

NO : TA/TL/2007/0158

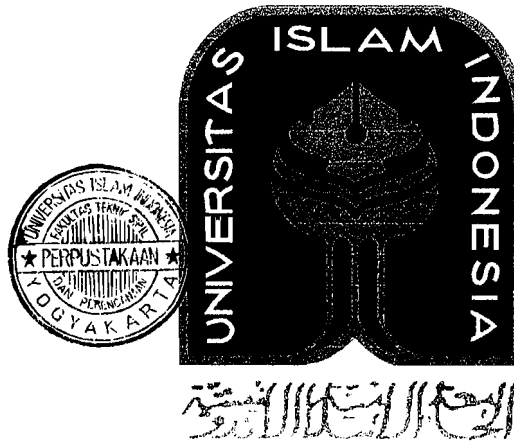
PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	10 Mei 2007
NO. JUDUL :	062423
NO. INV. :	5120002423001
NO. INDUK. :	

TUGAS AKHIR

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK DENGAN MENGGUNAKAN
KONFIGURASI 2-D HEXAGONAL PADA TAILING
YANG TERKONTAMINASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
DARI PENAMBANGAN EMAS DI KECAMATAN KOKAP
KABUPATEN KULONPROGO**

R.
628-4
Fit
r
A

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat sarjana strata – I Teknik Lingkungan



4, 40. bil. lay: 28

Disusun oleh:

WIWIN FITRIYAH

01 513 080

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN,
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA**

2007

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

• bil. lay - 16/2007
• remediasi elektrokinetik
• konfigurasi 2-D hexagonal
• judul

HALAMAN PENGESAHAN


TUGAS AKHIR

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK DENGAN MENGGUNAKAN
KONFIGURASI 2-D *HEXAGONAL* PADA *TAILING*
YANG TERKONTAMINASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)
DARI PENAMBANGAN EMAS DI KECAMATAN KOKAP
KABUPATEN KULONPROGO**

Nama : **WIWIN FITRIYAH**
No. Mahasiswa : **01 513 080**
Program Studi : **Teknik Lingkungan**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I
Luqman Hakim, ST. MSi


.....
Tanggal : 2 / 3 / 2007

Dosen Pembimbing II
Dr. Sismanto. MSi

.....
Tanggal :

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan nikmat kesehatan dan kemudahan bagi penulis selama melaksanakan Tugas Akhir, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini penulis susun dalam rangka memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menempuh jenjang S-1. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Drs. Edy Suandi Hamid, MEd** selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. **Bapak Dr. Ir. H. Ruzardi, MS** selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. **Bapak Luqman Hakim, ST, SSI** selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
4. **Bapak Luqman Hakim, ST. Msi** selaku dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
5. **Bapak Dr. Sismanto, MSi** selaku dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
6. **Bapak Eko Siswoyo, ST** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan dan Penanggung Jawab Tugas Akhir.
7. **Bapak Hudori, ST, Bapak Andik Yulianto, ST, Bapak Ir Kasam, MT** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
8. **Mas Iwan, dan Mas Tasyono,** selaku koordinator lab.Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan UII.
9. **Mas Agus** yang selalu tabah direpotin masalah administrasi.
10. **Bapak Muklasin** yang telah menyediakan limbahnya untuk penelitian.
11. **Rina, evi, Sherly** tim remediasi yang selalu kompak dalam segala hal.
12. **Very** untuk komputernya yang selalu oke punya.

13. **Lupe, Iin, Exo, Lia, Nila, Vyna, Lian, Ayuk, Bella, Ipeh** anak kos yang selalu kompak dan selalu menghibur disaat jenuh.
14. **Anak TL 2001**, semoga selalu berjaya.

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tentu tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengharapkan bahwa laporan ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penilaian akhir dari Laporan Tugas Akhir.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Februari 2007

Wiwin Fitriyah

HALAMAN MOTTO

"Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah, sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah melainkan kaum kafir"

[Qs. Yusuf: 57]

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap"

[Qs. Al-Insyirah: 6 - 8]

"Satu-satunya orang yang tidak membuat kesalahan adalah orang yang tidak pernah melakukan apa-apa"

[Roosevelt]

"Yesterday is experience. Tomorrow is hope. Today is getting from one to the other as best we can"

"Belum bisa adalah wajar, tapi berubah menjadi bisa itu adalah pilihan"

Halaman Persembahan

Skripsi ini saya persembahkan teruntuk:

~ Bapak Ali Jupri

Terimakasih atas do'a dan kasih sayang yang selalu tercurahkan untukku tanpa mengenal lelah

~ Ibu Ruslikah (Alm)

Terimakasih atas cinta dan sayangnya, ada dan tiada dirimu selalu ada didalam hatiku

~ Kakakku Heru Sucahyono, SE

Cinta dan pengorbananmu selalu kuingat selalu, aku selalu menyayangimu

~ Keluarga Besar di Lamongan

Hidupku tidak akan berarti tanpa cinta dan ketulusannya

~ Bintang Noor Cahyo, SH (Alm)

Terimakasih atas cinta dan ketulusanmu, tanpa kasih sayangmu hidupku tak akan berwarna, sampai kapanpun dirimu tak bisa tergantikan, aku selalu menyayangimu.

~ Keluarga Besar di Bantul

Terimakasih telah memberikan tempat untukku menjadi keluarga, aku sayang semuanya

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
ABSTRAKSI.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kegiatan Penambangan Emas di Indonesia	6
2.2 Pertambangan Emas Rakyat di Kokap	6
2.3 Rctort.....	7
2.4 Remediasi Elektrokinetik	7
2.4.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Remediasi Elektrokinetik	11
2.5 Elektrokinetik	12
2.5.1. Reaksi-reaksi pada Katoda	13
2.5.2. Reaksi-reaksi pada Anoda	14
2.6 Material dan Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal.....	15
2.7 Pengertian Tanah	16
2.7.1. Logam Berat	19

2.8	Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)	20
2.8.1	Pb dalam Tanah	22
2.8.2	Timbal (Pb) dalam Lingkungan	22
2.8.3	Kegunaan Timbal (Pb) dalam Kehidupan	23
2.8.4	Keracunan Timbal (Pb)	24
2.8.5	Efek Timbal (Pb) pada Lingkungan	24
2.8.6	Efek Timbal (Pb) bagi Kesehatan	25
2.9	Pemanfaatan Metode Remediasi Elektrokinetik Untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb)	26
2.9.1.	Studi Terdahulu.....	26
2.9.1.1.	Remediasi Elektrokinetik Dengan Model KonfigurasiElektroda 2-D Hexagonal pada Tanah yang Terkontaminasi Logam Berat Timbal (Pb) (Wahyu, 2001)	26
2.9.1.2.	Remediasi Elektrokinetik Dengan Model KonfigurasiElektroda 2-D Hexagonal pada Tanah yang Terkontaminasi Logam Berat Krom(Cr) (Fatimah, 2004)	27
2.10	Hipotesis	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian	29
3.2	Lokasi Penelitian	29
3.3	Waktu Penelitian	29
3.4	Objek Penelitian	29
3.5	Bahan dan Alat Penelitian	30
3.5.1	Bahan	30
3.5.2	Alat	30
3.6	Tahap Penelitian	31
3.6.1	Tahap Pra Penelitian	31
3.6.2	Tahap Penelitian	32
3.6.3	Analisa Data	34
3.7	Desain	34

3.7.1	Desain Wadah dan Elektroda	35
3.7.2	Kebutuhan Elektroda	36
3.8	Desain Titik Sampling	37
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1	Hasil Penelitian	38
4.1.1	Hasil Analisa Konsentrasi Pb pada Area Efektif.....	38
4.1.2	Hasil Analisa pada Arus dan Resistensi	41
4.2	Konsentrasi Pb pada Area InEfektif	43
BAB V	KESIMPULAN DAN PEMBAHASAN	
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis-jenis remediasi elektrokinetik	15
Gambar 3.1	Langkah-langkah kerja penelitian.....	33
Gambar 3.2	Desain wadah.....	34
Gambar 3.3	Desain elektroda pada tanah.....	35
Gambar 3.4	Konfigurasi elektroda	36
Gambar 3.5	Disain titik sampling	37
Gambar 4.1	Konsentrasi Pb terhadap waktu	39
Gambar 4.2	Konsentrasi Pb terhadap jarak dan waktu di area efektif	40
Gambar 4.3	Resistensi terhadap waktu	41
Gambar 4.4	Resistensi, waktu dan arus	42
Gambar 4.5	Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik	45
Gambar 4.6	Efisiensi penurunan konsentrasi timbal pada masing-masing area	46
Gambar L3.1	Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area I	xx
Gambar L3.2	Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area II	xx
Gambar L3.3	Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area III	xxi
Gambar L4.1	Resistensi terhadap waktu pada area I	xxii
Gambar L4.2	Resistensi terhadap waktu pada area II	xxii
Gambar L4.3	Resistensi terhadap waktu pada area II	xxiii
Gambar L6.1	Power supply.....	xxv
Gambar L6.2	Desain titik sampling.....	xxv
Gambar L6.3	Gelembung air dan warna putih susu yang keluar dari katoda.....	xxvi
Gambar L6.4	Warna yang timbul seperti karat pada titik sampel B dan C.....	xxvi
Gambar L6.5	Bak Penampungan Pertama	xxvii
Gambar L6.6	Bak Penampungan Kedua	xxvii
Gambar L6.7	Gelundung atau Tromol	xxviii
Gambar L6.8	Penambahan Merkuri	xxviii

DAFTAR TABEL

TABEL L1.1 Konsentrasi Pb rata-rata pada area I	xiv
TABEL L1.2 Konsentrasi Pb rata-rata pada area II	xv
TABEL L1.3 Konsentrasi Pb rata-rata pada area III	xvi
TABEL L2.1 Analisa resistensi dan waktu pada area I	xvii
TABEL L2.2 Analisa resistensi dan waktu pada area II	xviii
TABEL L2.3 Analisa resistensi dan waktu pada area III	xix

ABSTRAKSI

Penambangan emas yang dilakukan di wilayah kokap tanpa koordinasi yang baik, tidak menutup kemungkinan resiko bahaya pencemaran yang harus ditanggung oleh masyarakat sekitar akibat limbah yang dihasilkan dari penambangan emas tersebut. Dari sekian banyak logam yang mencemari tanah adalah timbal(Pb). Keracunan yang disebabkan oleh Pb, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat rusak oleh keracunan kronis logam Pb ini adalah pada sistem syaraf, ginjal, reproduksi, endokrin dan jantung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik pada tanah tercemar logam Pb dan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi Pb.

Salah satu solusi pemulihan tanah adalah dengan menggunakan metode remediasi elektrokinetik. Remediasi elektrokinetik yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi elektrokinetik 2D- Hexagonal, dimana katoda ditempatkan ditengah sedangkan anoda ditempatkan pada bagian luar membentuk segi enam.

Metode remediasi elektrokinetik ini menggunakan tegangan 40 volt dan 0,2 A dengan arus DC konstan. Wadah yang dipakai terbuat dari kaca berdimensi 1 m x 1 m x 0,25 m dan tanah sampel yang dipakai sebanyak 312,5 kg. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon berdiameter 0,8, panjang 6 cm dan jarak antara elektroda adalah 15 cm. Waktu remediasi selama 15 jam dan setiap 3 jam dilakukan pengambilan sampel untuk diukur konsentrasi Pb dan pengukuran resistensi serta pengamatan perubahan tanah yang terjadi pada setiap area.

Hasil akhir terjadi perubahan konsentrasi logam berat timbal dalam tanah yaitu penurunan dari konsentrasi awal 1,0302 mg/L menjadi konsentrasi terendah yaitu 0,1305 mg/L pada area III saat jam ke 15, pada area II konsentrasinya 0,4558 mg/L pada jam ke 15, sedangkan pada area I pada saat jam ke 15 konsentrasinya adalah 0,1387 mg/L. Sedangkan resistensinya pada saat jam ke 0 adalah 8000 Ω , sedangkan setelah remediasi saat jam ke 15 mengalami kenaikan menjadi 11666,7 Ω pada area I, 11500 Ω pada area II, dan 16000 Ω pada area III.

Kata kunci : Timbal, Remediasi Elektrokinetik, Elektroda, Resistensi

ABSTRACT

Gold mining conducted in Kokap area, which was managed poorly, may result in the environment pollution risk from the contaminated gold mining waste that has to be borne by the people in the neighbourhood of the mining. Among many metal produced pollutants was Pb. This matter may cause the physiologic break down in human body systems. Body systems malfunction caused by chronic intoxication from the Pb was nerve, kidney, reproduction, endocrine and heart system. This research aimed at studying the phenomenon of electro kinetic remediation in Pb contaminated lands and knowing the efficiency of the Pb concentration reduction.

One of the land conservations was using the electro kinetic remediation method. This electro kinetic remediation used in this research was electro kinetic remediation of 2-d hexagonal, where the cathode was placed in the middle and the anode placed in outer of the hexagonal.

The electro kinetic remediation method using 40 V and 0,2A with constant DC current. The container used was made from glasses with the dimension by 1m x 1m x 0,25 m and the land sample used was 312,5 kg. The electrode used was electrocarbon with 0.8 in diameter and 6 cm in long and the space between the electrodes was 15 cm. The remediation time by 15 hours and in every 3 hours the sample preparation for the assessment of Pb concentration and resistance measurement and the observation of land alteration in each area.

The end result was there was changes in Pb heavy metal concentration win the land, which was reduction from the initial concentration by 1.0302 mg/L to lowest high by 0.1305 mg/L in area III in 15 hour, and the concentration in area II was 0.4558 mg/L in 15 hour, while in the area I at the 15 hour the concentration was 0.1387 mg/L. The resivity at 0 hour was 8000 Ω , while following the remediation at 15 hour the resivity was increased to 11666.7 Ω , 11500 Ω and 16000 Ω , respectively in area I, area II and in area III.

Keywords : Pb, electrokinetic remediation, electrode, resistance.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Semenjak diketahuinya potensi biji emas di wilayah kecamatan Kokap, membuat masyarakat di wilayah tersebut berlomba-lomba ingin melakukan penambangan emas karena materi yang di dapatkan cukup menguntungkan. Penambangan emas di kecamatan Kokap ini haruslah mendapatkan perhatian yang khusus mengingat resiko keselamatan dan keamanan yang harus ditanggung oleh para penambang cukup tinggi. Berbeda apabila untuk mendapatkan biji emas dilakukan dengan mendulang di sungai. Penambangan yang dilakukan di kecamatan Kokap ini masih dikerjakan secara tradisional, dengan membuat terowongan yang cukup dalam kira-kira 15 meter dari permukaan tanah untuk menemukan urat tanah yang diperkirakan terdapat biji emasnya. Dalam proses pembuatan terowongan, selain resiko keselamatan dan keamanan bagi para penambang, tidak menutup kemungkinan resiko yang harus ditanggung masyarakat akibat limbah yang dihasilkan. Untuk pengetesan urat tanah mengandung biji emas atau tidak, penambang menggunakan air raksa dicampur air, sehingga limbahnya membahayakan.

Pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia atau oleh alam sehingga kualitasnya turun sampai tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya seperti yang termaktub di dalam UU RI tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 23 tahun 1997.

Nilai ambang batas Pb dalam tanah yaitu 100 ppm (mg/kg). Logam berat Pb yang berada dalam tanah dalam jumlah besar dapat memasuki siklus materi, yang akhirnya masuk kedalam tubuh makhluk hidup melalui makanan, minuman, udara, perembesan atau penetrasi pada kulit. Keracunan Pb menyebabkan gangguan berbagai organ tubuh, seperti syaraf, ginjal, reproduksi, endokrin dan jantung (Darmono, 2001). Oleh karena itu keberadaan Pb dalam tanah yang melebihi ambang batas perlu diturunkan dengan metode yang lebih baik, lebih selektif dan efisien. Remediasi elektrokinetik merupakan salah satu cara untuk menurunkan kadar Pb dalam tanah.

Remediasi tanah (*soil remediation*) adalah pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi tanah sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan. Teknologi remediasi secara umum dapat dilakukan dengan isolasi, immobilisasi, reduksi toksitas, pemisahan fisis dan ekstraksi. Teknologi secara ekstraksi untuk remediasi tanah antara lain : *soil washing phyrometallurgical, in situ soil flushing dan electrokinetic treatment*.

Dalam remediasi elektrokinetik, kontaminan dipisahkan dari tanah dan air tanah oleh gerak aksi potensial listrik yang mengalir di antara elektroda melewati suatu tanah yang terkontaminasi. Hasil yang didapatkan dari *bench-scale laboratory* dan percobaan skala lapangan mengindikasikan bahwa teknologi ini dapat sukses diaplikasikan pada tanah liat sampai tanah gelas berpasir. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan transport kontaminan dan efisiensinya tergantung pada jenis tanah dan variabel lingkungan (Alshwabkeh, 1999).

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan alternatif pengelolaan tanah yang mengandung Pb. Sehingga dapat meminimalisasi pencemaran yang mungkin ditimbulkan oleh logam Pb.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan di kaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah fenomena remediasi elektrokinetik pada tanah pertambangan emas yang terkontaminasi logam berat Pb di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo.
2. Apakah dengan metode remediasi elektrokinetik dapat menurunkan konsentrasi logam berat Pb pada tanah pertambangan emas yang terkontaminasi logam berat Pb di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo.
3. Apakah waktu kontak dan jarak berpengaruh terhadap penurunan kadar Pb dalam proses remediasi elektrokinetik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D hexagonal dari tanah pertambangan emas di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo yang terkontaminasi logam berat Pb.
2. Mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam berat Pb pada tanah yang telah terkontaminasi logam berat Pb.
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap penurunan kadar Pb dalam proses remediasi elektrokinetik.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Mengembangkan penalaran guna mengimbangi pengetahuan teoritis yang telah diperoleh melalui pendidikan formal bangku kuliah.
2. Memberikan masukan kepada pemerintah dan masyarakat bahwa limbah yang dihasilkan dari penambangan emas di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo dapat diolah dengan proses remediasi elektrokinetik.
3. Mencegah dan mengurangi pencemaran oleh limbah Timbal (Pb) terhadap makhluk hidup dan lingkungan.
4. Menjadikan salah satu alternatif pengolahan tanah tercemar Pb.
5. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang bahaya Pb dalam tanah dan cara menurunkan kandungan Pb tersebut dengan teknik remediasi elektrokinetik.

1.5. Batasan Masalah

Sesuai dengan tujuan penelitian, agar penelitian ini lebih mudah perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

1. Proses pengolahan tanah dari penambangan emas di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo dengan metode elektrokinetik untuk unsur-unsur logam berat Pb dengan menggunakan elektroda karbon yang panjangnya ± 6 cm, dan *power supply*.
2. Jarak antar elektroda 15 cm dan lama operasi 15 jam dengan interval waktu sampling 3 jam.
3. Tanah yang akan dianalisis menggunakan model konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* terdiri dari beberapa sel, yang terdiri dari satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda).
4. Bahan yang digunakan yaitu limbah tailling penambangan emas di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo yang tercemar logam berat Pb.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kegiatan Penambangan Emas di Indonesia

Berbagai jenis penambangan emas tradisional di Indonesia dicirikan dengan penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan murah. Untuk melakukan kegiatan penambangan peralatan yang digunakan berupa cangkul, linggis, ganco, palu, dan beberapa alat sederhana lainnya. Batuan dan urat kuarsa mengandung emas atau bijih ditumbuk sampai berukuran 1-2 cm, selanjutnya digiling dengan menggunakan alat gelundung (trommol, berukuran panjang 55-60 cm dan diameter 30 cm dengan alat penggiling 3-5 batang besi). Proses pengolahan emasnya biasanya menggunakan teknik amalgamasi, yaitu dengan mencampur biji emas dengan merkuri untuk membentuk amalgam dengan media air. Selanjutnya emas dipisahkan dengan proses penggarangan sampai didapatkan logam paduan emas dan perak (bullion). Produk akhir dijual dalam bentuk bullion dengan memperkirakan kandungan emas pada bullion tersebut.

2.2. Pertambangan Emas Rakyat di Kokap

Kegiatan penambangan emas di kokap telah berlangsung sejak ± 10 tahun yang lalu, setelah penemuan urat-urat kuarsa mengandung emas di daerah Sangon dan sekitarnya oleh penambang emas tradisional dari Tasikmalaya. Penambangan emas dilakukan dengan sistem tambang bawah tanah dengan cara membuat terowongan dan sumur. Teknik pertambangan dilakukan tanpa perencanaan yang baik dan dengan cara penggalian mengikuti arah urat kuarsa yang diperkirakan memiliki kadar emas cukup

tinggi. Pada tahun 2001 keadaan usaha pertambangan emas rakyat menunjukkan 25 lokasi penambang tradisional di daerah Sangon, tetapi saat ini sebagian besar pertambangan emas di Kokap telah tidak aktif.

2.3. Retort

Retort adalah sebuah alat yang digunakan untuk menyuling gunanya memisahkan merkuri dari amalgam melalui penguapan. Alat ini akan memadatkan kembali uap merkuri ke bentuk aslinya dan mengalirkannya ke dalam wadah terpisah sehingga tidak ada merkuri yang terbuang. Sebuah retort standart terdiri dari tabung (pot) amalgam, pipa penguapan, dan tabung pendingin (pengubah uap menjadi zat cair). Dengan menggunakan retort, pencemaran merkuri yang diuapkan dalam proses pemisahan emas dapat dihindari dan merkuri dapat dimanfaatkan kembali.

2.4. Remediasi Elektrokinetik

Remediasi elektrokinetik adalah pergerakan air (elektroosmosis), ion-ion dan molekul kutub (elektromigrasi) dan partikel padat (elektroporosis) yang berhubungan satu dengan yang lainnya diantara 2 elektroda dibawah arus (DC) dalam suatu medan listrik. Ketika arus DC masuk ke tanah, cairan akan bergerak menuju elektroda negatif (katoda) karena adanya reaksi elektroosmosis. Hal ini mengakibatkan perpindahan ion. Kation dengan muatan positif berpindah menuju katoda. Sementara anion dengan muatan negatif menuju anoda. Remediasi elektrokinetik meliputi proses:

a. Elektroosmosis

Elektroosmosis adalah perpindahan cairan yang dihasilkan dari medan elektrik yang dipasang sebagai isi permukaan diantara air dan tanah dengan isi tetap. Kontribusi terbesar pada muatan permukaan tanah datang dari partikel

lempung yang berhadapan, bisa terisi sebagai hasil dari beberapa mekanisme isomorphoric substitution. Penyerapan dari muatan ion dan reaksi penyatuan atau pemecahan proton.

Elektroosmosis menghasilkan aliran yang cepat dari air tanah dan mungkin menyebarkan secara signifikan pada proses dekontaminasi dalam tanah lempung dengan *advection*. Ketika beda potensial terjadi dari tanah ke cairan maka cairan akan berpindah ke arah yang ditentukan oleh sifat alami atau sifat dari air dan tanah. Dalam rongga lempung, permukaan menjadi negatif ketika dibasahi dengan air. Muatan ini diseimbangkan oleh gabungan lapisan air yang membawa muatan positif.

Elektrolisis dengan perpindahan secara konveksi dari rongga air dapat meningkatkan jumlah perpindahan ionik. Oleh karena itu pelarutan air dan kemampuan penyerapan dari kontaminan bisa mempengaruhi penghilangan kontaminan dari elektroosmosis. Penguraian organik tergantung dari tingkat kelarutan air dan rendahnya daya serap (benzena, toluena, trichloroethylene) bisa dihilangkan dengan mudah dari tanah yang jenuh dengan elektroosmosis. Penguraian organik dengan kelarutan rendah dan tingkat penyerapan yang tinggi (hexane dan isoocatan) dapat dihilangkan dengan elektroosmosis yang ditingkatkan dengan surfaktan. Elektroosmosis adalah kunci mekanisme dalam menghilangkan kontaminan nonpolar organik dari tanah dengan permeabilitas rendah (Pamucku and Wittle, 1993).

b. Elektromigrasi.

Elektromigrasi adalah pergerakan dari ion-ion kontaminan sebuah pori-pori air menuju elektroda di bawah medan listrik tanpa perpindahan secara konveksi, permeabilitas tanah mampu menghilangkan kontaminan dari segala macam tipe tanah, akan tetapi elektromigrasi hanya menghilangkan kontaminan ionik seperti ion-ion logam, asam organik terlarut dan basa elektromigrasi adalah kunci dari mekanisme dalam menghilangkan kontaminan ion organik terutama ion-ion logam (Kim, 1998).

c. Elektrophoresis

Elektrophoresis adalah pengangkutan dari muatan koloid atau partikel padat di bawah medan listrik arus searah. Dalam sistem porositas, elektrophoresis menjadi kurang penting karena padatan tidak bisa berpindah. Tapi dalam beberapa kasus, elektrophoresis dari koloid tanah bisa berperan dalam dekontaminasi. Jika koloid yang pindah mempunyai karakteristik kimia yang bisa diserap. Peran penting dari perpindahan elektrophoresis ke perpindahan kontaminan mungkin terjadi ketika kontaminan berada dalam bentuk koloid berelektrolisis atau ion micelles. Koloid terbuat dari kelompok yang terionisasi yang menempel pada molekul organik yang besar (makromolekul) dan kumpulan ion.

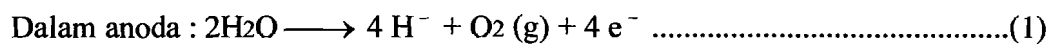
Ion *micelles* atau elektrolit koloid juga menghasilkan dua lapisan elektrik di sekitar mereka. Jika konduktivitas partikel sama dengan cairan sekitar dan elektrokinetik potensialnya rendah (Zetapotensial = 25 mV) maka mobilitas partikel bisa dijabarkan dalam bentuk persamaan Smoluchowski. Untuk nilai

yang lebih besar dari elektrokinetik, efek dari perlambatan elektroforesis bisa dianggap mirip dengan solusi elektrolit (Pamucku and Wittle, 1993).

d. Elektrolisis air

Ion dan molekul kutub dalam pori-pori cairan berpindah di bawah medan listrik. Di bawah medan listrik kation atau ion logam akan bergerak menuju katoda sedangkan anion bergerak menuju anoda dalam arah yang berbeda dipengaruhi oleh muatan listrik dan psikokimia.

Salah satu aspek yang penting dari pengolahan tanah secara elektrokinetik adalah perpindahan asam dari anoda ke katoda selama pengolahan. Ketika elektrolisis terjadi dipermukaan elektroda, ion-ion hidrogen diproduksi di anoda dan ion-ion hidrosil di katoda. adalah sebagai berikut :



Hasil dari elektrolisis adalah asam di anoda dan alkali di katoda yang terjadi secara terpisah. Pergerakan asam dan meningkatkan ion logam di dekat anoda dan penggumpalan ion logam di dekat katoda. Kondisi ini secara signifikan mempengaruhi pH dan kekuatan pori-pori ion air dan mobilitas serta daya larut logam pencemar dan kondisi muatan dari partikel tanah. Variasi pH di tanah dengan elektrolisis air pada daerah sekitar elektroda memberikan efek kekuatan partikel air dan karakteristik permukaan tanah seperti kapasitas pertukaran kation, maknitude dan zeta potensial. Selanjutnya spesifikasi mobilitas, daya larut dari kontaminan sering divariasikan dengan

pH dalam tanah selama pengolahan, yang mana dapat membatasi atau meningkatkan efisiensi pengolahan.

2.4.1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Remediasi Elektrokinetik

a. Tipe Kontaminan dan Konsentrasi

Tingginya konsentrasi ion dalam pori-pori akan menambah konduktivitas listrik tanah dan mengurangi efisiensi aliran elektroosmosik. Kuatnya aplikasi medan listrik harus dikurangi untuk mencegah konsumsi energi berlebihan dan berlangsungnya pemanasan selama proses (Alshawabkeh, 1999).

b. Tingkat Voltase dan Arus

Intensitas arus tinggi, dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses pengangkatan kontaminan. Rapat arus (*current density*) berada pada kisaran antara 1-10 A/m² telah didemonstrasikan lebih efisien pada proses. Bagaimanapun, pemilihan rapat arus dan kuat medan listrik tergantung pada properti elektrokimia dari tanah yang akan diolah. Tingginya rapat arus yang dibutuhkan untuk mengatur kekuatan medan listrik yang dibutuhkan (Alshawabkeh, 1999).

c. Kimia Efluen

Kontaminan berada dalam bentuk kimia yang berbeda dalam subsurface tergantung pada kondisi lingkungan. Mereka dapat berupa presipitasi padatan terlarut dalam pori-pori atau air tanah, kompleks sorbed pada permukaan partikel tanah dan atau jenis ikatan zat organik dalam tanah. Dalam perbedaan bentuk ini, hanya padatan terlarut dapat bergerak dan dihilangkan dengan ekstraksi elektrokinetik dan beberapa teknologi remediasi yang lain. Untuk meningkatkan kinerja proses dapat juga ditambahkan zat kimia spesifik pula, penambahan ini akan merubah karakteristik sorbtion, penambahan

ini harus melalui uji laboratorium, karena penambahan yang salah akan mempersulit proses remediasi (Alshwabkeh, 1999).

2.5. Elektrokinetik

Elektrokinetik adalah suatu proses pembangkitan reaksi kimia dengan melewati arus listrik yang memiliki dua elektroda, yaitu kutub anoda dan katoda yang diletakkan didalam tanah yang sudah terkontaminasi logam berat. Ujung-ujung keluar masuknya arus dari dan ke lumpur (*sludge*) disebut elektroda. Elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif dari suatu arus listrik disebut anoda, sedangkan elektroda yang dihubungkan kutub negatif dari sumber arus listrik disebut katoda.

Elektrokinetik suatu proses sederhana. Dimana dua elektroda ditempatkan didalam suatu tanah atau sludge dengan melewati suatu aliran arus listrik yang mana didalam arus tersebut terdapat kutub anoda dan katoda. Arus listrik ini lewat melalui tanah atau sludge dan menciptakan suatu jalan kecil dimana diatasnya terdapat perjalanan ion. Di dalam gambar suatu suntikan atau pembersihan yang baik adalah yang dimasukkan dekat kutub anoda (positif) dan suatu extraction yang baik adalah dimasukkan di kutub katoda. Dalam hal ini zat pencemar adalah bermuatan anoda dan cenderung akan bergerak ke arah katoda.

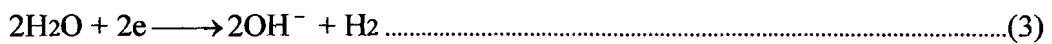
Prinsip remediasi elektrokinetik mengandalkan aplikasi arus DC intensitas rendah melalui tanah antara dua atau lebih elektroda. Sebagian besar tanah berisi air di dalam pori-pori antara partikel tanah dan mempunyai sifat menghantarkan listrik (konduktivitas listrik) yang merupakan hasil dari kehadiran garam dalam tanah. Arus penggerakan (*mobilize*) partikel dan ion dalam tanah meliputi proses :

Arus listrik dialirkan melalui elektroda yang dimasukkan dalam tanah untuk membangun medan listrik, dimana menyebabkan transport kontaminan dengan elektroosmosis dan migrasi ion (Acar dan Alshawabkeh, 1993). Pergerakan elektroosmosis dalam pori-pori medium tanah biasanya dari anoda ke katoda berturut-turut. Transport ini berpasangan dengan reaksi geokimia (seperti *desorption*, *dissolution*, dan *complexation*) yang merupakan mekanisme dasar proses remediasi elektrokinetik.

2.5.1. Reaksi-reaksi pada Katoda

Reaksi pada katoda adalah reduksi terhadap kation, jadi yang perlu diperhatikan hanyalah kation saja.

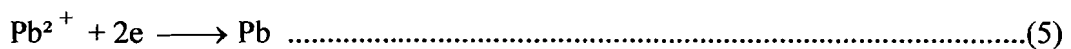
- a. Jika larutan mengandung ion-ion alkali, ion-ion alkali tanah, ion Al^{3+} dan ion Mn^{2+} , maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan. Yang mengalami reduksi adalah pelarut, dan terbentuklah gas hidrogen (H_2) pada katoda.



- b. Jika larutan mengandung asam, maka ion H^+ dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H_2) pada katoda.



- c. Jika larutan mengandung ion-ion logam yang lain, maka ion-ion logam ini akan direduksi menjadi masing-masing logamnya dan logam yang terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda.



2.5.2. Reaksi-reaksi pada Anoda

Reaksi pada anoda adalah oksidasi terhadap ion. Jadi, yang perlu diperhatikan hanyalah anion saja.

- a. Ion-ion halida (F^- , Cl^- , Br^- , I^-) akan dioksidasi menjadi halogen-halogen.
- b. Ion OH^- dari basa akan dioksidasi menjadi gas Oksigen (O_2).



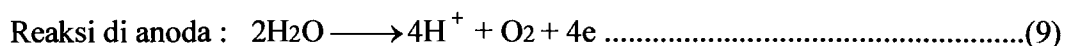
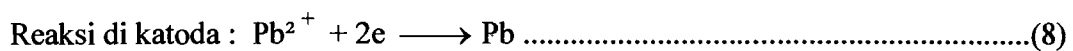
- c. Anion-anion yang lain (SO_3^{2-} , NO_3^- , dsb) tidak dapat dioksidasi dari larutan. Yang akan mengalami oksidasi adalah pelarut (air), dan terbentuklah gas oksigen (O_2) pada anoda.



Dalam deret Volta:

K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb –
(H) – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au, dari susunan ini semakin ke kanan nilai potensial reduksinya semakin besar, sehingga lebih mudah mengalami reduksi dan sukar mengalami oksidasi.

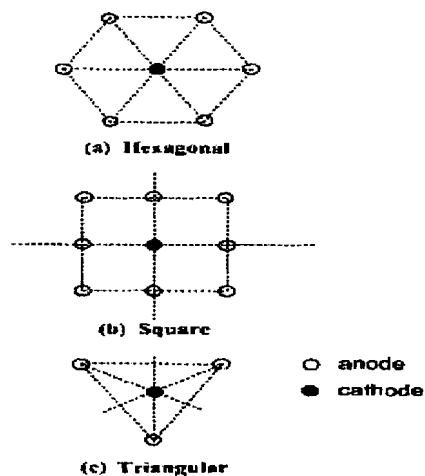
Dalam penelitian ini elektroda yang digunakan adalah karbon, yaitu elektroda yang tidak ikut bereaksi. Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda atas kontaminasi Pb dalam tanah adalah sebagai berikut :



2.6. Material dan Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal

Material elektroda, bahan kimia yang tidak bereaksi dan bahan yang bisa menghantarkan arus listrik seperti *platinum*, *grafit* dan *coated titanium* bisa digunakan sebagai anoda untuk menahan dissolusi elektroda dan berlangsungnya pengkaratan dalam kondisi asam. Material elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda karbon dengan panjang ± 6 cm, sedangkan dimensi reaktor 1m x 1m x 1m.

Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam penelitian ini yaitu elektroda 2-D *hexagonal* terdiri dari beberapa sel, masing-masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda), gambar dibawah ini adalah contoh elektroda 2-D.



Gambar 2.1. Jenis-jenis remediasi elektrokinetik 2D

Elektroda adalah logam yang dapat menerima ion-ion atau menyerahkan ion dimana logam tercelup didalam suatu larutan elektrolit. Sel yang bila dialiri arus listrik akan menghasilkan reaksi kimia yaitu akan merubah energi listrik menjadi reaksi kimia

disebut elektrolisa. Pada kutub anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan pada kutub katoda terjadi reaksi reduksi (Johannes, 1978).

2.7. Pengertian Tanah

Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan yang bercampur dengan sisa-sisa bahan organik dari organisme (vegetasi atau hewan) yang hidup di atasnya atau didalamnya, selain itu di dalam tanah terdapat pula udara dan air. Air dalam tanah berasal dari air hujan yang ditahan oleh tanah sehingga tidak bergerak ke tempat yang lain di samping pencampuran bahan mineral dengan bahan organik, dalam proses pembentukan tanah terbentuk pula lapisan tanah atau horizon-horizon tanah. Oleh karena itu definisi tanah adalah kumpulan dari benda alam dipermukaan bumi yang tersusun oleh horizon-horizon, terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air dan udara, serta merupakan media untuk tumbuhnya tanaman.

Tanah terdiri dari butir-butir berbagai ukuran, bagian tanah yang berukuran lebih besar dari 2 mm disebut bahan kasar (kerikil sampai batu), bahan-bahan yang lebih halus dapat dibedakan menjadi pasir (2 mm-50 μ), debu (50 μ -2 μ), dan tanah liat (kurang dari 2 μ).

Tekstur tanah menunjukkan kasar halusnya tanah, berdasarkan atas perbandingan banyaknya butir-butir pasir, debu, dan liat, maka tanah dikelompokkan ke dalam beberapa macam kelas tekstur tanah, yaitu :

1. Kasar terdiri dari kelas tekstur pasir dan pasir berlempung.
2. Agak kasar terdiri dari kelas tekstur lempung berpasir dan lempung berpasir halus.

3. Sedang terdiri dari kelas tekstur lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu dan debu.
4. Agak halus terdiri dari kelas tekstur lempung liat, lempung liat berpasir, lempung dan liat berdebu.
5. Halus terdiri dari kelas tekstur liat berpasir, liat berdebu dan liat.

Tanah-tanah yang bertekstur pasir mempunyai luas permukaan yang lebih kecil sehingga sulit menyerap (menahan) air dan unsur hara, tanah-tanah yang bertekstur liat mempunyai liat permukaan yang besar sehingga kemampuan menahan air dan menyediakan unsur hara tinggi, tanah bertekstur halus lebih aktif dalam reaksi kimia dari pada tanah bertekstur kasar. Di lapangan tekstur tanah dapat ditentukan dengan memijit tanah basah di antara jari-jari, sambil dirasakan halus kasarnya yaitu dirasakan adanya butir-butir pasir, debu dan liat.

Peranan tanah dalam pengangkutan dan penghilangan bahan-bahan pencemar sangat besar, proses pengangkutan diantaranya adalah pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorbtion*), dan pelumeran (*leaching*) (Pallar, 1994).

Menurut Pallar (1994), proses peresapan dari bahan-bahan pencemar yang terjadi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh:

1. Karakteristik bahan pencemar dari struktur bahan pencemar karena bahan pencemar akan mengalami pertukaran ion ketika melewati lapisan liat dan organik.
2. Kandungan bahan organik yang terdapat pada lapisan tanah. Hal ini menjadi penentu apakah bahan yang ada akan ditahan atau diteruskan oleh lapisan tanah.

3. pH tanah yang sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kadar lapisan liat yang ada pada tanah. Bila lapisan liat ini sangat besar jumlahnya maka proses peresapan menjadi sangat rendah atau tidak terjadi peresapan sama sekali. Hal itu disebabkan partikel tanah liat sangat halus dan tersusun sangat rapat sehingga sulit untuk dilalui.
4. Ukuran partikel tanah. Besar kecilnya ukuran partikel tanah akan sangat menentukan besar kecilnya pori-pori tanah. Semakin besar partikel tanah akan semakin besar pula pori-pori tanah dan keadaan itu akan semakin mempermudah proses peresapan oleh lapisan tanah. Sebaliknya semakin kecil partikel tanah maka pori-pori tanah akan semakin kecil pula, sehingga proses peresapan akan semakin sulit terjadi.
5. Kemampuan pertukaran ion. Hal ini bergantung pada jumlah residu bermuatan dari bahan pencemar dan struktur lapisan liat pada bahan tanah.
6. Temperatur pada setiap peristiwa peresapan, temperatur mempunyai pengaruh yang besar terhadap laju peresapan, karena pada umumnya semakin tinggi temperatur maka daya serap terhadap bahan pencemar semakin besar.

Pelumeran bahan –bahan pencemar banyak dipengaruhi oleh faktor kandungan air dalam lapisan tanah dan dalam bahan pencemar itu sendiri. Hal ini disebabkan besar kecilnya kandungan air menentukan menentukan tingkat kestabilan bahan pencemar yang sekaligus menjadi penentu dari proses pelumeran. Perpindahan lumeran pada umumnya akan memperkecil konsentrasi bahan pencemar di dalam badan tanah (Pallar, 1994).

2.7.1. Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria sama dengan logam-logam lain, perbedaan terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam ini berkaitan dan atau masuk kedalam tubuh organisme hidup (Pallar, 1994).

Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut (Pallar, 1994):

1. Memiliki *spesific gravity* yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Limbah yang mengandung logam berat dan bahan toksik tidak hanya mengganggu kesehatan lingkungan, kesejahteraan lingkungan tetapi juga dapat merubah sistem biologis (Darmono, 1995).

Berdasarkan daya pencemar dan tingkat bahaya logam berat dibagi menjadi empat kelas (Pallar, 1994) :

1. Berdaya pencemar sangat tinggi, seperti: Pb, Hg, Cd, Cr, As, Sb, Ti, dan Be.
2. Berdaya pencemar tinggi, seperti: Ba, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Va, Co, dan Rb.
3. Berdaya pencemar menengah, seperti: Bi, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Zn, dan Ag.
4. Berdaya pencemar rendah, seperti: Al, Na, Ap, dan Sr.

Semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, namun sebagian logam berat tetap dibutuhkan oleh makhluk hidup, kebutuhan tersebut dalam jumlah yang sangat kecil (Pallar, 1994).

2.8. Karakteristik Logam Berat Timbal (Pb)

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan nama timah hitam, dalam bahasa ilmiah dinamakan *plumbum*, logam ini termasuk kelompok logam-logam golongan IV A pada tabel periodik unsur kimia dan mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan berat atom (BA) 207,2 (Pallar, 1994).

Penyebaran logam berat timbal di bumi sangat sedikit. Jumlah yang terdapat di seluruh lapisan bumi hanyalah 0,0002 % dari jumlah seluruh kerak bumi. Jumlah ini sangat sedikit jika dibandingkan dengan jumlah kandungan logam berat lainnya yang ada di bumi. Di alam sendiri, terdapat 4 macam isotop timbal yaitu:

1. Timbal – 204 atau Pb^{204} , diperkirakan berjumlah sebesar 1,48 % dari seluruh isotop timbal.
2. timbal – 206 atau Pb^{206} , ditemukan dalam jumlah sebesar 23,60 % dari seluruh isotop timbal yang terdapat di alam.
3. Timbal – 207 atau Pb^{207} , sebanyak 22,60 % dari semua isotop timbal yang terdapt di alam.
4. Timbal – 208 atau Pb^{208} , ditemukan sebanyak 52,32 % dari seluruh isotop timbal yang terdapat di alam.

Isotop-isotop timbal tersebut merupakan hasil akhir dari peluruhan unsur-unsur radioaktif alam. Timbal – 206 merupakan hasil akhir dari peluruhan dari unsur *uranium* (U). Timbal – 207 berasal dari peluruhan unsur radioaktif *actinium* (Ac), dan timbal – 208 adalah hasil akhir dari peluruhan radioaktif *thorium* (Th).

Timbal tidak pernah ditemukan dalam bentuk murni. Bijih logam timbal bergabung dengan logam-logam lain seperti perak (*argentum* – Ag), seng (*zincum* – Zn),

arsen (*arsenikum* – As), logam stibi (*stibium* – Sb) dan logam bismut (*bismut* – Bi) (Pallar, 1994).

Logam ini sangat populer dan banyak dikenal orang awam, hal ini disebabkan banyaknya timbal yang digunakan pada industri dan paling banyak menimbulkan keracunan pada makhluk hidup. Sifat-sifat dan kegunaan logam ini adalah :

- a. Mempunyai titik lebur yang rendah, hanya 327.5 °C sehingga mudah diolah dan digunakan
- b. Mudah dibentuk karena logam ini lunak
- c. Merupakan logam yang tahan terhadap korosi sehingga sering digunakan sebagai bahan *coating*
- d. Bila dicampur dengan logam lain membentuk logam campuran yang lebih bagus daripada logam murninya
- e. Merupakan penghantar listrik yang tidak baik.

2.8.1. Pb dalam Tanah

Menurut Page *et al.*, dalam Darmono (2001), faktor yang meningkatkan atau menurunkan konsentrasi logam berat dalam lingkungan adalah kecepatan angin, ukuran partikkel tanah tercemar, jumlah kendaraan bermotor dan penambahan jarak jalan raya.

Masuknya logam berat ke dalam tanah secara berlebihan dapat menyebabkan turunnya fungsi tanah sebagai media tumbuh tanaman maupun fungsinya sebagai salah satu faktor pendukung lingkungan sehingga kandungan bahan-bahan organik di dalamnya mengalami perubahan.

Apabila kompleks jerapan tanah maupun kompleks pertukaran tanah sudah dijenuhi oleh ion-ion termasuk Pb, maka Pb yang tidak terjerap akan terlarut didalam larutan tanah sehingga menjadi bentuk yang dapat terserap oleh akar tanaman.

2.8.2. Timbal (Pb) Dalam Lingkungan

Konsentrasi timbal di udara di daerah perkotaan kemungkinan mencapai 5 sampai 50 kali daripada di daerah-daerah pedesaan. Semakin jauh dari daerah perkotaan, semakin rendah konsentrasi Pb di udara. Timbal yang mencemari udara terdapat dalam dua bentuk, yaitu berbentuk gas dan partikel-partikel. Gas timbal terutama berasal dari pembakaran bahan aditif bensin dan kendaraan bermotor yang terdiri dari tetraetil Pb dan tetrametil Pb. Partikel-partikel Pb di udara berasal dari sumber-sumber lain seperti pabrik-pabrik alkil Pb dan Pb-okside, pembakaran arang, dan sebagainya. Polusi Pb yang terbesar berasal dari pembakaran bensin, di mana dihasilkan berbagai komponen Pb, terutama $PbBrCl$ dan $PbBrCl_2PbO$.

Tanah mungkin mengandung komponen Pb arsenat yang stabil karena komponen ini banyak digunakan sebagai pestisida. Tetapi pada saat ini pestisida tersebut tidak digunakan lagi karena telah banyak diganti dengan pestisida organik. Di daerah-daerah pertanian yang dekat dengan jalan-jalan raya pada umumnya kandungan Pb pada hasil-hasil pertanian yang dipanen dari daerah-daerah yang jauh dari jalan raya. Hal ini menunjukkan bahwa pencemaran Pb umumnya berasal dari kendaraan-kendaraan bermotor.

2.8.3. Kegunaan Timbal (Pb) Dalam Kehidupan

Penggunaan timbal terbesar adalah dalam produksi baterai penyimpanan untuk mobil. Di mana digunakan timbal metalik dan komponen –komponennya. Elektrode dari beberapa baterai mengandung struktur inaktif yang disebut *grid* yang dibuat dari alloy timbal yang mengandung 93% timbal dan 7% antimony. Bagian yang aktif dari baterai terdiri dari timbal dioksida (PbO_2) dan logam timbal yang terkait pada grid.

Penggunaan lainnya dari timbal adalah untuk produk-produk logam seperti amunisi, pelapis kabel, pipa dan solder, bahan kimia, pewarna, dan lain-lainnya. Timbal juga digunakan sebagai campuran dalam pembuatan pelapis keramik yang disebut *glaze*. Glaze adalah lapisan tipis gelas yang menyerap ke dalam permukaan tanah liat yang digunakan untuk membuat keramik. Komponen utama dari glaze keramik adalah silika yang bergabung dengan oksida lainnya membentuk silikat kompleks atau gelas. Komponen timbal yaitu PbO ditambahkan ke dalam glaze untuk membentuk sifat mengkilap yang tidak dapat dibentuk dengan oksida lainnya.

2.8.4. Keracunan Timbal (Pb)

Daya racun Pb di dalam tubuh di antaranya disebabkan oleh penghambat enzim oleh ion-ion Pb^{2+} . Enzim yang diduga dihambat adalah yang diperlukan untuk pembentukan hemoglobin. Penghambatan tersebut disebabkan terbentuknya ikatan yang kuat (ikatan kovalen) antara Pb^{2+} dengan grup sulfur yang terdapat di dalam asam-asam amino (misalnya cistein) dari enzim tersebut. Bentuk kimia Pb merupakan faktor penting yang mempengaruhi sifat-sifat Pb didalam tubuh. Komponen Pb organik, misalnya tetraetil Pb, segera dapat terabsorpsi oleh tubuh melalui kulit dan membran

mukosa. Hal ini merupakan masalah bagi pekerja-pekerja yang bekerja di pabrik-pabrik yang memproduksi komponen tersebut. Komponen Pb di dalam bensin, meskipun berbentuk komponen organik, tidak merupakan bahaya polusi dalam bentuk organik karena selama pembakaran akan diubah menjadi bentuk anorganik. Komponen ini dilepaskan di udara dan sifatnya kurang berbahaya dibandingkan dengan Pb organik. Pb anorganik diabsorpsi terutama melalui saluran pencernaan dan pernapasan, dan merupakan sumber Pb utama di dalam tubuh.

2.8.5. Efek Timbal (Pb) Pada Lingkungan

Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentrasi logam timbal adalah dari pembakaran bensin dan pabrik-pabrik yang memanfaatkan logam ini. Logam timbal (Pb) dapat masuk di udara (lapisan atmosfer), air dan tanah melalui proses alami dan aktivitas manusia.

Kebanyakan timbal terdapat di udara dan *end up* di air dan tanah. Di dalam tanah timbal akan mengikat kuat butiran partikel sehingga tidak menyebar ke *ground water*. Tanah yang mengandung timbal akan tampak kehitaman. Tanah pertanian jika mengandung timbal akan berbahaya bagi hasil pertaniannya karena hasil pertaniannya akan mengandung timbal.

2.8.6. Efek Timbal (Pb) Bagi Kesehatan

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang terdapat pada limbah Bahan Bahaya dan Beracun (B3) yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernapasan, minuman dan makanan dan melalui kulit. Dan jika terakumulasi dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh manusia.

Logam timbal (Pb) berbahaya bagi kesehatan manusia, sebagian besar pada orang-orang yang selalu mengendarai kendaraan bermotor yang tanpa disadari selalu menghirup asap kendaraan yang menggunakan bensin yang bertimbal. Permasalahan kesehatan yang lain disebabkan karena jenis-jenis makanan yang mengandung timbal adalah gangguan pada organ tubuh manusia seperti lemas, keletihan, gangguan perut dan anemia.

2.9. Pemanfaatan Metode Remediasi Elektrokinetik Untuk Menurunkan Kadar Timbal (Pb).

2.9.1. Studi Terdahulu

2.9.1.1. Remediasi Elektrokinetik Dengan Menggunakan Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal Pada Tanah Yang Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) [Wahyu, 2001]

Wahyu, 2001 menerapkan metode baru dalam teknik remediasi elektrokinetik yakni dengan menyisipkan larutan elektrolit (KCl) diantara katoda dan tanah yang akan diolah. Hal ini dilakukan guna mempertahankan pH tanah agar tetap rendah serta mencegah terpresipitasinya logam berat (Pb) dalam tanah di dekat katoda, sesuatu yang sering terjadi pada teknik elektrokinetik terdahulu. Sejumlah parameter percobaan yang diteliti antara lain konsentrasi (C) Pb dalam tanah, periode percobaan (t), perilaku pH, konsentrasi larutan elektrolit dan jenis media bak pasir (artificially contaminated sand) maupun tanah alami yang tercemar.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa Pb dapat disisihkan dari tanah dengan berbagai tingkat efisiensi. Pada pasir $C_0 = 100$ ppm dan $t = 48$ jam diperoleh efisiensi 21,09 % ($KL = 2,15 \times 10^{-4} \text{ m det}^{-1}$) dan meningkat menjadi 53,59 % ($KL = 2,36 \times 10^{-1} \text{ m}$

det⁻¹) pada C₀ = 400 ppm. Demikian pula pada C₀ = 900 ppm bila t = 8 jam didapat efisiensi 39,06 % akan meningkat jika t menjadi 24 jam dan 48 jam yakni sebesar masing-masing 78,87 % dan 84,26 %. Pada percobaan dengan tanah alami C₀ = 975 ppm didapat efisiensi yang lebih rendah yakni 32,84 % bila dibandingkan pada media pasir dengan kondisi percobaan sama, yang besarnya 87,68 %. Konsentrasi KCl juga mempengaruhi kinerja sistem dimana tingkat efisiensi penyisihan menjadi sedikit meningkat.

Peningkatan konsentrasi larutan elektrolit menjadi dua kalinya tidak secara proporsional meningkatkan fluks Pb yang tersisihkan. Selain itu jenis media tanah juga mempengaruhi laju desorpsi Pb. Pada tanah alami walau desorpsi berlangsung lebih lama dibandingkan pada pasir, namun Pb yang tersisihkan relatif lebih kecil. Hal ini disebabkan sifat Pb yang immobile dalam tanah serta kompleksnya reaksi-reaksi kimiawi logam berat dengan partikel tanah itu sendiri.

2.9.1.2. Remediasi Elektrokinetik dengan Menggunakan Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal pada tanah Terkontaminasi Logam Berat Cr [Fatimah, 2004]

Metode penelitian Remediasi elektrokinetik ini menggunakan tegangan 40 Volt dan 0,2 A DC. Tanah yang digunakan adalah simulasi tanah kaolinit Godean dengan Cr₂O₃ hingga konsentrasi Cr = 500 µg/g, berat tanah = 150 kg dan ditempatkan pada bak dari kaca berukuran 1 m x 0,95 m x 1 m. Waktu yang digunakan untuk remediasi tanah adalah selma 12 jam. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon bekas batu baterai dengan panjang 5 cm dan diameter 0,8 cm. Jarak antar elektroda 15 cm dengan konfigurasi 2D hexagonal.

Penelitian menunjukkan, karena adanya proses-proses kimia tersebut maka terjadi perubahan pH dan konsentrasi Cr dalam tanah. Nilai pH awal rata-rata adalah 2,4 kemudian berubah di setiap area titik sampling. Perubahan pH pada setiap area mengakibatkan terjadinya perbedaan kondisi di tiap area. Pada area sekitar katoda memiliki kondisi basa dengan pH antara 8,4 sampai 10,2 sedangkan pada area anoda memiliki kondisi asam dengan nilai pH antara 3 sampai 5,4. konsentrasi logam berat Cr dalam tanah mengalami penurunan dari konsentrasi awal 500 $\mu\text{g/g}$ menjadi konsentrasi terendah yaitu 78,6 $\mu\text{g/g}$ dengan efisiensi sebesar 78,13 %.

2.10. Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka dan landasan teori tentang remediasi elektrokinetik, maka dapat dirumuskan hipotesa sebagai berikut:

1. Teknik remediasi elektrokinetik dapat dipergunakan untuk memulihkan tanah yang telah terkontaminasi oleh logam berat Pb
2. Teknik Remediasi elektrokinetik efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berat Pb dalam tanah pertambangan emas di kecamatan Kokap, kabupaten Kulonprogo yang tercemar logam berat Pb.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen yang dilaksanakan dalam skala laboratorium.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.3 Waktu Penelitian

Waktu akuisisi data \pm 2 minggu yang dilanjutkan dengan pengolahan data, interpretasi data dan penyusunan skripsi pada bulan Juli 2006–Februari 2007.

3.4 Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah pertambangan emas yang tercemar logam berat Pb di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Jogjakarta

3.5 Bahan dan Alat Penelitian

3.5.1 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Penelitian ini menggunakan tanah yang mengandung logam berat Pb yang diambil dari pertambangan emas di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo.
2. Aquades.

3.5.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Drum, dipakai untuk mengambil sampel tanah.
2. Wadah tanah atau reaktor, dipakai untuk tempat proses elektrokinetik
3. *Power supply*
4. Elektroda
5. Ohmmeter
6. PH meter
7. Pengaduk
8. Kabel
9. Semprotan

3.6 Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan yaitu :

3.6.1 Tahap Pra Penelitian

Meliputi persiapan dan perencanaan.

I. Persiapan alat dan bahan

II. Perencanaan meliputi :

1. Pemilihan tanah

Di gunakan limbah padat berupa tanah yang terkontaminasi logam berat Pb dari penambangan emas di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo.

2. Persiapan wadah tanah

Wadah dibuat dari bahan kaca berukuran 1m x 1m x 1m dengan tebal kaca 1cm

3. Persiapan elektroda

Menggunakan elektroda perit berbentuk silinder. Seluruh permukaan elektroda ditancapkan kedalam sampel *sludge* secara vertikal dengan jarak antar elektroda 15 cm dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.

4. Persiapan *power supply*

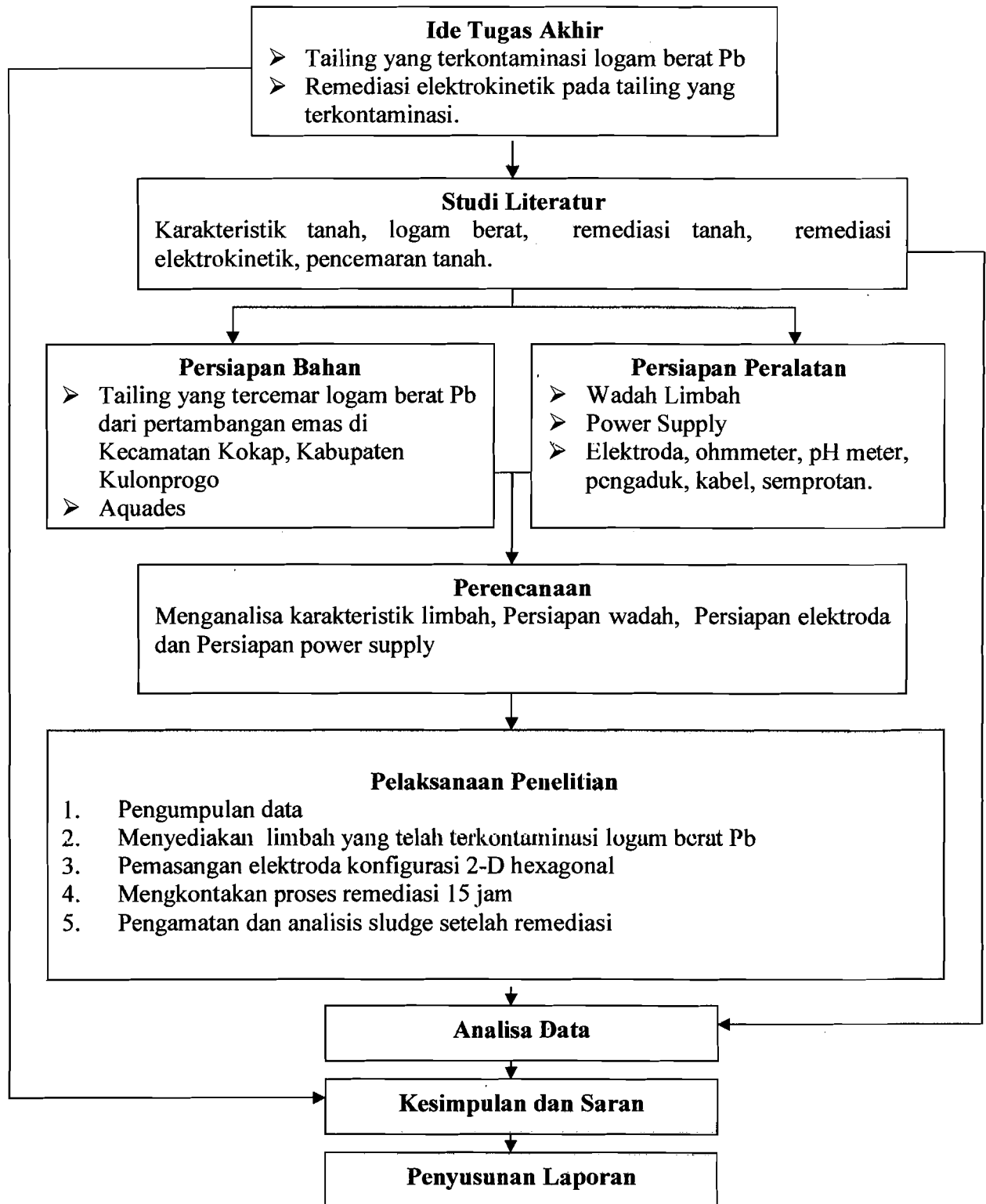
Menggunakan *power supply* maksimum 40 volt dan 0.2 A DC, kabel *power supply* dihubungkan ke konektor pada elektroda.

3.6.2 Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian meliputi :

1. Menyiapkan tanah yang telah dianalisis yang mengandung logam berat Pb.
2. Pemasangan elektroda pada masing-masing sludge terkontaminasi dengan konfigurasi hexagonal.
3. Mengkontakan power supply dengan sumber arus listrik AC 220 Volt agar arus DC dapat mengalir pada permukaan elektroda dan sludge.
4. Proses elektrokinetik dilakukan selama 15 jam.
5. Dilakukan pengamatan dan pengambilan sampel pada tiap-tiap rentang waktu setiap 3 jam (untuk pengamatan ini arus listrik dimatikan).
6. Analisa sludge dengan metode AAS untuk pengamatan terhadap kandungan konsentrasi kontaminan logam berat dan resistensi.

Adapun tahapan penelitian ini secara skematis digambarkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Langkah-langkah kerja penelitian

3.6.3. Analisa Data

Analisa data dilakukan di Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta dengan metode AAS guna mengetahui konsentrasi Pb sebelum dan sesudah diremediasi dengan variasi jarak dan waktu. Hasilnya disajikan pada lampiran 7.

Untuk menentukan tingkat efisiensi penurunan konsentrasi Pb pada sludge setelah dilakukan remediasi secara elektrokinetik adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

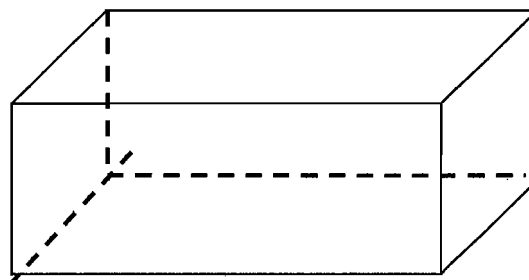
Keterangan :

E = Effisiensi (%)

C = Konsentrasi

3.7. Desain

Desain wadah dan berat tanah digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Desain wadah

$$\text{Volume Tanah} = p \times l \times t$$

$$= 1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0,25\text{ m}$$

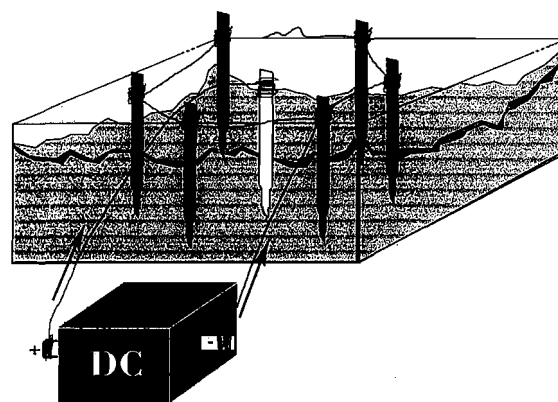
$$= 0,25\text{ m}^3 = 250\text{ l}$$

$$\text{Berat Sludge} = B_j \text{ sludge} \times \text{volume sludge}$$

$$= 1,25\text{ kg/l} \times 250\text{ l} = 312,5\text{ kg}$$



3.7.1. Desain Wadah dan Elektroda

Desain wadah dan konfigurasi elektrokinetik 2D- *Hexagonal* diberikan pada gambar 3.3.



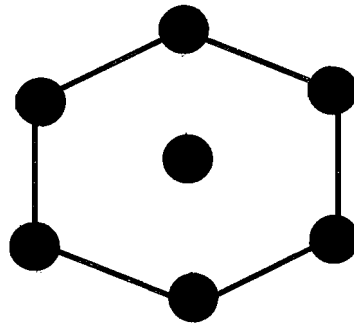
Gambar 3.3. Desain elektroda pada tanah

Keterangan :

- \longrightarrow = Arus listrik
- --- = Kabel katoda
- --- = kabel anoda
-  = Anoda
-  = Katoda

3.7.2. Kebutuhan Elektroda

Konfigurasi elektroda *hexagonal* terdiri dari beberapa sel, masing masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda), seperti pada Gambar 3.4.

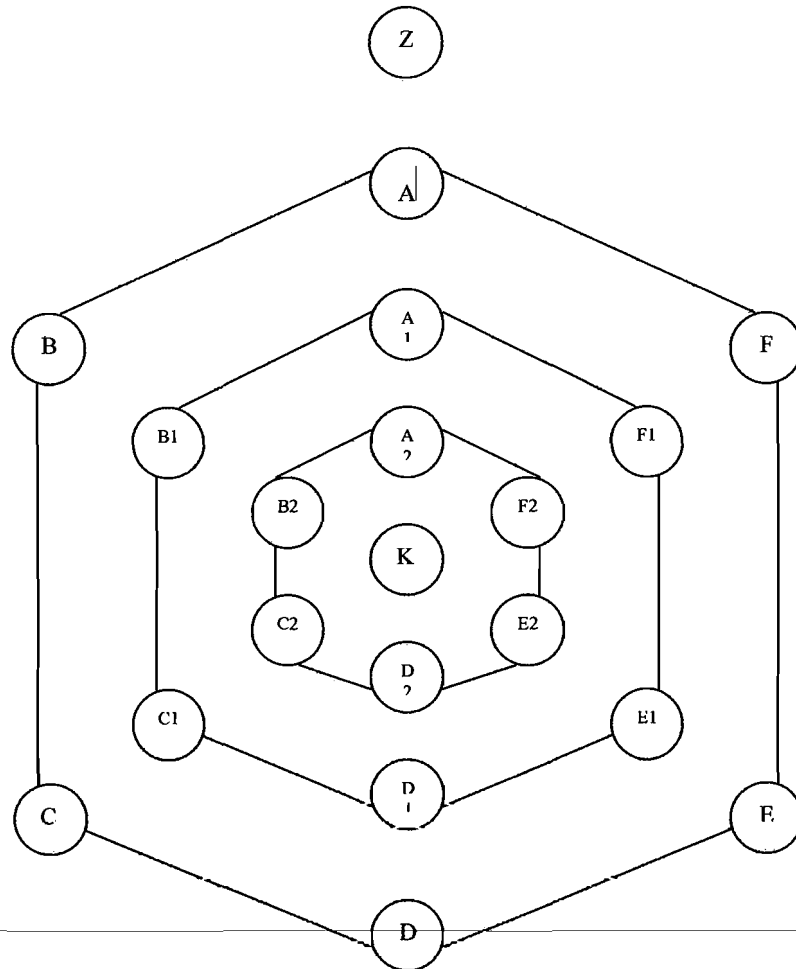


Gambar 3.4. Konfigurasi elektroda

- = Anoda
- = Katoda

3.8. Desain Titik Sampling

Titik sampling yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Desain titik sampling

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah penambangan emas dari kecamatan Kokap kabupaten Kulonprogo. Berdasarkan hasil uji awal diketahui bahwa konsentrasi Pb awal sebelum di remediasi adalah 1,0302 mg/L. Hasil pengukuran semua sampel di berikan pada lampiran 1. Sedangkan standar baku mutu yang di perbolehkan adalah 100 mg/kg.

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil Analisa Konsentrasi Pb pada Area Efektif

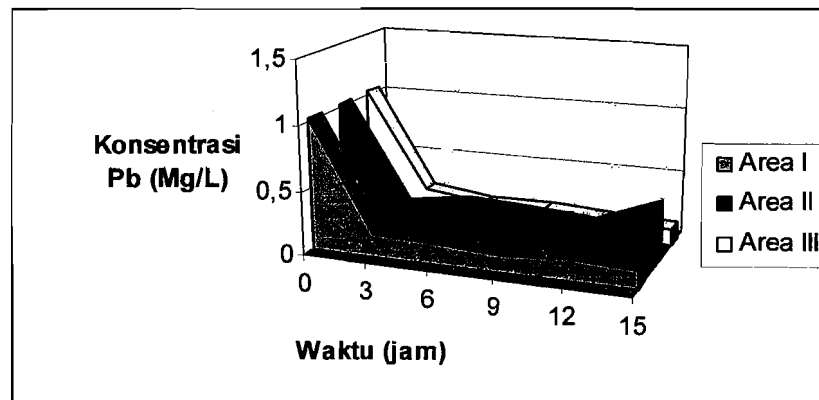
Titik sampel tanah dibagi menjadi 4 area yaitu:

- a. area I : terletak 15 cm dari katoda
- b. area II : terletak 10 cm dari katoda
- c. area III: terletak 5 cm dari katoda
- d. area inefektif : terletak 15 cm diluar katoda

Area I, II, III merupakan area efektif sedangkan area in efektif merupakan area yang berada di luar daerah elektroda.

Konfigurasi elektroda 2D hexagonal ini menggunakan tegangan listrik 40 V dan arus DC 0.2A pada potongan melintang area antara elektroda pada tanah penambangan emas yang terkontaminasi Pb. Fungsi dari arus yang rendah pada DC dalam proses remediasi karena memerlukan waktu untuk terjadinya perpindahan kontaminan ke elektroda (Mitchell, 1993) sehingga kontaminan yang tertarik ke anoda langsung menuju katoda (migrasi searah), yang dilakukan selama 15 jam dengan interval waktu 3 jam di tiap area. Hasil pengukuran dan pengambilan sampel tanah, hasilnya disajikan pada

gambar 4.1. sedangkan grafik hubungan antara konsentrasi Pb pada setiap area terhadap waktu di berikan pada lampiran 3.

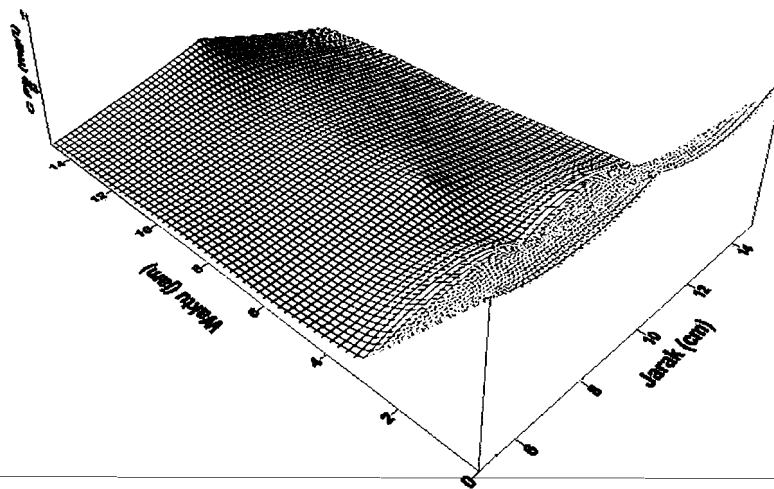


Gambar 4.1. Konsentrasi Pb terhadap waktu

Dari gambar 4.1. di atas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi Pb di setiap area dalam interval waktu 3 jam selama proses remediasi selama kurun waktu 15 jam. Gambar 4.1. tersebut menunjukkan bahwa fenomena yang terjadi pada hubungan konsentrasi terhadap waktu. Selama waktu remediasi, konsentrasi Pb dalam tanah menurun pada area I menjadi 0,1387 mg/L dan III sebesar 0,1305 mg/L, hal ini diperkuat dengan adanya penelitian dari (Alshawabkeh, 1999) bahwa adanya pergerakan dan penurunan kontaminan disebabkan adanya proses elektromigrasi dan elektroosmosis . tetapi pada area II terjadi kenaikan konsentrasi menjadi 0,4558 mg/L, ini dimungkinkan karena pada saat pengadukan pada area II kurang homogen sehingga dapat mempengaruhi konsentrasi pada saat remediasi, karena arus yang masuk kedalam media terhalang oleh rongga-rongga udara sehingga menyebabkan ion-ion yang ada tidak bisa terserap secara sempurna. Dalam penelitian remediasi elektrokinetik, rapat

arus sangat diperlukan untuk memberikan hasil yang efektif sehingga logam-logam berat (Pb) dapat tertarik ke arah katoda dengan baik. Namun secara keseluruhan pada area II juga mengalami penurunan konsentrasi Pb bila dibandingkan terhadap konsentrasi sebelum diremediasi yaitu sebesar 1,0302 mg/L. Foto-foto dokumentasi selama eksperimen di berikan pada lampiran 6.

Fenomena yang terjadi pada hubungan konsentrasi dan waktu remediasi di seluruh area efektif disajikan pada gambar 4.2.

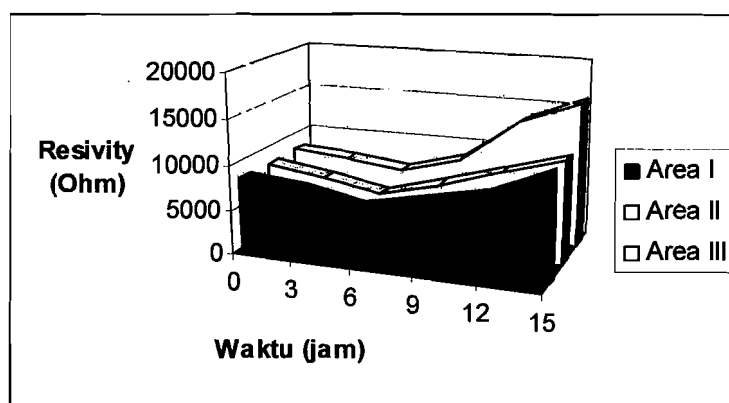


Gambar 4.2. Konsentrasi Pb terhadap jarak dan waktu di area efektif

Dari kurva-kurva (fenomena) di atas nampak bahwa semakin lama waktu remediasi dan semakin dekat jarak terhadap katoda maka konsentrasi Pb akan semakin menurun. Konsentrasi Pb terendah berada pada area III yaitu sebesar 0.0265 mg/L pada titik E2 dengan waktu remediasi selama 15 jam. Ini dikarenakan pada titik E2 jaraknya

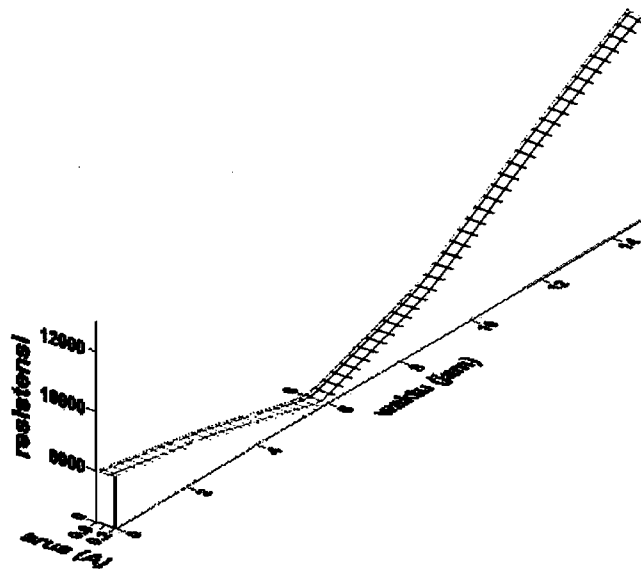
sangat dekat dengan katoda sehingga penarikan Pb menuju katoda sangat mudah terjadi, dan waktu 15 jam adalah waktu yang paling lama digunakan dalam penelitian ini sehingga konsentrasi Pb sangat kecil karena sudah teremediasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa waktu selama 15 jam yang digunakan untuk remediasi dalam penelitian ini cukup maksimum.

Pada saat proses remediasi elektrokinetik berlangsung, maka terjadi proses elektromigrasi yang menyebabkan logam-logam Pb tertarik menuju arah katoda sehingga hambatan listriknya semakin tinggi. Hal ini diperkuat dengan penelitian dari (Acar dan Alshwabkeh, 1993) bahwa kontaminan anorganik (logam berat) mengalami proses elektromigrasi yang sangat dominan dalam menurunkan konsentrasinya, sehingga hambatan yang ada akan semakin meningkat juga. Pengukuran arus dan resistensi dilakukan dengan interval waktu setiap 3 jam. Data hasil pengukuran tersebut diberikan pada gambar 4.3. di bawah ini, sedangkan data numeriknya di berikan pada lampiran 2. dan kurva pada masing-masing area di berikan pada lampiran 4.



Gambar 4.3. Resistensi terhadap waktu

Dari gambar 4.3. diatas dapat dilihat bahwa resistivity di setiap area semakin lama semakin meningkat. Kenaikan resistensi ini disebabkan oleh penurunan konsentrasi ion-ion positif logam-logam berat yang menuju katoda. Sesuai dengan pernyataan Bueche(1989), bahwa resistensi berbanding terbalik dengan luas penampang. Pengecilan luas penampang disebabkan karena pengendapan logam-logam berat yang telah direduksi menjadi logam-logamnya. Sehingga semakin lama waktu yang di gunakan untuk remediasi maka resistivitasnya akan semakin meningkat.



Gambar 4.4. Resistensi, waktu dan arus

Gambar 4.4. adalah hubungan antara resistensi dengan waktu selama proses remediasi berlangsung. menunjukkan bahwa terjadi peningkatan resistensi pada variasi waktu setiap 3 jam selama 15 jam Resistensi awal sebelum remediasi adalah 8000 Ω dan resistensi ini terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu dengan arus

waktu setiap 3 jam selama 15 jam Resistensi awal sebelum remediasi adalah 8000 Ω dan resistensi ini terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu dengan arus yang konstan, sebesar 0,2 A. Pada 3 jam pengukuran pertama nilai resistensi sebesar 7333,4 Ω untuk area I, 6 jam sampai 15 jam berturut-turut adalah 6000 Ω , 7500 Ω dan 8833,4 Ω , 11666,7 Ω . Sedangkan untuk area II secara berturut-turut tiap 3 jam selama 15 jam adalah 7000 Ω , 5833,4 Ω , 7500 Ω , 9500 Ω , 11500 Ω . Dan untuk area III secara berturut-turut setiap 3 jam selama 15 jam adalah 7500 Ω , 6833,4 Ω , 8500 Ω , 13500 Ω , 16000 Ω . Sedangkan untuk area inefektif adalah 8750 Ω . Sedangkan arus terjaga tetap konstan yaitu 0,2 A. Karena terjadinya pengurangan ion-ion penghantar maka hambatan (resistensi) yang terjadi dalam tanah semakin semakin meningkat. Selain itu, karena adanya penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi mengecil sehingga hambatan yang dialami arus listrik akan semakin besar. Kenaikan resistensi yang terjadi pada penelitian ini disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi ion-ion logam positif sehingga menyebabkan kenaikan resistensi yang cukup signifikan. (Alshawabkeh, 1999) juga mengungkapkan bahwa adanya penurunan konsentrasi ion-ion karena telah terjadi proses elektromigrasi (*ion migration*) di bawah pengaruh medan listrik.

Arus mempunyai keterkaitan dengan tegangan yang dialirkan dari *power supply*. Voltase yang dipakai pada penelitian ini ternyata tidak mampu menghasilkan arus yang cukup untuk menarik logam Timbal menuju batang katoda. Voltase yang dibutuhkan untuk setiap logam tidak dapat diukur dengan menggunakan rumus secara empiris, karena setiap logam memiliki resistensi yang berbeda satu sama lainnya. Sesuai dengan deret volta semakin ke kiri maka tegangan yang dibutuhkan untuk mereduksi logam berat

akan semakin besar. Untuk pemaksimalan migrasi logam-logam berat haruslah dilakukan beberapa kali perulangan penggunaan voltase yang berbeda-beda sehingga pada akhirnya dipilih voltase yang memiliki penurunan konsentrasi yang maksimal. Semakin besar voltase dan arus yang digunakan untuk meremediasi logam akan semakin besar pula efisiensi penurunannya.

4.2. Konsentrasi Pb pada Area InEfektif

Selain pada area efektif, analisis konsentrasi Pb juga dilakukan pada area inefektif, area yang terletak di luar area efektif. Pengambilan sampel dan hasil pada area inefektif ini adalah sebagai perbandingan terhadap area efektif. Area inefektif ini merupakan area yang berada di luar daerah elektroda (anoda dan katoda). Pada penelitian ini, pengambilan sampel tanah yang telah diremediasi dilakukan pada waktu yang bersamaan dengan pengambilan sampel tanah pada area efektif. Jarak pengambilan sampel tanah pada area inefektif sejauh 15 cm dari arah anoda. Dari hasil penelitian yang didapat bahwa terjadi kenaikan konsentrasi Pb pada area inefektif, sehingga dimungkinkan bahwa pada area tersebut mendapat pengaruh dari medan listrik dari area efektif. Walaupun kenaikannya relatif sangat kecil, namun telah ikut terpengaruh oleh sistem elektroda area efektif terhadap area inefektif.

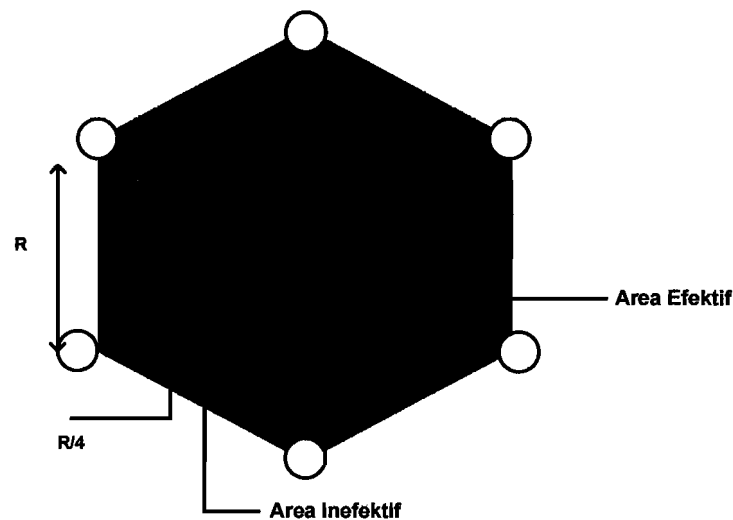
Perbedaan konsentrasi pada area inefektif disebabkan oleh masih terpengaruhnya daerah inefektif oleh medan listrik. Ion-ion Pb^{2+} yang berada pada area inefektif akan menuju katoda melalui area efektif atau area I, II dan III.

Secara umum tujuan penerapan konfigurasi elektroda 2D adalah untuk mencapai aliran radial (*axi-symmetrical*). Katoda ditempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Pb pada zona yang lebih kecil di sekitar katoda sedangkan anoda

ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang dibangkitkan oleh anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang dibangkitkan oleh katoda. Titik-titik *inactiv* (mati) medan listrik dalam konfigurasi 2-D terbentuk, namun lebih kecil dibandingkan yang terbangun pada konfigurasi 1-D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1-D, rapat arus lokasinya bebas, dalam konfigurasi 2-D, rapat arus bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda (Alshwabkeh, 1999).

Menurut Alshwabkeh (1999), distribusi medan listrik menunjukkan area inefektif beberapa sel berbentuk *curvilinear triangle* (segitiga sama kaki) dengan badan kaki merupakan jarak elektroda yang mempunyai polaritas sama.

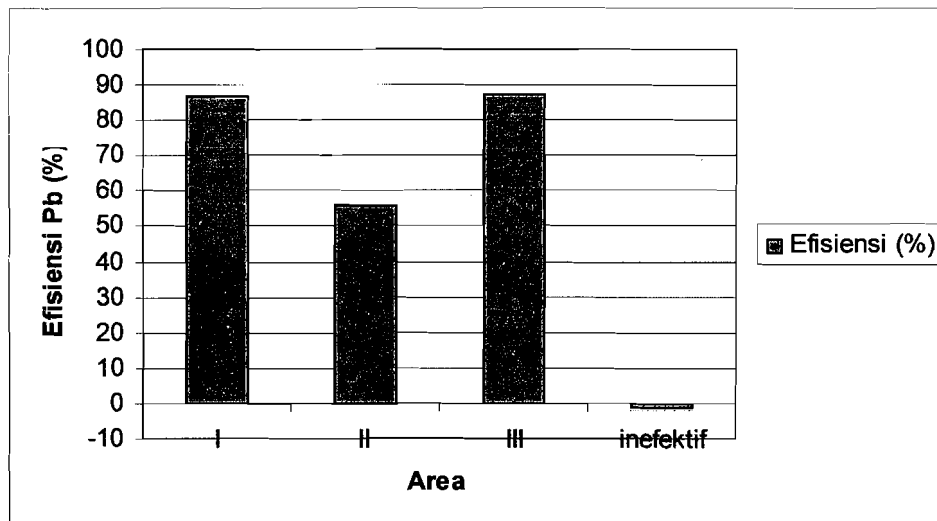
Besar area segitiga ini diperkirakan tergantung pada waktu proses, spasi elektroda dan kesejajaran, seperti gambar 4.5.



Gambar 4.5. Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik (Alshwabkeh, 1999)



Dari besarnya nilai efisiensi dapat dibuat grafik antara % penurunan konsentrasi Pb terhadap area dan ditunjukkan pada gambar 4.6. perhitungan efisiensi masing-masing area di berikan pada lampiran 5.



Gambar 4.6. Efisiensi penurunan konsentrasi Timbal pada masing-masing area

Dari gambar 4.6. terlihat bahwa efisiensi penurunan konsentrasi Timbal setelah proses remediasi elektrokinetik terbesar terjadi pada area III yaitu sebesar 87,33 % dan efisiensi terendah terdapat pada area inefektif sebesar -1,19 %. Untuk area II efisiensi penurunan konsentrasi Pb sebesar 55,75 % ini dimungkinkan karena pada saat pengadukan pada area ini kurang homogen sehingga arus yang mengalir tidak menyebar sempurna sehingga efisiensinya menurun. Pada area I sebesar 86,5 %. Proses migrasi ion-ion Pb^{2+} terjadi pada semua arah permukaan tanah, yaitu pada area inefektif dan area efektif. Penurunan konsentrasi Timbal tidak terjadi pada area I, karena migrasi ion-ion Timbal dari area inefektif berkumpul pada area I selama terjadinya proses elektrokinetik. Sementara itu, logam-logam Pb akan berlomba-lomba menuju

katoda. Besarnya efisiensi pada area III disebabkan karena area ini memiliki jarak yang terdekat dari batang katoda sehingga logam-logam Pb^{2+} akan lebih mudah tertarik menuju batang katoda. Sedangkan pada area inefektif efisiensinya sebesar -1,19 % ini dikarenakan pada area ini tidak dialiri arus listrik sehingga efisiensinya sangat kecil dan ini dianggap wajar. Menurut (Alshawabkeh, 1999) bahwa remediasi elektrokinetik dapat meremoval logam berat Pb sebesar 85% - 95%. Sehingga dapat dikatakan bahwa remediasi elektrokinetik pada penelitian ini cukup berhasil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pada saat proses remediasi elektrokinetik terjadi proses elektroosmosis, elektromigrasi, dan elektroporosis. Tetapi proses yang paling dominan dari remediasi elektrokinetik adalah proses elektromigrasi.
2. Remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2D *hexagonal* dapat digunakan untuk meremediasi limbah hasil tailing pada penambangan emas di Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo yang terkontaminasi logam berat Pb, dari konsentrasi awal 1.0302 mg/L menjadi 0.0265 mg/L dengan efisiensi sebesar 87,33 %.
3. Semakin lama waktu yang digunakan dalam remediasi maka konsentrasi yang dihasilkan akan semakin menurun dan semakin dekat jarak terhadap katoda maka konsentrasi Pb akan semakin kecil.

5.2. Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut menggunakan elektroda yang lebih besar, yaitu panjang elektroda sama dengan kedalaman tanah yang akan diremediasi.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai remediasi elektrokinetik dengan menggunakan limbah dan parameter logam yang berbeda.
3. Untuk penelitian berikutnya pemilihan voltase listrik harus dilakukan beberapa kali percobaan sehingga akan dihasilkan arus yang sesuai untuk menarik logam menuju katoda.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai remediasi elektrokinetik dengan menggunakan elektroda yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, Y. B. and Alshwabkeh, A. N., 1993, *Principples of Electrokinetic Remediation, Environmental Science and Technology*, New Delhi, India.
- Alshawabkeh, A. N., 1999, *Optimation of 2-D Electrode Configuration for Elektrokinetic Remediation, Juornal of Soil Contamination*, USA.
- Bueche, F.J., 1989, *Thoery and Problem of College Physics*, MacGraw Hill, Inc.
- Darmono, 1995, *Buku Kimia*, Erlangga, Jakarta
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*, UI-Press, Jakarta.
- Fatimah, S, 2004, *Remediasi Elektrokinetik Dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal Pada Tanah yang Tercemar Logam Berat Khrom (Cr)*, UII, Yogyakarta.
- Johannes. H, 1978, *Listrik dan Magnct*, PN Balai Pustaka, Jakarta.
- Kim, H. T., 1998, *Dasar-Dasar Kimia Tanah*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Mitchell. J. K., 1993, *Fundamentals of Soil Behaviour Series in Soils*, Enginccring Wiley, New York, NY, 437 pp
- Pallar. H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineke Cipta, Jakarta.
- Pamukcu and Wittle, J, 1993, *Electrokinetic Treatment of Contaminated Soils, Sludges and Lagoons*, Final Rep.to Argonne National Laboratory.

Wahyu. P, 2001, Remediasi Elektrokinetik Dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal pada Tanah Yang tercemar logam berat Timbal, [www.Google.com./Remediasi tanah](http://www.Google.com./Remediasi%20tanah).

LAMPIRAN 1

Tabel Hasil Analisis Konsentrasi Timbal (Pb)

Tabel L1.1. Konsentrasi Pb rata-rata pada area I

Waktu (jam)	Titik sampel	Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Rata-rata (mg/L)
0	Z	1,0302	1,0302
3	C	0,2935	0,1805
	E	0,0675	
6	C	0,2675	0,162
	E	0,0565	
9	C	0,2305	0,14
	E	0,0495	
12	C	0,276	0,1625
	E	0,049	
15	C	0,2165	0,1387
	E	0,061	

Tabel L1.2. Konsentrasi Pb rata-rata pada area II

Waktu (jam)	Titik sampel	Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Rata-rata (mg/L)
0	Z	1,0302	1,0302
3	A1	0,4695	0,2495
	C1	0,218	
	E1	0,061	
6	A1	0,689	0,322
	C1	0,214	
	E1	0,063	
9	A1	0,6435	0,2885
	C1	0,189	
	E1	0,033	
12	A1	0,573	0,262
	C1	0,1655	
	E1	0,0475	
15	A1	0,5255	0,4558
	C1	0,8105	
	E1	0,0315	

Tabel L1.3. Konsentrasi Pb rata-rata pada area III

Waktu (jam)	Titik Sampel	Konsentrasi (mg/L)	Konsentrasi Rata-rata (mg/L)
0	Z	1,0302	1,0302
3	A2	0,517	0,2465
	C2	0,1945	
	E2	0,028	
6	A2	0,384	0,1802
	C2	0,1255	
	E2	0,031	
9	A2	0,378	0,1791
	C2	0,128	
	E2	0,0315	
12	A2	0,2815	0,144
	C2	0,1225	
	E2	0,027	
15	A2	0,305	0,1305
	C2	0,06	
	E2	0,0265	

LAMPIRAN 2

Tabel Hasil Analisis Arus dan Resistensi pada setiap Area

Tabel L2.1. Analisa resistensi dan waktu pada area I

Waktu (jam)	Titik sampel	Resistensi (Ω)	Resistensi Rata-rata (Ω)
0	Z	8000	8000
3	A	7000	7333.4
	C	8500	
	E	6500	
6	A	5000	6000
	C	6000	
	E	7000	
9	A	5500	7500
	C	7000	
	E	10000	
12	A	8500	8833.4
	C	8500	
	E	9500	
15	A	8000	11666.7
	C	14000	
	E	13000	

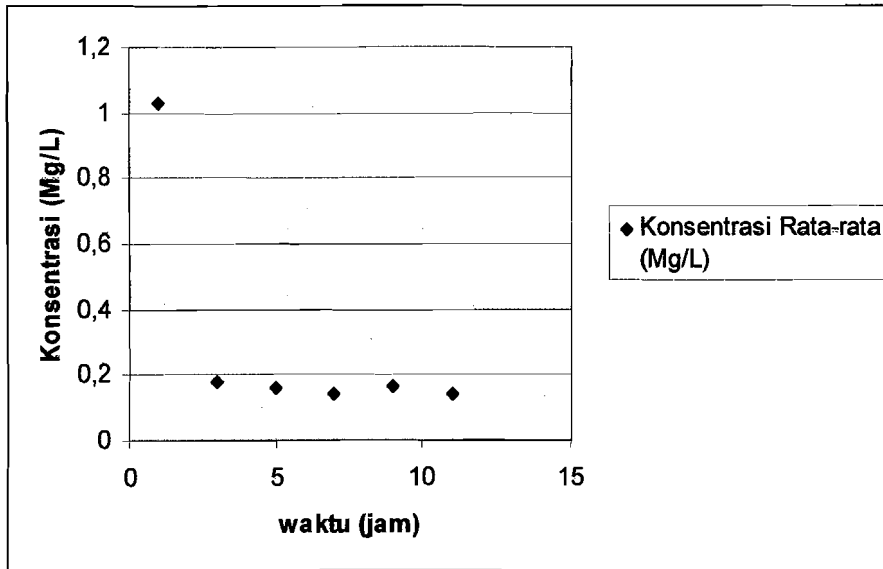
Tabel L2.2. Analisa resistensi dan waktu pada area II

Waktu (jam)	Titik sampel	Resistensi (Ω)	Resistensi Rata-rata (Ω)
0	Z	8000	8000
3	A1	7500	7000
	C1	6500	
	E1	7000	
6	A1	5000	5833.4
	C1	6000	
	E1	6500	
9	A1	7000	7500
	C1	7500	
	E1	8000	
12	A1	8500	9500
	C1	9000	
	E1	11000	
15	A1	9000	11500
	C1	12000	
	E1	13500	

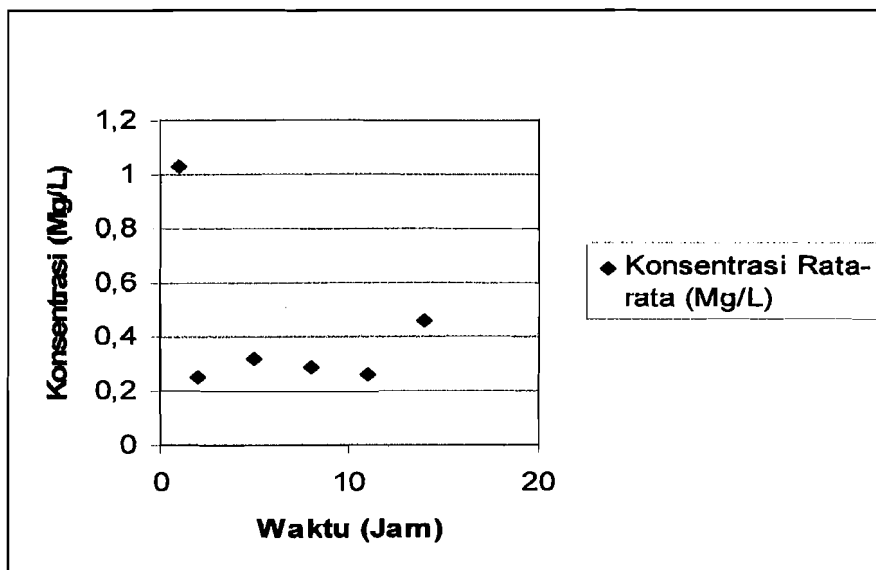
Tabel L2.3. Analisa resistensi dan waktu pada area III

Waktu (jam)	Titik sampel	Resistensi (Ω)	Resistensi Rata-rata (Ω)
0	Z	8000	8000
3	A2	8500	7500
	C2	7000	
	E2	7000	
6	A2	6000	6833.4
	C2	7000	
	E2	7500	
x9	A2	8500	8500
	C2	8000	
	E2	9000	
12	A2	14000	13500
	C2	13000	
	E2	13500	
15	A2	13000	16000
	C2	15000	
	E2	20000	

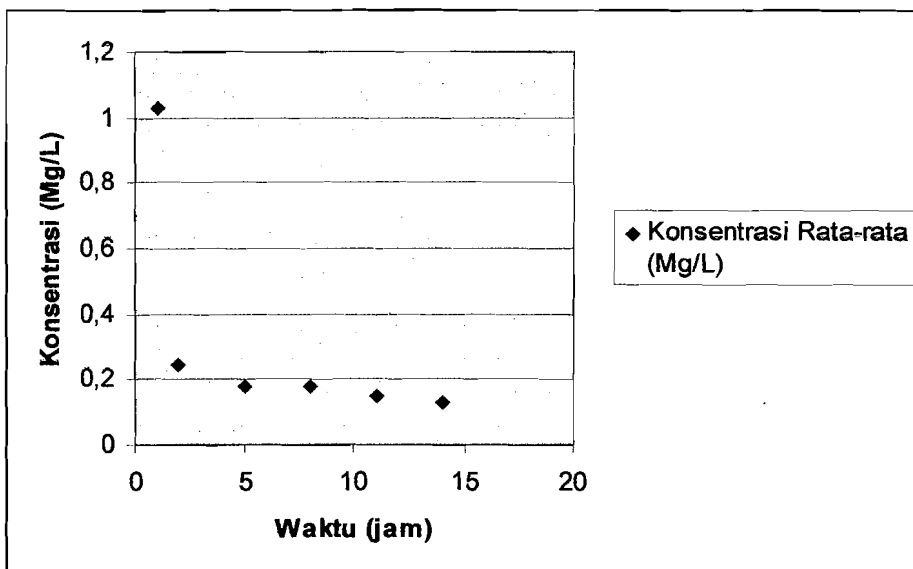
LAMPIRAN 3



Gambar L3.1. Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area I

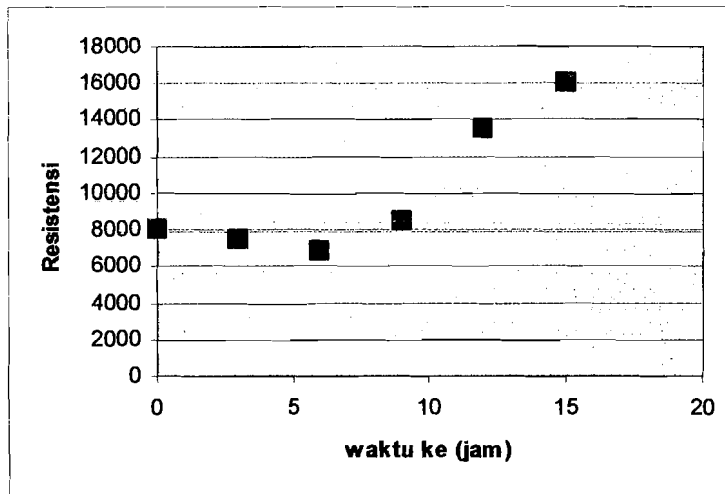


Gambar L3.2. Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area II

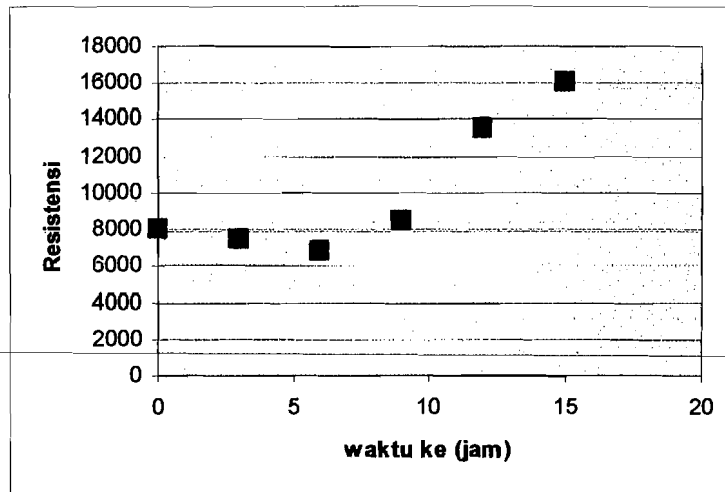


Gambar L3.3. Konsentrasi Pb terhadap waktu pada area III

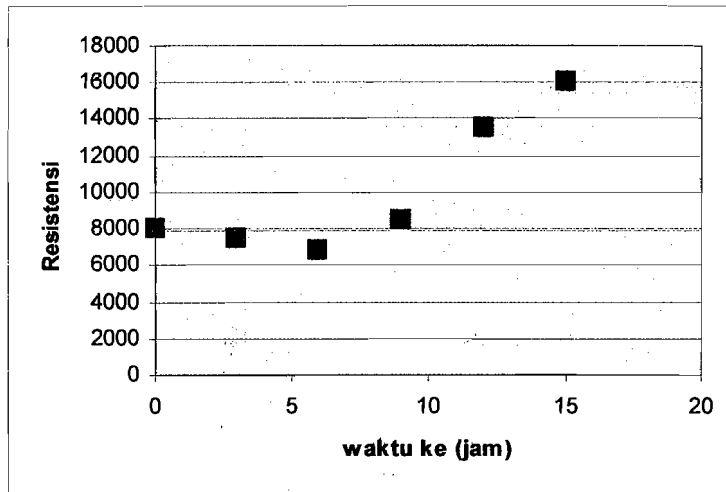
LAMPIRAN 4



Gambar L4.1. Resistensi terhadap waktu pada area I



Gambar L4.2. Resistensi terhadap waktu pada area II



Gambar L4.3. Resistensi terhadap waktu pada area III

LAMPIRAN 5

a. Efisiensi penurunan konsentrasi Pb pada area I.

$$\begin{aligned}\%E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\ &= \frac{1,0302 \text{ mg/L} - 0,1387 \text{ mg/L}}{1,0302 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 86,5\%\end{aligned}$$

b. Efisiensi penurunan konsentrasi Pb pada area II.

$$\begin{aligned}\%E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\ &= \frac{1,0302 \text{ mg/L} - 0,4558 \text{ mg/L}}{1,0302 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 55,75\%\end{aligned}$$

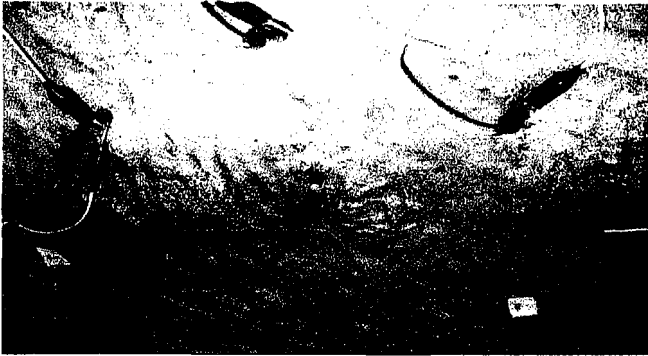
c. Efisiensi penurunan konsentrasi Pb pada area III.

$$\begin{aligned}\%E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\ &= \frac{1,0302 \text{ mg/L} - 0,1305 \text{ mg/L}}{1,0302 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 87,33\%\end{aligned}$$

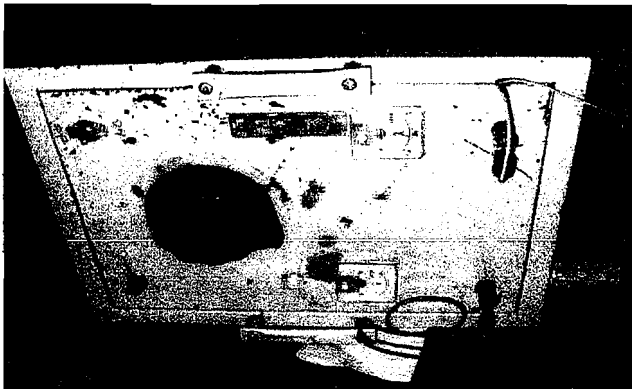
d. Efisiensi penurunan konsentrasi Pb pada area inefektif.

$$\begin{aligned}\%E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\ &= \frac{1,0302 \text{ mg/L} - 1,0425 \text{ mg/L}}{1,0302 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= -1,19\%\end{aligned}$$

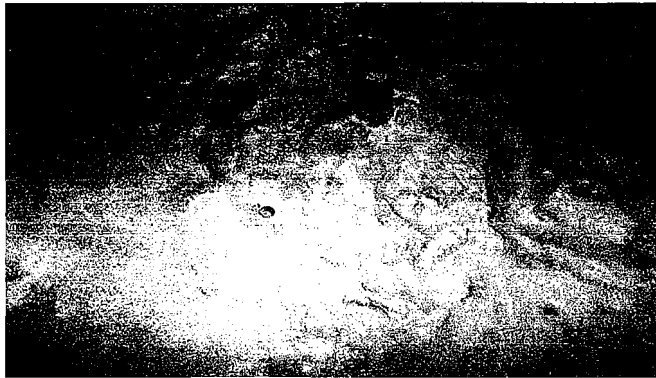
Gambar L6.2. Desain titik sampling



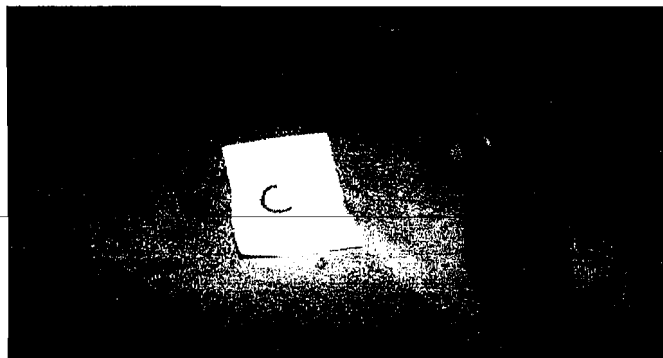
Gambar L6.1. Power supply



LAMPIRAN 6



Gambar L6.3. Gelembung air dan warna putih susu yang keluar dari katoda



Gambar L6.4. Warna yang timbul seperti karatan pada titik sampel B dan C



Gambar L6.5. Bak penampung pertama



Gambar L6.6. Bak penampung kedua

Gambar L6.8. Penambahan merkuri (Hg)



Gambar L6.7. Gelundung atau tromol

