

## PENELITIAN BIOREMEDIASI (EX-SITU) TANAH TERKONTAMINASI LIMBAH B3 YANG MENGANDUNG LOGAM BERAT

Sri Pudji R, Sumingkrat, Siti Noer T, Siti Agustina, Trisny A, Rofienda dan Deni\*

### Abstrak

Untuk merehabilitasi tanah yang tercemar limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang mengandung logam berat, salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah bioremediasi. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan bioremediasi terhadap tanah tercemar limbah buatan yang mengandung logam-logam berat dari industri elektroplating menggunakan mikroorganisme lokal yang mengandung *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. yang diambil dari timbunan limbah dan di sungai dekat pembuangan limbah industri elektroplating, mikroorganisme dari limbah penyamakan kulit dan mikroorganisme pengurai kompos. Dari percobaan bioremediasi dengan bakteri dominan *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. memperlihatkan hasil yang baik, terlihat dari rendahnya konsentrasi hampir semua logam berat baik ditanah maupun di air lindi. Bakteri *Bacillus* sp. dan campuran /kumpulan semua bakteri mempunyai kemampuan yang sangat baik dalam mendegradasi logam-logam berat seperti Cu, Fe, Zn, Ni dan Pb. Sedang bakteri *Pseudomonas* sp. kurang baik untuk mendegradasi logam Zn dan Ni. Untuk mendegradasi logam Cr bakteri yang paling cocok adalah kumpulan mikroorganisme yang berasal dari pengolahan limbah industri kulit.

### Abstract

Bioremediation is one of technologies used microorganism to rehabilitate hazardous waste contaminated soil which contains heavy metals. The research on bioremediation of artificial contaminated soil contains heavy metals from solid waste of electroplating industry has been conducted. Microorganism used in this experiment was a local microorganism isolated from soil and river near electroplating industry which contains *Pseudomonas* sp. and *Bacillus* sp, leather tanning industry and compost degraded bacteria. The treatment used *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. gave a good result to degrade or to absorb the heavy metals showed by lower concentration of heavy metals on treated soil and leachate. *Bacillus* sp. and a combine of all bacteria have very good ability to degrade the heavy metals such as Cu, Fe, Zn, Ni and Pb, while *Pseudomonas* bacteria have low ability to degrade Zn and Ni. Microorganism from leather tanning industry gave good result on Cr degradation.

*Keyword: bioremediation, microorganism, bacteria, heavy metals*

### I. PENDAHULUAN

Pembangunan industri selain membawa dampak yang sangat penting buat pembangunan ekonomi nasional juga membawa dampak negatif yaitu dengan adanya limbah yang kadang membahayakan manusia dan lingkungan. Saat ini pencemaran lingkungan menjadi masalah yang serius sebagai konsekuensi logis dari pembangunan industri yang makin pesat.

Salah satu masalah pencemaran industri yang sangat serius adalah timbulnya limbah padat industri yang sarat dengan kandungan bahan

berbahaya dan beracun yang biasa disebut dengan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah padat ini umumnya merupakan limbah hasil pengolahan limbah cair yang pada pengolahan tersebut air limbah diolah menggunakan teknologi baik kimia, fisika dan biologi sehingga diperoleh limbah cair sesuai baku mutu limbah, sedangkan endapan limbah yang tertinggal yang merupakan limbah dengan konsentrasi tinggi inilah yang kemudian disebut limbah padat (sludge) industri yang mengandung B3. Limbah padat industri kimia umumnya mengandung limbah beracun dan disertai logam-

logam berat yang diendapkan pada waktu pengolahan limbah cair.

Salah satu industri kimia yang limbahnya tergolong B3 karena mengandung logam-logam berat yaitu industri pelapisan logam atau elektroplating. Industri elektroplating berkembang pesat dengan makin berkembangnya industri otomotif dimana komponen-komponen dari industri tersebut membutuhkan pelapisan untuk menghindari korosi logam selain penampilan lebih menarik. Industri lain yang menggunakan teknik pelapisan logam adalah industri logam dan industri kerajinan baik emas maupun perak.

Industri elektroplating ini tersebar diseluruh Indonesia dengan skala industri meliputi industri besar, menengah, kecil dan rumah tangga. Untuk industri skala besar dan menengah umumnya sudah dilengkapi dengan pengolahan limbah cair, sedangkan skala kecil dan rumah tangga banyak yang belum melengkapinya. Sedangkan untuk limbah padat atau sludge dari hasil pengolahan limbah cair belum mendapat perhatian yang serius padahal limbah padat tersebut mengandung logam-logam berat dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Hanya industri skala besar yang telah mengirim limbahnya ke pusat pengolahan limbah B3. Sementara industri kecil dan rumah tangga banyak yang langsung membuang limbahnya ke sungai atau tanah dilingkungan pabrik. Hal tersebut yang membuat sungai dan tanah tercemar dengan limbah B3 seperti yang banyak dilaporkan oleh warga sekitar pabrik atau yang memanfaatkan air sungai untuk mandi dan cuci, seperti kasus yang pernah terjadi di Surabaya, Bekasi dan Munjul Jakarta Timur.

Untuk merehabilitasi tanah yang tercemar, salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah bioremediasi. Bioremediasi adalah teknik pemulihan lingkungan atau penanganan limbah dengan bantuan mikroorganisme untuk menguraikan bahan berbahaya dan beracun dari limbah tersebut. Bioremediasi merupakan teknologi inovatif pengolahan limbah yang bisa menjadi teknologi alternatif dalam menangani pencemaran akibat kegiatan industri yang terjadi di Indonesia.

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan bioremediasi terhadap tanah yang tercemar logam-logam berat secara *ex-situ*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan cara bioremediasi dan mencari jenis mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai agen

bioremediasi sehingga dapat mendegradasi ataupun mengikat logam berat.

## 2. BIOREMEDIASI

Bioremediasi adalah penggunaan proses biologi untuk mengolah tanah, air dan lumpur yang tercemar atau terkontaminasi oleh bahan kimia berbahaya (Cookson, 1995). Secara khusus bioremediasi lebih menekankan pada penggunaan mikroorganisme untuk mengolah limbah berbahaya dan dalam proses tersebut berlangsung dengan adanya katalisis yang berupa enzim-enzim mikrobial yang disekresi oleh mikroorganisme pendegradasi. Mikroorganisme pendegradasi pada mulanya tidak memiliki kemampuan untuk mendegradasi bahan berbahaya, akan tetapi dengan proses diagenesis yaitu proses perubahan kimia, biokimia sehingga perlahan beradaptasi dan akhirnya dapat mendegradasi senyawa polutan yang berbahaya tersebut. Agar proses degradasi dapat terjadi secara optimal maka diperlukan kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan dan perkembangan mikroorganisme.

### 2.1. TEKNOLOGI BIOREMEDIASI

Teknologi bioremediasi adalah menciptakan lingkungan yang terkontrol bagi mikroorganisme untuk dapat memproduksi enzim yang sesuai dengan proses degradasi. Bioremediasi sebenarnya dapat berlangsung secara alami tanpa campur tangan manusia, namun proses itu akan berjalan sangat lama. Agar proses tersebut berjalan lebih baik dan cepat maka dibutuhkan campur tangan manusia dan kemajuan teknologi terutama dibidang biotek. Tanpa adanya enzim yang dapat mengkatalisis reaksi degradasi maka dibutuhkan waktu lama untuk mencapai kesetimbangan. Enzim tersebut dapat menurunkan energi aktivasi. Beberapa enzim memerlukan kofaktor, yaitu senyawa kompleks dengan kemampuan katalitik aktif yang terbentuk dari kombinasi senyawa non protein dengan protein inaktif. Kofaktor dapat berupa ion metal seperti  $Fe^{2+}$  atau  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  (Cookson, 1995). Produksi enzim umumnya dipicu oleh kehadiran substrat yang berfungsi sebagai sumber energi. Secara umum bioremediasi dapat dilakukan dengan:

- Menstimulasi populasi mikroorganisme *indigenous* yang disebut *biostimulasi*
- Menambahkan populasi mikroorganisme *eksogenous* yang disebut *bioaugmentasi*

Pada umumnya *bioaugmentasi* lebih banyak dipilih karena zat pencemar (polutan) yang mengandung bahan beracun degradasinya akan membutuhkan waktu yang lama jika hanya

mengandalkan mikroorganisme *indigenus*. Keberhasilan aplikasi *bioaugmentasi* dapat diukur dari peningkatan jumlah mikroorganisme yang berperan dalam proses degradasi karena dalam kenyataan tidak semua mikroorganisme yang ditambahkan dapat bertahan pada lingkungan baru yang mengandung senyawa beracun, sampai didapatkan strain yang tahan terhadap komponen senyawa racun tertentu. Untuk mendapatkan strain yang tahan dilakukan dengan cara:

- Pengkayaan Selektif
- Penggunaan Produk Mikroorganisme Komersial
- Rekayasa Genetika Mikroorganisme

Pengkayaan selektif merupakan metode yang umum digunakan, yaitu meningkatkan populasi mikroorganisme tertentu dari suatu inokulum (sumber mikroorganisme). Sumber mikroorganisme tersebut dapat berasal dari sludge, air tanah maupun tanah yang tercemar, tempat dimana limbah tersebut berasal, dan bisa juga diperoleh dari fasilitas pengolahan limbah.

## 2.2. PEMILIHAN MIKROORGANISME YANG DIGUNAKAN

Menurut Budiyanto (2002) beberapa jenis mikroorganisme sangat berperan dalam pengelolaan lingkungan. *Pseudomonas* spp. dan *Bacillus* spp. diketahui merupakan genus yang sangat besar peranannya dalam degradasi senyawa pencemar. *Bacillus subtilis* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat pada limbah industri yang banyak mengandung logam berat, demikian pula dengan *Pseudomonas* sp. Selain itu *Pseudomonas* juga telah banyak digunakan dalam bioremediasi limbah minyak. Secara umum kontaminasi lingkungan oleh logam berat merupakan masalah sebagai hasil meningkatnya kegiatan industrialisasi. Mikroorganisme dapat berinteraksi dengan logam dengan berbagai cara untuk dapat menurunkan mobilitas dan kelarutan logam

Untuk mengatasi senyawa pencemar yang mengandung logam berat seperti pada limbah elektroplating, digunakan mikroorganisme yang dapat menggunakan logam berat sebagai nutrisi atau hanya menjerap (imobilisasi) logam berat tersebut. Menurut Budiyanto (2002) mikroorganisme yang dapat mendegradasi logam berat adalah *Thiobacillus ferrooxidans* dan *Bacillus subtilis*. *Thiobacillus ferrooxidans* adalah bakteri yang mendapatkan energi dari senyawa anorganik seperti besi sulfide dan menggunakan energinya untuk membentuk

bahan-bahan yang berguna seperti asam fumarat dan besi sulfat. Sedangkan *Bacillus subtilis* mempunyai kemampuan mengikat beberapa logam berat seperti Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Al dan Fe dalam bentuk nitrat. Bakteri *Escherichia coli* juga diketahui sangat luas peranannya dalam menguraikan senyawa pencemar. Menurut Segelken (1999) *E. coli* dapat mentransportasi dan mengakumulasi merkuri kedalam sel membrannya. Begitu pula dengan logam berat lainnya seperti Cd, Zn, Ni dan Mn dapat diserap dan diakumulasi dalam selnya.

Menurut Raje (2001) kelompok atau genus bakteri yang sangat relevan untuk proses bioremediasi adalah *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Burkholderia* dan *Alcaligenes*. Bakteri-bakteri tersebut mempunyai kesuburan yang tinggi dan potensi katabolisme beragam sehingga dapat bertahan hidup dengan kisaran bahan organik yang luas sebagai makanan primernya.

## 2.3. APLIKASI BIOREMEDIASI

Bioremediasi dapat diaplikasikan pada masalah lingkungan yang bervariasi dan dapat dilakukan secara langsung pada lahan tercemar (*in situ*) atau dengan memindahkan atau mengeduk lahan untuk dilakukan pemulihan (land treatment atau landfarming) di suatu wilayah khusus, perlakuan *composting*, perlakuan fase padat dan dapat menggunakan *bioreactor* diatas tanah (*ex situ*),

Untuk tanah tercemar sering dilakukan pengolahan fase padat, yaitu menempatkan tanah tercemar yang sudah digali kedalam suatu sistem atau wadah dimana semua kondisi proses dapat diatur seperti suplai oksigen, inokulum mikroba, suhu, kelembaban dan pH. Kondisi lingkungan ini dimanipulasi untuk memaksimalkan proses degradasi senyawa beracun oleh mikroba. Penambahan asam atau basa diperlukan bila pH tanah jauh dari kondisi netral. Perlakuan fase padat disebut juga bioreaktor.

Bioremediasi dilakukan secara langsung, biasanya pada lahan yang mengalami pencemaran sangat luas. Modifikasi bioremediasi *landfarming* dapat dilakukan dengan perlakuan tanah, meningkatkan intensitas penyiraman, proses aerasi, penambahan nutrisi berupa kompos atau bahan-bahan lain seperti serbuk kayu. Dalam uji coba cara tersebut terbukti efektif mempercepat pemulihan tanah dalam waktu hanya beberapa bulan. Menurut Wisnuprpto (1996) maupun

Cookson (1995) pelaksanaan proses bioremediasi membutuhkan hal-hal penting seperti:

1. Adanya mikroorganisme yang melaksanakan proses transformasi dan mampu menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi atau mendetoksifikasi bahan beracun yang diolah.
2. Adanya substrat yang dikenali dan dapat digunakan sebagai sumber energi dan akseptor elektron karena mikroorganisme memperoleh energi dari reaksi-reaksi yang berlangsung.
3. Kelembaban yang cukup, pH dan suhu yang sesuai
4. Ketersediaan nutrien untuk mendukung pertumbuhan sel mikrobial dan produksi enzim.

#### 2.4. KARAKTERISTIK LIMBAH B-3 INDUSTRI ELEKTROPLATING

Limbah elektroplating mempunyai sifat-sifat yang umum yaitu limbah bersifat asam, mengandung senyawa beracun sianida serta mengandung logam-logam berat seperti krom heksavalen, tembaga, seng, nikel, timbal yang digunakan dalam melapisi logam ataupun plastik baik sebagai anti karat, anti brazing dan sebagai dekoratif. Limbah elektroplating tersebut menurut PP 85 Tahun 1999 dikategorikan sebagai limbah B3. Selain itu limbah elektroplating juga mengandung besi yang berasal dari pembersihan karat logam-logam yang akan dilapisi. Logam-logam berat tersebut bersifat sukar terdegradasi dan sangat berbahaya dilingkungan karena bersifat akumulasi biologis sehingga apabila terserap oleh tubuh manusia dapat terakumulasi sedikit-demi sedikit didalam tubuh manusia dan menyebabkan penyakit yang berbahaya. Konsentrasi logam berat yang terdapat dalam limbah padat/sludge elektroplating dapat dilihat pada Tabel 1.

### 3. BAHAN DAN METODE

#### 3.1. BAHAN

- A. Limbah B3 yang mengandung logam-logam berat diambil dari salah satu industri elektroplating di Jakarta dengan kadar air 93,92% dan kandungan logam berat sebagai berikut seperti terlihat pada Tabel 1.
- B. Sumber Mikroorganisme diperoleh dari:
  - Tanah Tempat Timbunan Limbah Padat Elektroplating
  - Sungai di dekat pembuangan limbah elektroplating
  - Pengolahan limbah Kulit
  - Mikroorganisme starter untuk pengolahan tanah /kompos yang diperoleh dari Balai Penelitian Perkebunan Bogor.
  - Mikroorganisme Pengolah tanah EM4 yang merupakan konsorsium mikroorganisme alami untuk meningkatkan keragaman mikroorganisme tanah yang bermanfaat sebagai pengurai.
- C. Nutrien dari pupuk majemuk
- D. Media untuk mengisolasi, menumbuhkan dan perbanyak mikroorganisme seperti nutrient broth, bacto agar dll.
- E. Tanah

#### 3.2. PERALATAN

Peralatan yang digunakan meliputi peralatan untuk mengambil limbah, analisis, isolasi dan perbanyak mikroorganisme dan peralatan aplikasi bioremediasi *ex-situ* pada tanah yang tercemar yaitu pot berukuran 10 kg dengan alat penampung *leachate*. Peralatan gelas yang digunakan seperti pipet, Erlen Meyer, cawan Petri, Test Tube, gelas ukur dll. Autoclave, Mikroskop, Inkubator, Peralatan Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) dan Atomic Absorbtion Spectrofotometer (AAS) untuk analisa logam berat.

Tabel 1. Hasil Uji Logam Berat Limbah Sludge Elektroplating

Jenis Logam dan Logam Berat	Konsentrasi (mg/kg)
Tembaga (Cu)	30435.89
Total Besi (Fe)	6841.6
Seng (Zn)	10786.79
Timbal (Pb)	46579.99
Mangan (Mn)	439.62
Nikel (Ni)	150.03
Total Krom (Cr)	6668.69
Kadmium (Cd)	1.82

### 3.3. METODA PERCOBAAN

Pelaksanaan penelitian meliputi :

A. Persiapan Sumber Inokulum meliputi isolasi mikroorganisme dari berbagai sumber, pertumbuhan dan perbanyakkan mikroorganisme sebagai sumber inokulum.

Mikroorganisme dari berbagai sumber yaitu dari timbunan limbah electroplating, dari sungai dekat pembuangan limbah industri electroplating, dari pengolahan limbah industri penyamakan kulit dan mikroorganisme pengolah kompos, masing-masing ditumbuhkan dalam cawan Petri dengan Plate Count Agar (PCA), setelah 3 hari inkubasi pada suhu 37°C kemudian diisolasi mikroorganisme yang dominan dan dikembangkan pada media PCA.

B. Persiapan Aklimatisasi Sumber Inokulum terhadap limbah electroplating.

Mikroorganisme yang telah tumbuh dalam media nutrient broth kemudian ditambahkan limbah elektroplating 10 % (v/v) dikocok dengan shaker 125 rpm selama 12 hari pada suhu 37 °C, kemudian diinkubasikan selama 3 hari dan diamati pertumbuhannya. Jika tumbuh maka konsentrasi limbah akan dinaikkan lagi 10% dan seterusnya. Aklimatisasi dilanjutkan sampai konsentrasi limbah semaksimal mungkin namun mikroorganisme tetap dapat tumbuh baik. Setelah itu didapatkan mikroorganisme yang tahan terhadap limbah elektroplating, kemudian dilakukan perbanyakkan kescala yang lebih besar dengan menggunakan nutrient broth untuk diaplikasikan sebagai sumber inokulum pada bioremediasi. Sumber inokulum yang diaplikasikan sebanyak 10% dari jumlah tanah yang diremediasi. Selain itu juga dilakukan identifikasi mikroorganisme dominan yang dipergunakan.

C. Aplikasi Bioremediasi pada tanah yang tercemar

Perlakuan bioremediasi terhadap tanah yang tercemar dilakukan dengan cara *ex-situ* dan dibuat tanah tercemar limbah buatan yaitu dengan pembuatan timbunan tanah yang mengandung limbah elektroplating. Tanah top soil diambil dari tanah BBKK yang dibersihkan dari daun-daunan. Tanah ini kemudian diaduk dengan limbah (sludge) industri electroplating dengan 3 perbandingan yaitu 60% tanah : 20% limbah ; 40% tanah : 40% limbah dan 20% tanah : 60% limbah. Masing-masing campuran tanah dan limbah selain diaplikasi dengan mikroorganisme dominan juga ditambahkan kompos yang juga mengandung mikroorganisme (20%) yang terdiri dari 2 jenis (EM4 dan kompos yang didapat dari Balai Penelitian Perkebunan).

Komposisi dari aplikasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2.

D. Pemeliharaan, Pengamatan dan Analisa  
Dalam pemeliharaan ditambahkan pupuk majemuk NPK sebagai penambah nutrient masing-masing sebanyak 5 g dan setiap hari disiram air untuk menjaga kelembaban dan berfungsi seperti hujan pada kondisi dialam. Setiap bulan dilakukan analisa kandungan logam berat terhadap tanah dan leachate dengan metoda TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) dan diukur kandungan logam beratnya dengan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari isolasi mikroorganisme yang dilakukan didapatkan bahwa mikroorganisme yang dominan tumbuh pada timbunan limbah dan di sungai dekat pembuangan limbah industri elektroplating adalah bakteri genus *Pseudomonas* dan sedikit *Bacillus* spesies lokal. Selain itu masih terdapat banyak mikroorganisme lain seperti bakteri dan cendawan. Bakteri *Pseudomonas* dicirikan dapat tumbuh pada suhu diatas 30°C, adanya lendir dan warna biru dan atau warna fluorescen pada media yang spesifik untuk *Pseudomonas*. Sementara bakteri *Bacillus* dicirikan dengan koloni bakteri yang berkerut, dengan warna putih atau krem, bersifat termofilik dan dibawah mikroskop membentuk spora berbentuk silinder yang langsing. Sedang dari pengolahan limbah industri kulit didapat suatu kumpulan mikroorganisme yang dapat mendegradasi dengan baik senyawa kromium heksavalen yang berbahaya menjadi kromium trivalen (yang dibutuhkan manusia). Bakteri tersebut belum diidentifikasi tetapi telah bekerja dengan baik mereduksi krom heksavalen menjadi krom yang tidak berbahaya. Menurut Tebo dalam Avakian (2002) bakteri *Shewanella* sp. dapat mereduksi krom heksavalen menjadi krom trivalen yang tidak berbahaya baik bagi bakteri maupun makhluk hidup.

Menurut Tebo dalam Avakian (2002) ada 2 strategi biologi untuk menurunkan toksisitas dari logam berat yaitu: a) Transformasi biologis secara langsung dari logam toksik menjadi bentuk yang kurang toksik, yang dicontohkan dengan penurunan bentuk mutagenik dan karsinogenik dari kromium heksavalen ke trivalen. b) Dengan menguraikan dan immobilisasi logam berat pada permukaan yang sangat reaktif, dengan menghasilkan enzim dan oksida logam.

Tabel 2 . Komposisi Limbah, Tanah dan starter Mikroorganisme yang diaplikasikan dalam percobaan bioremediasi

Kode	Limbah electroplating (%)	Tanah (%)	Kompos (%)	Jenis Mikroorganisme dominan yang diaplikasikan
A1	20	60	20	<i>Bacillus</i> sp
A2	40	40	20	<i>Bacillus</i> sp
A3	60	20	20	<i>Bacillus</i> sp
B1	20	60	20	<i>Pseudomonas</i> sp
B2	40	40	20	<i>Pseudomonas</i> sp
B3	60	20	20	<i>Pseudomonas</i> sp
C1	20	60	20	Campuran mikroorganisme ind. kulit
C2	40	40	20	Campuran mikroorganisme ind. kulit
C3	60	20	20	Campuran mikroorganisme ind. kulit
D1	20	60	20	Campuran semua mikroorganisme (A+B+C)
D2	40	40	20	Campuran semua mikroorganisme (A+B+C)
D3	60	20	20	Campuran semua mikroorganisme (A+B+C)
E1	20	60	20	Tanpa penambahan mikroorganisme
E2	40	40	20	Tanpa penambahan mikroorganisme
E3	60	20	20	Tanpa penambahan mikroorganisme

Mikroorganisme pengurai pada kompos yang digunakan adalah suatu konsorsium (kumpulan) mikroorganisme baik bakteri, cendawan, khamir dan actinomycetes. *Trichoderma* sp. *Cellulomonas* sp., *Bacillus* sp. *Pseudomonas* sp. *Mycoriza* sp, *Azotobacter* dan lain-lain yang merupakan mikroorganisme dominan pada konsorsium bakteri pengurai bahan organik. Mikroorganisme tersebut ditambahkan ke dalam tanah untuk meningkatkan keragaman mikroorganisme tanah yang sekaligus untuk meningkatkan proses penguraian.

Dari percobaan aklimatisasi mikroorganisme didapatkan bahwa sampai kandungan limbah 30 %, baik bakteri *Bacillus*, *Pseudomonas* dan bakteri-bakteri yang diambil dari pengolahan industri kulit tumbuh dengan baik, tetapi dengan dinaikkan menjadi 40% limbah maka konsorsium bakteri dan bakteri *Pseudomonas* tumbuh baik sedang *Bacillus* sudah tidak dapat hidup. Bakteri *Pseudomonas* ternyata lebih tahan terhadap logam-logam berat dari industri electroplating seperti logam Cu, Cr, Ni, Cd, Pb dan Fe, dan konsorsium bakteri yang mengandung bermacam-macam bakteri termasuk *Pseudomonas* juga dapat bertahan terhadap

kondisi tersebut dengan baik. Hal ini dapat dilihat dari konsentrasi logam berat dari percobaan aklimatisasi dengan bakteri *Pseudomonas* adalah paling kecil (Tabel 3). Hal ini menandakan bahwa bakteri tersebut tahan dan sudah mulai menunjukkan aktivitasnya menyerap logam-logam berat yang ditunjukkan dengan turunnya konsentrasi logam berat dari 40% konsentrasi limbah yang diperlakukan.

Pada aplikasi percobaan bioremediasi ke tanah yang telah diperlakukan dengan kontaminan limbah electroplating diperoleh bahwa dalam 1 bulan setelah aplikasi mikroorganisme mulai melakukan aktivitasnya dalam menyerap, mengikat dan mendegradasi logam-logam berat yang terdapat pada tanah yang terkontaminasi tersebut. Adapun mekanisme atau cara kerja yang digunakan masih belum dapat dibuktikan apakah hanya menjerab saja terhadap logam berat atau mendegradasikan, tetapi hasilnya ditunjukkan dengan konsentrasi logam berat yang menurun. Hasil uji logam berat setelah dilakukan bioremediasi 1 bulan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Uji logam berat setelah dilakukan aklimatisasi terhadap limbah electroplating.

Jenis Bakteri yang digunakan	Konsentrasi logam berat (mg/kg)					
	Cu	Zn	Cd	Fe	Pb	Total Cr
<i>Bacillus</i>	585.14	49881	0.1	739.11	11.32	682.07
<i>Pseudomonas</i>	534.4	6933	0.09	647.37	9	612.64
Campuran	551.14	7639	0.1	703	10.92	679.75

Tabel 4. Hasil Uji Logam Berat dari Tanah Setelah Proses Bioremediasi Ex-situ Campuran Tanah dengan Limbah Elektroplating.

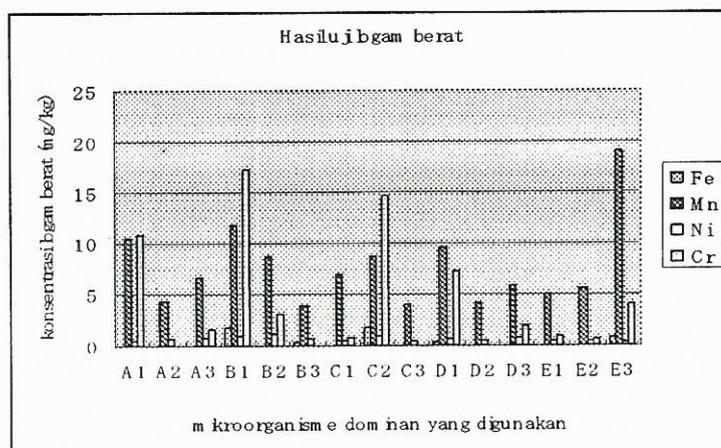
Konsentrasi Logam Berat (mg/kg) dengan metodaTCLP Setelah Bioremediasi 1 bulan								
	Cu	Zn	Cd	Fe	Mn	Ni	Pb	Total Cr
A1	95.36	1332.93	<0,04	<0,06	10.49	0.5	19.73	10.87
A2	107.88	2513.52	<0,04	<0,06	4.33	0.71	34.11	<0,18
A3	146.66	3009.51	<0,04	<0,06	6.67	0.73	59.2	1.54
B1	273.28	4094.4	<0,04	1.77	11.7	0.97	35.53	17.27
B2	290.77	4127.2	0.05	<0,06	8.7	1.17	57.25	2.99
B3	645.3	4680.2	0.05	0.27	3.8	0.7	23.06	<0,18
C1	670.79	1843.4	<0,04	<0,06	6.91	0.56	801.03	0.74
C2	296.02	5108.4	<0,04	1.7	8.73	0.94	46.23	14.74
C3	727.54	2384.1	<0,04	<0,06	4.09	0.51	661.41	<0,18
D1	152.74	3828.4	<0,04	0.27	9.47	0.64	45.73	7.3
D2	674.01	2297.1	<0,04	<0,06	4.2	0.54	514.93	<0,18
D3	166.36	4949.4	<0,04	<0,06	5.82	0.74	58.59	1.86
E1	618.57	1862.45	<0,04	<0,06	5.03	0.54	764.04	0.94
E2	670.59	2084	<0,04	<0,06	5.52	0.5	886.13	0.59
E3	670.59	242.29	<0,04	0.83	19.05	0.26	0.43	4.09

Keterangan:

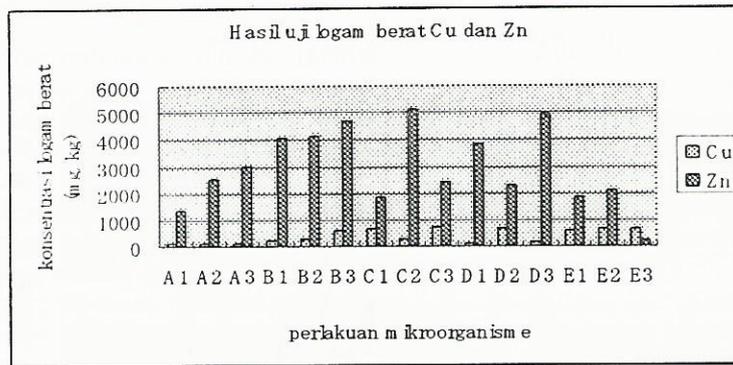
< : Menyatakan bahwa logam berat tidak terdeteksi pada konsentrasi yang tertera tersebut

Dari data tersebut terlihat bahwa logam berat kadmium tidak terdeteksi pada konsentrasi 0,04 mg/Kg, kecuali pada perlakuan dengan mikroorganisme *Pseudomonas*. Hal ini kemungkinan karena logam tersebut memang konsentrasinya kecil dalam limbah atau memang mudah diikat atau diserap oleh bakteri (Suhendrayatna, 2001). Bakteri *Bacillus* sp (perlakuan A) walaupun dalam percobaan aklimatisasi tidak begitu tahan terhadap logam-logam berat, ternyata dalam percobaan bioremediasi dapat mengikat ataupun menguraikan logam-logam berat seperti Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, dan Pb dengan baik. Begitu pula

dengan bakteri *Pseudomonas* (perlakuan B) dapat dengan baik digunakan untuk proses bioremediasi tetapi tidak dapat mengikat atau menguraikan logam Zn dan Ni, sedangkan mikroorganisme dari IPAL industri kulit (perlakuan C) cukup bagus dalam proses bioremediasi logam-logam berat terutama untuk penurunan logam krom, tetapi tidak baik untuk Pb, sedangkan dari kumpulan semua mikroorganisme (perlakuan D) dapat digunakan untuk bioremediasi tanah terkontaminasi logam-logam berat dengan baik seperti terlihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Hasil uji logam berat besi, mangan, nikel dan krom pada tanah setelah proses bioremediasi.



Gambar 2. Hasil uji logam tembaga dan seng pada tanah setelah proses bioremediasi.

Kumpulan bakteri *Bacillus* (A1,A2,A3) dan campuran /konsorsium semua bakteri (D2,D3) dapat menghasilkan bioremediasi yang lebih baik, terlihat dari konsentrasi logam berat yang terdeteksi oleh alat AAS (Tabel 4). Hal ini sesuai yang dinyatakan oleh Budiyanto (2002) bahwa *Bacillus subtilis* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat pada limbah industri yang banyak mengandung logam berat, demikian pula dengan *Pseudomonas sp.* Bakteri tersebut memerlukan logam berat sebagai kofaktor untuk produksi enzim yang berguna untuk degradasi polutan. Menurut Cookson (1995) beberapa enzim juga memerlukan kofaktor seperti ion -ion logam seperti  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$ . Produksi enzim ini akan

meningkat dengan adanya substrat yang berfungsi sebagai sumber energi. Konsorsium bakteri/mikroorganisme dari limbah industri kulit (C1, C2 dan C3) memang cocok untuk mendegradasi logam berat krom saja dan tidak berhasil mendegradasi ataupun menyerap logam-logam yang lain.

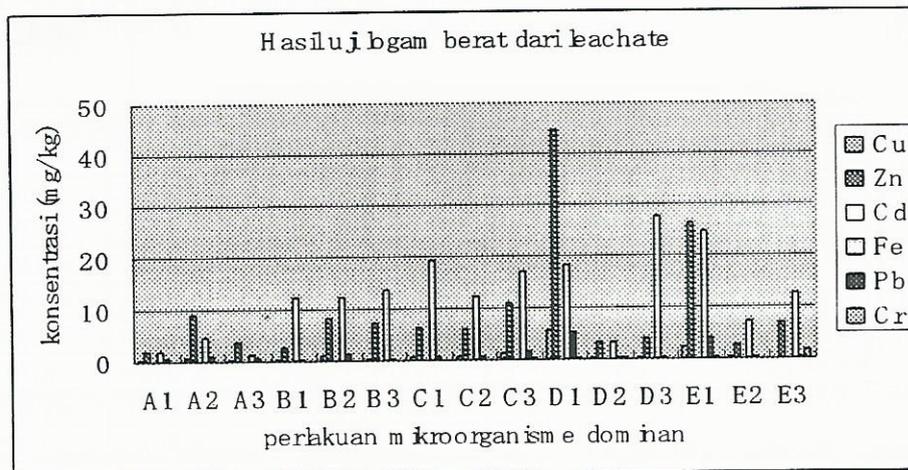
Turunnya konsentrasi logam berat tersebut ternyata tidak hanya pengaruh aktivitas mikroba semata karena pada uji leachate/ air lindi ditemukan mengandung logam berat dengan konsentrasi yang dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa logam yang tidak dapat diserap atau diikat akan bergerak terbawa aliran air dan dideteksi dengan adanya logam berat di dalam air *leachate*.

Tabel 5. Hasil Uji Logam Berat dari *Leachate* Proses Bioremediasi Ex-situ Campuran Tanah dengan Limbah Elektroplating.

Kode	Konsentrasi Logam berat ( mg/kg)					
	Cu	Zn	Cd	Fe	Pb	Total Cr
A1	0.23	2.13	<0.04	1.99	0.54	<0.18
A2	0.61	8.89	<0.04	4.52	0.9	<0.18
A3	0.43	3.51	<0.04	1.24	0.63	<0.18
B1	0.28	2.78	<0.04	12.3	0.34	<0.18
B2	0.85	8.42	<0.04	12.37	1.47	<0.18
B3	0.5	7.28	<0.04	13.59	0.25	<0.18
C1	0.6	6.45	<0.04	19.42	0.83	<0.18
C2	0.56	5.96	<0.04	12.23	0.72	<0.18
C3	1.28	10.99	<0.04	16.84	1.61	0.38
D1	5.6	44.7	<0.04	18.3	5.26	0.43
D2	0.37	3.4	<0.04	3.25	0.4	0.33
D3	0.41	4	<0.04	27.8	0.45	0.13
E1	2.38	26.32	<0.04	24.81	3.95	0.43
E2	0.19	2.69	<0.04	7.19	0.21	<0.18
E3	0.14	7.06	<0.04	12.57	0.18	1.76

Keterangan:

< : Menyatakan bahwa logam berat tidak terdeteksi pada konsentrasi yang tertera tersebut



Gambar 3. Hasil Uji logam berat dari air leachate

Dari data pada Tabel 5 dapat dipelajari bahwa logam-logam berat tersebut bersifat "mobile" (dapat bergerak) didalam tanah sehingga dapat mencemari dan terbawa aliran air tanah. Keadaan ini sangat dikhawatirkan sehingga pembuangan atau penimbunan limbah yang mengandung logam berat harus segera diolah supaya tidak dapat bergerak yaitu dengan mengikatnya dengan proses fisika, kimia maupun biologis. Penggunaan mikroorganisme diharapkan dapat mendegradasi dan mengikat atau menyerap logam berat tersebut dengan sel-sel dan protein yang dimilikinya.

Dari tabel 5 dan gambar 3 diatas terlihat konsentrasi logam berat tertinggi yang terdapat pada leachate adalah dari perlakuan dengan campuran semua mikroorganisme dan kontrol (D dan E). Bioremediasi dengan bakteri dominan *Bacillus* dan *Pseudomonas* memperlihatkan hasil yang baik, terlihat dari rendahnya konsentrasi hampir semua logam berat di air leachate. Hal ini menandakan bahwa logam-logam tersebut dapat terjerap maupun terikat oleh mikroorganisme. Menurut Tebo dalam Avakian (2002) ada 2 strategi biologi untuk menurunkan toksisitas dari logam berat yaitu: a) Transformasi biologis secara langsung dari logam toksik menjadi bentuk yang kurang toksik, yang dicontohkan dengan penurunan bentuk mutagenik dan karsinogenik dari kromium heksavalen ke trivalen. b) Dengan menguraikan dan immobilisasi logam berat pada permukaan yang sangat reaktif, akan menghasilkan enzim dan oksida logam.

Walaupun pada percobaan aklimatisasi bakteri *Pseudomonas* menunjukkan hasil yang paling baik dalam mendegradasi atau mengikat logam berat, tetapi setelah diaplikasikan ke tanah yang terkontaminasi ternyata hasilnya tidak sebaik

bakteri *Bacillus*. Hal ini mungkin karena dalam bioremediasi waktu tinggal dan waktu kontak juga merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap bioremediasi selain immobilisasi sel, pH dan konsentrasi biomasa. Oleh karena itu seleksi dan pemilihan mikroorganisme yang sesuai serta proses treatment awal merupakan unsur yang penting dalam mendisain suatu proses bioremediasi.

Dari data juga terlihat bahwa mikroorganisme tertentu mempunyai kemampuan menyerap dan mendegradasi logam berat tertentu saja seperti bakteri *Bacillus* sangat baik berinteraksi dengan logam tembaga (Cu), timbal (Pb), kadmium (Cd), besi (Fe) dan seng (Zn) terlihat dari kecilnya konsentrasi logam berat yang dideteksi pada tanah (Tabel 4) dan kecilnya konsentrasi logam berat di leachate (Tabel 5). Dari data-data tersebut diatas terlihat bahwa bakteri genus *Bacillus* mempunyai ketahanan dan kisaran yang luas terhadap beberapa jenis logam berat.

Dari percobaan bioremediasi diatas terlihat bahwa mikroorganisme bakteri *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. yang digunakan sangat cocok untuk mendegradasi logam-logam berat karena penurunan yang cukup besar dari konsentrasi logam berat limbah yang diperlakukan. Hal tersebut mungkin didukung juga oleh kehadiran mikroorganisme pengurai lain yang tidak teridentifikasi yang ditambahkan dari konsorsium mikroorganisme pengurai kompos selain mikroorganisme utamanya.

Dalam percobaan bioremediasi penurunan konsentrasi logam-logam berat tersebut belum maksimal karena keterbatasan waktu pengamatan yang sangat singkat. Untuk itu percobaan akan terus dilanjutkan untuk mengetahui degradasi logam beratnya.

## 5. KESIMPULAN

Dari percobaan bioremediasi diatas terlihat bahwa mikroorganisme yang digunakan sangat cocok untuk mendegradasi logam-logam berat karena penurunan yang cukup besar dari konsentrasi logam berat limbah yang diperlakukan. Mikroorganisme yang mampu menyerap, mengikat ataupun mendegradasi logam berat tersebut adalah genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* spesies lokal. Mikroorganisme tersebut juga menyerap logam berat kedalam sel-selnya sehingga logam berat tersebut tidak dapat bergerak kedalam tanah lebih jauh atau terbawa aliran air bawah tanah.

Kumpulan bakteri *Bacillus* (A1,A2,A3) dan campuran /konsorsium semua bakteri (D2,D3) mempunyai kemampuan yang sangat baik dalam mendegradasi logam-logam berat seperti Cu, Fe, Zn, Ni dan Pb. Sedang bakteri *Pseudomonas* kurang baik untuk mendegradasi logam seng dan nikel. Untuk mendegradasi logam krom bakteri yang paling cocok adalah kumpulan mikroorganisme yang berasal dari pengolahan limbah industri kulit yang diduga adalah *Shewanella*. Oleh karena itu *Bacillus sp.* dan bakteri *Pseudomonas sp.* dapat dikembangkan menjadi mikroorganisme untuk remediasi yang mempunyai kemampuan mengimobilisasi logam berat pada limbah industri yang banyak mengandung logam berat.

Dari penelitian ini diketahui bahwa bakteri genus *Bacillus* mempunyai ketahanan dan kisaran yang luas terhadap beberapa jenis logam berat seperti logam tembaga (Cu), timbal (Pb), kadmium (Cd), besi (Fe) dan seng (Zn).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Avakian, Maureen D. 2002. Research Brief 91: The Role of Bacteria in Bioremediation of Metals. <http://www.apps.niehs.nih.gov/sbrp/rb/rbs.cfm?resbrfnum=91&view>. July 3.
2. Budiyanto, M,A,K. 2002. *Mikrobiologi Terapan*. Universitas Muhamadiyah Malang.
3. Cookson, JT. 1995. *Bioremediation Engineering Design and Application*, McGraw-Hill, New York.
4. Dahuru, Muhamad. 2003. Pengaruh Mikroorganisme dari Kotoran Kuda dan Surfaktan pada Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Minyak Diesel. Skripsi Fateta, IPB.
5. Imamura, Sathoshi. 2003. Soil and Groundwater Remediation in Japan. Makalah Training on Environmental Management of Chemical Industry. JICA-ICETT.
6. Raje, DV. 2001. Distinguishing The Five Most Dominating Bacteri in Bioremediation Based on Genus Spesific 16S rDNA Signature. <http://atlasconferences.com/c/a/im/15htm>. November 23.
7. Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat Dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan. Seminar on-Air Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. Sinergy Forum - PPI Tokyo Institute of Technology. 1-14 Februari
8. Thacker, B,K and Carol G,F. 1999. In Situ Bioremediation Technique for Sites Underlain by Silt and Clay. *Journal of Environmental Engineering*. December.
9. Wisnuprpto. 1996. Bioremediasi, Manfaat dan Pengembangannya. Prosiding Pelatihan dan Lokakarya: Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. P. Citroreksoko, A. Setiana, M.A.Subroto dan D.T.Djaja (Eds).Cibinong, 24-28 Juni.