

TA/TL/2007/0156

| | |
|-----------------------|---------------|
| PERPUSTAKAAN FTSP UII | |
| HADIAH/BELI | |
| TGL. TERIMA : | 16 Mei 2007 |
| NO. JUDUL : | 002446 |
| NO. INV. : | 5100002446001 |
| NO. INDUK. : | |

TUGAS AKHIR
REMEDIASI ELEKTROKINETIK DENGAN MODEL KONFIGURASI
2-D HEXAGONAL PADA TAILING TERKONTAMINASI LOGAM BERAT
MERKURI (Hg) DARI PENAMBANGAN EMAS TRADISIONAL
DI KECAMATAN KOKAP KABUPATEN KULONPROGO
JOGJAKARTA

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Sebagian
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Lingkungan



Disusun Oleh :

Nama : SHERLY SUHARTO
NO. Mhs : 01513002

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JOGJAKARTA
2007

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

TUGAS AKHIR
REMEDIASI ELEKTROKINETIK DENGAN MODEL KONFIGURASI
2-D HEXAGONAL PADA TAILING TERKONTAMINASI LOGAM BERAT
MERKURI (Hg) DARI PENAMBANGAN EMAS TRADISIONAL DI
KECAMATAN KOKAP KABUPATEN KULONPROGO
JOGJAKARTA

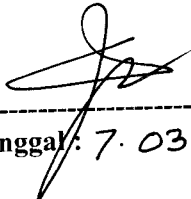
Nama : SHERLY SUHARTO
NO. Mhs : 01513002

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Luqman Hakim ST, MSi
Dosen Pembimbing I

Dr. Sismanto, MSi
Dosen Pembimbing II

Tanggal :



Tanggal: 7.03.2007

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya, tak lupa solawat dan salam kepada nabi Muhammad SAW dan para sahabat. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Laporan tugas akhir ini sesuai dengan kurikulum yang ada di lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh jenjang keserjanaan Strata 1.

Maksud dan tujuan tugas akhir adalah untuk mempelajari fenomena elektro remediasi pada tanah terkontaminasi logam berat Hg dengan menggunakan teknik elektrokinetik konfigurasi 2D hexagonal serta mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam berat Hg pada tanah tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khususnya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik dan sebagai informasi bagi masyarakat dan industri dikemudian hari.

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Rancang Bangun Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Sedangkan untuk analisis hasil penelitian tersebut dilakukan di Balai Laboratorium Kesehatan Jogjakarta.

Selama melaksanakan penelitian tugas akhir dan menyusun laporan, penelitian telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini disampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Luqman Hakim, ST, MSi selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII, Jogjakarta, dan selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Dr. Sismanto, MSi selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak-bapak dosen Jurusan Teknik Lingkungan Bpk.Ir H.Kasam, MT, Bpk. Hudori ST, Bpk Andik Yulianto ST, Bpk.Eko Siswoyo ST dan Bpk Sek.jur Bpk Agus.
4. Mas Iwan selaku pembimbing di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, UII, Jogjakarta.
5. *Bapak dan Ibu Mukhlisin selaku pemilik tambang. Maaf sudah merepotkan dan terima kasih buanyak atas bantuannya..*
6. *Simbah Budi (mbah kapan aku bisa sepertimu?). M.Fatichin sebagai sopir angkutan (sahara oh..sahara?), Anggoro Jatu P(Ang.98 he..he), Mail jangan lupain Jogja is the best.*
7. *Embah2ku, bude2ku, bulik2ku, kakak2 iparku, keponakan2ku, om2ku, dan penggemar2ku di seantero jagad.....I Love U all (peace. ☺.)*
8. *Sahabatku Epot (jangan lupa cari jodoh!!!!) Aw,(jangan terus bersedih badai pasti berlalu), Ayu (kapan nikah?kabar2i ye..) Kita kan udah lulus he..he.*
9. *Buat om2'e denok om Wisnu (hormat pada tetua TL), Slamet (bre, thank's atas persahabatanmu selama ini), Endras (juragan kayu asal Sragen, lagi jomblo! Siap untuk dilamar he..), H.Imam, Zulfikar ('males'),Joko Lapindo (ngecas batre terus!yuk..),Pandu (juragan material funky men!) Surya, Azis, Pay (ex,sweet corn), Affan and friend (red motors), mochtar, mas'kingkong, QQ, D-ny, beserta temen2 angkatan muda /tua. Anak Sipil*

99', anak Arch 00', Ibuk dan mbak kantin ftsp, mbak Wien foto copy, bapak2 satpam dan mas2 parkir, UII Jogjakarta. (Miss U all) Semoga tali silaturahmi senantiasa terjaga. Amin.

10. Yang terakhir buat semua pihak yang secara tidak langsung membantu dalam menyelesaikan tugas ini.

Pada akhirnya segala daya upaya serta kemampuan yang telah penulis curahkan sepenuhnya demi terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak terlepas dari segala kekurangan yang ada. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Jogjakarta, Februari 2007

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

*sebagai wujud rasa cinta, bakti dan kasih sayang
ku persembahkan sebuah karya yang sangat sederhana dan tidak
seberapa jika dibandingkan dengan cinta kasih, bakti dan
rasa hormat.*

*Bapak dan Ibu tercinta
Bapak, H. M. Bambang Sudibijanto, S.H
Ibu, Hj. Suci Hartanti
Sami tercinta dan anggota keluarga
Katak dan adiknya yang terasah
keluarga besar, Alm. Bapak Saqima
keluarga besar, Alm. Ibu, Ibu Siva Ayu
keluarga besar, Alm. Bapak, Sahat*

*pada sahabat dan rekan yang semuanya berjuang di sisi
Allah SWT*

HOUCHELLA MAN MATHS, LTD

0000 ♥ 0000

Catatan Maret 2007

*Agustus 2001-2007 dengan masa kuliah 5th, 1th cuti
Aku pernah menjejakkan kakiku di sini di Universitas Islam Indonesia
Jurusan TL.
Dan akhirnya detik inipun tiba bukan salam perpisahan tapi detik di
mana sejarah baru akan terukir.....
Dengan segala kerendahan hati dan ragaku puji syukur pada Allah
SWT yang maha mengetahui.*

akhirnya

*semoga karyaku ini bisa menjadi motivasi dan semangat bagi yang lain
fresh generation environmental engineering bahwa aku yang ditakdirkan
dengan kekurangan fisik masih bisa berkarya dan ingin berguna bagi
kehidupan ini.*

Karena sejatinya kita semua sama di hadapan-NYA

Anda menyifatkan dengan benar hidup manusia s.d. @ 1970

| | |
|---|----|
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN | 29 |
| 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..... | 29 |
| 3.6. Tahap Penelitian..... | 30 |
| 3.7. Analisis Hasil Penelitian | 32 |
| 3.8. Desain Wadah dan Berat Tanah..... | 33 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 37 |
| 4.1. Konsentrasi Hg pada Area Efektif | 37 |
| 4.2. Efisiensi Konsentrasi Hg..... | 46 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 48 |
| 5.1. Kesimpulan | 48 |
| 5.2. Saran..... | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 50 |
| LAMPIRAN..... | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 2.1. | Prinsip Dasar Remediasi Elektrokinetik..... | 16 |
| Gambar 2.2. | Konfigurasi 2-D Hexagonal..... | 24 |
| Gambar 2.3. | Sistem Remediasi Elektrokinetik pada Tanah yang Terkontaminasi Logam Berat..... | 26 |
| Gambar 2.4. | Remediasi Elektrokinetik yang diperkuat Untuk Mengangkat Kontaminan Organik..... | 27 |
| Gambar 3.1. | Desain Wadah Tanah yang tercemar dan Power Supply..... | 33 |
| Gambar 3.2. | Konfigurasi Elektroda | 33 |
| Gambar 3.3. | Desain Elektroda pada Tanah | 34 |
| Gambar 3.4. | Desain Titik Sampling..... | 35 |
| Gambar 3.5. | Diagram Alir Penelitian..... | 36 |
| Gambar 4.1. | Grafik Hubungan Konsentrasi terhadap Waktu Pada Area I, II dan III..... | 39 |
| Gambar 4.2. | Grafik Hubungan Konsentrasi terhadap Jarak Pada Setiap Waktu..... | 40 |
| Gambar 4.3. | Hubungan Konsentrasi terhadap Jarak Selama 15 Jam dengan Interval Waktu Tiap 3 Jam..... | 42 |
| Gambar 4.4. | Hubungan Resistensi terhadap Waktu Pada Area I, dan III..... | 43 |
| Gambar 4.5. | Hubungan Resistensi terhadap Jarak pada Setiap Waktu..... | 44 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.6. Hubungan Resistensi terhadap Arus dan Waktu..... | 45 |
| Gambar 4.7. Nilai Efisiensi Konsentrasi Hg pada Setiap Area..... | 46 |

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK DENGAN MODEL KONFIGURASI
2-D HEXAGONAL PADA TAILING TERKONTAMINASI LOGAM BERAT
MERKURI (Hg) DARI PENAMBANGAN EMAS TRADISIONAL
DI KECAMATAN KOKAP KABUPATEN KULONPROGO
JOGJAKARTA**

Intisari

Usaha penambangan emas di Kokap, Kuloprogo telah berlangsung sejak lebih dari 10 tahun yang lalu. Penambangan dan pengolahan hasil tambang dilakukan secara tradisional. Aktivitasnya sering dianggap sebagai sumber pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan oleh proses ekstraksi bijih emas dan perak yang dilakukan secara amalgamasi. Proses amalgamasi secara teknis selalu menggunakan sejumlah Hg yang penanganannya di bawah standar aman. Sehingga limbah tailing dapat mencemari system lingkungan kehidupan manusia. Tujuan dari studi ini adalah untuk memahami fenomena proses remediasi elektrokinetik, efisiensi remediasi konsentrasi Hg dan pengaruh dari jarak dan waktu di dalam metode remediasi elektrokinetik.

Percobaannya menggunakan sekotak limbah tailing dari pertambangan emas di Kokap, Kulonprogo, konfigurasi hexagonal 2-D, dan tujuh elektroda karbon (6 sebagai anoda, 1 sebagai katoda). Daya listriknya menggunakan tegangan 40 volt dan 0,2 ampere arus DC. Data diambil setiap 3 jam selama 15 jam proses remediasi dilakukan.

Sebagai hasilnya, efisiensi dari penurunan konsentrasi Hg sebesar 36% untuk area I yang berjarak 15 cm dari katoda dan 11% untuk area II yang berjarak 10 cm dari katoda. Sebaliknya, efisiensi di area III negative dan begitu pula di daerah inefektif, yang berarti proses remediasi justru menaikkan kandungan Hg. Dalam hal ini fenomena elektromigrasilah yang mengontrol proses elektrokinetik. Semakin banyak jumlah migrasi ion dari anoda ke katoda semakin baik efisiensinya. Di dalam remediasi, semakin lama waktunya, semakin bertambah efisiensinya. Selanjutnya, pada jarak area semakin dekat ke katoda, semakin berkurang keefektifannya.

Kata-kata kunci: Limbah tailing (Hg), remediasi elektrokinetik, fenomena remediasi elektrokinetik, jarak, waktu.

**REMEDICATION ELEKTROKINETIC WITH THE CONFIGURATION MODEL
2-D HEXAGONAL IN TAILING CONTAMINATED BY HEAVY METAL
MERCURY (Hg) FROM THE MINING OF TRADITIONAL GOLD IN
SUBDISTRICT KOKAP, KULONPROGO REGENCY
JOGJAKARTA**

Abstract

Gold mining operation in Kokap, Kulonprogo has run since more than 10 years ago. The mining and the mine management were done traditionally. The activities are often supposed as source of environmental pollutions. It is due to the extracting process of gold and silver by amalgamation. Technically, the amalgamation process usually uses number of Hg in under standard safely handling. Therefore, the tailing waste can pollute the environment system of human life. The objective of this study is to understand the phenomena of electrokinetic's remediation process, the remediation efficiency of Hg concentration, and the effect of distance and time in the electrokinetic's remediation system.

The experiment used a box sample of tailing waste from gold mining in Kokap, KulonProgo, 2-D hexagonal configuration and seven carbon electrodes (6 for anodes, 1 for cathode). The electrical power is 40 volt and 0.2 ampere DC current. Data are sampled by each 3 hours for 15 hours of remediation performed.

As the results that the efficiency of Hg concentration decreasing are 36% for area I, about 15 cm from cathode and 11% for area II, i.e., about 10 cm from cathode. On the contrary, the efficiency in area III is negative and ineffective area as well, it means that the remediation process increases the Hg contains. In this case, the electromigration phenomena control the electrokinetic's process. The more number of ion migrations from anode to cathode, the better efficiency. In remediation, the longer time, the improved efficiency. Furthermore, in distance area the closer to the cathode, the lesser effectiveness.

Keywords : tailing waste of Hg, electrokinetic remediation, electrokinetic remediation phenomena, distance, time.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pencemaran lingkungan adalah suatu keadaan yang terjadi karena perubahan kondisi tata lingkungan (tanah, udara dan air) yang tidak menguntungkan (merusak dan merugikan kehidupan manusia, binatang dan tumbuhan) yang disebabkan oleh kehadiran benda-benda asing (seperti sampah, limbah industri, minyak, logam berbahaya, dsb.) sebagai akibat perbuatan manusia, sehingga mengakibatkan lingkungan tersebut tidak berfungsi seperti semula (Susilo, 2003).

Usaha pertambangan emas di wilayah Kokap KulonProgo telah berlangsung sejak \pm 10 tahun yang lalu, setelah penemuan urat – urat kuarsa yang 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 (vertical shaft). Teknik penambangan dilakukan tanpa perencanaan yang baik dan dengan cara penggalian mengikuti arah urat kuarsa yang diperkirakan memiliki kadar emas cukup tinggi akan memiliki resiko yang tinggi.

Kegiatan penambangan emas tradisional di Indonesia oleh sebagian masyarakat sering dianggap sebagai penyebab kerusakan dan pencemaran lingkungan. Dikarenakan proses ekstraksi emas dan perak dari bijihnya yang menggunakan cara amalgamasi. Proses amalgamasi relatif mudah namun cara

yang digunakan umumnya kurang memenuhi persyaratan teknis dan tidak menghiraukan lingkungan, seperti jumlah air raksa (Hg) yang digunakan, cara amalgamasi dan proses peleburan yang tidak sesuai dengan sifat bijih. Hal ini mengakibatkan hasil yang diperoleh di bawah yang diharapkan disertai kehilangan air raksa (Hg) yang cukup tinggi. Di samping merugikan proses, keadaan ini juga mengakibatkan pencemaran lingkungan. Banyak proses pengolahan bijih emas dengan teknik amalgamasi memakai gelundung umumnya dilakukan di lokasi pemukiman, di halaman rumah, kebun pemiliknya, atau di pinggir sungai yang berdekatan dengan lokasi tambang. Hal ini tentu menjadi perhatian, khususnya dalam melihat kemungkinan kontaminasi (Hg) di lingkungan tempat tinggal masyarakat sehingga pengetahuan tentang pencemaran merkuri dalam tanah cukup penting.

Limbah tailing adalah limbah yang dihasilkan dari proses amalgamasi bijih emas. Amalgamasi merupakan salah satu cara ekstraksi emas dan perak, cara ini banyak dilakukan oleh pengolah tambang tradisional. Proses amalgamasi tersebut menggunakan bahan merkuri (Hg) untuk mengikat emas dan perak yang berada pada tanah pertambangan emas. Setelah mengalami proses tersebut maka sisa tanah dari proses amalgamasi tersebut yang disebut dengan limbah tailing.

Tanah merupakan salah satu medium alami untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme yang tersusun dari bahan organik dan anorganik. Kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dan anorganik menjadi senyawa yang lebih sederhana (proses respirasi), selain ditentukan oleh jumlah dan jenis mikroorganisme tanah juga ditentukan oleh kondisi kimiawi

tanah. Adanya bahan pencemar berupa logam berat dalam tanah yang bersifat toksik misalnya Hg, pada konsentrasi tertentu dapat menghambat pertumbuhan dan aktifitas respirasi mikroorganisme (Parizek, 1978). Selain itu logam-logam berat di tanah mengalami transport mengikuti aliran air tanah menyebar ke tempat yang lebih rendah dalam waktu yang lama sehingga dapat mencemari air tanah. Peranan tanah dalam pengangkutan dan penghilangan bahan-bahan pencemar sangat besar, proses pengangkutan di antaranya adalah pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorbtion*) dan pelumeran (*leaching*). (Palar, 1994).

Untuk mengatasi permasalahan lingkungan tersebut, salah satu upaya yang dapat ditempuh adalah dengan cara pemulihan (remediasi) tanah yang telah tercemar. Pemulihan tanah secara elektrokinetik merupakan salah satu upaya pemulihan tanah yang tercemar oleh logam berat dari kontaminan organik lainnya secara *in situ*. Teknologi remediasi tersebut dalam penerapannya menggunakan biaya yang rendah dan sangat potensial digunakan untuk berbagai tipe kontaminan. Dalam studi ini Teknik remediasi elektrokinetik akan di ujicoba pada skala laboratorium di laboratorium lingkungan, UII.

Secara bahasa, remediasi berasal dari bahasa Inggris *remediation* dengan kata dasar *remedial* yang berarti dalam bahasa Indonesianya adalah pemulihan. Remediasi adalah pemulihan pada suatu media yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi dari media tersebut sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah. Teknologi remediasi secara umum dapat dilakukan dengan isolasi, immobilisasi, reduksi toksitas, pemisahan fisis dan ekstraksi.

Remediasi elektrokinetik dapat menguraikan tanah yang terkontaminasi oleh logam Hg dengan menggunakan aplikasi listrik arus searah (DC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena remediasi elektrokinetik dengan menggunakan elektroda tipe 2-D *hexagonal* dan juga untuk mengetahui seberapa besar efisiensi removal pada tanah yang telah tercemar oleh logam Hg. Penelitian ini bereskalanya laboratorium. Metode elektrokinetik remediasi dengan tipe konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* menggunakan daya listrik sebesar 40 Volt dan kuat arus sebesar 0.2 A dengan arus tipe DC.

Pemulihan tanah secara elektrokinetik merupakan salah satu upaya pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh logam berat seperti Cr, Hg, Cu dan kontaminan organik lainnya secara *in situ*. Teknologi remediasi tersebut dalam penerapannya menggunakan biaya yang rendah dan sangat potensial digunakan untuk berbagai tipe kontaminan (Donald and Debra, 1994).

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan suatu alternatif pengolahan tanah yang telah terkontaminasi logam berat. Sehingga dapat meminimalisasi pencemaran yang mungkin ditimbulkan oleh logam berat salah satunya Hg.

1.2. Rumusan Masalah

Masalah yang akan di kaji dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah dengan metode remediasi elektrokinetik dapat menurunkan konsentrasi logam berat Hg pada limbah tailing.

2. Seberapa besar pengaruh waktu kontak dan jarak terhadap penurunan kadar Hg dalam proses remediasi elektrokinetik.
3. Bagaimana fenomena remediasi elektrokinetik pada limbah tailing yang terkontaminasi logam berat Hg.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui fenomena yang terjadi pada remediasi elektrokinetik dengan metode 2-D hexagonal pada limbah tailing yang terkontaminasi logam berat Hg.
2. Mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam berat Hg pada limbah tailing yang telah terkontaminasi logam berat Hg.
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap penurunan kadar konsentrasi Hg pada proses remediasi elektrokinetik.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Untuk menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khususnya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik.
2. Memberikan masukan kepada pelaku industri tradisional khususnya bahwa limbah yang dihasilkan dapat diolah dengan proses elektrokinetik.
3. Menciptakan produk yang ramah lingkungan.

4. Mencegah dan mengurangi pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat merkuri (Hg) sehingga makhluk hidup dan lingkungan dapat hidup lebih lama di bumi ini.

1.5. Batasan Masalah

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

1. Bahan yang digunakan yaitu tanah yang terkontaminasi logam berat merkuri (Hg) pada industri penambangan emas di daerah Kokap Kulonprogo.
2. Remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *heksagonal* terdiri dari beberapa sel masing-masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub anoda.
3. Menggunakan daya listrik sebesar 40 Volt dan kuat arus sebesar 0.2 A dengan arus tipe DC.
4. Jarak antar elektroda 15 cm interval waktu yang digunakan adalah 3 jam dengan percobaan selama 15 jam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Merkuri (Hg)

Merkuri, ditulis dengan simbol kimia (Hg) atau hydragyum yang berarti "perak cair" (liquid silver) adalah jenis logam sangat berat yang berbentuk cair pada temperatur kamar, berwarna putih keperakan, memiliki sifat sebagai berikut:

1. Berwujud cair pada temperatur kamar. Zat cair ini tidak sangat mudah menguap (tekanan gas/uapnya adalah 0,0018 mm Hg pada 25°C)
2. Terjadi pemuaiian secara menyeluruh pada temperatur 396°C
3. Merupakan logam yang paling mudah menguap
4. Logam yang sangat baik untuk menghantar listrik
5. Dapat melarutkan berbagai logam untuk membentuk alloy yang disebut juga amalgam
6. Merupakan unsur yang sangat beracun bagi hewan dan manusia (Pallar, 1994).

Sifat penting merkuri lainnya adalah kemampuannya untuk melarutkan logam lain dan membentuk logam paduan (alloy) yang dikenal sebagai amalgam. Emas dan perak adalah logam yang dapat terlarut dengan merkuri, sehingga merkuri dipakai untuk mengikat emas dalam proses pengolahan bijih sulfida mengandung emas melalui proses amalgamasi. Amalgamasi merkuri–emas di

lakukan dengan memanaskannya sehingga merkuri menguap meninggalkan logam emas dan campurannya.

Merkuri sangat jarang dijumpai sebagai logam murni (native mercury) di alam dan biasanya membentuk mineral sinabar (cinnabar) atau merkuri sulfida (HgS). Merkuri sulfida terbentuk dari larutan hidrothermal pada temperatur rendah dengan cara pengisian rongga (cavity filling) dan penggantian (replacement). Merkuri sering berasosiasi dengan endapan logam sulfida lainnya, diantaranya Au, Ag, Sb, Cu, Pb dan Zn sehingga di daerah mineralisasi emas tipe urat biasanya kandungan merkuri dan beberapa logam berat lainnya cukup tinggi.

2.1.1. Merkuri (Hg) Dalam Lingkungan

Merkuri dan komponen-komponen merkuri banyak digunakan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Sifat-sifat kimia dan fisik merkuri membuat logam tersebut banyak digunakan untuk keperluan ilmiah dan industri. Hampir semua merkuri diproduksi dengan cara pembakaran merkuri sulfida (HgS) di udara, dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Merkuri dilepaskan sebagai uap, yang kemudian mengalami kondensasi, sedangkan gas-gas lainnya mungkin terlepas di atmosfer atau dikumpulkan.

Merkuri di alam terdapat dalam berbagai bentuk sebagai berikut:

1. *Merkuri anorganik*, termasuk logam merkuri (Hg⁺⁺) dan garam-garaman seperti merkuri klorida (HgCl₂) dan merkuri oksida (HgO).
2. Komponen merkuri *organik/organomerkuri*, terdiri dari:

- a. *Aril merkuri*, mengandung hidrokarbon aromatik seperti fenil merkuri asetat.
- b. *Alkil merkuri*, mengandung hidrokarbon alifatik dan merupakan merkuri yang paling beracun, misalnya metil merkuri, etil merkuri, dan sebagainya.
- c. *Alkoksialkil merkuri* (R – O – Hg).

2.1.2. Pengadaan merkuri dalam rantai makanan :

Ada tiga macam proses bakterial utama yang mempengaruhi transportasi logam, termasuk merkuri dalam tata lingkungan, yaitu :

1. Degradasi senyawa-senyawa logam organik menjadi senyawa-senyawa dengan bobot molekul yang lebih rendah.
2. Perubahan bentuk-bentuk logam yang terjadi melalui aktivitas metabolisme pada organisme hidup.
3. Perubahan ion logam anorganik menjadi senyawa logam organik karena adanya proses oksidasi-reduksi.

Proses pada ketiga item tersebut umumnya melibatkan peristiwa metilasi dengan bantuan bakteri (Pallar, 1994).

2.1.3. Kegunaan Merkuri (Hg) Dalam Pertambangan Emas

Merkuri digunakan untuk mengikat emas dan perak dengan cara amalgamasi. Merkuri (Hg) adalah salah satu faktor penentu dalam proses amalgamasi. Merkuri yang digunakan harus berkadar tinggi atau bersih dan dalam

keadaan masih baru (fresh), sehingga merkuri tersebut mempunyai daya tangkap emas dan perak dengan baik. Jumlah merkuri tidak perlu banyak, tetapi disesuaikan dengan kadar emasnya.

2.1.4. Efek Merkuri Pada Lingkungan Pertambangan

Wilayah di sekitar tempat pengolahan emas rakyat telah mengalami kontaminasi merkuri yang signifikan. Hal ini dapat terjadi mengingat sebagian penambangan emas yang mengolah bijih emas di sekitar pemukimannya sering mengalirkan lumpur tailingnya ke halaman rumah sebelum ditampung pada kolam buatan yang terbatas atau bahkan dialirkan ke sungai di sekitarnya. Pada saat musim hujan, sebagian sungai mengalami banjir dan dalam keadaan demikian memungkinkan penyebaran merkuri dan unsur logam lainnya lebih luas, sehingga kontaminasi merkuri dan unsur logam lainnya dalam air dan sedimen sungai akan membawa dampak lebih besar, terutama jika unsur-unsur berbahaya tersebut diserap oleh makhluk hidup sebagai bagian rantai makanan yang akhirnya menjadi konsumsi masyarakat.

2.1.5. Efek Merkuri (Hg) Pada Lingkungan

Penggunaan merkuri di dalam industri-industri sering menyebabkan pencemaran lingkungan, baik melalui air buangan maupun melalui system ventilasi udara. Merkuri yang terbuang ke sungai, pantai atau badan air di sekitar industri-industri tersebut kemudian dapat mengkontaminasi ikan-ikan dan makhluk air lainnya termasuk ganggang dan tanaman air lainnya. Selanjutnya

ikan-ikan kecil dan makhluk air lainnya mungkin akan dimakan oleh ikan-ikan atau hewan air yang lebih besar masuk ke dalam tubuh melalui insang. Ikan-ikan dan hewan tersebut kemudian dikonsumsi oleh manusia sehingga manusia dapat mengumpulkan merkuri di dalam tubuhnya. Penggunaan merkuri di bidang pertanian sebagai pelapis benih dapat mencemari tanah-tanah pertanian yang dapat berakibat pencemaran terhadap hasil-hasil pertanian, terutama sayur-sayuran. WHO (World Health Organization) menetapkan batasan maksimum yang lebih rendah yaitu 0.0001 ppm untuk air.

2.1.6. Efek Merkuri Bagi Kesehatan

Sebagai logam berat Hg termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Walaupun mekanisme keracunan merkuri di dalam tubuh belum diketahui dengan jelas, tetapi beberapa hal mengenai daya racun merkuri dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Semua komponen merkuri dalam jumlah cukup beracun terhadap tubuh.
2. Masing-masing komponen merkuri mempunyai perbedaan karakteristik dalam daya racunnya, distribusi, akumulasi atau pengumpulan, dan waktu retensinya di dalam tubuh.
3. Transformasi biologi dapat terjadi di dalam lingkungan atau di dalam tubuh di mana komponen merkuri diubah dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya.

4. Pengaruh merkuri di dalam tubuh diduga karena dapat menghambat kerja enzim dan menyebabkan kerusakan sel disebabkan kemampuan merkuri untuk terikat dengan grup yang mengandung sulfur di dalam molekul yang terdapat di dalam enzim dan dinding sel. Keadaan ini mengakibatkan penghambatan aktifitas enzim dan reaksi kimia yang dikatalis oleh enzim tersebut di dalam tubuh. Sifat-sifat membrane dari dinding sel akan rusak karena pengikatan dengan merkuri sehingga aktifitas sel yang normal akan terganggu.
5. Kerusakan tubuh yang disebabkan oleh merkuri biasanya bersifat permanen, dan sampai saat ini belum dapat disembuhkan.

Dalam bentuk metil merkuri, sebagian besar akan berakumulasi di otak. Karena penyerapannya besar, dalam waktu singkat bisa menyebabkan berbagai gangguan. Mulai dari rusaknya keseimbangan, tidak bisa berkonsentrasi, tuli, dan berbagai gangguan lainnya seperti yang terjadi pada kasus Minamata. Dan kerusakan tubuh yang disebabkan oleh merkuri pada umumnya bersifat permanen.

2.2. Penambangan Emas

Untuk mendapatkan emas dari tanah pertambangan dilakukan antara lain, langkah-langkah penambangan dan pengolahan hasil tambang sebagai berikut :

1. Penggalan lubang atau gua

Lubang/gua dibuat berdasarkan jalur urat-urat kuarsa yang mengandung emas. Penggalan lubang/gua biasa dilakukan pada musim kemarau

karena musim hujan dapat mengakibatkan tanah menjadi basah. Jika tanah pada bagian atas lubang/gua basah, maka lubang/gua dapat amblas. Hal ini dapat merusak bentang alam dan mengancam jiwa para penambang.

2. Penyedotan air

Pada musim hujan, beberapa penambang tetap berani menggali lubang. Pencarian urat-urat kuarsa yang mengandung emas dilakukan setelah hujan reda, air hujan meresap kedalam tanah. Sehingga keluar mata air yang membanjiri lubang/gua. Air ini harus disedot untuk memudahkan proses penambangan.

3. Pencarian bahan tambang emas

Pencarian bahan tambang emas dilakukan dengan pahat dan palu.

2.2.2. Pengolahan Hasil Tambang

1. Pemecahan batuan

Batuan galian tambang dipecah kecil-kecil dengan palu atau lumpang untuk mempermudah proses penggilingan.

2. Penggilingan dan pencampuran

Pecahan dimasukkan kedalam gelundung untuk digiling bersama dengan air raksa, daun-daunan, dan semen. Proses ini dinamakan amalgamasi. Air raksa digunakan untuk mengikat emas, sedangkan daun-daunan dan semen digunakan untuk mengikat selain emas. Setelah penggilingan selama (4–6) jam, dihasilkan dua bentuk, yaitu amalgam (campuran air raksa dan emas) serta limbah padat (daun-daunan, semen, dan bahan selain emas). Limbah padat ini diperkirakan

mengandung tembaga, perunggu, dll. Biasanya limbah ini dibuang ke sungai atau dikirim ke Jakarta untuk diolah lebih lanjut.

3. Penyaringan

Amalgam disaring atau diperas dengan kain parasut. Kemudian, dihasilkan dua bentuk yaitu emas dan air raksa. Biasanya air raksa ini dibuang ke sungai.

4. Pembakaran

Emas yang masih mengandung sedikit air raksa (berwarna perak) dibakar dengan sejenis alat las, sehingga terhasikan bullion. Proses ini juga merubah merkuri menjadi uap yang dapat mencemari udara dan membahayakan makhluk hidup.

2.2.2. Merkuri dalam Penambangan

Dalam pengolahan bijih emas dan perak merkuri (Hg) digunakan untuk mengikat emas dan perak yang tercampur dalam tanah penambangan. Setelah digunakan maka tanah yang telah diolah tersebut di buang. Dari sisa tanah yang telah dilakukan amalgamasi tersebut masih terdapat sisa kandungan bahan logam berat merkuri yang dapat merusak lingkungan serta membahayakan bagi kehidupan.

Banyak proses pengolahan bijih emas dengan teknik amalgamasi memakai gelundung umumnya dilakukan di lokasi pemukiman, di halaman rumah, kebun pemiliknya, atau di pinggir sungai yang berdekatan dengan lokasi tambang. Hal ini tentu menjadi perhatian, khususnya dalam melihat kemungkinan kontaminasi

Hg yang cukup tinggi. Di beberapa lokasi, material tailing yang telah memenuhi kolam dijual dan dibawa keluar daerah untuk diproses ulang. Jika hal ini terjadi, maka kontaminasi merkuri di lokasi pengolahan dapat berkurang.

Tetapi kadang-kadang dalam kondisi bak penampungan yang telah penuh, proses pengolahan masih berlangsung sehingga tailing meluap dan mengalir ke sungai, terutama jika terjadi hujan. Kenaikan konsentrasi merkuri dalam tailing yang tinggi berhubungan erat dengan pemakaian merkuri dalam proses penggilingan bijih. Selain itu, material tailing yang masih mengandung emas, perak, dan logam lainnya dalam jumlah yang tinggi, menunjukkan “recovery” pengolahan yang tidak optimal dan tidak dilakukannya penanganan tailing secara baik.

2.3. Remediasi Elektrokinetik

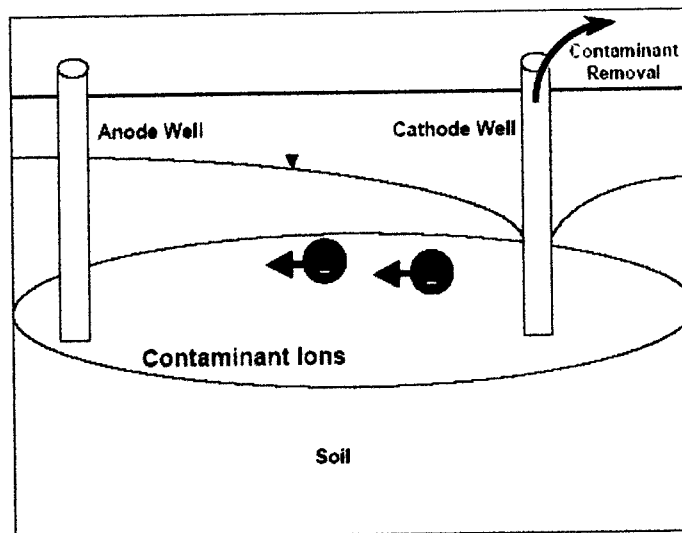
Remediasi adalah pemulihan pada suatu media yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi dari media tersebut sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah.

Remediasi tanah (*soil remediation*) adalah pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi tanah sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan (Alshwabkeh, 2001).

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan lumpur (*sludge*) tercemar logam berat dan senyawa-senyawa organik melalui proses

secara *in-situ* dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*direct current*) pada potongan melintang area antar elektroda yang diletakkan pada tanah dengan susunan aliran terbuka. Tekanan aliran pada umumnya digolongkan dalam miliampere per sentimeter kuadrat (mA/cm^2) atau beda potensial tegangan listrik volt per sentimeter.

Dengan penerapan teknologi tersebut diharapkan kontaminan logam berat dalam tanah dapat dipindahkan/digerakkan, dipekatkan/dipadatkan, oleh elektroda serta diekstraksikan dari tanah, yang secara skematik dapat dilihat pada gambar 2.1 (Alshawabkeh, 2001).



Gambar 2.1 Prinsip dasar remediasi elektrokinetik
Sumber: Alshawabkeh, 2001

Pada teknologi remediasi elektrokinetik, elektroda ditempatkan pada tanah/*(sludge)* secara vertikal maupun horizontal. Ketika arus *direct current* (DC) digunakan pada elektroda, dihasilkan tanah yang terpengaruhi medan listrik oleh

katoda dan anoda. Penggunaan sistem tersebut pada lumpur mempunyai beberapa efek yaitu: *electromigration*, *electroosmosis*, elektrolisis air dan *electrophoresis*.

a. Electromigration.

Yaitu pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan sistem tersebut pada tanah. Kation (ion bermuatan +) cenderung untuk berpindah ke arah katoda bermuatan negatif, dan anion (ion bermuatan -) berpindah ke arah anoda bermuatan positif. Pada penyelesaiannya, ion-ion yang dipekatkan tersebut akan mendekati elektroda atau mengalami reaksi pada elektroda, dimana logam-logam pencemar naik ke arah elektroda atau melepaskan komponen yang berbentuk gas. Perubahan pH karena pengaruh arus merupakan reaksi elektrolisis pada elektroda. Terjadi oksidasi air pada anoda dan menghasilkan ion-ion hidrogen (H^+). Ion-ion H^+ tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion hidroksil (OH^-) kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar, dkk, 1990).

b. Elektroosmosis.

Elektroosmosis adalah perpindahan cairan yang dihasilkan dari medan elektrik yang dipasang sebagai isi permukaan di antara air dan tanah dengan isi tetap. Kontribusi terbesar pada muatan permukaan tanah datang dari partikel tanah yang berhadapan, bisa terisi sebagai hasil dari beberapa mekanisme *isomorphic substitution*, penyerapan dari muatan ion dan reaksi penyatuan atau pemecahan proton. Elektroosmosis

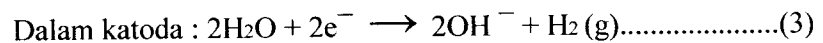
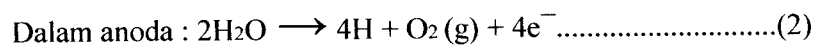
menghasilkan aliran yang cepat dari air tanah dan mungkin menyebarkan secara signifikan pada proses dekontaminasi dalam tanah dengan advection. Ketika beda potensial terjadi dari tanah ke cairan maka cairan akan berpindah ke arah yang ditentukan oleh sifat alami atau sifat dari air dan tanah. Dalam rongga tanah, 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 isooctane) 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).

c. 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

bergerak menuju katoda sedangkan anion bergerak menuju anoda dalam arah yang berbeda dipengaruhi oleh muatan listrik dan materi psikokimia. Salah satu aspek yang penting dari pengolahan tanah secara elektrokinetik adalah perpindahan asam dari anoda ke katoda selama pengolahan. Ketika elektrolisis terjadi di permukaan elektroda, ion-ion hidrogen diproduksi di anoda dan ion-ion hidrosil di katoda. Elektrolisis air yang terjadi dalam katoda adalah sebagai berikut :



Hasil dari elektrolisis adalah asam di anoda dan alkali di katoda yang terjadi secara terpisah. Pergerakan asam dan basa 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 kation, magnitudo 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.

elektrophoresis menjadi kurang penting karena padatan tidak bisa berpindah. Tetapi dalam beberapa kasus, elektrophoresis dari koloid tanah bisa berperan dalam dekontaminasi. Penting 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 (makro molekul) dan kumpulan ion.

Ion *micelles* atau elektrolit koloid juga menghasilkan dua lapisan elektrik di sekitar mereka. Jika konduktifitas partikel sama dengan cairan sekitar dan elektrokinetik potensialnya rendah (25 mV) maka mobilitas partikel bisa dijabarkan dalam bentuk persamaan Smoluchowski. Untuk nilai yang lebih besar dari elektrokinetik, efek dari perlambatan elektrophoresis bisa dianggap mirip dengan solusi elektrolit (Pamucku and Wittle, 1993).

2.3.1. 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/*sludge* yang sudah tercemar logam berat.

Ujung-ujung keluar masuknya arus dari dan ke tanah 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 adalah suatu proses yang 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 di atasnya terdapat perjalanan ion. gambar 2.1 menunjukkan design suatu bidang elektrokinetik. 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.

2.4. 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 elektroosmotik. Kuatnya aplikasi medan listrik harus dikurangi untuk mencegah konsumsi energi berlebih dan berlangsungnya pemanasan selama proses (Alshawabkeh, 1999).

b. Tingkatan Potensial dan Arus

Intensitas arus tinggi, dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses removal 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 konduktivitas listrik tanah menunjukkan tingginya rapat arus yang dibutuhkan untuk mengatur kekuatan medan listrik yang dibutuhkan (Alshwabkeh, 1999).

c. Kimia Efluen

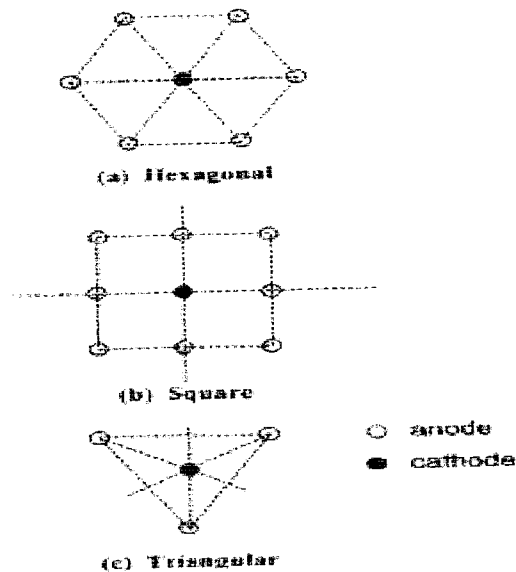
Kontaminan berada dalam bentuk kimia yang berbeda dalam subsurface tergantung pada kondisi lingkungan. Mereka dapat berupa presipitasi padatan terlarut dalam pori-pori atau jenis tanah, kompleks sorbed pada permukaan partikel tanah dan atau jenis ikatan zat organik dalam tanah. Dalam perbedaan bentuk ini, hanya padatan terlarut dapat bergerak dan dihilangkan dengan ekstraksi dan beberapa teknologi remediasi yang lain. Untuk meningkatkan kinerja proses dapat juga ditambahkan zat kimia spesifik untuk tanah yang spesifik pula, penambahan ini akan merubah karakteristik sorption, penambahan ini harus melalui uji laboratorium, karena penambahan yang salah akan mempersulit proses remediasi (Alshwabkeh, 1999).

2.5. 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 ± 25 cm, sedangkan dimensi reaktor 1m x 1m x 0.25m.

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 2.2 (a) dibawah ini adalah contoh elektroda 2-D hexagonal.

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).



Gambar 2.2 Contoh gambar konfigurasi 2D hexagonal

2.6. Pemanfaatan metode remediasi elektrokinetik untuk menurunkan kadar logam berat dalam tanah.

2.6.1. Studi terdahulu

2.6.1.1. Elektro-Klean elektrokinetik tanah EPA, 1994

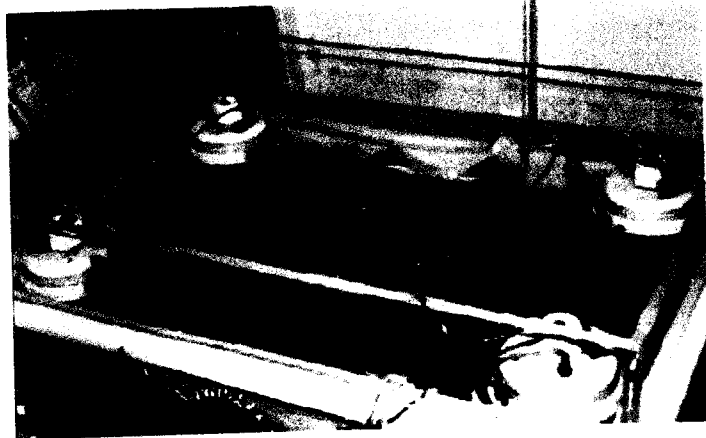
Electro-Klean adalah proses electrokinetic tanah yang menggunakan arus searah dengan elektroda yang ditempatkan pada masing-masing sisi tanah yang dicemari dengan memisahkan dan menyuling/menyadap logam berat dan zat-pencemar organik pembentuk lahan, yang dapat diterapkan secara *in-situ*. Zat pencemar dipisahkan dengan listrik dalam post-treatment unit.

Pada uji Bech-Scale dapat memindahkan arsenik, benzen, cadmium, kromium, tembaga, ethylbenze, lead, nikel, zat asam karbol, trichloroethylene,

toluene, xylene, dan seng yang terbentuk dalam tanah. Pilot-Scale pada percobaan skala lapangan dapat menurunkan kandungan seng dan arsenik dari lempung pasir jenuh dan tidak jenuh juga pasir tersimpan. Tembaga juga dapat dipindahkan dari sedimen dengan cara dikeruk. Besarnya efisiensi tergantung pada bahan kimia yang digunakan secara spesifik, seperti konsentrasi, dan kapasitas penyangga yang menyangkut lahan itu. Teknik ini membuktikan bahwa efisiensi pemindahan zat asam karbol pada konsentrasi 500 ppm mencapai 85 sampai 95%. Bahkan kepindahan untuk lead, kromium, dan uranium dapat direduksi sampai dengan $2,000 \mu g/g$, yang bergerak antara 5% sampai 95%. (USEPA, 1994).

2.6.1.2. Sistem remediasi elektrokinetic untuk tanah yang terkontaminasi logam berat

Logam yang bersifat ion seperti air raksa merkuri (Hg) dan uranium bergerak melalui tanah ketika dikenakan suatu medan elektrik. Peristiwa Electrokinetik ini dapat menarik kontaminan uranium dan menghalangi penangkapan uranium untuk pembuangan secara umum yang terjadi. Larutan yang digunakan untuk meningkatkan daya larut logam berat. gambar 2.3 menunjukkan sistem proses yang dilakukan. Remediasi pencemaran oleh logam berat dan radionuklida bersifat ion gesit dan Low-Permeabilas remediasi tanah Manfaat dengan cara ini lebih ekonomis jika dibandingkan dengan penjualan dan penggalian, serta mengurangi resiko kesehatan jika dihubungkan dengan cara penggalian, dan mengurangi volume limbah buangan. (Robert S, 1994).

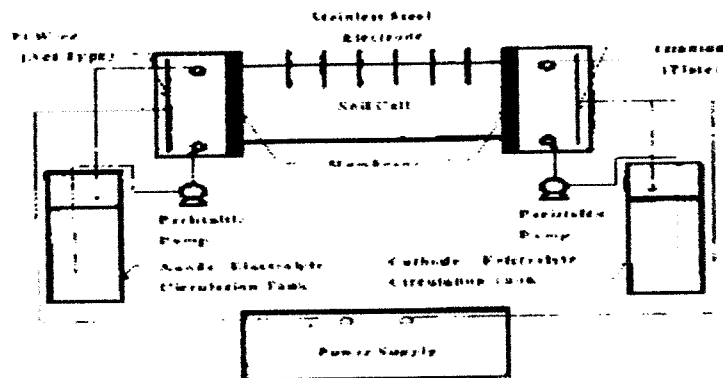


Gambar 2.3 Sistem remediasi elektrokinetik pada tanah yang terkontaminasi logam berat

2.6.1.3. Remediasi elektrokinetik yang ditingkatkan untuk perpindahan dari zat pencemar organik

Pencemaran organik dalam tanah adalah suatu masalah umum pada buangan yang beresiko. Studi ini menyelidiki aplikasi elektrokinetik tanah untuk memproses remediasi tanah yang tercemar dengan zat asam karbol (C_6H_5OH) dan (PCP pentachlorophenol; C_6Cl_5OH). Remediasi elektrokinetik tanah mempunyai efisiensi removal tinggi dan keefektifan waktu dalam kemampuannya menyerap air atau gas tanah rendah seperti tanah liat. Studi ini bersifat percobaan untuk menguji proses yang ditingkatkan secara elektrokinetik dalam membersihkan tanah yang dipenuhi bahan kimia, seperti yang ditunjukkan di dalam gambar 2.4. Pengolahan secara Electrokinetik pada tanah dengan memindahkan ion ke kutub zat pencemar organik dengan cara electromigraton, electroosmosis, difusi, dan elektrolisis. Efisiensi perpindahannya dipengaruhi oleh voltase listrik yang diterapkan, jenis solusi yang membersihkan, pH tanah, sifat

bahan yang dapat menyerap air atau gas dan zeta potensial tanah. Efisiensi kepindahan zat asam karbol dan PCP yang tertinggi adalah 85% dalam jangka waktu 4 hari dan sebagian besar tergantung pada arus yang dihasilkan secara electroosmotic. (Eykholt, 1997).



Gambar 2.4 Remediasi elektrokinetik yang diperkuat untuk mengangkat kontaminan organik.

2.6.1.4. Studi Kasus Pencemaran di Teluk Buyat Sulawesi Utara (Kompas, 01 September 2004)

Dugaan terjadinya pencemaran logam berat di perairan pantai Buyat karena pembuangan limbah padat (tailing) yang seharusnya tidak terjadi, seandainya limbah tersebut sebelum dibuang dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Dalam kasus Buyat, logam merkuri kemungkinan dapat berasal dari limbah proses pemisahan biji emas atau dari tanah bahan tambangnya sendiri yang memang mengandung mercury. Banyak alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah limbah yang mengandung merkuri diantaranya ialah dengan teknologi

Low Temperature Thermal Desorption (LTTD) atau dengan teknologi *Phytoremediation*.

2.7 Hipotesa

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

1. Teknik remediasi elektrokinetik dapat dipergunakan untuk menurunkan konsentrasi tanah yang terkontaminasi logam berat Hg.
2. Teknik remediasi elektrokinetik 2-D hexagonal lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Hg pada limbah tailing pertambangan emas.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

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

3.2 Lokasi Penelitian

Di Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.3 Waktu Penelitian

Waktu penelitian direncanakan \pm 2 minggu yang dilanjutkan dengan pengolahan data, penyusunan data dan penyusunan skripsi pada bulan Juli 2006–Desember 2006.

3.4 Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tailing penambangan emas dari daerah Kokap, Kulonprogo, Jogjakarta.

3.5 Bahan dan Alat Penelitian

3.5.1 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Tanah penambangan emas yang terkontaminasi logam berat Hg.
2. Aquades.

3.5.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Jerigen, dipakai untuk mengambil sampel limbah tailing. Wadah tanah atau reaktor dari fiber glas, dipakai untuk tempat proses elektrokinetik
2. *Power supply*
3. Timbangan/neraca
4. Elektroda
5. Ohmmeter
6. PH meter
7. Pengaduk
8. Kabel
9. Multitester
10. Metode AAS atau TCLP

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 limbah

Digunakan berupa limbah tailing. Persiapan wadah tanah.

Wadah dibuat dari bahan kaca berukuran 1 m x 1 m x 0.25 m dengan tebal kaca 1 cm

2. Persiapan elektroda

Digunakan elektroda karbon berbentuk silinder. Seluruh permukaan elektroda ditancapkan kedalam sampel tanah secara vertikal dengan jarak antar elektroda 15 cm dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.

3. Persiapan *power supply*

Digunakan *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. Tanah yang telah disiapkan di masukkan dalam wadah.
2. Pemasangan elektroda pada masing-masing tanah yang mengandung logam berat Hg dengan konfigurasi 2D hexagonal.
3. Mengkontakan *power supply* dengan sumber arus listrik AC 220 Volt agar arus DC maksimum 30 Ampere 60 Volt dapat mengalir pada permukaan elektroda dan tanah.
4. Proses dilakukan selama 15 jam.

5. Dilakukan pengamatan pada tiap-tiap sample dan pengambilan sample tanah pada setiap titik sampling dengan rentang waktu setiap 3 jam (untuk pengamatan ini arus listrik dimatikan).
6. Analisa tanah dengan pengamatan terhadap kandungan konsentrasi kontaminan logam berat, resistensi, pada tanah setelah proses.

3.7 Analisa Hasil Penelitian

3.7.1 Parameter yang di ukur

- a. Area pengukuran konsentrasi merkuri (Hg).
- b. Pengukuran konsentrasi pada masing-masing waktu disetiap tiap area anoda.
- c. Pengukuran resistensi pada masing-masing waktu disetiap area.

3.7.2 % Analisa Data

Untuk menentukan efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada tanah setelah dilakukan remediasi secara elektrokinetik adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (Metcalf and Eddy, 1999)

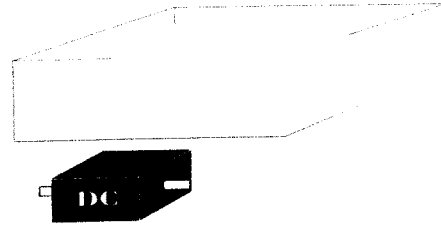
$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

E = Effisiensi (%)

C = Konsentrasi

3.8 Desain Wadah dan Berat Tanah



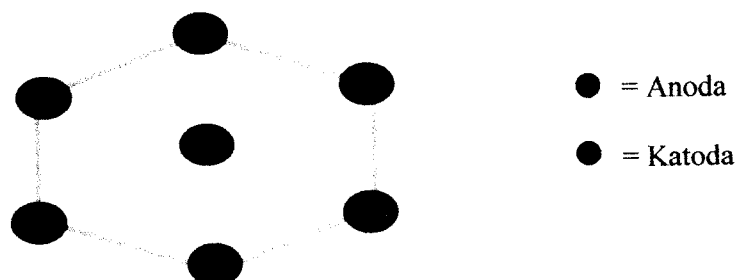
Gambar 3.1 Desain wadah tanah yang tercemar dan *power supply*

$$\begin{aligned}\text{Volume Tanah} &= p \times l \times t \\ &= 1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0,25\text{ m} \\ &= 0,25\text{ m}^3 = 250\text{ l}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Sludge} &= B_j \text{ tanah} \times \text{volume tanah} \\ &= 1,25\text{ kg/l} \times 250\text{ l} = 312,5\text{ kg}\end{aligned}$$

3.8.1. Kebutuhan Elektroda

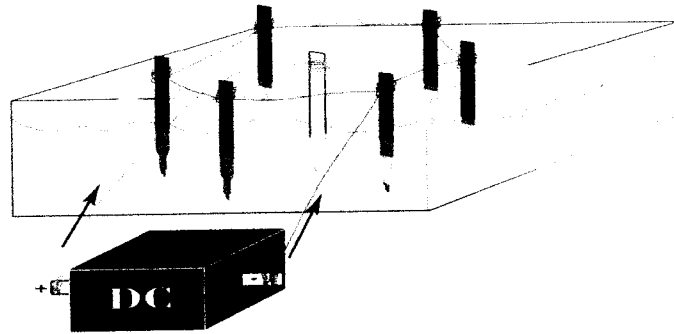
Konfigurasi elektroda dipilih berbentuk *hexagonal* yang terdiri dari beberapa sel, masing masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda), seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Konfigurasi elektroda



3.8.2. Desain Wadah dan Elektroda

Desain wadah dan konfigurasi elektrokinetik 2D- *Hexagonal* dapat di lihat pada gambar 3.3.



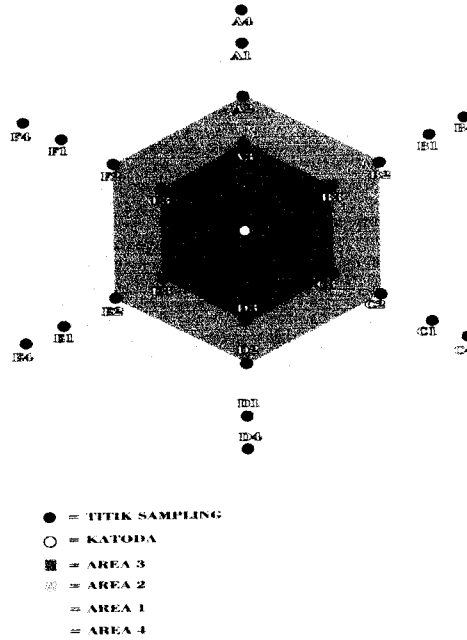
Gambar 3.3 Desain elektroda pada tanah

Keterangan :

- = Arus
- = Kabel katoda
- = kabel anoda
-  = Anoda
-  = Katoda

3.8.3 Desain Titik Sampling

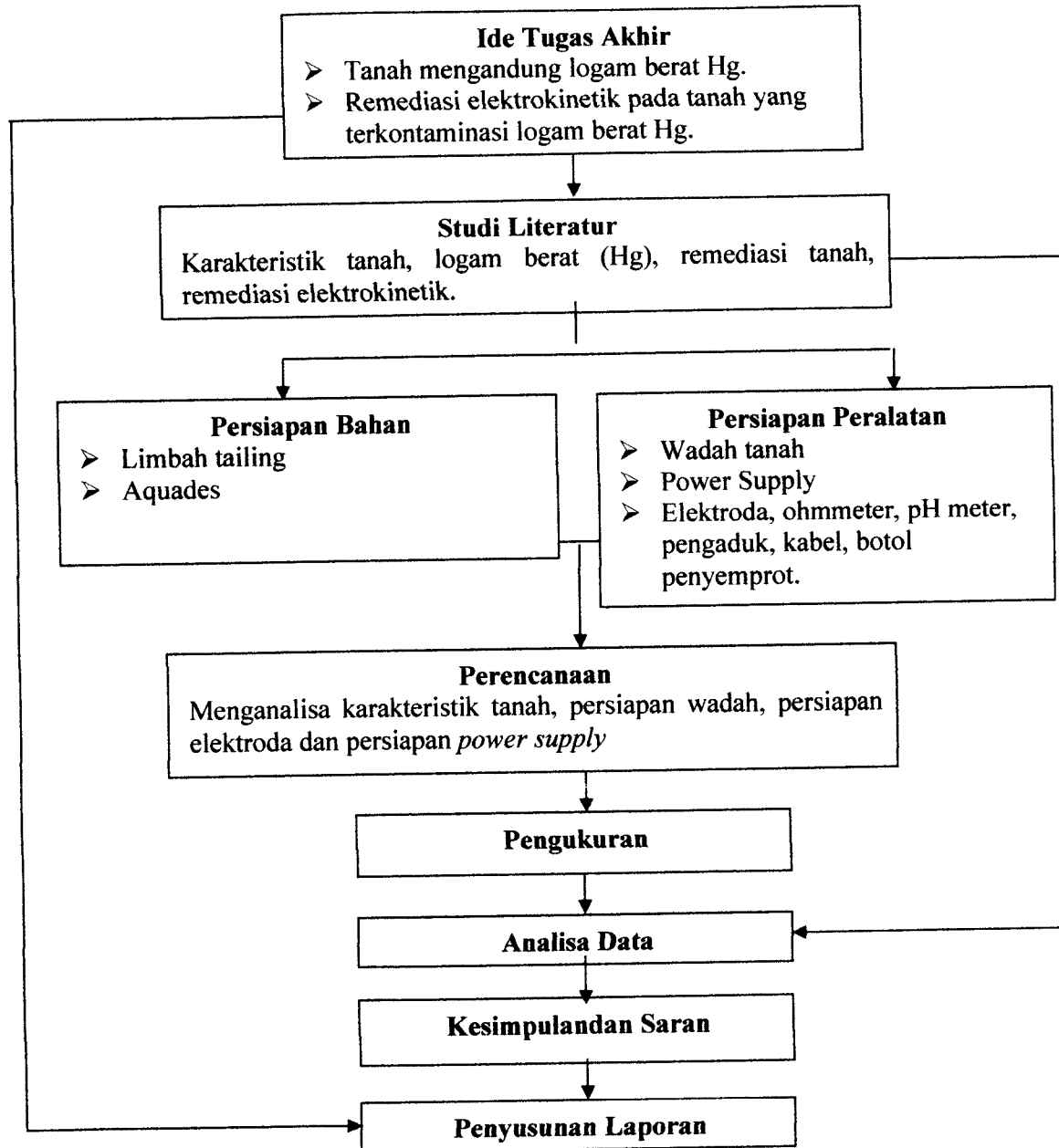
Titik sampling yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Desain titik sampling

3.8.4 Tahapan kerja

Adapun langkah studi ini diilustrasikan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Aliran Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Media yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah tailing dari daerah Kokap, Kulonprogo. Konsentrasi awal merkuri (Hg) di titik Ao sebelum dilakukan remediasi adalah 0,0561 ppm. Konsentrasi Hg awal ini terlalu rendah, diperkirakan pada saat pengambilan sampel untuk di ukur konsentrasinya diperoleh sampel yang sangat rendah konsentrasinya atau tidak homogenya tanah pada saat mengaduk, sehingga nilai Ao tidak dapat digunakan sebagai referensi pH awal <3,5 cenderung memiliki kondisi asam. Kandungan merkuri untuk tanah yang diperbolehkan tidak melebihi 0,005 ppm, sehingga sampel yang diambil telah melebihi ambang batas.

4.1 Hasil analisis konsentrasi Hg pada area efektif

Pada penelitian ini, titik sampel tanah dibagi menjadi 3 area efektif dan 1 area inefektif yaitu :

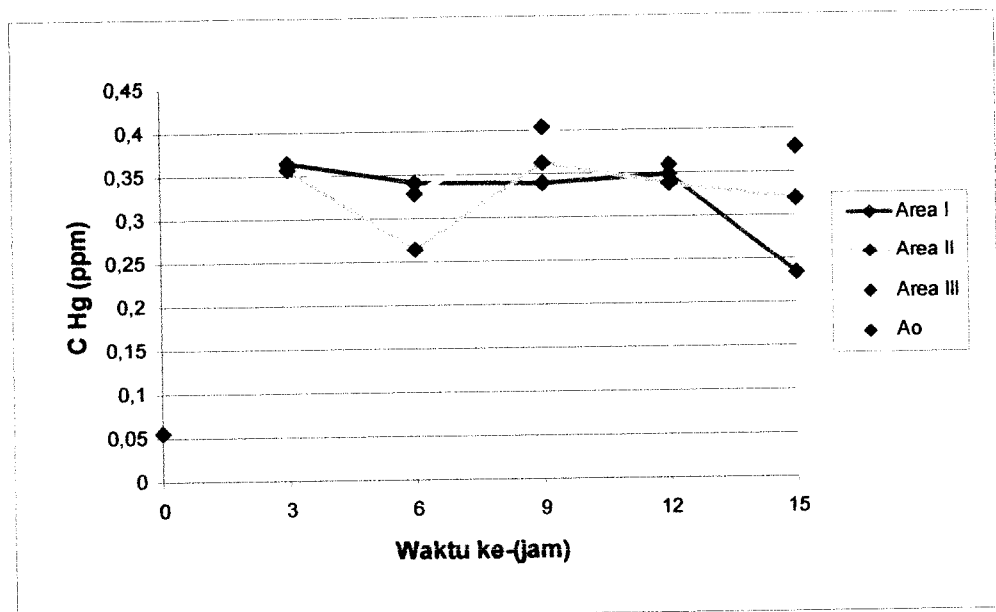
- a. area I : terletak 15 cm dari katoda
- b. area II : terletak 10 cm dari katoda
- c. area III : terletak 5 cm dari katoda
- d. inefektif : terletak di luar daerah elektroda

Analisis konsentrasi merkuri (Hg) dalam limbah tailing menggunakan metode SS-AAS, hasil analisis data sampel dapat dilihat pada lampiran 1. Dari data hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi (Hg) awal di titik Ao

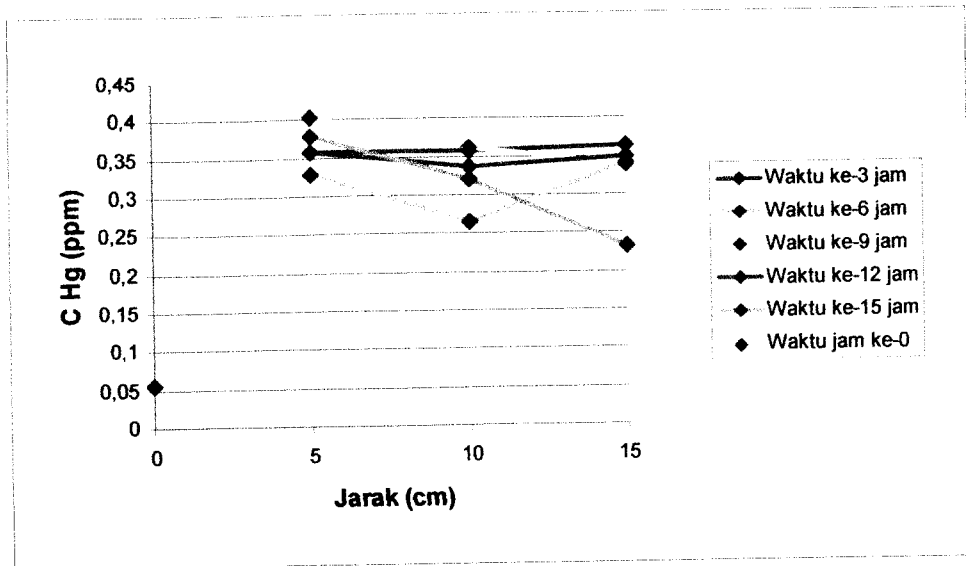
adalah 0,0561 ppm. Pengambilan sampel tanah di setiap titik sampling dilakukan pada interval waktu setiap 3 jam pada masing-masing area selama 15 jam.

Gambar 4.1 menunjukkan hubungan konsentrasi terhadap waktu pada area I, II dan III. Dengan mengabaikan nilai konsentrasi awal A_0 yang dianggap tidak mewakili sampel, maka nampak bahwa pada area I dengan jarak 15 cm dari katoda mengalami penurunan konsentrasi dari 0,3638 ppm pada waktu ke-3 jam menjadi 0,2332 ppm pada waktu ke-15 jam. Pada area I penurunan konsentrasi yang paling baik dialami pada waktu ke-9 jam sedangkan waktu optimum dicapai pada waktu ke-15 jam. Pada area II dengan jarak 10 cm dari area katoda terjadi penurunan konsentrasi dari 0,3573 ppm pada jam ke-3 menjadi 0,3199 ppm pada jam ke-15, tetapi penurunan konsentrasi paling optimum terjadi pada jam ke-6 yaitu sebesar 0,2645 ppm. Pada area III dengan jarak 5 cm dari katoda terjadi penurunan konsentrasi pada jam ke-6 sebesar 0,3287 ppm dari 0,3580 ppm pada jam ke-3, setelah itu terjadi kenaikan konsentrasi Hg di setiap jamnya, kenaikan konsentrasi paling besar dialami pada jam ke-9 sebesar 0,4027 ppm. Pada jam ke-15 diperoleh kenaikan konsentrasi sebesar 0,3778 ppm. Secara umum pada area III proses remediasi justru menaikkan konsentrasi Hg. Penurunan konsentrasi dan kenaikan konsentrasi di setiap interval waktu pada setiap area dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah jarak antar elektroda jika jarak semakin dekat dengan daerah katoda maka konsentrasi cenderung semakin tinggi, karena daerah katoda merupakan daerah tempat reaksi reduksi dimana terjadi penumpukan logam berat merkuri (Hg). Semakin jauh area dari daerah katoda maka penurunan konsentrasi logam berat (Hg) semakin baik. Perbedaan penurunan konsentrasi

atau kenaikan konsentrasi di setiap interval waktunya dikarenakan pengambilan titik sampling yang berbeda-beda di setiap titiknya. Anoda adalah tempat reaksi oksidasi yaitu pelepasan elektron menuju/bermigrasi ke arah katoda tempat reaksi reduksi penerimaan elektron. Reaksi yang terjadi di anoda sangat cepat mencapai dua kali lipatnya hal ini dikarenakan ion-ion yang akan bermigrasi ke arah katoda begitu besar, sehingga penurunan konsentrasi dialami pada area I dan II, seperti yang disajikan pada grafik gambar 4.1



Gambar 4.1 Hubungan konsentrasi terhadap waktu pada area I, II dan III



Gambar 4.2 Hubungan konsentrasi terhadap jarak pada setiap waktu

Gambar 4.2 menjelaskan adanya hubungan penurunan konsentrasi terhadap jarak di setiap interval waktu 0, 3, 6, 9, 12, 15 jam pada area efektif (Area I, II dan III) table data dapat dilihat pada lampiran 2. Dari gambar tersebut dapat dilihat penurunan konsentrasi dialami pada setiap area dengan nilai yang sangat signifikan. Area yang paling besar mengalami penurunan konsentrasi adalah area I dengan jarak area 15 cm pada katoda dari 0,3638 ppm menjadi sebesar 0,2332 ppm pada jam ke-15, area ke II juga mengalami penurunan konsentrasi area ini berjarak 10 cm dari katoda dari 0,3573 ppm menjadi sebesar 0,3199 ppm sedangkan area III mengalami kenaikan konsentrasi dari 0,3580 ppm menjadi sebesar 0,3778 ppm. Pada area I penurunan konsentrasi secara optimum dialami pada jam ke-15, area II penurunan konsentrasi secara optimum dialami pada waktu ke-6 jam, sedangkan pada area III kenaikan konsentrasi dialami pada waktu ke-9 jam. Area III sempat mengalami penurunan konsentrasi pada waktu

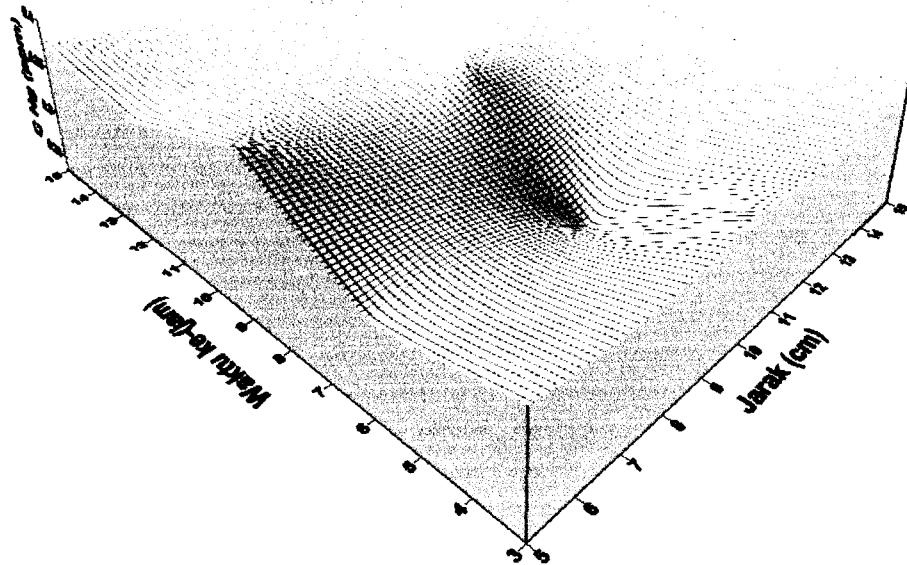
ke-6 jam, hal ini dikarenakan logam berat yang berkumpul di area katoda pada jam ke-6 belum maksimal sehingga memungkinkan pada area III mengalami penurunan konsentrasi. Kenaikan konsentrasi Hg terjadi pada interval waktu berikutnya.

Selain hal-hal tersebut di atas lamanya waktu remediasi juga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi ion-ion Hg. Penurunan konsentrasi ion-ion tersebut diakibatkan adanya pergerakan ion-ion menuju kutub negatif (katoda) dalam interval waktu 3 jam selama 15 jam. Dari data yang didapat pada penelitian ini mengindikasikan bahwa penurunan ion-ion tergantung pada homogen tanah, spasi elektroda, tipe elektroda, waktu treatment dan reaksi-reaksi geokimia (Pamukcu and Wittle, 1993).

Dari semua peristiwa remediasi elektrokinetik di atas mempunyai efek atau akibat antara lain *elektromigrasi*, yaitu pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan. Kation cenderung berpindah ke arah katoda sedangkan anion berpindah ke arah anoda. Sedangkan *elektrolisis* merupakan reaksi kimia yang terjadi dengan medan listrik. Efek dari remediasi dapat juga dilihat dengan adanya peristiwa *elektroosmosis* yaitu proses transport air dalam jumlah yang besar yang terus mengalir pada tanah di bawah pengaruh gradient listrik dapat dilihat pada lampiran 8, gambar 8. Sedangkan *electrophoresis* merupakan pergerakan partikel-partikel karena pengaruh medan listrik (Acar and Alshwabkeh 1993).

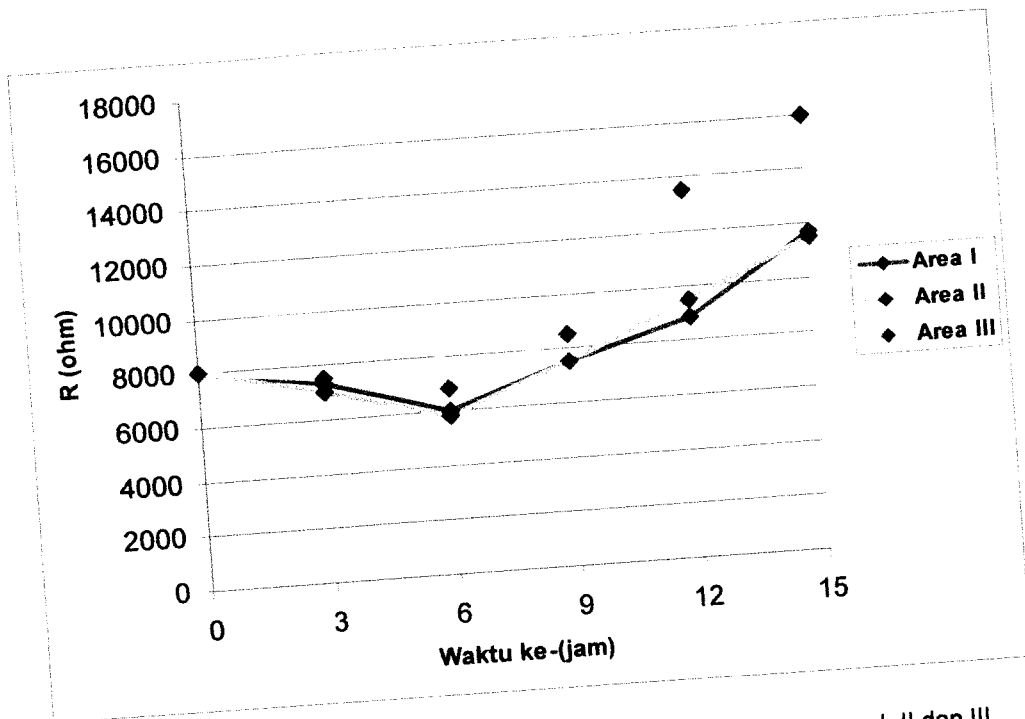
Gambar 4.3 adalah hubungan konsentrasi terhadap jarak area I 15cm, area II 10cm, area III 5cm pada interval waktu 3, 6, 9, 10, 12, 15 jam sehingga

diperoleh nilai penurunan konsentrasi di setiap area pada setiap jamnya. Tabel data diberikan pada lampiran 3.



Gambar 4.3 Hubungan konsentrasi terhadap jarak 5cm, 10cm, 15cm selama 15 jam dengan interval waktu tiap 3 jam.

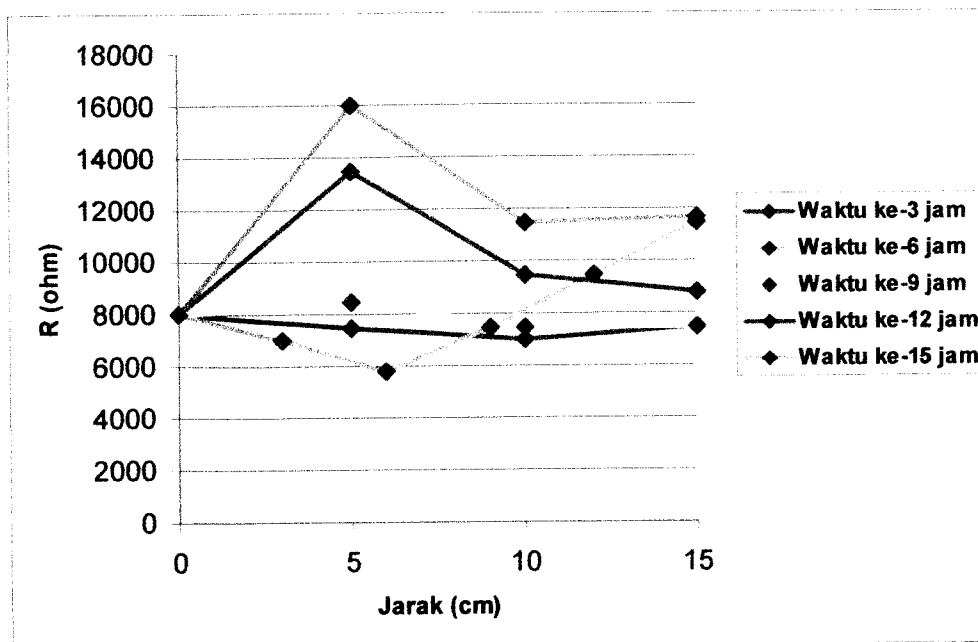
Pengukuran arus dan resistensi dengan interval waktu 3 jam yang dilakukan selama 15 jam. Tabel data disajikan pada lampiran 4. Gambar 4.4 adalah grafik hubungan antara resistensi terhadap waktu pada area efektif dengan jarak area I (15cm), area II (10cm) dan area III (5cm).



Gambar 4.4 Hubungan resistensi terhadap waktu pada area I, II dan III

Dari gambar 4.4 di atas dapat diketahui nilai kenaikan resistensi di setiap waktunya pada area I, II dan III. Hal ini sangat erat dipengaruhi oleh tingkatan voltase dan arus listrik, juga pengambilan titik sample pada setiap waktunya.

Gambar 4.5 adalah hubungan antara resistensi terhadap jarak area I (15cm), area II (10cm), area III (5cm) pada waktu jam ke-3, 6, 9, 12, 15. Nilai resistensi diperoleh dari data pada lampiran 4.

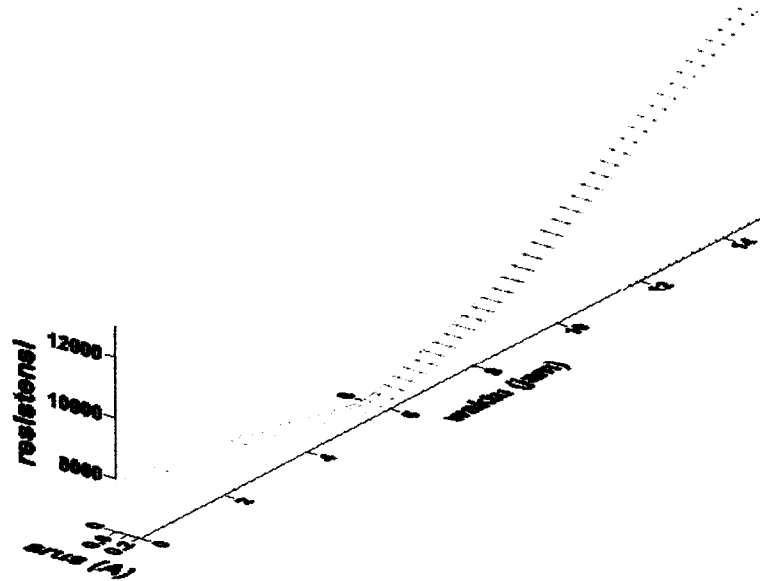


Gambar 4.5 Hubungan resistensi terhadap jarak pada setiap waktu

Dari gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa pada jarak ke 5cm yaitu, pada area III nilai resistensi sebesar 16000 ohm pada jam ke-15, pada area II sebesar 11500 ohm pada jam ke-15 dan yang terakhir pada area I sebesar 11666 ohm pada jam ke-15. Besarnya nilai resistensi pada setiap area (jarak) yang mendekati daerah katoda dikarenakan adanya penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi kecil dapat dilihat pada lampiran 8, gambar 10, sehingga hambatan yang dialami arus listrik akan semakin besar teori tersebut sesuai dengan persamaan bahwa resistensi akan berbanding terbalik dengan luas penampang (Bueche, 1989). Semakin besar hambatan atau resistensi maka konsentrasi logam Hg akan semakin menurun kebalikannya adalah semakin kecil nilai resistensi maka konsentrasi logam Hg semakin besar (konsentrasi naik).



Gambar 4.6 menampilkan hubungan resistensi terhadap waktu dan jarak yang menjelaskan besarnya nilai resistensi selama proses remediasi elektrokinetik pada tanah yang terkontaminasi logam berat merkuri (Hg). Tabel data diberikan pada lampiran 5.

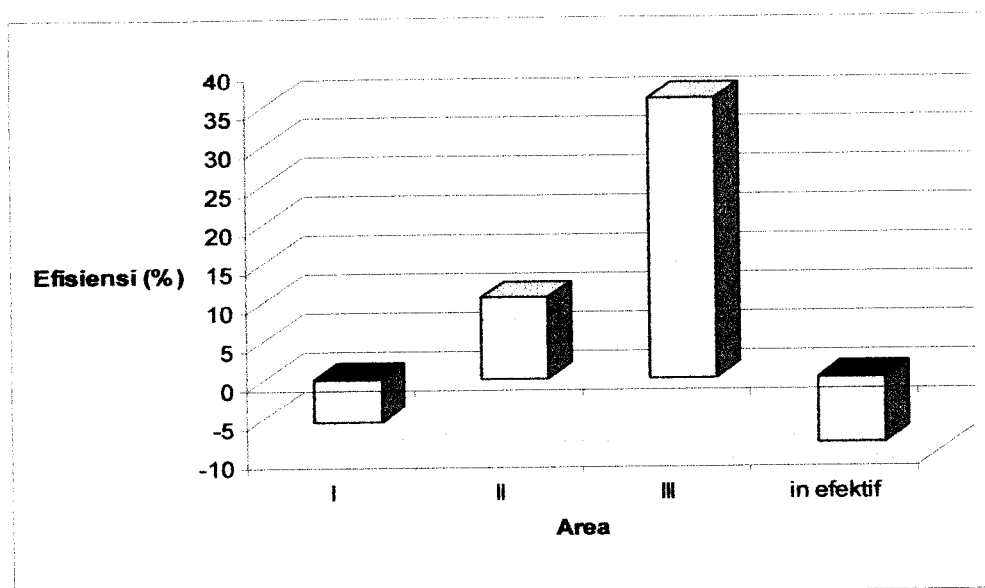


Gambar 4.6 hubungan resistensi terhadap arus (A) dan waktu

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 merkuri 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.

4.2 Efisiensi Remediasi Hg

Dari perhitungan nilai efisiensi pada lampiran 6 dapat diketahui bahwa penurunan konsentrasi Hg di setiap area efektif dan inefektif setelah dilakukan remediasi elektrokinetik yaitu sebagai berikut,



Gambar 4.7 Nilai efisiensi konsentrasi Hg disetiap area

Dari gambar 4.7 di atas diperoleh nilai efisiensi konsentrasi Hg pada area I sebesar 36%, pada area II sebesar 11%, pada area III diperoleh nilai (negatif) sebesar -6% yang berarti pada area ini tidak terjadi penurunan konsentrasi logam merkuri (Hg) dikarenakan dekatnya jarak area III dengan daerah katoda yang merupakan tempat berkumpulnya logam merkuri (Hg). Efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area I yang di ambil setiap 3 jam selama 15 jam dengan nilai efisiensi secara berturut-turut sebesar 7%, 0%, -2%, 33%. Pada area II nilai efisiensi penurunan konsentrasi Hg setiap jamnya dengan nilai berturut-turut sebesar 26%, -37%, 7%, dan 5%. Sedangkan pada area III sebesar 8%, -23%,

11%, -5% data pada lampiran 7. Efisiensi penurunan konsentrasi di area inefektif yang nilainya (negatif) yaitu sebesar -9% yang berarti di area ini masih mengandung logam berat merkuri (Hg) yang tinggi konsentrasinya. Kecilnya nilai efisiensi pada area III disebabkan karena migrasi ion-ion merkuri (Hg) berkumpul pada area ini, karena terlalu besarnya logam Hg yang terkandung didalam tanah dan kurang lamanya waktu remediasi menyebabkan efisiensi kurang optimum. Menurut Pamukcu (1994), penurunan ion-ion logam tergantung pada jenis kontaminan dan konsentrasi, elektroda yang dipakai, konfigurasi elektroda yang dipakai, biaya, tingkat voltase dan arus yang dipakai serta lamanya waktu remediasi.

Penurunan konsentrasi akhir dapat dilihat di setiap area pada jam ke-15. Rendahnya nilai konsentrasi pada titik Ao atau konsentrasi awal merkuri (Hg) tidak dapat menjadi tolak ukur untuk mengetahui besarnya penurunan konsentrasi merkuri (Hg) di setiap area. Dikarenakan berhasil atau tidaknya remediasi elektrokinetik ini dapat dilihat dari besarnya nilai konsentrasi di area III area yang mendekati katoda. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi di sekitar katoda Ao mengalami kenaikan konsentrasi setelah proses remediasi elektrokinetik bukan penurunan konsentrasi. Kecilnya nilai efisiensi disebabkan karena adanya indikasi fenomena elektromigrasi dibawah pengaruh medan listrik kurang maksimal, yang menyebabkan perpindahan ion-ion ke elektroda yang berlawanan karena pengaruh medan listrik. Ion-ion positif (kation) akan menuju atau menempel pada batang katoda ion-ion negatif (anion) akan menempel pada batang anoda, (Pack, 1997).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. Fenomena yang terjadi pada remediasi elektrokinetik adalah adanya proses elektromigrasi yaitu perpindahan ion-ion logam menuju ke arah katoda. Fenomena yang lain adalah elektroosmosis, elektrolisis dan elektrophoresis diperkirakan turut menyertai.
2. Nilai efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area I sebesar 35,89 %, area II sebesar 10,46%, sedangkan di area III proses remediasi justru menaikkan konsentrasi Hg, akibat penumpukan ion Hg di sekitar katoda.
3. Di dalam remediasi, semakin lama waktu semakin bertambah efisiensinya. Selanjutnya, pada jarak area semakin dekat ke katoda, semakin berkurang keefektifannya.

5.2 SARAN

1. Pengambilan sampel awal sebaiknya lebih dari satu tempat untuk memenuhi syarat statistik.
2. Tempat sampel awal sebaiknya setiap 3 jam di ambil sampelnya untuk di ukur perubahan konsentrasinya.

3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut guna mengetahui dampak negatif dari penerapan elektro remediasi terhadap lingkungan dan solusinya.
4. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai elektro remediasi dengan menggunakan parameter yang berbeda dengan kondisi tanah yang berbeda pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, Y. B. and Alshawabkeh, A. N., 1993. *Principles of Electrokinetic Remediation, Environmental Science and Technology*, New Delhi, India.
- Acar, Y. B., Gale R. J., Putnam, G. A., Hamed, J. and Wong, R. L., 1990, *Electrochemical Processing of Soils*, Betlehem.
- Alshawabkeh, A. N., 1999, *Optimization of 2-D Electrode Configuration for Elektrokinetic Remediation, Juornal of Soil Contamination*, USA.
- Alshawabkeh, A. N., 2001, *Basic and Application of Elektrokinetic Remediation*, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ).
- Bueche, F. J., 1989, *Theory and Problem of College Physics*, MacGraw Hill Inc.
- Donald, L. W, and Debra J, T, 1994, *Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils*, Marcel Dekker. Inc, USA.
- Eykholt, G.R, 1997, *Dement of Pore Pressures by Nonuniform Electroosmosis in Clays*. Journal of Hazardous Materials.
- Harian Kompas, 01 September, 2004.
- Johannes, H, 1978, *Listrik dan Magnet*, PN Balai Pustaka, Jakarta.
- Metcalf and Eddy, 1991, *Environmental Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, Mc.Graw Hill, USA.

- Pack and Willard, 1997, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, Mc. Graw Hill, USA.
- Pallar, H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineke Cipta, Jakarta.
- Pamukcu and Wittle, J, 1993, *Elektrokinetic Treatment of Contaminated Soils, Sludges and Lagoons*, Final Rep. To Argonne National Laboratory.
- Pamukcu, 1994, *Zinc Detoxification of Soil by Electroosmosis, Electrokinetic Phenomena in Soil*, Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.
- Parizek, 1978, *Interaction of Se with Hg, Cd and other metals*, University Park Press.
- Robert S. Bowman and Earl P. Mattson, 1994, *Elektrokinetik Remediation of Heavy Metals Contaminated Soils*. Indian Geotechnical Journal.
- Susilo, Y.E.B., 2003, *Menuju Keselarasan Lingkungan*, Averroes Press, Malang.
- U.S. Environmental Protection Agency, office of Research and Development, 1994, *Superfund Innovative Technology Evaluation Program Technology Profiles*. EPA/540/R-94/526.

LAMPIRAN 1
HASIL ANALISIS KONSENTRASI Hg



DINAS KESEHATAN PROPINSI DIY
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA
Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta. Telp. 378187

SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama pengirim : Serly Suharto
Alamat : UII, Jl. Kaliurang Km 14,4. Yogyakarta
Jenis contoh uji : Tanah hasil remediasi
Diambil/diterima tanggal : 20 September 2006 / 20 September 2006
Parameter yang diuji : Merkuri (Hg)
Tanggal pengujian : 20 September 2006 s/d 13 November 2006

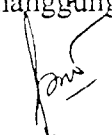
| NO | KODE | Kadar Hg mg/L |
|----|--------------|------------------|
| 1. | A (3 JAM) | 0.1064 |
| | A (6 JAM) | 0.0500 |
| | A (9 JAM) | 0.0580 |
| | A (12 JAM) | 0.1096 |
| | A (15 JAM) | 0.0485 |
| 2. | A1(3 JAM) | 0.3841 |
| | A1(6 JAM) | 0.3087 |
| | A1(9 JAM) | 0.3946 |
| | A1 (12 JAM) | 0.3629 |
| | A1(15 JAM) | 0.3297 |
| 3 | A2 (3 JAM) | 0.4403 |
| | A2(6 JAM) | 0.5551 |
| | A2 (9 JAM) | 0.5526 |
| | A2 (12 JAM) | 0.4535 |
| | A2 (15 JAM) | 0.6615 |
| 4 | C (3 JAM) | 0.5616 |
| | C (6 JAM) | 0.6134 |
| | C (9 JAM) | 0.5481 |
| | C (12 JAM) | 0.6098 |
| | C (15 JAM) | 0.5401 |
| 5 | C1 (3 JAM) | 0.5866 |
| | C1(6 JAM) | 0.3958 |
| | C1(9 JAM) | 0.6042 |
| | C1(12 JAM) | 0.5351 |
| | C1(15 JAM) | 0.5401 |

| | KODE | Kadar Hg mg/L |
|---|--------------|------------------|
| 6 | C2(3 JAM) | 0.5435 |
| | C2(6 JAM) | 0.3759 |
| | C2(9 JAM) | 0.6063 |
| | C2(12 JAM) | 0.5792 |
| | C2(15 JAM) | 0.4299 |
| 7 | E (3 JAM) | 0.4234 |
| | E (6 JAM) | 0.3576 |
| | E (9 JAM) | 0.4115 |
| | E (12 JAM) | 0.3259 |
| | E (15 JAM) | 0.1111 |
| 8 | E1 (3 JAM) | 0.1014 |
| | E1 (6 JAM) | 0.0892 |
| | E1 (9 JAM) | 0.0870 |
| | E1 (12 JAM) | 0.1143 |
| | E1 (15 JAM) | 0.0901 |
| 9 | E2 (3 JAM) | 0.0904 |
| | E2 (6 JAM) | 0.0553 |
| | E2 (9 JAM) | 0.0493 |
| | E2 (12 JAM) | 0.0424 |
| | E2 (15 JAM) | 0.0421 |
| | 0 JAM | 0.0561 |
| | 0 JAM | 0.0296 |
| | IN EFEKTIF | 0.0608 |
| | IN EFEKTIF | 0.0652 |

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 27 Nov. 2006

Mengetahui :
Kepala,

Yogyakarta, 20 November 2006
Penanggung jawab pemeriksaan,


Fachmiyarti

LAMPIRAN 2

**ANALISIS DATA HUBUNGAN KONSENTRASI Hg
TERHADAP WAKTU DAN JARAK DI DAERAH EFEKTIF**

| Waktu Ke- (Jam) | Titik Sampling (Area I 15 cm) | Konsentrasi Hg (ppm) | Konsentrasi Rata-Rata |
|----------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| 0 | A ₀ | 0,0561 | 0,0561 |
| 3 | A | 0,1064 | 0,3638 |
| | C | 0,5616 | |
| | E | 0,4234 | |
| 6 | A | 0,0500 | 0,3403 |
| | C | 0,6134 | |
| | E | 0,3576 | |
| 9 | A | 0,0580 | 0,3392 |
| | C | 0,5481 | |
| | E | 0,4115 | |
| 12 | A | 0,1096 | 0,3484 |
| | C | 0,6098 | |
| | E | 0,3259 | |
| 15 | A | 0,0485 | 0,2332 |
| | C | 0,5401 | |
| | E | 0,1111 | |

| Waktu Ke- (Jam) | Titik Sampling (Area II 10 cm) | Konsentrasi Hg | Konsentrasi Rata-Rata |
|----------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|
| 0 | A ₀ | 0,0561 | 0,0561 |
| 3 | A ₁ | 0,3841 | 0,3573 |
| | C ₁ | 0,5866 | |
| | E ₁ | 0,1014 | |
| 6 | A ₁ | 0,3087 | 0,2645 |
| | C ₁ | 0,3958 | |
| | E ₁ | 0,0892 | |
| 9 | A ₁ | 0,3946 | 0,3619 |
| | C ₁ | 0,6042 | |
| | E ₁ | 0,0870 | |
| 12 | A ₁ | 0,3629 | 0,3374 |
| | C ₁ | 0,5351 | |
| | E ₁ | 0,1143 | |
| 15 | A ₁ | 0,3297 | 0,3199 |
| | C ₁ | 0,5401 | |
| | E ₁ | 0,0901 | |

| Waktu Ke- (Jam) | Titik Sampling (Area III 5 cm) | Konsentrasi Hg | Konsentrasi Rata-Rata |
|----------------------------|---|-----------------------|----------------------------------|
| 0 | A ₀ | 0,0561 | 0,0561 |
| 3 | A ₂ | 0,4403 | 0,3580 |
| | C ₂ | 0,5435 | |
| | E ₂ | 0,0904 | |
| 6 | A ₂ | 0,5551 | 0,3287 |
| | C ₂ | 0,3759 | |
| | E ₂ | 0,0553 | |
| 9 | A ₂ | 0,5526 | 0,4027 |
| | C ₂ | 0,6063 | |
| | E ₂ | 0,0493 | |
| 12 | A ₂ | 0,4535 | 0,3583 |
| | C ₂ | 0,5792 | |
| | E ₂ | 0,0424 | |
| 15 | A ₂ | 0,6615 | 0,3778 |
| | C ₂ | 0,4299 | |
| | E ₂ | 0,0421 | |

LAMPIRAN 3

**HASIL ANALISIS DATA KONSENTRASI Hg
TERHADAP JARAK DAN WAKTU**

| Jarak (cm) | Waktu ke- (Jam) | Konsentrasi Hg (ppm) |
|-------------------|------------------------|-----------------------------|
| 5 | 3 | 0,3580 |
| 5 | 6 | 0,3287 |
| 5 | 9 | 0,4027 |
| 5 | 12 | 0,3583 |
| 5 | 15 | 0,3778 |
| 10 | 3 | 0,3573 |
| 10 | 6 | 0,2645 |
| 10 | 9 | 0,3619 |
| 10 | 12 | 0,3374 |
| 10 | 15 | 0,3199 |
| 15 | 3 | 0,3638 |
| 15 | 6 | 0,3403 |
| 15 | 9 | 0,3392 |
| 15 | 12 | 0,3484 |
| 15 | 15 | 0,2332 |

LAMPIRAN 4

**ANALISIS DATA RESISTENSI TERHADAP JARAK DAN
WAKTU DI AREA EFEKTIF**

| Waktu | Jarak (cm) | Titik Sampling | Resitivity | Resitivity Rata-rata |
|--------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | A ₀ | 8000 | 8000 |
| 3 | 15 | A | 7000 | 7333 |
| | | C | 8500 | |
| | | E | 6500 | |
| | 10 | A ₁ | 7500 | 7000 |
| | | C ₁ | 6500 | |
| | | E ₁ | 7000 | |
| | 5 | A ₂ | 8500 | 7500 |
| | | C ₂ | 7000 | |
| | | E ₂ | 7000 | |
| 6 | 15 | A | 5000 | 6000 |
| | | C | 6000 | |
| | | E | 7000 | |
| | 10 | A ₁ | 5000 | 5833 |
| | | C ₁ | 6000 | |
| | | E ₁ | 6500 | |
| | 5 | A ₂ | 6000 | 6833 |
| | | C ₂ | 7000 | |
| | | E ₂ | 7500 | |

| | | | | |
|----|----|----------------|-------|-------|
| 9 | 15 | A | 5500 | 7500 |
| | | C | 7000 | |
| | | E | 10000 | |
| | 10 | A ₁ | 7000 | 7500 |
| | | C ₁ | 7500 | |
| | | E ₁ | 8000 | |
| | 5 | A ₂ | 8500 | 8500 |
| | | C ₂ | 8000 | |
| | | E ₂ | 9000 | |
| 12 | 15 | A | 8500 | 8833 |
| | | C | 8500 | |
| | | E | 9500 | |
| | 10 | A ₁ | 8500 | 9500 |
| | | C ₁ | 9000 | |
| | | E ₁ | 11000 | |
| | 5 | A ₂ | 14000 | 13500 |
| | | C ₂ | 13000 | |
| | | E ₂ | 13500 | |
| 15 | 15 | A | 8000 | 11666 |
| | | C | 14000 | |
| | | E | 13000 | |
| | 10 | A ₁ | 9000 | 11500 |
| | | C ₁ | 12000 | |
| | | E ₁ | 13500 | |
| | 5 | A ₂ | 13000 | 16000 |
| | | C ₂ | 15000 | |
| | | E ₂ | 20000 | |

LAMPIRAN 5

**HASIL ANALISIS DATA RESISTENSI
TERHADAP ARUS (A) DAN WAKTU Ke- (jam)**

| Waktu Ke- (Jam) | Arus (A) | Resistensi (ohm) |
|------------------------|-----------------|-------------------------|
| 0 | 0,2 | 8000 |
| 3 | 0,3 | 7277 |
| 6 | 0,36 | 6222 |
| 9 | 0,53 | 7833 |
| 12 | 0,6 | 10611 |
| 15 | 0,6 | 13055 |

LAMPIRAN 6

HASIL ANALISIS EFISIENSI PENURUNAN KONSENTRASI (Hg) PADA AREA EFEKTIF DAN INEFEKTIF

a. Efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area I

$$\begin{aligned}\% E &= \frac{(\text{awal (jam ke - 3)}) - (\text{akhir (jam ke - 15)})}{(\text{awal (jam ke - 3)})} \times 100 \% \\ &= \frac{0,3638 \text{ ppm} - 0,2332 \text{ ppm}}{0,3638 \text{ ppm}} \times 100 \% \\ &= 35,89 \%\end{aligned}$$

b. Efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area II

$$\begin{aligned}\% E &= \frac{0,3573 \text{ ppm} - 0,3199 \text{ ppm}}{0,3573 \text{ ppm}} \times 100 \% \\ &= 10,46 \%\end{aligned}$$

c. Efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area III

$$\begin{aligned}\% E &= \frac{0,3580 \text{ ppm} - 0,3778 \text{ ppm}}{0,3580 \text{ ppm}} \times 100 \% \\ &= -5,53 \%\end{aligned}$$

d. Efisiensi penurunan konsentrasi Hg pada area inefektif

$$\begin{aligned}\% E &= \frac{0,0561 \text{ ppm} - 0,0608 \text{ ppm}}{0,0561 \text{ ppm}} \times 100 \% \\ &= -8,37 \%\end{aligned}$$

LAMPIRAN 7

**EFISIENSI PENURUNAN KONSENTRASI Hg PADA AREA (I,II,III)
SETIAP PENGUKURAN 3 JAM**

Area I

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 3) - (C \text{ ppm jam ke } - 6)}{(C \text{ ppm jam ke } - 3)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3638 \text{ ppm} - 0.3403 \text{ ppm}}{0.3638 \text{ ppm}} \times 100\% = 7\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 6) - (C \text{ ppm jam ke } - 9)}{(C \text{ ppm jam ke } - 6)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3403 \text{ ppm} - 0.3392 \text{ ppm}}{0.3403 \text{ ppm}} \times 100\% = 0\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 9) - (C \text{ ppm jam ke } - 12)}{(C \text{ ppm jam ke } - 9)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3392 \text{ ppm} - 0.3484 \text{ ppm}}{0.3392 \text{ ppm}} \times 100\% = -2\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 12) - (C \text{ ppm jam ke } - 15)}{(C \text{ ppm jam ke } - 12)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3484 \text{ ppm} - 0.2332 \text{ ppm}}{0.3484 \text{ ppm}} \times 100\% = 33\%$$

Area II

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 3) - (C \text{ ppm jam ke } - 6)}{(C \text{ ppm jam ke } - 3)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3573 \text{ ppm} - 0.2645 \text{ ppm}}{0.3573 \text{ ppm}} \times 100\% = 26\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 6) - (C \text{ ppm jam ke } - 9)}{(C \text{ ppm jam ke } - 6)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.2645 \text{ ppm} - 0.3619 \text{ ppm}}{0.2645 \text{ ppm}} \times 100\% = -37\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 9) - (C \text{ ppm jam ke } - 12)}{(C \text{ ppm jam ke } - 9)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3619 \text{ ppm} - 0.3374 \text{ ppm}}{0.3619 \text{ ppm}} \times 100\% = 7\%$$

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 12) - (C \text{ ppm jam ke } - 15)}{(C \text{ ppm jam ke } - 12)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3374 \text{ ppm} - 0.3199 \text{ ppm}}{0.3374 \text{ ppm}} \times 100\% = 5\%$$

Area III

$$\bullet \quad \%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } - 3) - (C \text{ ppm jam ke } - 6)}{(C \text{ ppm jam ke } - 3)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3580 \text{ ppm} - 0.3287 \text{ ppm}}{0.3580 \text{ ppm}} \times 100\% = 8\%$$

- $$\%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } -6) - (C \text{ ppm jam ke } -9)}{(C \text{ ppm jam ke } -6)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3287 \text{ ppm} - 0.4027 \text{ ppm}}{0.3287 \text{ ppm}} \times 100\% = -23\%$$

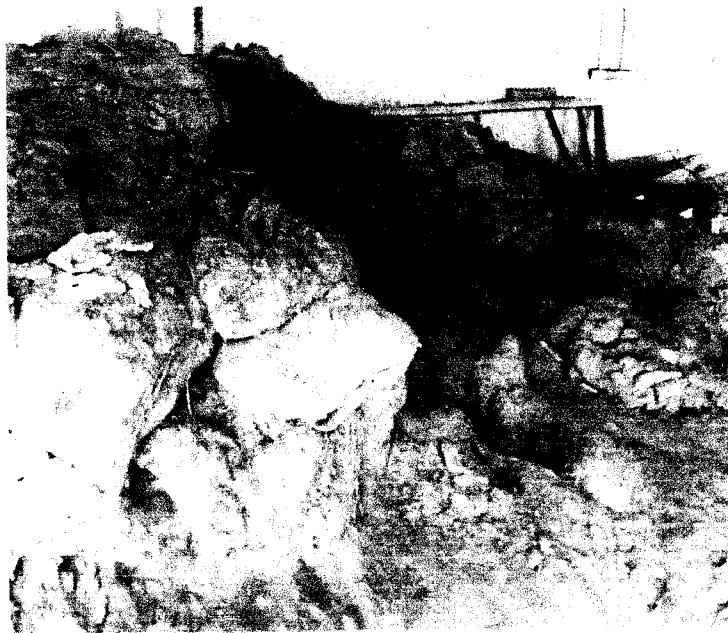
- $$\%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } -9) - (C \text{ ppm jam ke } -12)}{(C \text{ ppm jam ke } -9)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.4027 \text{ ppm} - 0.3583 \text{ ppm}}{0.4027 \text{ ppm}} \times 100\% = 11\%$$

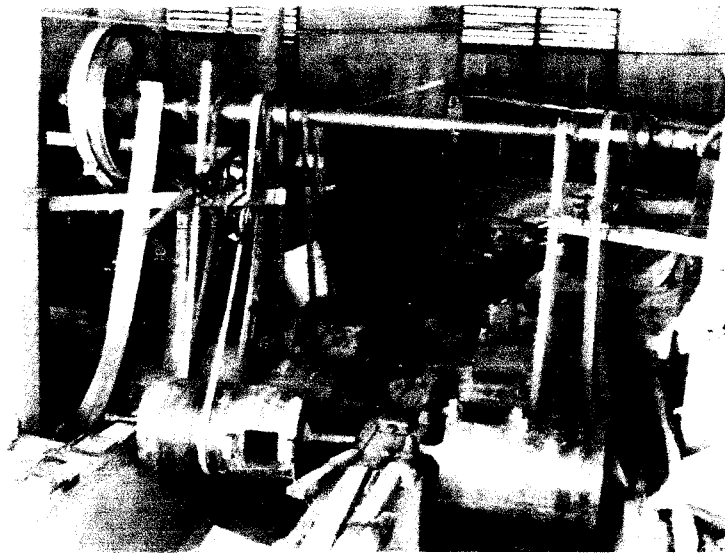
- $$\%E = \frac{(C \text{ ppm jam ke } -12) - (C \text{ ppm jam ke } -15)}{(C \text{ ppm jam ke } -12)} \times 100\%$$

$$\%E = \frac{0.3583 \text{ ppm} - 0.3778 \text{ ppm}}{0.3583 \text{ ppm}} \times 100\% = -5\%$$

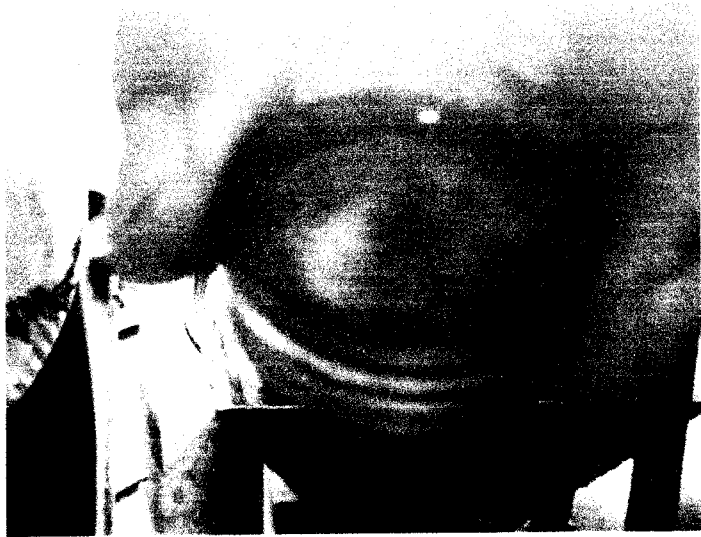
LAMPIRAN 8
GAMBAR-GAMBAR DOKUMENTASI



Gambar 1. Limbah tailing



Gambar 2. Gelundung alat untuk proses penggilingan bijih emas



Gambar 3. Merkuri



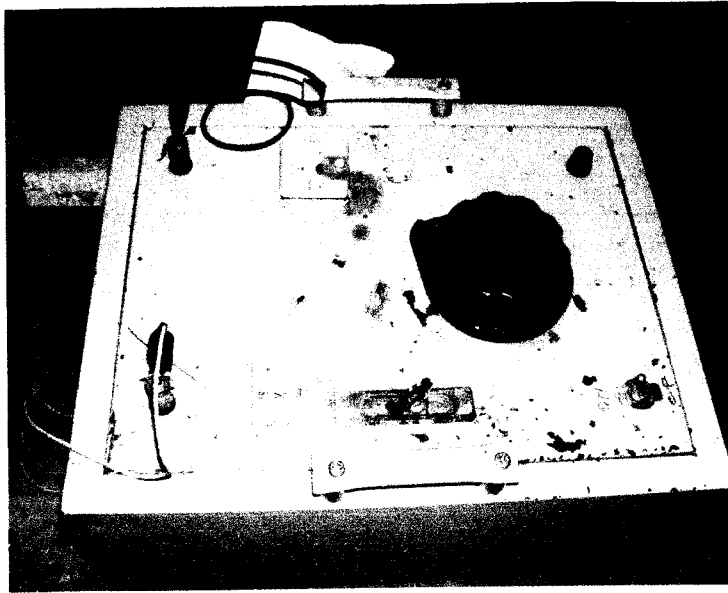
Gambar 4. Hasil bijih emas dan bahan merkuri



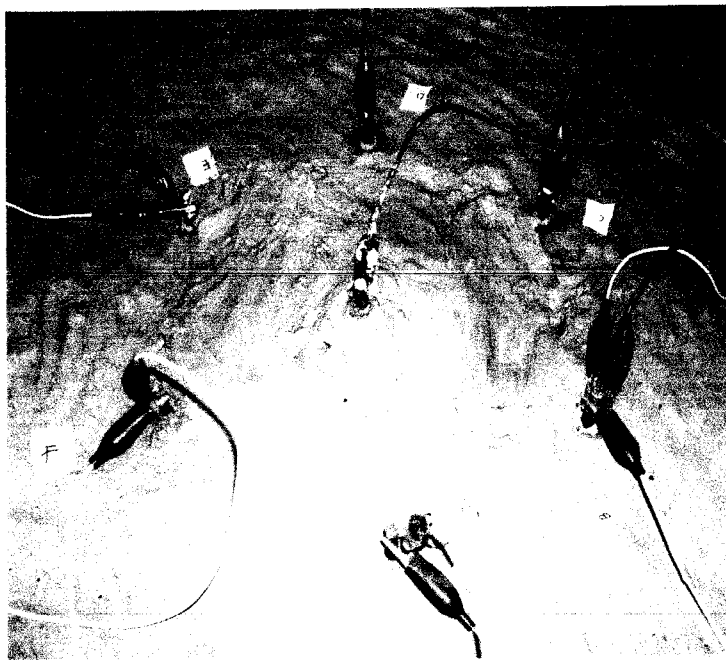
Gambar 5. Hasil emas murni



Gambar 6. Sungai tempat pembuangan air hasil pengolahan bijih emas



Gambar 7. Power Suplay



Gambar 8. Kondisi tanah saat dilakukan proses remediasi elektrokinetik



Gambar 9. Kondisi tanah setelah proses remediasi elektrokinetik



Gambar 10. Elektroda karbon setelah digunakan untuk proses remediasi elektrokinetik