebesar 28,4%

Meskipun percobaan ini menggunakan sistem pelindian tangki, namun hasil pemulihannya cukup tinggi, berdasar teori yang dikemukakan oleh McCreedy [5]. Hal ini juga dimungkinkan antara lain oleh sifat porositas batuan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. TORMA, A.E., The Role of Thiobacillus ferrooxidans in Hydrometallurgical Process, Adv. of Biochem. vol. 6, 1-37 (1977).
2. SUWADJI, E., and BOSECKER, K., Bacterial Leaching of Indonesian Uranium Ore, Investigation of Optimizing The Leaching Process, BGR-Part of BMFT BCT 0110-2, July (1981).
3. JOHNSON, D.A., and FLORENCE, M., Spectrophotometric Determination of U (VI) with 2-(5-Bromo-2-Pyridilazo)-Diethylaminophenol, Anal. Chem. Acta. 53 (1971)73.
4. BRUYNESTEYN, A., and QALDEN, C.C., Microbiological Leaching of U Ore, The Pacific North Met. Conf., Washington 7-9 May (1980).
5. MCCREEDY, H.H., LENDRUM, F.C., and GOW, W.A., Stope Leaching of Uranium Ore. Proc. of the Meeting Canadian U Producers, Ottawa 12 May (1972).

Tabel 5. Perubahan kadar O₂ larutan (ppm) selama masa inkubasi 5 bulan.

Kadar O ₂ (ppm)				
Waktu inkubasi				
I	II	III	IV	V
5,5	6,0	6,7	6,4	6,2
5,5	6,2	6,3	5,8	5,8
5,9	6,1	6,1	5,9	6,2
6,0	5,8	5,6	5,6	6,2
5,7 ± 0,30	6,0 ± 0,17	5,6,2 ± 0,5	5,9 ± 0,30	6,1 ± 0,2

KESIMPULAN

Percobaan pelindian dengan sistem pelindian tangki ini cukup baik, apabila faktor pelindinya cukup mendukung. Faktor-faktor tersebut antara lain: pH, kadar Fe²⁺, kadar Fe³⁺, porositas bijih, aerasi, dan sifat bakteri pelindi. Pertumbuhan bakteri sangat baik, hal ini terlihat pada penambahan lima tahap pemberian FeSO₄.7H₂O masing-masing 500 g, dimana diperoleh pemulihan sebesar 28,4%.