

PAIP/P.246/1987

PENGARUH PEMBERIAN BEBERAPA MEDIA
PERTUMBUHAN PADA PELINDIAN BIJIH
URANIUM BERKADAR RENDAH OLEH
BAKTERI *Thiobacillus* SECARA
SEMI LAPANGAN

Edih Suwadi

K.P. 544

PENCARUH PEMBERIAN BEBERAPA MEDIA PERTUMBUHAN PADA PELINDIAN BIJIH URANIUM BERKADAR RENDAH OLEH BAKTERI *Thiobacillus* SECARA SEMI LAPANGAN

Edih Suwadji*

ABSTRAK

PENGARUH PEMBERIAN BEBERAPA MEDIA PERTUMBUHAN PADA PELINDIAN BIJIH URANIUM BERKADAR RENDAH OLEH BAKTERI *Thiobacillus* SECARA SEMI LAPANGAN. Telah dilakukan percobaan pelindian terhadap limbah (tailing) bijih uranium Remaja Kalimantan. Bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* F₄₀₂ digunakan sebagai bakteri pelindi dengan pemberian inokulum sebanyak 900 ml dengan kepadatan 9×10^3 bakteri/ml. Sebagai medium pertumbuhan digunakan larutan 9K, Larutan H₂SO₄ pH 2,0 dan 1,5; dan oksidator NaClO₃. Percobaan dilakukan secara heap leaching dari sejumlah 20 ton bijih U. Hasil percobaan menunjukkan bakteri *T. ferrooxidans* F₄₀₂ mampu tumbuh dengan memuaskan pada kondisi lingkungan semi lapangan. Pada percobaan dengan menggunakan bahan-bahan 9K telah terjadi proses oksidasi Fe²⁺ → Fe³⁺, kenaikan potensial redoks dan jumlah bakteri dalam larutan pelindi yang berarti terjadinya pertumbuhan bakteri. Pemberian oksidator NaClO₃ tidak menunjukkan adanya oksidasi Fe²⁺ → Fe³⁺. Pemberian campuran 4 kg NaClO₃ dengan 1/5 takaran bahan 9K menghasilkan proses oksidasi yang lambat.

ABSTRACT

EFFECTS OF DIFFERENT GROWTH MEDIUM ON LEACHING OF LOW GRADE URANIUM ORE USING *Thiobacillus* IN A SEMI FIELD EXPERIMENT. Bacterial leaching was carried out to leach uranium tailings from Remaja Kalimantan U ore. Nine hundreds ml of *T. ferrooxidans* F 402 inoculum was used in density of 9×10^3 bacteria/ml. Some growth medium were used i.e. Silverman or 9K medium, sulfuric acid Ph 1.5 and 2.0; and NaClO₃ as oxydizing agent. Twenty tons of U.ore was mounted on a Heap leaching experiment. *T. ferrooxidans* F 402 was able to grow satisfactorily in the semi field experiment. In leaching solution composed of 9K compounds, bacteria grew well indicated in the number of bacteria in the solution, the oxidation of Fe²⁺ → Fe³⁺ caused increase in redox potential. The addition of NaClO₃ did not oxydized Fe²⁺ → Fe³⁺. The mixture of 4 kg NaClO₃ and 1/5 dose of 9K compounds resulted in slow oxidation.

PENDAHULUAN

Penelitian tentang pelindian bijih uranium dengan bakteri *Thiobacillus* telah dilakukan di PAIR-BATAN secara rutin dan berkesinambungan. Hal ini dilakukan mengingat hasil penelitian mudah terpengaruh akibat keadaan lingkungan pertumbuhan yang sifatnya selalu berubah setiap waktu. Dari penelitian yang telah dilakukan (1, 2, 3) dapat diamati adanya faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri sehingga akan mempengaruhi proses pelindian.

Umumnya bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* dapat beradaptasi dengan baik terhadap perubahan nilai pH larutan, yaitu 1,6-2,5 (4) sehingga perubahan nilai pH dalam batas 2,0-3,0 masih dapat menyebabkan bakteri melangsungkan kehidupannya. Faktor lingkungan yang lain, seperti kadar Fe²⁺, kadar Fe³⁺, potensial redoks dan jenis mineral yang dikandung batuan uranium dapat pula mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Perbedaan keadaan lingkungan tersebut masih dapat diadaptasi oleh bakteri *Thiobacillus* dengan cukup baik selama percobaan masih dilakukan dalam skala laboratorium. Akibat pengaruh

* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

keadaan lingkungan secara skala laboratorium dalam jangka waktu yang cukup lama, kemungkinan bakteri akan kurang toleran terhadap lingkungan alam, seperti yang dikemukakan oleh BANEGYI dkk. (5). Untuk mengembalikan daya toleransi bakteri pada keadaan hidup secara alami, perlu dilakukan pengujian kembali secara lapangan.

Pada percobaan ini telah dilakukan percobaan untuk mengetahui pertumbuhan bakteri *T. ferrooxidans* F 402 dengan perlakuan yang berbeda dalam media pertumbuhan, yang dilakukan secara semi lapangan di Kalimantan.

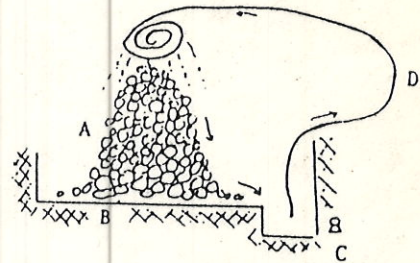
BAHAN DAN METODE

Pada percobaan ini telah digunakan limbah (tailing) uranium TRK-7 Kalimantan, dengan kandungan dan sifat batuan sebagai berikut :

- Kadar uranium < 550 ppm.
- Ukuran butir < 10 cm.
- Kadar Fe total batuan \pm 3 ppm.
- Kadar Fe²⁺ batuan \pm 0,6 ppm.
- Mineral pengotor umumnya merupakan kuarsa.

Bakteri yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *T. ferrooxidans* F 402, merupakan bakteri hasil isolasi yang berasal dari Kalimantan. Percobaan dilakukan menurut sistem Heap Leaching, yaitu merupakan tumpukan limbah batuan U yang dialiri larutan pelindi secara terus menerus. Bagian dasar bangunan dialasi lembaran plastik. Larutan pe-

lindi dialirkan melalui bagian atas tumpukan batuan, sedangkan air tampung-an dipompa kembali ke bagian sebelah atas. Bagan Heap Leaching dengan sistem sirkulasi aliran terlihat seperti di bawah :



- A = tumpukan batuan uranium
 B = bak penampung yang dilapisi plastik
 C = pompa untuk menaikkan larutan pelindi
 D = pipa plastik

Sebagai parameter pertumbuhan bakteri, pengamatan dilakukan terhadap perubahan kadar Fe²⁺ menjadi Fe³⁺, potensial redok dan jumlah bakteri. Untuk mempertahankan keadaan lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan bakteri, pengamatan dilakukan terhadap perubahan nilai pH larutan, suhu, dan kelembapan.

Sebagai medium pertumbuhan bakteri, digunakan larutan 9K atau larutan SILVERMAN (6). Komposisi larutan 9K terdiri dari 3,6 kg (NH₄)₂SO₄, 600 g K₂HPO₄, 600 g MgSO₄·7H₂O, 120 g KCl, dan 12 g Ca(NO₃)₂·4H₂O. Air yang digunakan berasal dari sumber mata air dengan pH 5,5 sebanyak 6000 l.

- Perlakuan percobaan terdiri dari :
- Medium pertumbuhan 9K dengan 1/5 takaran, dalam 20 ton batuan U.

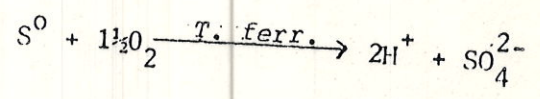
2. Larutan H_2SO_4 dengan pH 1,4 dalam 20 ton batuan U, ditambah 8 kg $NaClO_3$.
3. Larutan H_2SO_4 dengan pH 1,4 dalam 20 ton bijih U.
4. Medium pertumbuhan 9K dengan 1 takaran, dalam 20 ton bijih U.
5. Biakan bakteri *T. ferrooxidans* F 402 dalam 1/5 takaran 9K, sebagai kontrol.
6. Biakan bakteri *T. ferrooxidans* F 402 dalam 1 takaran 9K, sebagai kontrol.
7. Air bilasan yang berasal dari tumpukan Heap Leaching, pada waktu penggantian larutan.
8. Larutan H_2SO_4 pada pH 1,5 dengan penambahan 4 kg $NaClO$ dan 1/5 takaran bahan-bahan 9K untuk 20 ton batuan uranium.

Pengukuran parameter pertumbuhan bakteri dilakukan tiap 4 hari selama 20 hari. Oleh karena beberapa hal, seperti jumlah bijih yang dilindi cukup besar, di samping waktu dan pembiayaan yang terbatas, maka pada percobaan ini tidak dilakukan ulangan. Sumber Fe pada percobaan 1, 2, 3, 4, dan 8 berasal dari batuan U yang dapat mencapai 2000-3000 ppm Fe^{2+} . Pemberian inokulum bakteri sebanyak 900 ml dengan kepadatan 9×10^3 bakteri per ml inokulum. $NaClO_3$ diberikan sebagai oksidator kimia yang akan merubah Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , sedangkan *T. ferrooxidans* F 402 akan berfungsi sebagai oksidator biologis. Sebagai pengganti larutan yang berkurang karena penguapan, penambahan 200 l larutan

asam pH 2,0 dilakukan setiap minggu. Untuk penetapan pH dan potensial redoks digunakan alat pH meter Fischer model 610 dengan elektroda yang berbeda. Penetapan kadar Fe^{2+} dilakukan dengan kertas penguji Merckoquant art 10004 dari Merck dan dengan cara spektrofotometri menggunakan indikator 1,1-orthophenontralin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

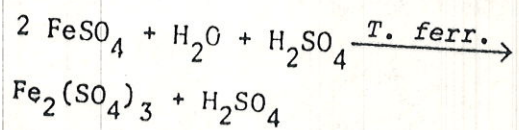
Perubahan Nilai pH. Pada percobaan 2, 3, 7, dan 8 terlihat nilai pH larutan kurang dari 1,4. Keadaan ini disebabkan oleh penambahan H_2SO_4 yang lebih banyak, dengan tujuan untuk memperoleh pelarutan Fe^{2+} yang berlebihan dalam larutan (7). Untuk 6000 l larutan pelindi ditambahkan 3 l H_2SO_4 teknis. Pada kondisi pH seperti ini bakteri tidak dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Seperti terlihat pada Tabel 1 dan Gambar 1, nilai pH umumnya cukup mantap selama percobaan berjalan. Pada percobaan 1, 4, 5, dan 6 nilai pH berkisar antara 2,0-2,5. Kemantapan nilai pH ini disebabkan oleh terjadinya reaksi sebagai berikut (8):



apabila terjadi pengendapan dari $Fe(OH)_3$ yang berlebihan akan terjadi sedikit kenaikan pH larutan, seperti dikemukakan oleh BRUYNESTEYN dkk. (4),

tetapi pada percobaan ini tidak terlihat.

Potensial Redoks Larutan. Potensial redoks larutan akan bertambah apabila terjadi kenaikan kadar Fe^{3+} larutan yang disebabkan oleh peristiwa oksidasi Fe^{2+} (9). Pada percobaan 1, 4, 5, dan 6 dapat diamati adanya pertumbuhan bakteri yang sangat baik yaitu diperlihatkan dengan naiknya potensial redoks larutan pelindi (Tabel 2 dan Gambar 2). Dalam hal ini telah terjadi proses oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} yang disebabkan oleh bakteri *Thiobacillus* seperti terlihat pada reaksi di bawah ini (10):



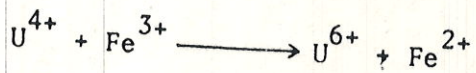
Pada percobaan 8 (Tabel 2 dan Gambar 2), pengaruh penambahan 8 kg $NaClO_3$ ternyata tidak menyebabkan kenaikan potensial redoks, yang berarti tidak terjadi peristiwa oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} . Menurut F. UMAR (11) untuk setiap ton batuan U diperlukan sebanyak 1 kg $NaClO_3$, sehingga mungkin takaran pada percobaan ini masih kurang. Pada percobaan 3 (Tabel 2 dan Gambar 2), tidak terjadi perubahan potensial redoks akibat tidak ditamhkannya bahan-bahan 9K sebagai makanan bakteri. Percobaan 7 serupa dengan percobaan 3 yang juga tidak memperlihatkan kenaikan potensial redoks karena hanya merupakan air bila-

san.

Kadar Fe^{2+} Larutan. Perubahan kadar Fe^{2+} hampir menyerupai pola perubahan potensial redoks, seperti terlihat pada percobaan 1, 4, 5, dan 6 (Tabel 3 dan Gambar 3). Pada percobaan tersebut dapat diamati penurunan kadar Fe^{2+} yang amat tajam selama 20 hari masa inkubasi. Pada percobaan 3 (Tabel 3 dan Gambar 3), masih dapat dilihat adanya kenaikan kadar Fe^{2+} larutan disebabkan oleh nilai pH larutan yang rendah di samping terdapatnya batuan U. Pada percobaan ini tidak terjadi peristiwa oksidasi karena tidak terdapatnya bahan oksidator baik kimia maupun biologis. Bahan pelarut H_2SO_4 pH 1,4 hanya cukup untuk melepaskan Fe^{2+} ke dalam larutannya sampai 2000 ppm (Tabel 3), tetapi tidak cukup untuk melanjutkan proses oksidasi lebih jauh (11). Pada percobaan 8 kadar Fe^{2+} mula-mula menunjukkan kenaikan, tetapi menurun menjelang hari ke 8 (Tabel 3 dan Gambar 3) sampai pada hari ke 20 kadar Fe^{2+} larutan hanya 100 ppm. Hal ini mungkin disebabkan oleh peristiwa oksidasi biologis dari *T. ferrooxidans* karena pada percobaan 8, ditambahkan 1/5 takaran bahan 9K. Pada percobaan 2 tidak terjadi penurunan kadar Fe^{2+} karena tidak ditamhkannya unsur 9K. Percobaan 2 dan 8 (Tabel 3 dan Gambar 3) masing-masing ditambah 8 dan 4 kg $NaClO_3$. Dari kenyataan hasil yang diperoleh dapat diamati selalu adanya proses oksidasi pada setiap perlakuan yang menggunakan

unsur-unsur 9K, yaitu percobaan 1, 4, 5, 6, dan 8. Pada percobaan 2, 3, dan 7 tidak menunjukkan adanya hasil proses oksidasi.

Kadar Fe^{3+} Larutan. Unsur Fe^{3+} berfungsi sebagai oksidator yang dapat mengoksidasi U^{4+} yang sukar larut menjadi U^{6+} yang mudah larut dalam larutan asamnya, dengan menghasilkan kembali Fe^{2+} , seperti reaksi di bawah ini:



selanjutnya Fe^{2+} akan dioksidasikan kembali menjadi Fe^{3+} (10). Pada Tabel 4 dapat dilihat adanya kelarutan kadar Fe^{3+} , yaitu antara 500-2500 ppm pada percobaan 5 dan 6. Pada percobaan 1, 2, 3, 4, 7, dan 8 terlihat kadar Fe^{3+} larutan berkisar antara 6000-8000 ppm (Tabel 4). Kadar Fe^{3+} yang tinggi ini disebabkan oleh adanya kelarutan Fe yang berasal dari 20ton batuan U. Perubahan kadar Fe^{3+} larutan selama percobaan berlangsung umumnya cukup stabil, hal ini disebabkan adanya cadangan Fe yang cukup tinggi yang berasal dari sumbernya (11).

Jumlah Bakteri. Pada percobaan dengan menggunakan inokulum bakteri (percobaan 1, 4, 5, 6, dan 8) dapat diamati adanya pertumbuhan bakteri yang cukup mantap, yaitu dengan terlihatnya 0-5 bakteri tiap bidang pandang pada pembesaran 750 x. Dari pengujian dalam gelas

erlenmeyer terlihat bahwa pada percobaan dengan menggunakan inokulum *T. ferrooxidans* F 402 (percobaan 1, 4, 5, 6, dan 8), seluruh sampel menunjukkan pertumbuhan bakteri yang positif dibandingkan percobaan tanpa pemberian inokulum (percobaan 2, 3, dan 7), seperti terlihat pada Tabel 5.

KESIMPULAN

Berdasarkan parameter pertumbuhan yang diamati, bakteri *T. ferrooxidans* F 402 mampu tumbuh dengan memuaskan pada kondisi percobaan semi lapangan di Kalimantan. Pada percobaan dengan menggunakan bahan-bahan 9K sebagai media pertumbuhan bakteri, telah terjadi proses oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , kenaikan potensial redoks, dan jumlah bakteri dalam larutan pelindi yang berarti terjadinya pertumbuhan selama masa inkubasi, seperti terlihat pada Tabel 5 dan Gambar 3. Pemberian oksidator 8 kg $NaClO_3$ tidak menunjukkan adanya oksidasi dibandingkan dengan pemberian bahan - bahan 9K. Pada pemberian 4 kg $NaClO_3$ dengan penambahan 1/5 takaran bahan 9K, terjadi oksidasi yang agak nyata dibanding pemberian hanya 8 kg $NaClO_3$.

Sampai dimana pemberian $NaClO_3$ dapat mempengaruhi kehidupan bakteri masih diperlukan pengamatan lebih lanjut. Sasaran akhir penelitian, yaitu diperoleh hasil pelindian yang cukup ekonomis dari sejumlah cadangan bijih U

berkadar rendah.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUWADJI, E., and BOSECKER, K., Bacterial Leaching of Indonesia Uranium Ore, Investigation of Optimizing The Leaching Process, BGR-Part of BMFT BCT 0110-2, July (1981).
2. MOSS, F.J., and ANDERSON, J.E., The effects of environment on bacterial leaching rate, Proc. Aust. Min. Met. 225 (1968) 15.
3. BRUYNESTEYN, A., and QALDEN, C.C., "Microbiological leaching of uranium ores", The Pacific North Met. Conf., Washington 7-9 May (1980).
4. BRUYNESTEYN, A., VISZOLI, A., and VOS, R., "Effects of ferrous iron oxydation by *Thiobacillus ferrooxidans*", Use of Microorganisms in Hydrometallurgy (Proc. Conf. Hungary, 1980), Hungarian Acad. of Sci., Beograd (1980) 151.
5. BANHEGYI, I., and KESKES, M., "Ecophysiological study of *T. ferrooxidans* strain isolated in Hungary", Use of Microorganismes in Hydrometallurgy (Proc. Conf. Hungary, 1980), Hungarian Acad. of Sci., Beograd (1980) 151.
6. SILVERMEN, M.P., and LUNDGREN, D.G. On the chemoautotrophic iron bacterium *T. ferrooxidans*. J. Bacteriol. 77 (1959) 642.
7. ANONIM, Petunjuk Proses Pengolahan U, PEPBN-BATAN, Jakarta (1984).
8. UMAR, F., SUPRIJANTO, S.S., dan UNTUNG, R., "Ekstraksi tembaga dan seng dari bijih sulfida dengan bantuan *Thiobacillus ferrooxidans*", Kumpulan makalah Kongres Nasional Mikrobiologi III, Jakarta (1981) 594.
9. SZUCS, I., "Microbiological leaching of sphalerite", Use of Microorganisms in Hydrometallurgy (Proc. Conf. Hungary, 1980), Hungarian Acad. of Sci., Beograd (1980) 151.
10. TORMA, A.E., The role of *T. ferrooxidans* in hydrometallurgical process, Adv. of Biochem. engin. 6 (1977) 253.
11. UMAR, F., Pemikiran Kearsah Pengembangan Teknologi Ekstraksi Bijih Uranium, Jurusan Teknik Pertambangan, ITB, Bandung, (1984).

Tabel 1. Perubahan nilai pH larutan selama 20 hari masa inkubasi.

Perlakuan	Inkubasi (hari)					
	0	4	8	12	16	20
1	2,20	2,10	2,15	2,17	2,20	2,18
2	1,39	1,38	1,40	1,42	1,40	1,43
3	1,40	1,40	1,38	1,45	1,43	1,42
4	2,50	2,35	2,20	2,20	2,23	2,26
5	2,14	2,20	2,00	2,24	2,17	2,21
6	2,45	2,32	2,36	2,26	2,50	2,23
7	1,82	1,93	1,86	1,86	1,84	1,87
8	1,40	1,23	1,39	1,38	1,74	1,80

Tabel 2. Perubahan potensial redoks selama 20 hari masa inkubasi.

Perlakuan	Inkubasi (hari)					
	0	4	8	12	16	20
..... (mv)						
1	453	457	508	566	588	602
2	448	450	451	462	460	458
3	448	450	453	457	452	457
4	381	417	583	592	590	607
5	447	560	605	620	618	625
6	400	420	600	590	590	620
7	447	450	451	462	460	462
8	450	442	428	478	522	564

Tabel 3. Perubahan kadar Fe^{2+} larutan selama 20 hari masa inkubasi.

Perlakuan	Inkubasi (hari)					
	0	4	8	12	16	20
..... (100 ppm)						
1	8,0 \pm 1,0	4,0 \pm 0,6	1,5 \pm 0,3	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0
2	15 \pm 1,5	10 \pm 1,5	10 \pm 1,5	10 \pm 1,5	10 \pm 1,5	10 \pm 2,0
3	15 \pm 1,5	20 \pm 3,0	20 \pm 2,0	20 \pm 2,5	20 \pm 2,0	20 \pm 3,0
4	10 \pm 1,0	5 \pm 0,5	0	0	0	0
5	10 \pm 1,0	5 \pm 0,6	0	0	0	0
6	10 \pm 1,5	5 \pm 0,6	0	0	0	0
7	7,5 \pm 1,0	8 \pm 0,8	9,0 \pm 1,2	8,5 \pm 0,9	0,9 \pm 1,0	8,0 \pm 0,8
8	15 \pm 1,5	20 \pm 2,0	20 \pm 2,5	10 \pm 1,5	2,0 \pm 0,3	1,0 \pm 0,1

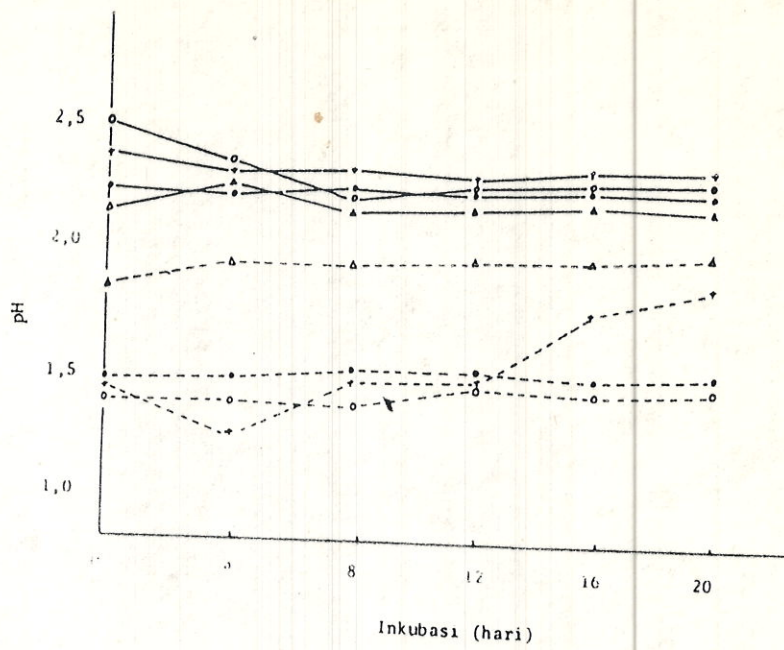
Tabel 4. Perubahan kadar Fe^{3+} larutan selama 20 hari masa inkubasi.

Perlakuan	Inkubasi (hari)					
	0	4	8	12	16	20
 (100 ppm)					
1	6,0 _± 0,8	7,0 _± 1,0	7,0 _± 1,4	7,0 _± 1,0	6,5 _± 0,8	7,0 _± 1,0
2	6,0 _± 0,9	6,0 _± 1,0	7,0 _± 1,0	6,5 _± 0,9	6,0 _± 1,0	5,0 _± 1,0
3	7,0 _± 1,0	8,0 _± 0,8	8,0 _± 1,2	7,5 _± 1,0	8,0 _± 0,8	7,5 _± 1,0
4	7,0 _± 1,2	6,5 _± 0,9	6,0 _± 0,9	6,0 _± 0,9	6,5 _± 1,0	6,0 _± 0,9
5	2,0 _± 0,3	1,0 _± 0,2	1,0 _± 0,2	1,0 _± 0,2	1,5 _± 0,2	1,0 _± 0,2
6	2,0 _± 0,3	1,5 _± 0,2	1,0 _± 0,2	1,0 _± 0,2	1,5 _± 0,2	1,0 _± 0,2
7	7,5 _± 1,0	8,0 _± 1,2	8,0 _± 1,2	9,0 _± 1,3	7,5 _± 1,0	7,0 _± 1,2
8	8,0 _± 1,2	8,0 _± 1,2	7,5 _± 1,0	8,0 _± 1,2	7,0 _± 1,0	7,0 _± 1,0

Tabel 5. Perubahan potensial redoks (mV), oksidasi Fe^{2+} , dan jumlah bakteri selama 20 hari masa inkubasi.

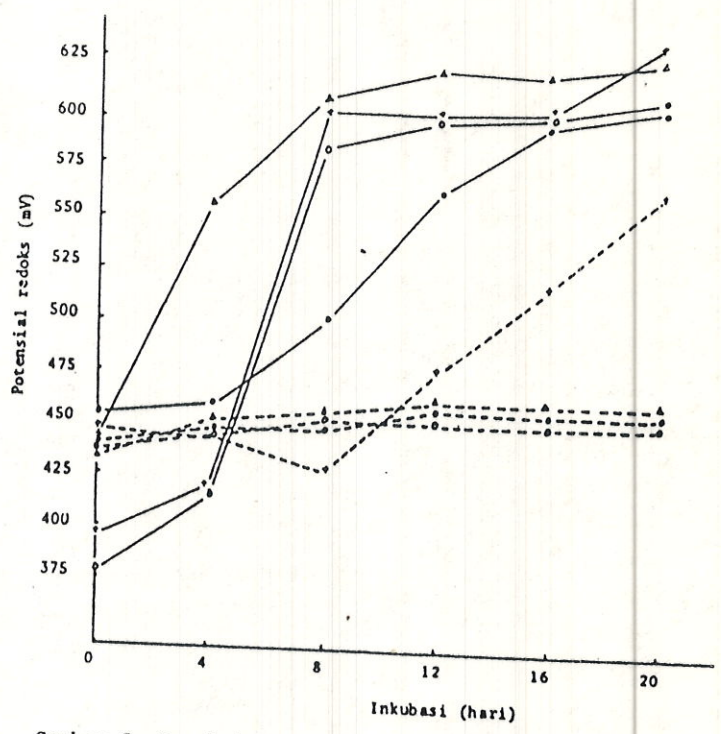
Perlakuan	Oksidasi Fe^{2+}	Potensial redoks	Jumlah bakteri
1	+	+	++
2	-	-	-
3	-	-	-
4	+	+	++
5	+	+	++
6	+	+	++
7	-	-	-
8	+	+	+

- + = Terjadi reaksi
- = Tidak terjadi reaksi
- + = Jumlah bakteri 5 tiap bidang pandang mikroskop pembesaran 750 x
- + = Jumlah bakteri 5-40 tiap bidang pandang mikroskop pembesaran 750 x
- ++ = Jumlah bakteri 40 - 200 tiap bidang pandang mikroskop pembesaran 750 x



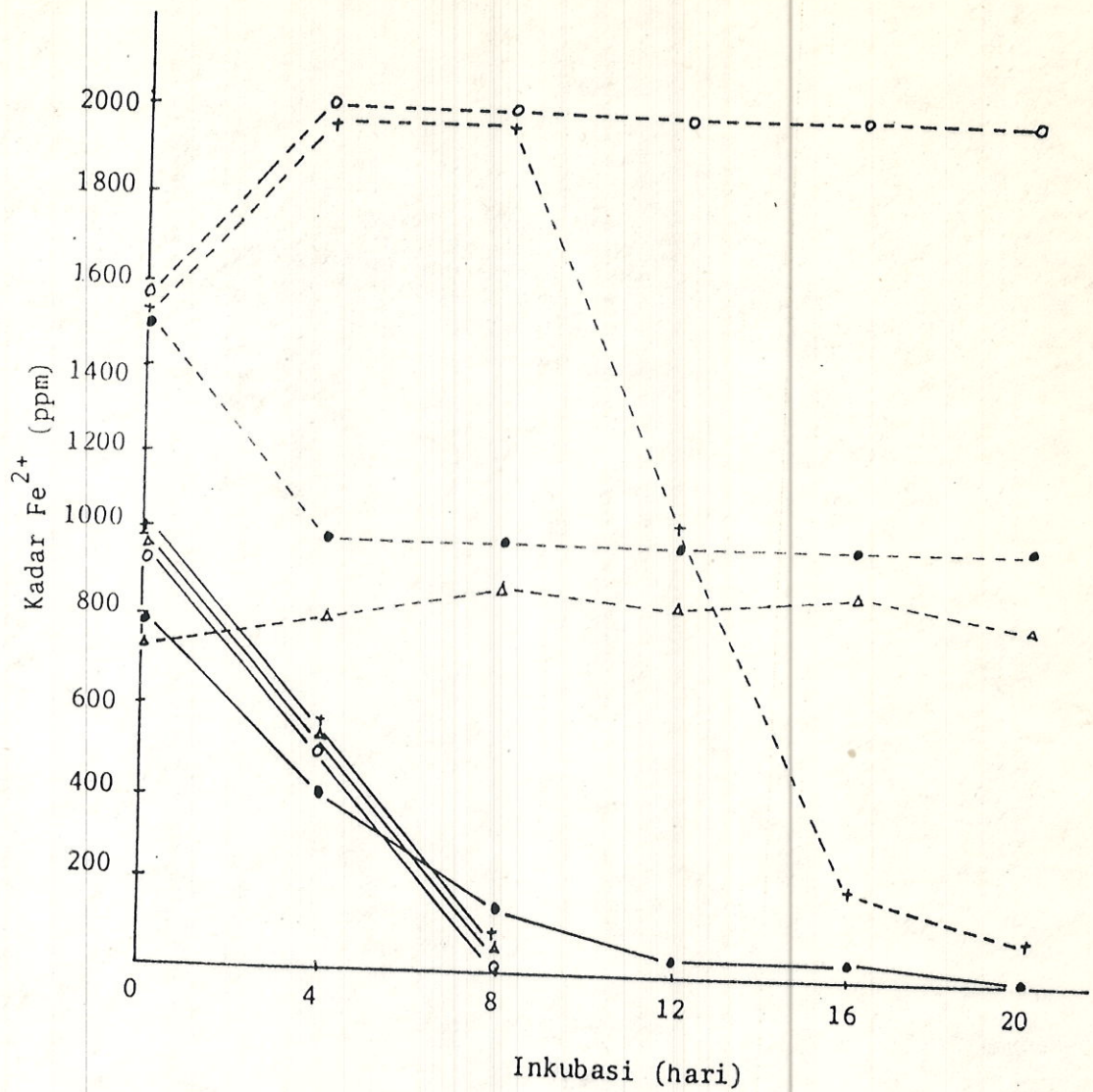
Gambar 1. Perubahan nilai pH larutan pelindi selama 20 hari masa inkubasi.

- — ● = percobaan 1
- — ○ = percobaan 2
- △ — △ = percobaan 3
- ◊ — ◊ = percobaan 4
- + — + = percobaan 5
- x — x = percobaan 6
- ▲ — ▲ = percobaan 7
- ◆ — ◆ = percobaan 8



Gambar 2. Perubahan potensial redoks (mV) selama 20 hari masa inkubasi.

- — ● = percobaan 1
- — ○ = percobaan 2
- △ — △ = percobaan 3
- ◊ — ◊ = percobaan 4
- + — + = percobaan 5
- x — x = percobaan 6
- ▲ — ▲ = percobaan 7
- ◆ — ◆ = percobaan 8



Gambar 3. Perubahan kadar Fe^{2+} dalam larutan pelindi (ppm) selama 20 hari masa inkubasi.

● —● = percobaan 1	● - - ● = percobaan 2
○ - - ○ = percobaan 3	○ —○ = percobaan 4
Δ —Δ = percobaan 5	+ —+ = percobaan 6
Δ - - Δ = percobaan 7	+ - - + = percobaan 8

DISKUSI

E.G. SIAGIAN :

Jenis batu-batuan apa saja yang dapat dilindi oleh bakteri *Thiobacillus* sp. yang ada di Indonesia, dan apa syarat terjadinya leaching itu ?

Mohon penjelasan.

EDIH SUWADJI :

Semua jenis batuan, asalkan batuan tersebut mengandung mineral yang mudah dilindi, yaitu umumnya mineral yang mengandung sulfida logam. Syarat-syarat lainnya agar mudah dilindi, yaitu porositas batuan, tidak mengandung logam berat dalam kadar yang tinggi dan kalau mungkin juga bakteri lokal yang sudah diadaptasikan.