PERPUSTAKAAN FTSP UII
HADIAH/BELI
TGL. TERIMA : 6 Juli 2006
NO. JUDUL : 002017
NO. INV. : 5120000201 7001
NO. INDUK :

TA/TL/2006/0069

TUGAS AKHIR

REMEDIASI TANAH YANG TERCEMAR LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DENGAN MENGGUNAKAN KONFIGURASI 2 – D *HEXAGONAL*

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat sarjana strata – 1 Teknik Lingkungan

DIBACA DI TEMPAT
TIDAK DIBAWA PULANG

Disusun oleh:

AZRI IRVANDI

01 513 104

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2006

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

REMEDIASI TANAH YANG TERCEMAR LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) DENGAN MENGGUNAKAN KONFIGURASI 2 – D *HEXAGONAL*

Nama : AZRI IRVANDI

No. Mahasiswa : 01 513 1014

Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dr. Sismanto

Tanggal : 11/05/06

Dosen Pembimbing II

Luqman Hakim, ST, Msi

Tanggal : 11/05/06

ABSTRACT

From the others metal who contaminated soil, which one is Cadmium (Cd). The causes of poisoned Cd, become damages physiology body system, like urinaria system (kidney), respiration system (lung), circulation system (blood) and heart

One of the soil remediation solution is electrokinetic remediation. The electrokinetic remediation of this research using 2D-hexagonal configuration, where put the cathode in central and anode at out side formed hexagonal.The aims of this research is learn the phenomena of electrokinetic remediation with 2D- hexagonal configuration into the soil contaminated by Cd and identify the removal efficiency of cadmium.

The research methods of electrokinetic's remediation are used 40 volt and 0,2 Ampere direct current electricity constant. The basin use was made from glass with the size is 1 m x 1m x 0,7 m and 95 kg weight of the soil. Electrode former battery with long 5 cm and diameter 0,8 cm is used as electrode. The time of remediation is 12 hour and each 3 hours interval do the checking pH, sample, resistance and observation of soil in each area.

The result from this research is changed the pH value and concentration in each area. The pH value at first area or at anode area has alkali condition is 9 and at third area or cathode area has an acid condition is 5,9. The lowering concentration of cadmium in each area not optimum, because undersize of electrode dimension.

Key word : Cadmium, Remediation electrokinetic, Electrode, pH, Resistance.

INTISARI

Dari sekian banyak logam yang mencemari tanah adalah kadmium (Cd). Keracunan yang disebabkan oleh Cd, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat rusak oleh keracunan kronis logam Cd ini adalah pada sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan/paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung.

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. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik pada tanah tercemar logam Cd dan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi Cd.

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 0,7 m dan tanah yang dipakai sebanyak 95 kg. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon bekas batu baterai berdiameter 0,8, panjang 5 cm dan jarak antara elektroda adalah 15 cm. Waktu remediasi selama 12 jam dan setiap 3 jam dilakukan pengukuran pH, pengambilan sampel, pengukuran resistensi dan pengamatan perubahan tanah yang terjadi pada setiap area.

Hasil akhir dari penelitian adalah terjadinya perubahan pH dan konsentrsi pada setiap area. pH pada area I atau disekitar katoda bersifat basa yaitu 9 sedangkan pada area III atau di anoda bersifat asam yaitu 5,9. Penurunan konsentrasi Cd tidak terlalu besar pada masing-masing area dimungkinkan karena terlalu kecilnya dimensi elektroda yang digunakan di dalam penelitian.

Kata kunci : Kadmium, Remediasi Elektrokinetik, Elektroda, pH, Resistensi

Aku tak pernah merinduimu
Karena kau mengalir dalam nadiku
Aku tak pernah khawatirkanmu
Karena kau pasti dilindungi-Nya

Tapi, aku tetap ingin memelukmu
Aku damai karna dekapmu
Aku terlindung dalam pandanganmu
Untuk itulah aku selalu pulang
Ke rumahmu

Semua risau sirna mendengar suaramu
Kala beban-beban meletihkanku
Saat pundakku tak kuasa tegak
Jika tulang punggungku kaku
Untuk itulah aku pasti pulang selalu
Ke rumahmu

Rumahmu adalah jiwaku
Ke sana aku setiap detik pulang
Menemuimu, bundaku
Memeluk kedamaian
Kau adalah kekuatan langkahku
Doamu adalah energi kekal
Hingga ke akhirat kelak

Biarlah kupikul semua dosamu
Ambillah semua pahalaku
Aku hanya butuh kebahagiaanmu
Di dunia dan akhirat
Tak peduli segala amalku
Kugunakan untuk menebus baktimu

Maaf bunda,
Amanahmu belum kutunai
Ingin kutuntaskan segera
Beri aku doa kekuatan
Untuk menerjang kemalasan diri
Kuharap, Mei selesai

Oh ya bunda dan ayahanda,
Kubawakan seorang perempuan salehat
Yang anggunnya mirip anggunmu
Yang indahnya mirip indahmu
Yang cintanya mirip cintamu
Lembutnya mirip lembutmu
Yang akan menjadi bunda
Untuk mujahid-mujahidah-Nya

Kuyakin ia yang terbaik
Dalam setiap istikharahku
Dalam setiap tasbihku
Aku mohon ridomu yang senilai rido-Nya
Restumu ialah keijinan langit

Di tepian pagi
Kucium kain bekas jahitan tanganmu
Bunda, rinduku untukmu
Kucium tepi pagi
Yang akan segera dipanggil sang muadzin
Bunda, doaku untukmu

Sebagai wujud rasa cinta, bakti dan kasih sayng

Ayahanda dan bunda tercinta

Drs. Amril Zein

Watri Rifai

Rifza Handayani

Khairul Hamdi

Kurnia Tri Astuti

Special thank's to

1. Allah SWT atas segala rahmat yang telah engkau berikan kepada hambamu ini.
2. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan dan cinta serta kasih sayang yang terhingga kepada anakmu.
3. Kakak dan adikku, Rifza Handayani dan Khairul Hamdi atas dorongan dan dukungan yang tak terhingga.
4. Keluarga besar Zein dan Rifai yang ada di Bukit Tinggi, Medan, Jakarta, Jogjakarta, Bandung dan Malaysia.
5. UWo-uwoku yang banyak memberikan semangat, azri alah lulus.
6. Pak uwo-pak uwo yang ada di antero Indonesia.
7. Teruntuk senyum terindah yang kau berikan kepadaku, kesabaran, pengertian dan kasih sayang, Kurnia Tri Astuti.
8. Anak-anak Bascame 01, Indras, Dedek, Fikor, Pandu, Joko, Een, Wisnu
9. Anak - anak wisma biru, Warih, Q-noy, Aziz, Affan, Khairil
10. Anak-anak 01, mulai dari A ampe Z, kumpulan si beratz, Ani, Nunik, nial, Rince, Retno, Rince, Mail, dan semuanya.
11. Para ST terdahulu, Idef, Aan, Dian, Vita, Yeyen
12. keluarga besar Mapala Unisi

13. Anak-anak Bascame 03, Ari, Dedi, Caponk, Asep, Tris, Danu, Ganda dan Bamong.
14. Anak-anak 03, Ina, Tuti, Astri, Vita, Nensa, Gris dll.
15. KKn Subur Jaya dan seluruh warga Berkisan
16. Anak-anak Architect dan Sipil
17. Dan Pihak-pihak yang tidak saya sebutkan, matur Nuwon sanget

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan 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 kesarjanaan Strata-1.

Maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari fenomena elektro remediasi pada tanah yng tercemar logam berat Kadmium (Cd) dengan menggunakan teknik elektrokinetik konfigurasi 2-D *hexagonal* serta mengetahui efesiensi penurunan konsentrasi logam berat Cd pada tanah tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khusunya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik dan sebagai informasi bagi masyarakat dan industri dikemudian hari.

Selama penelitian tugas akhir dan penyusunan laporan penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak dan untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Drs. Edy Suandi Hamid, MEc selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.

2. Bapak Prof. Ir. H. Widodo , MSCe, Phd selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. Kasam, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Sismanto selaku dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
5. Bapak Luqman Hakim, ST. Msi selaku dosen Pembimbing II Tugas Akhir
6. Bapak Andik Yulianto, ST atas sharing dan masukannya selama ini.
7. Bapak Eko Siswoyo, ST selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan dan Penanggung Jawab Tugas Akhir.
8. Bapak Hudori, ST selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
9. Bapak Tasyono selaku Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan.

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

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 15 Mei 2006

AZRI IRVANDI

DAFTAR TABEL

TABEL 4.1 Bahan-Bahan Pencemar beserta Sumber Pencemar yang Terdapat di dalam Tanah 43

TABEL 4.2 Hasil Pengukuran pH pada Area I 45

TABEL 4.3 Hasil Pengukuran pH pada Area II 46

TABEL 4.4 Hasil Pengukuran pH pada Area III 46

TABEL 4.5 Beberapa Contoh larutan buffer 53

TABEL 4.6 Konsentrasi Cd rata-rata pada Area I 55

TABEL 4.7 Konsentrasi Cd rata-rata pada Area II 55

TABEL 4.8 Konsentrasi Cd rata-rata pada Area III 56

TABEL 4.9 Konsentrasi Cd Awal dan yang Menempel pada Katoda 62

TABEL 4.10 Konsentrasi Cd rata-rata pada Area Inefektif 64

TABEL 4.11 Hasil pengukuran Resistensi pada masing-masing Area 69

TABEL 4.12 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap pH pada Area I 71

TABEL 4.13 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap pH pada Area II 72

TABEL 4.14 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap pH pada Area III 72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PrinsipDasar Remediasi Elektrokinetik 21

Gambar 2.2 Konfigurasi Elektroda 1-D dan 2-D *Hexagonal* 31

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 38

Gambar 3.2 Konfigurasi Elektroda 2-D *Hexagonal* 40

Gambar 3.3 Desain Wadah dan *Power Supply* 40

Gambar 3.4 Desain Elektroda pada Tanah 41

Gambar 3.5 Disain Titik Sampling.....42

Gambar 4.1 Hubungan pH terhadap Jarak pada Waktu 3 jam 47

Gambar 4.2 Hubungan pH terhadap Jarak pada Waktu 6jam 48

Gambar 4.3 Hubungan pH terhadap Jarak pada Waktu 9 jam 48

Gambar 4.4 Hubungan pH terhadap Jarak pada Waktu 12 jam 49

Gambar 4.5 Hubungan antara pH dan Waktu pada Area I 50

Gambar 4.6 Hubungan antara pH dan Waktu pada Area I 50

Gambar 4.7 Hubungan antara pH dan Waktu pada Area I 51

Gambar 4.8 Hubungan antara pH,Waktu dan Jarak 52

Gambar 4.9 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap Jarak pada Waktu 3 jam 57

Gambar 4.10 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap Jarak pada Waktu 6 jam 57

Gambar 4.11 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap Jarak pada Waktu 9 jam 58

Gambar 4.12 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap Jarak pada Waktu 12 jam 58

Gambar 4.13 Hubungan Konsentrasi Cd terhadap Waktu 59

Gambar 4.14 Hubungan antara Konsentrasi Kadmium dengan Waktu Pada Area Inefektif 64

Gambar 4.15 Bentuk Area Efektif dan Inefektif karena Distribusi Medan Listrik 66

Gambar 4.16 Efisiensi Penurunan Konsentrasi Kadmium pada masing-masing Area 68

Gambar 4.17 Hubungan antara Resistensi terhadap Waktu.....70

Gambar 4.18 Hubungan antara Konsentrasi terhadap pH Area I.....73

Gambar 4.19 Hubungan antara Konsentrasi terhadap pH Area II.....73

Gambar 4.20 Hubungan antara Konsentrasi dengan pH Area III.....73

Gambar 4.21 Hubungan antara Konsentrasi dengan pH Area Efektif.....74

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
ABSTRAC iii
INTISARI iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
SPECIAL THANKS vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR ISI xiv
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Lapisan Tanah 5
2.2 Sifat Kimia dan Fisik Tanah 7
2.2.1 Sel Elektrokimia dan Potensial kimia 7
2.2.2 Larutan Tanah 8
2.2.3 Kimia Koloid Penyusun Tanah 8
2.2.4 Pertukaran Kation 11
2.2.5 Pertukaran Anion 12

2.2.6 Lempung Kaolinit 12
2.3 Kimia Tanah 13
2.4 Logam Berat 13
2.5 Pencemaran Tanah 15
2.6 Pencemaran Logam Berat dalam tanah 16
2.7 Kadmium 17
2.7.1. Sifat dan Kegunaan Kadmium 17
2.7.2 Polusi dan Keracunan Kadmium 18
2.8 Remediasi Elektrokinetik 25
2.8.1 Reaksi pada Anoda 20
2.8.2 Reaksi pada Katoda 25
2.8.3 Tipe Lempung 26
2.8.4 Tipe Kontaminan dan Konsentrasi 27
2.8.5 Tingkatan Voltase dan Arus 28
2.8.6 Kimia Efluen 28
2.8.7 Material, Konfigurasi dan Elektroda 29
2.9 Landasan Teori 31
2.10 Hipotesis 33

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian 34
3.2 Waktu Penelitian 34
3.3 Metode Pengumpulan Data 34
3.4 Metode Ekspermen 35
3.4.1 Persiapan Alat dan bahan 35
3.4.2 Tahap Penelitian 37
3.4.3 Tahap Analisis 39
3.5 Desain 39

3.5.1 Kebutuhan Elektroda 39
3.5.2 Desain Wadah dan Berat Tanah 40
3.5.3 Desain Wadah dan Elektroda 41
3.5.4 Desain Titik Sampling 42

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
4.1 Hasil Analisis pH pada Area Efektif 45
4.2 Hasil Analisis Kadmium 54
4.2.1 Hasil Analisis Konsentrasi Kadmium pada Area Efektif 54
4.2.2 Hasil Analisis pada Batang Katoda.....61
4.2.3 Hasil Analisis Kadmium pada Area Inefektif 63
4.3 Hasil Analisis Efesiensi Penurunan kadmium pada Area Efektif dan Area Inefektif 66
4.4 Hasil Analisis Resistensi, Arus dan Voltase..... 69
4.5 Hasil Analisis Hubungan antara Konsentrasi, pH dan Waktu pada Area Efektif 71

BAB V KESIMPULAN DAN PEMBAHASAN
5.1 Kesimpulan 76
5.2 Saran 76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 . Latar Belakang

Perhatian terhadap masalah lingkungan hidup mulai disuarakan PBB ketika Dewan Ekonomi dan Sosial meninjau hasil gerakan "Dasawarsa Pembangunan I" (1960-1970). Dunia mulai sadar dan khawatir atas kerusakan dan kemerosotan mutu lingkungan hidup di Stockholm1972. Konfrensi Stockholm telah menghasilkan Deklarasi yang kemudian dinamakan "Deklarasi Stockholm" yang memuat 26 azaz Lingkungan Hidup.

Pada saat manusia masih sedikit jumlahnya dan kehidupan berpencar, tidak timbul masalah pencemaran, tetapi sejak manusia hidup dalam kelompok dan jumlahnya semakin banyak dan munculnya berbagai industri maka timbul masalah. Salah satu yang merisaukan adalah pencemaran air yang semakin berat yang menimbulkan efek terhadap pencemaran tanah.

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, Cu, Cr Pb, pada konsentrasi tertentu dapat menghambat pertumbuhan dan aktifitas respirasi mikroorganisme (Parizek, 1978). Selain itu logam-logam berat di tanah tertransportasi mengikuti aliran air tanah menyebar ke tempat yang lebih rendah dalam waktu yang lama sehingga dapat mencemari air tanah.

Salah satu logam berat yang mencemari tanah adalah kadmium (Cd). Kadmium mulai memboming dan mendapat perhatian masyarakat dunia sejak adanya penyakit itai-itai yang terjadi di Jepang. Penyakit ini merupakan salah satu contoh dari efek negatif yang dapat ditimbulkan oleh logam ini. Selain itu, kadmium dapat menyebabkan penyakit paru-paru, jantung dan kanker (Pallar,1994)

Untuk mengatasi permasalahan lingkungan tersebut, salah satu upaya yang dapat ditempuh adalah dengan cara pemulihan (remediasi) tanah. 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. Menurut Evanko (1997), teknologi remediasi secara umum dapat dilakukan dengan isolasi, immobilisasi, reduksi toxisitas, pemisahan fisis dan ekstraksi.

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.

Kesuksesan penanggulangan pencemaran tanah hendaknya tidak dipandang dan dilaksanakan hanya melalui satu bidang ilmu kajian saja. Kerjasama yang baik dari berbagai bidang ilmu dan juga metode akan lebih mengefektifkan pembersihan pencemaran, sehingga pembersihan bisa dilakukan dengan akurat dan tidak perlu diulang pada masa-masa mendatang.

1.2 . Perumusan Masalah

1. Apakah dengan metode remediasi elektrokinetik dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal* dapat menurunkan konsentrasi logam berat kadmium pada tanah yang tercemar
2. Seberapa besar pengaruh waktu kontak dan jarak terhadap penurunan konsentrasi kadmium dalam proses remediasi elektrokinetik dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.
3. Bagaimana fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfiguarasi 2-D *hexagonal* pada tanah yang tercemar logam berat kadmium.

1.3 . Tujuan Penelitian

1. Mangetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam berat kadmium pada tanah yang tercemar dengan proses remediasi elektrokinetik tipe 2-D *hexagonal.*

2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap penurunan konsentrasi kadmium dalam proses remediasi elektrokinetik tipe 2-D *hexagonal*.
3. Mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal* pada tanah yang tercemar logam berat kadmium.

1.4 . Manfaat Penelitian

1. Untuk menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khususnya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai informasi dan masukan bagi masyarakat dan pelaku industri.

1.5 . Batasan Masalah

1. Menganalisa logam berat kadmium pada tanah yang tercemar dan remediasi elektrokinetik menggunakan konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal*.
2. Jarak antar elektroda 15 cm dan waktu 12 jam dengan interval waktu 3 jam.
3. Bahan yang digunakan adalah tanah kaolin dicampur dengan kontaminan kadmium

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lapisan Tanah

Tanah merupakan bagian tertipis dari seluruh lapisan bumi, tetapi pengaruhnya terhadap kehidupan sangat besar. Tanah adalah tempat produksi sebagian besar makanan bagi mahkluk hidup. Tanah terdiri atas berbagai lapisan yang disebut horison-horison. Dengan demikian dikenal lapisan atas atau horison A atau *top soil*, di bawahnya ada horison B atau *sub soil*, dan kemudian didapat horizon C yang terdiri atas hasil pelapukan batuan, dan di bawahnya lagi terdapat batu-batuan atau *bedrock* (Manahan, 1972)

Tanah pada umumnya gembur, terdiri atas mineral padat, zat organik (5%), air, dan ruang-ruang udara. Sifat-sifat inilah yang memungkinkan terjadinya interaksi antara litosfir, atmosfir, hidrosfir, dan biosfir. Kegemburan memungkinkan penetrasi akar tumbuhan dan bersarangnya hewan, adanya aerasi atau pertukaran antara gas oksigen dan karbondioksida yang diperlukan sangat menopang bagi kelangsungan hidup hewan dan tumbuhan. Udara di dalam tanah terdapat sebanyak 25 % volume, kadar oksigennya lebih rendah daripada kadar oksigen di atmosfir, karena telah dimanfaatkan oleh mikroba aerob untuk menguraikan zat-zat organik. Dengan

demikian, *carbondioxida* dalam tanah pun jauh lebih banyak (beberapa ratus kali) daripada yang ada di dalam atmosfir (Manahan, 1972).

Jenis dan jumlah zat organik yang ada di dalam tanah sangat tergantung dari suhu, oksigen, dan zat organik di sekitarnya. Di daerah tropis, dimana temperatur cukup tinggi, proses penghancuran zat organik dapat berjalan lebih cepat dan apabila garam-garam hasil penguraian ini dapat mudah mengalir masuk lapisan yang lebih dalam, maka tanah di daerah sedemikian menjadi cepat tidak subur. Jenis tanah serta kandungannya juga menentukan kapasitas pertukaran ion, yang menjadi penting dalam proses terjadinya pencemaran tanah, terutama pencemaran zat kimia dan logam-logam. Baik bagian mineral dan bagian organik saling bertukar kation. Tanah liat sebagai mineral menukar kationnya apabila tersedia tempat-tempat yang bermuatan negatif sebagai akibat dari substitusi atom dengan nomor oksidasi yang lebih rendah dengan nomor oksidasi yang lebih tinggi, misalnya penukaran magnesium terhadap alumunium. Proses pertukaran kation inilah yang biasanya memelihara ketersediaan mineral (K,Ca,Mg) untuk tanaman. Proses yang sama pula yang memungkinkan tertahannya sejumlah logam di dalam tanah, sehingga terjadi pencemaran. Apabila logam tadi dipakai oleh akar tanaman, maka sebagai gantinya didapat ion hidrogen. Proses ini bersama dengan melarutnya Ca, Mg, dan lain-lainnya dalam tanah yang mengandung asam karbonat, cenderung membuat tanah menjadi asam.

2.2. Sifat Kimia dan Fisik Tanah

2.2.1. Sel Elektrokimia dan Potensial Kimia

Sistem tanah merupakan tempat penyimpanan hampir semua unsur hara yang diperlukan tanaman dan juga mengandung permukaan-permukaan aktif yang menentukan konsentrasi ion di dalam larutan tanah. Gerakan ion, akumulasi, ketersediaan unsur dan penyerapannya oleh tanaman, perubahan dalam tingkat oksidasi dan reduksi suatu unsur dan banyak lagi reaksi kimia yang lain di dalam tanah adalah reaksi-reaksi yang hingga tingkat tertentu mirip dengan yang terjadi di dalam sel elektrokimia. Di dalam kimia murni dikenal 2 jenis sel elektrokimia, yaitu (a). Sel galvanik atau voltaik dan (b). sel elektrolitik. Sel galvanik terdiri dari 2 elektroda dan 1 atau lebih larutan (dua sel-paruh). Jenis ini mampu secara spontan mengubah energi kimia dari larutan ke energi listrik dan menyalurkannya ke suatu sumber. Batere mobil (aki) merupakan suatu contoh dari jenis sel galvanik. Dalam sel elektrolit, energi listrik disediakan dari suatu sumber luar. Perubahan-perubahan elektrokimia dihasilkan pada antar permukaan elektrode-larutan, dan perubahan konsentrasi terjadi dalam sistem larutan. Jika arus listrik di luar diputus,sistem ini akan cendrung menghasilkan arus elektron dengan arah yang berlawanan. Gaya tarik listrik luar terendah yang harus diberikan untuk menghasilkan pemisahan antara kation dan anion (elektrolisis) secara terus menerus disebut voltase dekomposisi (Kim, 1998).

2.2.2. Larutan Tanah

Sistem tanah tersusun oleh 3 fase : (1). Padat, (2). Cair, (3). Gas. Fase padat merupakan campuran mineral dan bahan organik dan membentuk jaringan kerangka tanah. Dalam jaringan ini terbungkus sistem ruang pori, yang ditempati bersama oleh fase cairan dan gas. Komposisi dan perilaku kimia fase cairan dan gas ditentukan oleh interaksinya dengan fase padat. Fase gas atau udara tanah merupakan campuran dari bebagai gas. Kebanyakan reaksi biologi di dalam tanah menggunakan oksigen dan menghasilkan karbondioksida. Fase cairan, yang juga disebut larutan tanah terdiri atas air dan zat-zat terlarut. Larutan tanah merupakan tempat berendam akar tanaman dan merupakan sumber perolehan unsur hara inorganik dan air bagi akar dan organisme lainnya (Kim, 1998).

2.2.3. Kimia Koloid Bahan Penyusun Tanah

2.2.3.1. Kimia Permukaan Lempung Tanah

Banyak reaksi kimia dari lempung tanah merupakan gejala permukaan, misalnya pertukaran kation. Permukaan lempung dapat dibagi dalam 3 kategori yaitu:

1. Permukaan yang terbentuk terutama oleh rangkaian Si-O-Si dari tetrahedron silika,
2. Permukaan yang terbentuk oleh rangkaian O-Al-OH dari oktahedron alumina, dan

3. Permukaan yang terbentuk oleh –Si-OH atau –Al-OH dan senyawa-senyawa amorf.

Kategori permukaan pertama dicirikan oleh bidang-bidang permukaan yang terbentuk oleh atom-atom oksigen, yang dilapis bawahi oleh atom-atom silikon dari tetrahedron. Tipe permukaan ini cocok disebut sebagai permukaan "siloksana dank has" untuk tipe lempung 2:1.

Tipe kedua, permukaan mineral lempung dicirikan oleh bidang gugus hidroksil (OH) yang terbuka, dilapis bawahi oleh atom-atom Al, Fe, atau Mg pada pusat oktahedron dengan lempung tipe 1:1.

Tipe permukaan yang ketiga dibentuk oleh –Si-OH, yang disebut permukaan silanol dan -Al-OH disebut permukaan aluminol. Tipe-tipe tersebut khas dijumpai pada tanah-tanah yang banyak mengandung gel silika amorf dan /atau alofan. Biasanya senyawa dengan permukaan silanol dan aluminol mempunyai luas permukaan yang besar, sedang semua gugus hidroksil dapat dengan mudah dicapai (Kim, 1998).

2.2.3.2. Asal Muatan Negatif dalam Mineral Lempung

Lempung tanah biasanya mengandung muatan elektronegatif, yang memungkinkan terjadinya reaksi pertukaran kation. Muatan ini merupakan hasil dari satu atau lebih dari beberapa reaksi yang berbeda. Dua sumber utama bagi asal usul muatan negatif dalam mineral lempung adalah sebagai berikut :

a. Substitusi Isomorfik

Proses ini dianggap sebagai sumber utama muatan negatif dalam lempung lapis 2:1. Sebagian dari silikon dalam lapisan tetrahedral dapat diganti oleh ion yang berukuran sama, yang biasanya adalah Al^{3+}. Dengan cara yang sama, sebagian dari Al dalam lembar oktahedral dapat diganti oleh Mg^{2+}, tanpa mengganggu struktur kristal. Proses pergantian semacam ini disebut substitusi isomorfik. Muatan negatif yang dihasilkan dianggap sebagai muatan permanen, karena tidak berubah dengan berubahnya pH.

b. Disosiasi dari Gugus Hidroksi yang Terbuka

Keberadaan gugus OH pada tepi kristal atau pada bidang yang terbuka, dapat juga menimbulkan muatan negatif. Khususnya pada pH tinggi, hidrogen dari hidroksil tersebut terurai sedikit dan permukaan lempung menjadi bermuatan negatif, yang berasal dari ion oksigen. Muatan negatif tipe ini disebut muatan berubah-ubah atau muatan tergantung pH dan tipe koloid. Jenis muatan ini sangat penting pada lempung tipe 1:1, lempung oksidasi besi aluminium dan koloid organik (Kim, 1998).

2.2.3.3. Lapisan Rangkap Listrik

Akibat adanya muatan elektronegatif, lempung dalam suspensi dapat menarik kation. Ion-ion bermuatan positif tidak secara seragam dalam seluruh medium

dispersi. Mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung. Sebagian kation tersebut bebas unruk dipertukarkan dengan kation yang lain. Dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan dari ion lawan yang bermuatan positif. Muatan negatif pada permukaan lempung beserta kumpulan ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik. Lapisan pertama dari lapisan rangkap tersebut terbentuk dari muatan pada permukaan lempung. Secara teknis muatan tersebut berupa muatan titik yang terlokalisasi. Akan tetapi, kita biasanya menganggap muatan ini pada permukaan lempung.

Lapisan kedua dari lapisan rangkap tersebut berada dalam lapisan cair yang berdekatan dengan permukaan lempung. Ion lawan positif dalam lapisan ini tertarik pada permukaan lempung, tetapi pada waktu bersamaan mereka bebas menyebar secara merata dalam keseluruhan fase larutan (Kim, 1998).

2.2.4. Pertukaran Kation

Oleh karena koloid lempung menyandang muatan negatif, kation-kation tertarik oleh partikel lempung. Kation-kation tersebut diikat secara elektrostatik pada permukaan lempung. Kebanyakan dari kation-kation ini bebas menyebar di dalam fase larutan dengan difusi. Kation-kation ini disebut kation terjerap. Istilah pertukaran kation lebih disukai dari pada istilah pertukaran basa karena reaksinya juga melibatkan ion H^+. Ion hidrogen adalah suatu kation, tetapi bukan basa. Kation-kation yang terjerap dapat dipertukarkan dengan kation lainnya. Proses penggantian ini disebut pertukaran kation.

2.2.5. Pertukaran Anion

Muatan positif dapat terjadi pada tepi-tepi mineral lempung. Muatan jenis ini biasanya mempunyai nilai pH di bawah titik isoelektrik atau muatan titik nol. Oleh karena itu, permukaan tepi yang patah dari suatu lembar oktahedra mempunyai lapisan rangkap bermuatan positif pada pH rendah. Lapisan rangkap ini makin bersifat positif dengan menurunnya pH.

2.2.6. Lempung Kaolinit

Mineral kaolinit adalah alumino-silikat terhidrasi dengan komposisi kimia umum Al_2O_3:SiO_2:H2O = 1:2:2, atau 2 $SiO_2.Al_2O_3.2H_2O$ per sel unit. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, secara struktural mineral lempung ini tergolong tipe filosilikat tipe 1:1.

Substitusi isomorfik hanya sedikit dan muatan permanen tiap sel satuan, jika tidak nol, sangat kecil. Akan tetapi akibat kehadiran gugus hidroksil yang terbuka, kaolinit mempunyai muatan negatif yang berubah-ubah, atau tergantung pH. Seperti yang dapat diperhatikan dari strukturnya, posisi dari gugus OH membuka kemungkinan untuk disosiasi H^+, yang merupakan penyebab terbentuknya muatan berubah-ubah, terutama bidang gugus hidroksil pada permukaan terbuka dari situs oktahedra. Kapasitas tukar kation sangat rendah dan berubah dengan pH.

Partikel kaolinit tidak mudah dihancurkan sehingga menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya mengerut dan mengembang yang rendah. Luas permukaannya

yang sempit membatasi kapasitas tukar kation. Luas permukaan spesifiknya adalah sekitar 7 sampai $30m^2/g$ (Kim, 1998).

2.3. Kimia Tanah

Hampir 90% kandungan dalam tanah berisi bahan-bahan mineral. Kandungan mineral yang ada terbagi atas mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer berasal dari batuan induk, mengandung banyak pasir dan lanau, misalnya kuarsa dan mika. Mineral sekunder berada dalam fraksi liat. Elemen yang terkandung dalam mineral tanah berada dalam berbagai bentuk yang merupakan suatu keseimbangan komplek. Hasil akhir kesetimbangan ini adalah garam-garam terlarut dan elemen-elemen yang teradsorpsi yang keberadaaannya menyatakan keberadaan nutrien tanah (Kim, 1998).

2.4. Logam Berat

Salah satu bahan berbahaya dan beracun adalah logam berat, seperti Hg, Pb, Cu, Cr, Cd dan Ni. Logam berat sebenarnya masih termasuk golongan logam dengan criteria yang sama dengan logam lainnya. Perbedaannya terletak pada pengaruh yang dihasilkan apabila logam ini berikatan dan masuk ke dalam tubuh organisme hidup akan timbul pengaruh khusus. Menurut Pallar (1994), Kelompok logam berat memiliki cirri sebagai berikut:

a. Spesifik grafity yang sangat besar (lebih dari 4).

b. Mempunyai nomor atom 22-34 dan 40-50 serta unsur laktinida dan aktinida.

c. Mempunyai respon biokimia spesifik pada organisme hidup.

Pencemaran air oleh komponen anorganik, antara lain oleh logam berat yang dapat mencemari lingkungan dan melebihi ambang batas berbahaya bagi kehidupan lingkungan. Logam berat yang sering mencemari lingkungan antara lain Mercuri (Hg), Timbal (Pb), Cadmium (Cd), Arsenik (As), Kromium (Cr) dan Nikel (Ni). Logam berat yang masuk secara berlebihan ke dalam tubuh akan berubah fungsi menjadi zat beracun bagi tubuh dan merusak tubuh mahluk hidup.

Menurut Djajadiningrat (1992), Logam-logam berat tersebut dapat menggumpal dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh pada jangka waktu lama sebagai racun yang terkumulasi, hal ini dapat menimbulkan masalah karena logam-logam berat tersebut mempunyai sifat sebagai berikut:

a. Beracun.

b. Tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh mikroorganisme.

c. Dapat terakumulasi dalam tubuh organisme termasuk manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menurut Martopo (1989), Bedasarkan sifat racunnya logam dikelompokkan menjadi empat golongan yaitu:

a. Sangat racun, yaitu dapat menyebabkan kematian atau gangguan kesehatan yang tidak pulih dalam waktu singkat. Logam yang sangat racun diantaranya: Pb, Hg, Cd, Cr, As, Sb, Ti, U dan Be.

b. Moderat, yaitu dapat menyebabkan gangguan keehatan baik yang dapat pulih maupun yang tidak pulih dalam jangka waktu yang relatif lama. Logam moderat tersebut diantaranya: Ba, Cu, Au, Li, Mn, Se, Te, Va dan Rb.

c. Kurang racun, yaitu logam yang dalam jumlah besar dapat mengakibatkan gangguan kesehatan. Logam kelompok kurang beracun diantaranya: Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag dan Zn.

d. Tidak racun, artinya tidak menimbulkan gangguan kesehatan dan logam tidak racun diantaranya: Al dan Na.

2.5. Pencemaran Tanah

Tidak jauh beda dengan udara dan air, tanah pun dapat mengalami pencemaran. Tanah mengalami pencemaran apabila ada bahan-bahan asing baik yang bersifat organik maupun anorganik berada di dalam maupun di permukaan tanah yang menyebabkan tanah menjadi rusak tidak dapat menjadi daya dukung bagi kehidupan manusia.

Apabila bahan-bahan asing tersebut berada di daratan dalam waktu yang lama dan menimbulkan gangguan terhadap kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan maka dapat dikatakan bahwa tanah mengalami pencemaran.

Kemajuan industri dan teknologi yang berkembang pesat dewasa ini selain dapat menimbulkan pencemaran udara dan air dapat juga menimbulkan pencemaran terhadap tanah.

Pencemaran tanah relatif mudah untuk diamati dibanding dengan pencemaran udara maupun air. Secara garis besar pencemaran tanah dapat disebabkan oleh :

a. Faktor Internal, yaitu pencemaran yang disebabkan oleh peristiwa alam, seperti letusan gunung berapi yang memuntahkan abu, pasir batu dan bahan vulkanik lainya yang menutupi dan merusak daratan sehingga daratan menjadi tercemar.
b. Faktor Eksternal, yaitu pencemaran daratan karena ulah dan aktivitas manusia. Pencemaran daratan karena faktor eksternal merupakan masalah yang perlu mendapat perhatian seksama dan sungguh-sungguh agar tanah tetap dapat memberi daya dukung alamnya bagi kehidupan manusia (Wardana, 1995).

2.6. Pencemaran Logam Berat dalam Tanah

Pencemaran logam berat dalam tanah erat kaitannya dengan pencemaran udara dan air. Partikel logam berat yang berterbangan di udara akan terbawa oleh air hujan yang membasahi tanah sehingga timbul pencemaran tanah. Derajat keasaman tanah adalah faktor utama dalam ketersediaan logam berat dalam tanah. Tanah yang asam akan menaikkan pembebasan logam berat dalam tanah. Naiknya ketersediaan logam berat dalam tanah dapat meningkatkan kandungan logam berat dalam tanah.

Akumulasi logam berat dalam tanah tidak hanya tergantung pada kandungan dalam tanah tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam berat dan spesies tanaman.

Pencemaran yang dihasilkan dari logam berat sampai tingkat tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia.

2.7. Kadmium

Kadmium merupakan unsur logam termasuk limbah bahan berhaya dan beracun yang bersifat toksik, dimana keberadaannya di dalam air sangat membahayakan kelangsungan hidup organisme yang harus diminimalkan melalui suatu proses pengolahan. Dewasa ini kadmium merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik yang tersebar luas dilingkungan perairan, terutama di daerah pantai dan muara.

2.7.1. Sifat dan Kegunaan Kadmium

Logam kadmium (Cd) selalu ada bercampur dengan logam lain, terutama dalam pertambangan seng (Zn) dan timah hitam (Pb) yang selalu ditemukan kadmium dengan kadar 0,2-0,4 %. Sifat dan kegunaan logam ini adalah:

a. Merupakan sifat tahan panas sehingga sangan bagus untuk pencampuran pembuatan bahan-bahan keramik, enamel dan plastik.
b. Sangat tahan terhadap korosi sehingga bagus untuk melapisi pelat, besi dan baja.

Kadmium berwarna putih keperakan menyerupai alumanium. Logam ini digunakan untuk melapisi logam seperti halnya seng, sehingga kualitasnya menjadi baik walaupun harganya lebih mahal. Logam ini biasa digunakan sebagai elektrodialisis yakni logam direndam atau disemprot. Seperti halnya Pb, Cd juga banyak digunakan sebagai bahan pigmen pembuatan cat, enamel, dan plastik, biasanya dalam bentuk sulfida yang dapat memberi warna kuning sampai coklat sawo matang.

Bentuk garam kadmium dari asam lemah sangat bagus untuk stabilisator pada pembuatan PVC ataupun plastik untuk mencegah radiasi dan oksidasi. Kadmium dan Nikel (Ni) juga dapat digunakan untuk pembuatan aki (baterai) Cd-Ni (Darmono, 1995).

Selain itu kadmium banyak digunakan dalam industri-industri ringan seperti pada proses pengolahan roti, pengolahan ikan, pengolahan minuman, industri tekstil dan lain-lain. Banyak dilibatkan senyawa-senyawa yang dibentuk dengan logam Cd meskipun penggunaannya hanyalah dengan konsentrasi yang sangat rendah (Palar, 1994).

2.7.2. Polusi dan Keracunan Kadmium

Kadmium masuk kedalam tubuh manusia melalui air, makanan atau pernafasan dengan menghirup debu dan asap Cd. Meskipun demikian Cd yang masuk kedalam tubuh dengan menghirup udara yang tercemar hanya 2% saja pada manusia,

akan tetapi terbukti penerapan Cd lebih efektif lewat saluran pernafasan dari pada saluran pencernaan (Arena, 1976)

Keracunan yang disebabkan oleh Cd dapat bersifat akut dan keracunan kronis. Keracunan akut yang disebabkan oleh Cd sering terjadi pada pekerja di industri-industri yang berkaitan dengan logam ini. Peristiwa keracunan akut ini terjadi karena para pekerja tersebut terkena paparan uap logam Cd. Gejala-gejala keracunan akut yang disebabkan oleh keracunan Cd adalah timbulnya rasa sakit dan panas pada bagian dada. Gejala keracunan akut ini mulai muncul setelah 4-10 jam sejak sipenderita terpapar uap logam Cd. Akibat dari keracunan logam Cd ini dapat menimbulkan penyakit paru-paru yang akut. Penyakit paru-paru akut ini dapat terjadi apabila penderita terpapar oleh uap Cd dalam waktu 24 jam, lebih jauh keracunan akut yang disebabkan oleh keracunan Cd dapat menimbulkan kematian apabila konsentrasi yang mengakibatkan keracuanan tersebut berkisar 2500-2900mg/m^3.

Keracunan yang bersifat kronis yang disebabkan oleh daya racun yang dibawa oleh logam Cd terjadi dalam selang waktu yang sangat panjang. Peristiwa ini terjadi karena logam Cd yang masuk kedalam tubuh dalam jumlah kecil, akan tetapi bila proses masuknya tersebut terus-menerus secara berkelanjutan, maka tubuh pada batas akhir tidak mampu memberikan toleransi terhadap daya racun yang dibawa oleh Cd. Keracunan yang bersifat kronis ini membawa akibat yang lebih buruk dan penderita yang lebih menakutkan apabila dibandingkan dengan keracunan akut.

Pada keracunan yang disebabkan oleh Cd, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat rusak oleh keracunan kronis logam Cd ini adalah pada sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan/paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung (Palar, 1994).

2.8. Remediasi Tanah

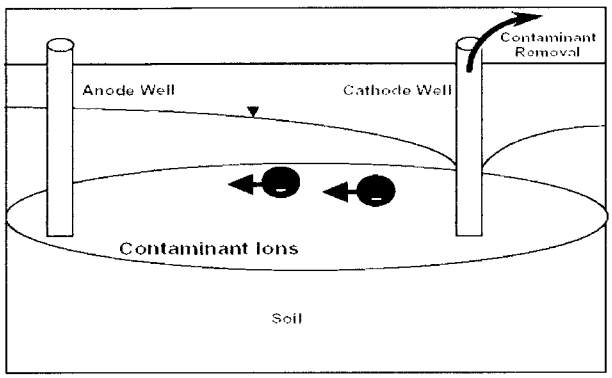
Remediasi berasal dari bahasa Inggris *remediation* yang berarti pemulihan (Echols dan Shadily, 1990). Remediasi tanah atau *soil remediation* adalah pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi tanah sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Menurut Evanko (1997), teknologi remediasi secara umum dapat dilakukan dengan isolasi, immobilisasi, reduksi toksisitas, pemisahan fisis dan ekstraksi.

2.9. Remediasi Elektrokinetik

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan tanah terkontaminasi 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 antara 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, dipadatkan/dipekatkan 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

Elektrokinetik merupakan penggunaan medan listrik pada media tanah agar air, ion-ion, molekul-molekul polar serta zat-zat pencemar di dalamnya dapat digerakkan/ berpindah.(Pamukcu, 1994). Pada teknologi ini, elektroda-elektroda ditempatkan pada tanah secara vertikal maupun horizontal. Ketika arus DC digunakan pada elektroda, dihasilkan tanah yang terpengaruh medan listrik oleh katoda dan anoda. Metode pemulihan tanah secara elektrokinetik memiliki beberapa proses, yaitu:

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 subtituion*, penyerapan dari muatan ion dan reaksi penyatuan atau pemecahan proton.

Elektroosmosis menghasilkan aliran air 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 kearah yang ditentukan oleh sifat alami atau dari sifat air dan tanah. Dalam rongga lempung, permukaan menjadi negative 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 dapat mempengaruhi penghilangan kontaminan dari elektroosmosis. Penguraian organic bergantung dari tingkat kelarutan air dan rendahnya daya serap (benzene, toluene, trichloroethylene) bisa dihilangkan dengan mudah dari tanah yang jenuh dengan elektrosmosis. Penguraian organic

dengan kelarutan rendah dan tingkat penyerapan yang tinggi (*hexane* dan *isooctane*) dapat dihilangkan dengan elektroosmosis yang ditingkatkan dengan surfaktan. Elektrosmosis adalah kunci mekanisme dalam menghilangkan kontamianan nonpolar organik dari tanah dengan permeabilitas rendah (Pamukcu dan Wittle, 1993).

b. Elektromigrasi.

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 akhirnya, ion-ion yang dipekatkan/dipadatkan tersebut akan mendekati elektroda atau mengalami reaksi pada elektroda dengan logam-logam pencemar tersebut naik ke arah elektroda dan melepaskan komponen berbentuk gas.

c. Elektrophoresis.

Elektrophoresis adalah pengangkutan dari muatan koloid atau partikel padat di bawah medan listrik arus searah. Porositas dalam elektrophoresis menjadi kurang penting karena padatan tidak bisa berpindah, tapi dalam beberapa kasus electrophoresis dari koloid tanah bisa berperan dalam dekontaminasi jika koloid yang pindah mempunyai karakteristik kimia yang bisa diserap. Peran penting dari perpindahan electrophoresis adalah keperpindahan kontamianan

mungkin terjadi ketika kontaminan berada dalam bentuk koloid berektrolisis. Koloid terbuat dari kelompok yang terionisasi yang menempel pada molekul organik yang besar (makro molekul) dan kumpulan ion (Pamukcu and Wittke, 1993).

d. Elektrolosis air.

Electrolysis merupakan reaksi kimia yang terjadi dengan medan listrik. Perubahan pH karena pengaruh arus merupakan reaksi elektrolisis pada elektroda. Terjadinya 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 *hidroxyl* (OH^-) yang kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar dkk, 1990).

Transport pada ion-ion H^+ diperkirakan 2 kali lebih cepat daripada ion-ion OH^-. Elektrolisis air yang terjadi dalam katoda adalah sebagai berikut:

Dalam anoda : $2\ H_2O \longrightarrow 4\ H^+ + O_2 + 4\ e$ ..... (2.1)

Dalam katoda : $2\ H_2O + 2\ e \longrightarrow 2\ OH^- + H_2$ ..... (2.2)

2.9.1. Reaksi-reaksi pada Katoda

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

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

$$2\ H_2O + 2\ e \longrightarrow 2\ OH^- + H_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

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

$$2\ H^+ + 2\ e \longrightarrow H_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

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 permukaaan batang katoda.

$$A^{x+} + x\ e \longrightarrow A^0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.5)$$

2.9.2. Reaksi-reaksi pada Anoda

Reaksi pada anoda adalah oksidasi terhadap anion. Jadi yang perlu diperhatikan adalah 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).

$$4\ OH^- \longrightarrow 2\ H_2O + O_2 + 4\ e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

c. Anion-anion yang lain ($SO^{=}$, NO_3^-, dsb) tidak dapat dioksidasi dari larutan. Yang akan mengalami oksidasi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas oksigen (O_2) pada anoda (Setiono,1990).

$$2\,H_2O \longrightarrow 4\,H^+ + O_2 + 4\,e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.7)$$

2.9.3. Tipe Lempung

Hasil yang didapatkan dari *bench-scale laboratory* dan percobaan skala lapangan mengindikasikan bahwa teknologi elektrokinetik ini dapat sukses diaplikasikan pada *clayey* (lempungan) sampai tanah *fine sandy* (pasiran halus). Hal ini menunjukkan bahwa tipe tanah bukan merupakan batasan yang signifikan. Bagaimanapun, kecepatan transport kontaminan dan efisiensinya tergantung pada tipe tanah dan variabel lingkungan. Tanah dengan aktifitas tinggi, seperti *illite*, *montmorillonite* dan *kaolinit* menunjukkan tingginya buffer asam/basa dan memerlukan asam berlebih dan perantara peningkat untuk *desorb* dan pelarutan kontaminan *sorbed* pada permukaan partikel tanah sebelum mereka dapat mentransportkan keluar *subsurfase* (bawah permukaan) dan *removal*. Teknologi ini dapat diaplikasikan untuk mengolah lapisan tanah *heterogenous* secara efektif (Alshawabkeh,1999).

Sistem air, partikel, elektrolit tanah lempung pada umumnya terdiri dari 3 zone berbeda : butiran partikel tanah liat dengan permukaan bermuatan negatif, pori-pori aliran dengan muatan positif berlebih dan pori-pori bebas aliran dengan jaringan muatan nol. Muatan jaringan negatif pada permukaan partikel lempung memerlukan

suatu muatan positif berlebih (kation dapat ditukarkan) yang didistribusikan ke dalam zone cairan yang bersebelahan dengan permukaan tanah lempung membentuk difusi lapisan ganda (*double layer*). Kuantitas kation-kation yang dapat ditukarkan ini diperlukan muatan penyeimbang *deficiency* tanah liat yaitu dengan memasukkan kapasitas pertukaran kation dan dinyatakan dalam milliequivalents per 100 gram dari tanah lempung kering (Alshawabkeh, 2001).

2.9.4. Tipe Kontaminan dan Konsentrasi

Teknologi elektrokinetik ini dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat, radionuklida dan organik. *Removal* organik *non polar* fase bebas dimungkinkan jika mereka berada sebagai gelembung kecil yang dapat dibawa oleh adveksi elektroosmosis. Kontaminan dalam bentuk koloid dapat juga dihilangkan dengan efek kombinasi *electroosmotic advection* dan *electhroporetic migration.* 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. Konsentrasi kontaminan berlebih bukan merupakan halangan untuk mengaplikasikan proses tersebut (Alshawabkeh, 1999).

2.9.5. Tingkatan Voltase dan Arus

Intensitas arus listrik yang digunakan biasanya beberapa puluh mA/cm^2. Intensitas arus tinggi, dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport

untuk memfasilitasi proses *removal* kontaminan. Rapat arus (*current density*) berada dalam kisaran antara 1-10 A/m^2 lebih efisien. Bagaimanapun, pemilihan rapat arus dan kuat medan listrik tergantung pada sifat-sifat elektrokimia dari tanah yang akan diolah dan konduktivitas partikel listrik. Tingginya konduktivitas listrik tanah menunjukkan tingginya rapat arus yang dibutuhkan untuk mengatur kekuatan medan listrik yang dibutuhkan. Kuat medan listrik yang biasa digunakan kurang lebih 50 V/m untuk menunjukkan estimasi proses (Alshawabkeh, 1999).

2.9.6. Kimia Efluen

Kontaminan berada dalam bentuk kimia yang berbeda dalam *subsurfase* dan tergantung pada kondisi lingkungan. Mereka dapat berupa presipitasi padatan, padatan terlarut dalam pori-pori atau air tanah, *komplex sorbed* pada permukaan partikel tanah, dan atau jenis ikatan 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 untuk tanah yang spesifik pula, penambahan ini akan merubah karakteristik serapan pula, penambahan ini harus melalui uji laboratorium, karena penambahan yang salah akan mempersulit proses remediasi (Alshawabkeh, 1999).

2.9.7. Material, Konfigurasi dan Spasi Elektroda

a. Material Elektroda

Bahan kimia yang tidak bereaksi dan bahan yang bisa menghantarkan listrik seperti *grafit, coated titanium* atau *platinum* bisa digunakan sebagai anoda untuk menahan dissolusi elektroda dan berlangsungnya pengkaratan dalam kondisi asam.

b. Konfigurasi Elektroda

Konsentrasi elektroda memberikan perubahan solusi antara elektroda dan lingkungan bawah permukaan yang penting untuk ketepatan fungsi proses. Sebagian besar *bench-scale* dan skala besar laboratorium dan *pilot* skala lapangan pada studi remediasi elektrokinetik menggunakan konfigurasi satu dimensi (1D). Keefektifan dan efisiensi penggunaan remediasi elektrokinetik skala lapangan meliputi konfigurasi elektroda yang optimal, pemakaian konfigurasi elektroda satu dimensi (1D), dua dimensi (2D), atau *aximetrical.* Pembatasan pada penelitian ini pada pemakaian konfigurasi elektroda 2D.

Untuk konfigurasi elektroda 1D, plat elektroda dapat dipasang di lapangan dengan prosedur yang sama dengan instalasi sumbu aliran, dapat juga menggunakan batang elektroda yang dibariskan dan menancap pada tanah. Konfigurasi ini membangun titik-titk medan listrik yang *inactive* (mati). Konfigurasi elektroda 2D meliputi *triangular, square* dan *hexagonal*, perbedaan bentuk pada konfigurasi 1D dengan 2D dapat dilihat pada **Gambar 2.2**. Pada penelitian ini menggunakan bentuk susunan *hexagonal* yaitu sesuai dengan

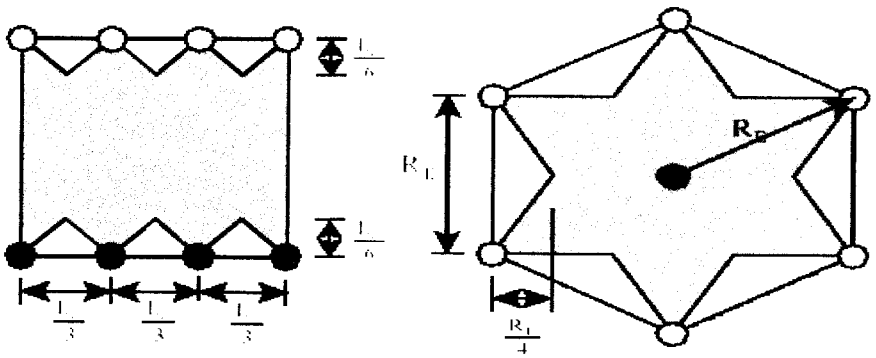
penelitian terdahulu, dimana didapatkan bahwa konfigurasi elektroda 2D *hexagonal* lebih efisien untuk menurunkan kontaminan Cu dalam tanah dibandingkan dengan bentuk dan susunan *triangular* ataupun *square.* Dalam konfigurasi elektroda *hexagonal*, elektroda-elektroda membentuk lubang sarang lebah, berisi katoda yang dikelilingi enam anoda (Chan *and* Lynch, 2002).

Konfigurasi *hexagonal* ini, katoda ditempatkan di tengah dan anoda ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang dibangkitkan dengan anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang dibangkitkan dengan katoda. Titik-titik *inactive* (mati) medan listrik dalam konfigurasi 2D tetap terbentuk, namun lebih kecil dibanding yang terbangun pada 1D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1D, rapat arus (*current density*) lokasinya bebas. Dalam konfigurasi 2D, rapat arus bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda.

c. Jarak Elektroda

Faktor yang mempengaruhi pemilihan spasi elektroda meliputi :

1. Biaya
2. Waktu yang diperlukan



a. b.

Gambar 2.2. Konfigurasi elektroda : a). 1-D b). 2-D *hexagonal* (Alshawabkeh, 2001)

2.10. LANDASAN TEORI

Tanah merupakan tempat penyimpanan semua unsur hara yang diperlukan tanaman dan juga mengandung permukaan-permukaan aktif yang menentukan konsentrasi ion di dalam tanah. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam tanah, pada tingkat-tingkat tertentu memiliki kemiripan dengan reaksi di dalam sel elektrokimia, seperti gerak ion, perubahan oksidasi reduksi, ketersediaan unsur serta penyerapannya.

Mineral-mineral lempung terjadi dalam partikel-partikel berukuran kecil dan terbuat dari lapisan sel satuan berulang. Lempung mengandung muatan elektronegatif, yang merupakan hasil dari satu atau lebih beberapa reaksi yang berbeda. Akibat dari muatan tersebut lempung dapat menarik kation yang tidak teragih secara seragam dalam seluruh medium dispersi. Mereka ditahan pada atau dekat permukaan lempung. Sebagian kation tersebut bebas untuk dipertukarkan

dengan kation yang lain, dengan demikian muatan negatif pada permukaan lempung ditutupi oleh sekumpulan ekivalen dari ion lawan bermuatan positif. Muatan negatif pada permukaan lempung beserta kumpulan ion lawan yang bermuatan positif disebut lapisan rangkap listrik.

Elektrokinetik menggambarkan pengangkutan muatan secara fisik-kimia, aktivitas muatan partikel dan efek tegangan elektrik yang diterapkan dalam formasi dan pengangkutan partikel pada media berpori. Kehadiran difusi lapisan ganda memberi kenaikan pada beberapa gejala elektrokinetik dalam tanah, yang mana dapat diakibatkan oleh pergerakan lapisan ganda pada tahap yang berbeda satu sama lain yang mencakup pengangkutan muatan atau pergerakan lapisan ganda pada tahap yang berbeda satu sama lain dalam kaitannya dengan penggunaan medan elektrik. Gejala elektrokinetik meliputi elektroosmosis, elektrophoresis, arus potensial dan potensial pengendapan.

Prinsip remediasi tanah secara elektrokinetik menggunakan arus DC intensitas rendah melalui tanah yang terkontaminasi dengan dua atau lebih elektroda. Dimana arus listrik yang dialirkan melalui katoda yang dihubungkan ke dalam tanah untuk membangun medan listrik menyebabkan transport kontaminan dengan elektroosmosis dan migrasi ion. Pergerakan elektroosmosis merupakan pergerakan cairan melalui pori-pori karena pengaruh medan listrik. Pergerakan osmosis dalam tanah tersebut biasanya dari anoda menuju katoda, dimana saat migrasi ion efektif akan memisahkan transport anion dan kation yang menuju anoda dan katoda secara berturut-turut.

2.10. Hipotesis

Berdasarkan tujuan dan tinjauan pustaka, maka hipotesis penelitian ini adalah, apakah remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* efisien untuk menurunkan konsentrasi logam berat kadmium dalam tanah.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Lokai Penelitiam

Lokasi penelitian bertempat di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, JL. Kaliurang km. 14,4 Yogyakarta.

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan dalam 2 tahap, yaitu :

1. Tahap pra penelitian : pemilihan tanah, analisis karakteristik dan jenis tanah, persiapan kontaminan, persiapan elektroda dan *power supply* yang dilaksanakan mulai tanggal 4 Januari 2006.
2. Tahap penelitian dilaksanakan mulai 15 Januari 2006.

3.3. Metode Pengumpulan Data

Untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini maka data yang dibutuhkan diperoleh dari :

1. Studi Pustaka (*library research*)

   Yaitu pengumpulan data melalui berbagai sumber baik dari buku-buku, media cetak maupun elektronik dan juga internet yang berkaitan dengan remediasi tanah secara elektrokinetik.

2. Penelitian Lapangan (*field research*)

Yaitu pengumpulan data melalui pengujian sampel yang meliputi :

a. Analisis karakteristik tanah.

b. Analisis terhadap konsentrasi logam berat Cd, *resitivity* dan pH.

3.4. Metode Eksperimen

Metode eksperimen terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut :

3.4.1. Tahap Pra Penelitian

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

I. Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan :

   a. Wadah tanah dari kaca

   b. Timbangan/neraca

   c. Pengaduk

   d. Power supply

   e. Kabel

   f. Elektroda

   g. pHmeter

   h. Multitester

   i. Metode AAS

2. Bahan yang digunakan :

   a. Tanah lempung kaolinit dari Godean Yogyakarta

   b. Kontaminan logam berat berupa cairan yaitu $CdSO_4$

   c. Aquades

II. Perencanaan

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

1. Pemilihan tanah

   Digunakan tanah lempung dari Godean.

2. Persiapan wadah tanah

   Wadah dibuat dari bahan kaca berukuran 100 cm x 100 cm x 70 cm dengan tebal kaca 1 cm

3. Persiapan kontaminan logam berat

   Menggunakan kontaminan logam berat berupa cairan $CdSO_4$.

4. Persiapan elektroda

   Menggunakan elektroda dari bahan karbon berbentuk silinder dengan panjang 5 cm dan berdimeter 0,8 cm.

5. Persiapan *Power Supply*

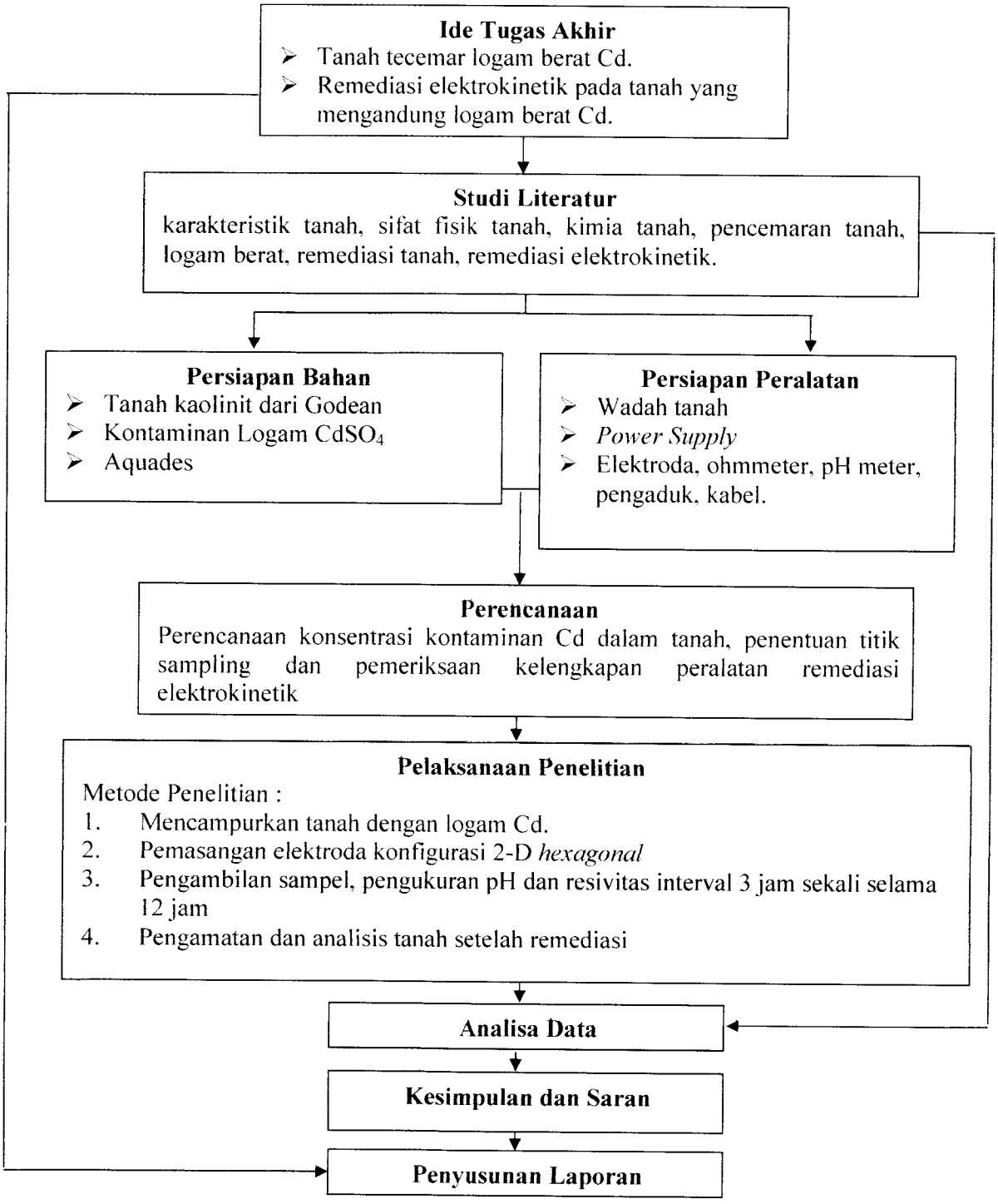
   Menggunakan *power supply* maksimum 60 volt dan 30 Ampere DC, kabel *power supply* dihubungkan ke konektor pada elektroda.

3.4.2. Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian meliputi :

1. Tanah lempung yang telah dianalisis, dikontaminasikan dengan kontaminan logam berat Cd.
2. Pemasangan elektroda yang ditancapkan ke dalam sampel tanah secara vertikal dengan jarak antar elektroda 15 cm dengan menggunakan konfigurasi 2D *hexagonal*
3. Mengkontakkan *power supply* dengan tegangan 40 volt.
4. Proses dilakukan selama 12 jam.
5. Dilakukan pengamatan pada tiap-tiap sampel dengan rentang waktu setiap 3 jam (untuk pengamatan ini arus listrik dimatikan)
6. Analisa tanah dengan pengamatan terhadap kandungan konsentrasi kontaminan logam berat, *resitivity*, pH, perubahan warna pada tanah setelah proses.

Secara lebih sederhana, alur pikir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.4.3. Tahap Analisa

Analisa data yang digunakan untuk membuktikan kebenaran hipotesis yaitu :

1. Menghitung effisiensi penurunan kadar kontaminan Cd setelah dilakukan remediasi tanah secara elektrokinetik. Untuk menghitung effisiensi tersebut digunakan persamaan sebagai berikut : (Metcalf dan Eddy, 1991).

   $$E = \frac{Cawal - Cakhir}{Cawal} x100\% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.1)$$

   E = Effisiensi (%)

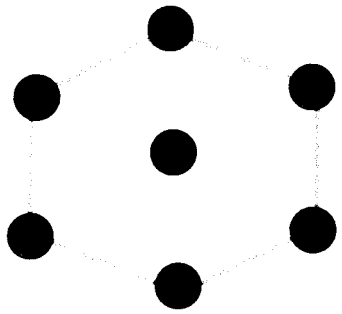
   C = Konsentrasi

2. Melakukan analisis statistika dengan menggunakan metode yang akan disesuaikan dengaan hasil penelitian.

3.5. Desain

3.5.1. Kebutuhan Elektroda

Konfigurasi elektroda *hexagonal* terdiri dari beberapa sel, masing masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda), seperti pada **Gambar 4.2.**



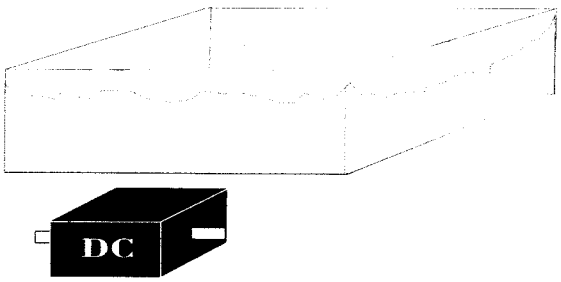
Gambar 3.2. Konfigurasi elektroda

● = Anoda

● = Katoda

3.5.2. Desain Wadah dan Berat Tanah

Wadah terbuat dari kaca dengan dimensi 1 m x 0,95 m x 0,7 m dan ketebalan kaca 1 cm. Tanah yang digunakan adalah tanah kaolinit berasal dari Godean. Desain wadah dan *power supply* dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3. Desain wadah dan *power supply*

Volume tanah = p x l x t

= 1 m x 0,95 m x 0,08 cm

= 0,076 m

= 76 *l*

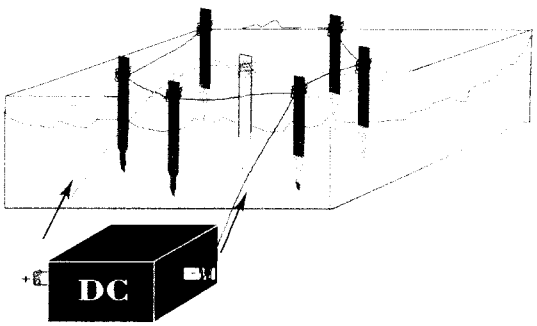
Berat tanah = Berat jenis tanah x volume tanah

= 1,25 kg/*l* x 76 *l*

= 95 kg

3.5.3. Desain Wadah dan Elektroda

Desain wadah dan konfigurasi elektrokinetik 2D- *Hexagonal* dapat di lihat pada gambar 3.4, sedangkan dokumentasi penelitian dapat dilihat pada lampiran V.



Gambar 3.4. Disain elektroda pada tanah

Keterangan :

⟶ = Arus

—— = Kabel katoda

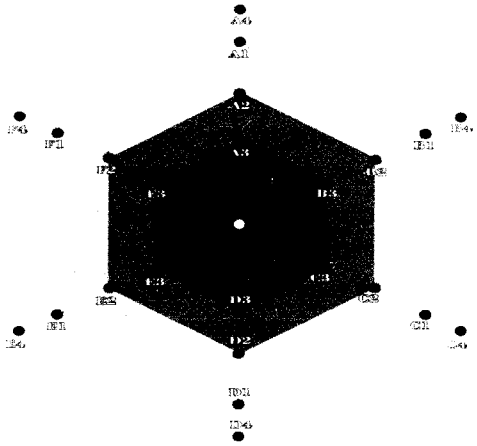
—— = kabel anoda

▮ = Anoda

▯ = Katoda

3.5.4. Desain Titik Sampling

Titik sampling yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5. Desain titik sampling

● = TITIK SAMPLING
○ = KATODA
■ = AREA 3
▩ = AREA 2
= AREA 1
= AREA 1

BAB IV

HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN

Tanah merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, tetapi keberadaan tanah yang dulunya sebagai lahan bercocok tanam kini dijadikan media pembuangan hasil sampingan industri. Mulai dari perkembangan industri, pembuangan sisa-sisa makanan sampai dengan penggunaan bahan-bahan kimia dan pesticida bagi pertanian ternyata memberikan kontribusi negatif yang cukup besar dan akhirnya menimbulkan pencemaran. Berikut ini merupakan bahan-bahan berbahaya yang dapat ditemukan pada tanah.

Tabel 4.1. Bahan-Bahan Pencemar Beserta Sumber Pencemar yang Terdapat dalam Tanah

PERINGKAT	PENCEMAR	SUMBER PENCEMAR
1	Trichloroethylena	Cucian dan industri logam
2	Timah Hitam	Bensin, pertambangan dan bahan-bahan kontruksi
3	Tetrachloroethylena	Cucian dan industri logam
4	Benzen	Bensin dan industri
5	Toluena	Bensin dan industri
6	Chromium	Industri pelapisan logam
7	Methylene Clhorida	Industri cat, bahan-bahan pelarut
8	Zinc	Pertambangan dan industri
9	1,1,1-tricloroethana	Logam dan plastik
10	Arsenic	Pertambangan dan industri
11	Chloroform	Bahan-bahan pelarut
12	1,1-dicloroethana	Bahan-bahan pelarut
13	1,2-dicloroethana	Perpindahan produk dari 1,1,1-triclororthana

14	Cadmium	Pertambangan dan Industri pelapisan
15	Mangan	Industri, pertambangan dan oksida alam
16	Tembaga	Industri dan pertambangan
17	1,1-dichlorethana	Industri
18	Vinyl Clhorida	Plastik dan industri
19	Barium	Industri dan produksi energi
20	1,2-dichlorethana	Industri logam dan industri cat
21	Ethyl Benzena	Bensin, styrene dan Industri aspal
22	Nickel	Industri dan pertambangan
23	Di (2- ethylhexy) pthalat	Industri plastik
24	Xylena	Bahan-bahan Pelarut dan bensin
25	Phenol	Pengolahan kayu dan obat-obatan

Sumber , Contaminants found at hazardous waste site (NRC, 1999)

Melihat fenomena ini, maka perlu dilakukan sebuah upaya untuk mengurangi beban pencemaran dengan cara remediasi elektrokinetik. Remediasi elektrokinetik merupakan pemulihan tanah terkontaminasi logam berat dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*direct current*).

Sebelum dilaksanakan penelitian remediasi elektrokinetik pada tanah yang tercemar logam berat kadmium, terlebih dahulu dilaksanakan percobaan dengan tanah tercemar logam krom. Tujuannya adalah untuk mengetahui mekanisme remediasi elektrokinetik, yaitu mulai dari pemasangan kabel elektroda, pengukuran pH, pengukuran resistensi, pengambilan sampel sampai perubahan-perubahan yang terjadi selama proses remediasi elektrokinetik berlangsung dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran I.E.

Tanah yang digunakan adalah tanah kaolinit yang berasal dari Godean yang kemudian dicampur dengan $CdSO_4$ sampai konsentrasinya mencapai 289 mg/kg

(lampiran II). Penelitian ini akan dibahas pH, resistensi, penurunan konsentrasi kadmium dan batang katoda.

4.1. Hasil Analisis pH Pada Area Efektif.

Penelitian ini dibagi dalam beberapa area yang dapat dilihat pada gambar 3.5, yaitu area efektif dan area inefektif. Untuk lebih rincinya dapat dilihat dibawah ini.

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 IV : terletak 15 cm dari anoda

Area efektif merupakan area yang berada pada anoda, yaitu area I, II dan III, sedangkan area inefektif berada pada area diluar anoda, yaitu area IV. Pengukuran pH dilakukan setiap 3 jam sekali pada masing- masing area menggunakan pH meter tanah. Hasil pengukuran pH selama proses remediasi elektrokinetik dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2. Hasil pengukuran pH pada area I

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	A1	7,2	7,1
	D1	7	
6	A1	7,4	7,5
	D1	7,6	
9	A1	7,8	7,9
	D1	8	
12	A1	9	9
	D1	9	



Tabel 4.3. Hasil pengukuran pH pada area II

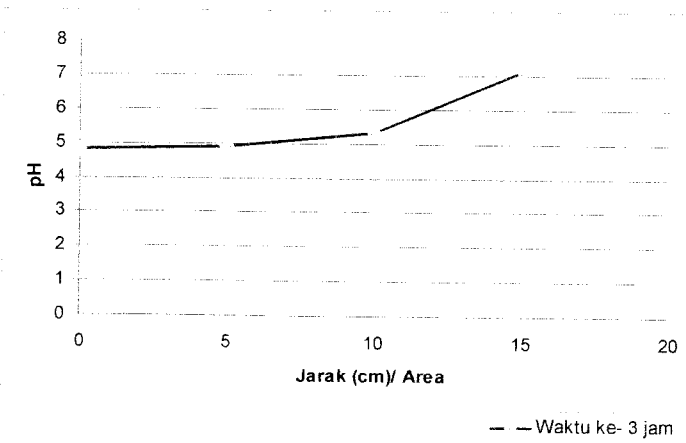
Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	F2	5,4	5,3
	B2	5,2	
6	F2	6,2	5,6
	B2	5	
9	F2	5,6	5,9
	B2	6,2	
12	F2	6	6,1
	B2	6,2	

Tabel 4.4. Hasil pengukuran pH pada area III

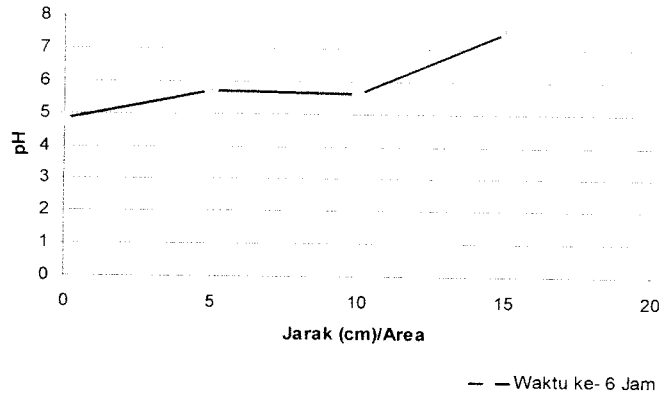
Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	ph rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	C3	5,2	4,9
	E3	4,6	
6	C3	6	5,7
	E3	5,4	
9	C3	5,8	5,7
	E3	5,6	
12	C3	6	5,9
	E3	5,8	

Dari hasil pengukuran diperoleh pH awal tanah tercemar logam kadmium sebesar 4,8. Pada 3 jam pertama pH di area I sebesar 7,1, area II pH terukur lebih kecil yaitu sebesar 5,3 dan area III nilai pH sebesar 4,9. Pengukuran pH pada waktu 6 jam area I mengalami peningkatan yang tidak signifikan menjadi 7,5, di area II juga mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan menjadi 5,6 dan kenaikan pH juga terjadi pada area ke III yaitu 5,7. Pada pengukuran pH 9 jam, pH tiap-tiap area terus meningkat, tetapi pada area III nilainya konstan seperti pada pengukuran pH 6 jam yaitu sebesar 5,7. Pengukuran pH pada 12 jam terlihat area I memiliki peningkatan yang sangat besar yaitu menjadi 9 dan terlihat di area II dan III peningkatan yang tidak terlalu mencolok, yaitu menjadi 6,1 dan 5,9.

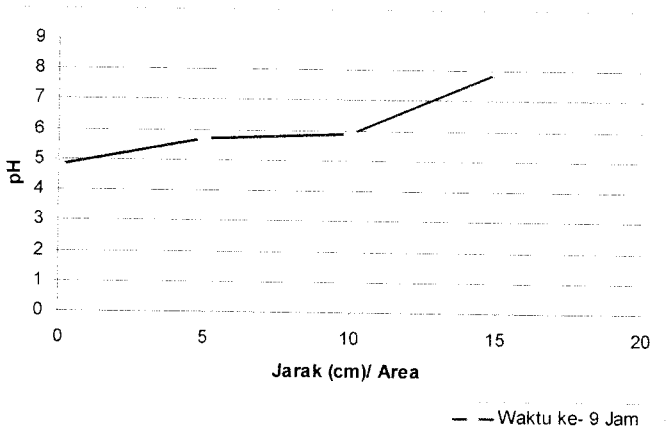
Dari tabel 4.2 sampai 4.4 dapat dibuat grafik hubungan antara pH dengan jarak (area) seperti yang terlihat pada gambar 4.1 sampai 4.4 di bawah ini.



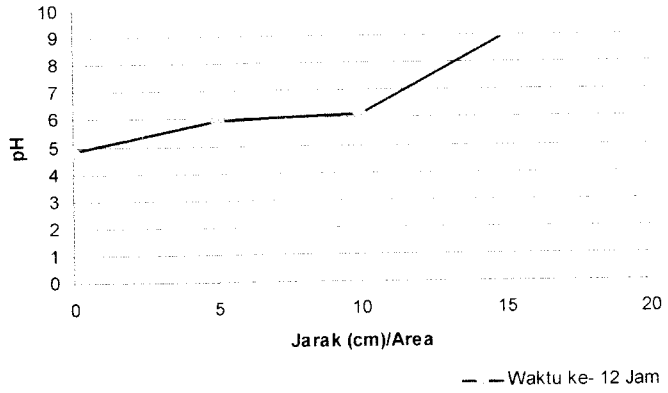
Gambar 4.1. Hubungan pH terhadap jarak pada waktu 3 jam



Gambar 4.2. Hubungan pH terhadap jarak pada waktu 6 jam



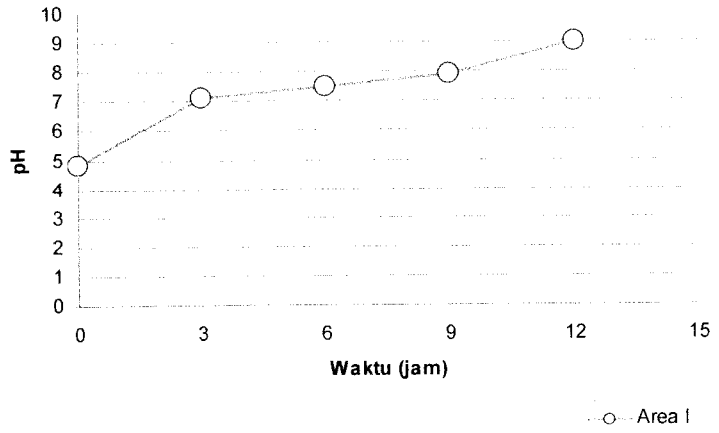
Gambar 4.3. Hubungan pH terhadap jarak pada waktu 9 jam



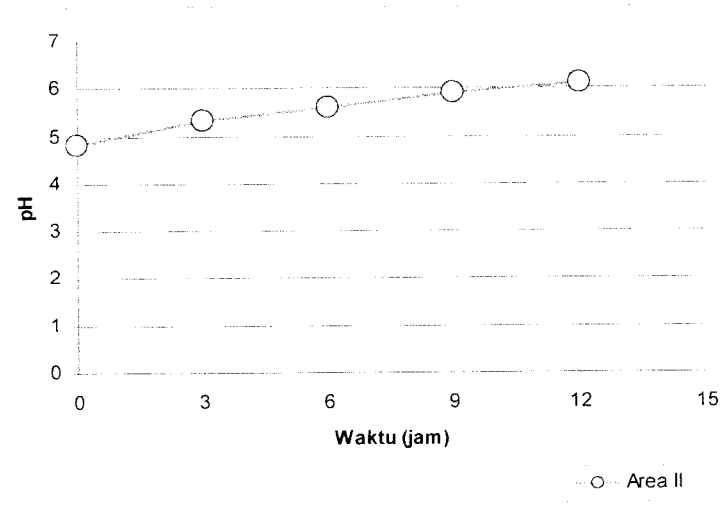
Gambar 4.4. Hubungan pH terhadap jarak pada waktu 12 jam

Gambar 4.1 sampai gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara pH terhadap jarak untuk setiap interval waktu. Gambar ini menunjukkan perubahan pH yang mendasar pada setiap area. Semakin jauh jarak dari batang katoda, maka pH akan semakin naik atau memiliki kondisi basa, seperti contoh gambar 4.5. Gambar ini menunjukkan pH pada area III yang jaraknya 5 cm dari batang katoda sebesar 4,9, pada area II yang jaraknya 10 cm dari katoda sebesar 5,3 dan pada area I yang jaraknya 15 cm dari katoda sebesar menjadi 7,1.

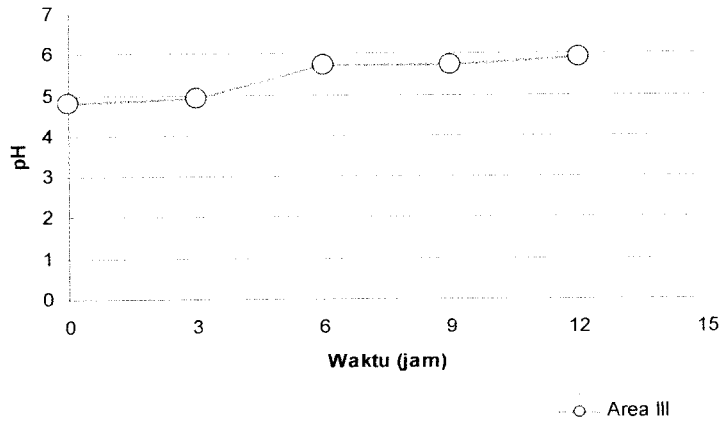
Selain itu juga dapat dibuat grafik hubungan antara pH terhadap waktu untuk setiap area, yang terlihat pada gambar 4.5 sampai gambar 4.7.



Gambar 4.5. Hubungan antara pH dengan waktu pada area I



Gambar 4.6. Hubungan antara pH dengan waktu pada area II

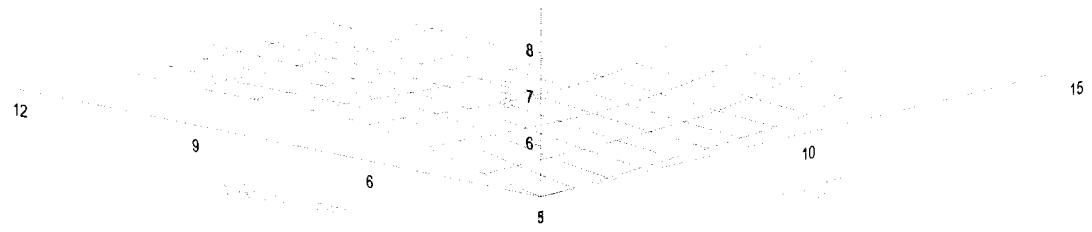


Gambar 4.7. Hubungan antara pH dengan waktu pada area III

Gambar 4.5 sampai gambar 4.7 menunjukkan grafik hubungan pH dengan waktu pada masig-masing area. Semakin lama waktu remediasi maka pH akan semakin naik. Pada area I (gambar 4.9) pH terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Area yang jaraknya 15 cm dari katoda ini memiliki kondisi awal asam dan setelah 12 jam terukur kondisinya berubah menjadi basa. Pada area II dan III kondisi pH sebelum dan sesudah remediasi elektrokinetik tetap bersifat asam tetapi mengalami kenaikan pH.

Kenaikan pH pada masing-masing area pada setiap waktunya terjadi karena konsentrasi kadmium yang ada pada setiap area berpindah atau bergerak menuju batang katoda. Katoda yang menyebarkan kondisi asam keseluruh permukaan tanah hanya terjadi pada area III yang jaraknya 5 cm dari katoda dan area II yang jaraknya 10 cm dari katoda. Tanah yang memiliki kondisi asam akan mempercepat pergerakan ion menuju katoda.

Dari gambar-gambar grafik diatas dapat dibuat grafik hubungan antara pH, waktu dan jarak yang dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hubungan antara pH, waktu dan jarak

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara pH, waktu dan jarak. Gambar ini memberikan informasi bahwa semakin jauh jarak (area) dari katoda, maka nilai pH akan semakin besar dan begitu juga dengan waktu semakin lama waktu remediasi, maka nilai pH akan semakin naik.

Ditinjau dari hubungan antara pH, jarak dan waktu terlihat area I atau area anoda memiliki kondisi asam dan area III memiliki kondisi basa. Dari sumber penelitian yang telah dilakukan oleh Alshawabkeh dkk, 1994 didapat hasil pada area anoda bersifat basa dan pada area katoda bersifat asam karena adanya elektrolisis. Pada penelitian ini, proses elektrolisis tidak terjadi karena lemahnya atau tidak kuatnya kapasitas buffer menahan perubahan pH yang terjadi.

Salah satu penggunaan larutan buffer adalah pada penelitian yang dilakukan oleh Alshawabkeh dkk (1994) dengan menambahkan larutan asam asetat pada katoda.

Larutan buffer biasanya dapat dibuat dari :

a. Basa lemah dengan garamnya.

b. Asam lemah dengan garamnya.

Berikut ini merupakan contoh larutan buffer yang dapat digunakan dalam pengontrolan pH selama proses remediasi elektrokinetik.

Tabel 4.5. Beberapa contoh larutan buffer

Komponen	Interval pH yang Berguna
glisine + glisine hidroklorida	1,0 - 3,7
asam ftalat + kalium ftalat asam	2,2 - 3,8
asam asetat + natrium asetat	3,7 - 5,6
mononatrium fasfat + dinatrium fosfat	5,8 - 8,0
asam boraks + boraks	6,8 - 9,2
boraks + natrium hidroksida	9,2 - 11,00
dinatrium fosfat + trinatrium fosfat	11,00 - 12,00

Sumber : Rivai, Asas pemeriksaan kimia, 1995

Penambahan buffer merupakan suatu solusi dalam remediasi elektrokinetik, karena dengan penambahan buffer ini akan dapat menahan perubahan pH yang terjadi karena adanya penambahan H^+ dan OH^- ketika proses remediasi elektrokinetik berlangsung.

Sementara itu pada area II atau area yang letaknya 10 cm dari katoda memiki kondisi asam dan memiliki nilai pH yang lebih tinggi dari area III. Nilai pH pada area

II ini benilai antara 4,8 – 5,1, sehingga dimungkinkan area ini terpengaruh oleh area katoda.

4.2. Hasil Analisis Kadmium

Seperti yang disebutkan sebelumnya, penelitian ini merupakan simulasi dengan mengontakkan atau mencampurkan larutan $CdSO_4$ ke dalam tanah kaolinit yang berasal dari Godean. Berdasarkan hasil laboratorium konsentrasi kadmium awal menggunakan metode *Atomic Absorption spectrum* sebelum proses remediasi yang berada pada tanah sebesar 144,919 mg/kg. Pengambilan sampel tanah dilakukan selama 3 jam sekali pada titik sampling yang dapat dilihat pada gambar 3.5.

Pengambilan titik sampling tanah dilakukan pada 2 area yaitu pada area efektif yang berada pada area anoda dan katoda dan area inefektif yang berada pada area inefektif.

4.2.1. Hasil Analisis Konsentrasi Kadmium pada Area Efektif.

Area efektif merupakan area yang berada diantara anoda dan katoda. Untuk memudahkan analisis dari pergerakan logam berat kadmium area ini dibagi menjadi area I, II dan III.

Berikut ini disajikan data hasil uji laboratorium pada setiap area dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption spectrum).*

Tabel 4.6. Konsentrasi Cd rata-rata pada area I

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	144.919
3	D1	144.891
6	A1	146.722
9	A1	145.762
12	A1	151.894
12	Katoda	42.972

Tabel 4.7. Konsentrasi Cd rata-rata pada area II

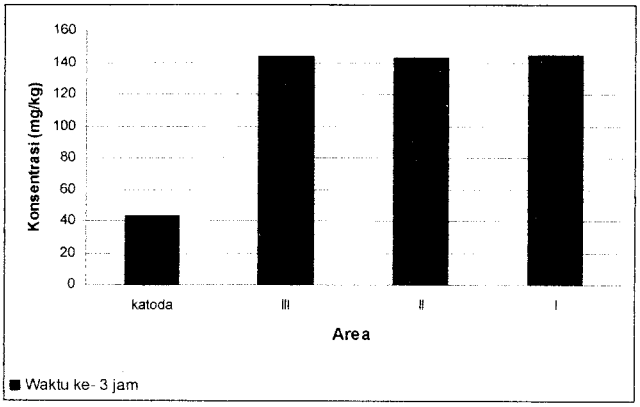
Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	144.919
3	B2	143.033
6	B2	142.304
9	B2	144.019
12	B2	144.862
12	Katoda	42.972

Tabel 4.8. Konsentrasi Cd rata-rata pada area III

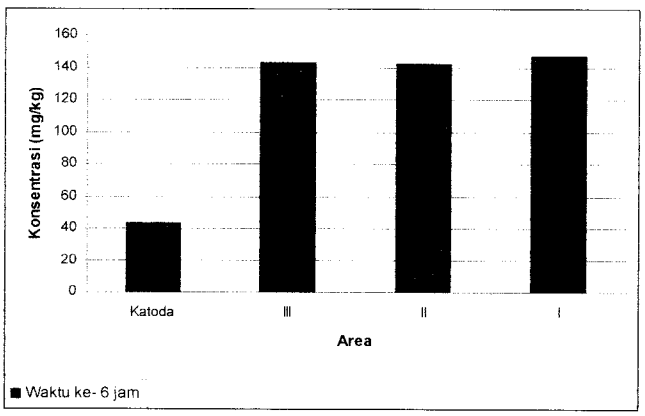
Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	144.919
3	E3	144.076
6	E3	143.061
9	E3	123.921
12	C3	144.948
12	Katoda	42.972

Dari data-data diatas terlihat adanya perbedaan konsentrasi pada masing-masing titik sampling (area). Konsentrasi awal logam berat kadmium sebelum remediasi elektrokinetik adalah 144,919 mg/kg. Pada 3 jam pertama konsentrasi kadmium pada area I sebesar 146,891mg/kg, pada area II sebesar 143,033 dan area III naik menjadi 144,076 mg/kg. Hal serupa juga terjadi pada pengukuran ke 6 jam, area I konsentrasinya sebesar 146,722mg/kg, area II turun menjadi 142,304 mg/kg dan pada area III naik menjadi 143,061 mg/kg. Pada pengambilan sampel ke 9 jam konsentrasi kadmium pada area I sebesar 145,762 mg/kg, sedangkan pada area II terjadi penurunan konsentrasi yang tidak terlalu mencolok, yaitu sebesar 144,019 mg/kg dan pada area III terjadi penurunan konsentrasi yang cukup besar yaitu menjadi 123,921 mg/kg. Pada waktu ke 12 jam konsentrasi kadmium yang terdapat pada area I sebesar 151,894 mg/kg, pada area II konsentrasi kadmium turun menjadi 144,862 mg/kg dan pada area ke III konsentrasi kadmium naik menjadi 144,948 mg/kg. Terukur pada batang katoda konsentrasi kadmium sebesar 42,972 mg/kg.

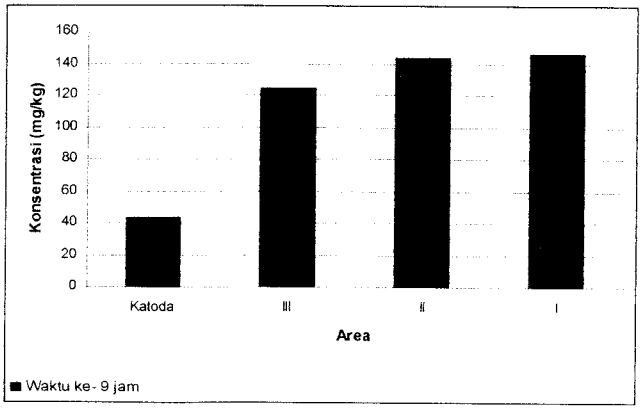
Dari tabel 4.6 sampai tabel 4.8 hasil pengujian konsentrasi kadmium di atas dapat dibuat grafik-grafik hubungan antara konsentrasi dengan jarak untuk setiap waktu yang terlihat pada gambar 4.9 sampai gambar 4.12 di bawah ini.



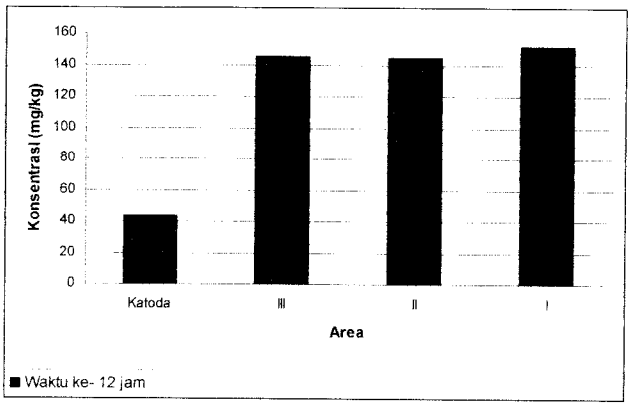
Gambar 4.9. Hubungan konsentrasi Cd terhadap jarak pada waktu ke- 3 jam



Gambar 4.10. Hubungan konsentrasi Cd terhadap jarak pada waktu ke- 6 jam



Gambar 4.11. Hubungan konsentrasi Cd terhadap jarak pada waktu ke- 9 jam



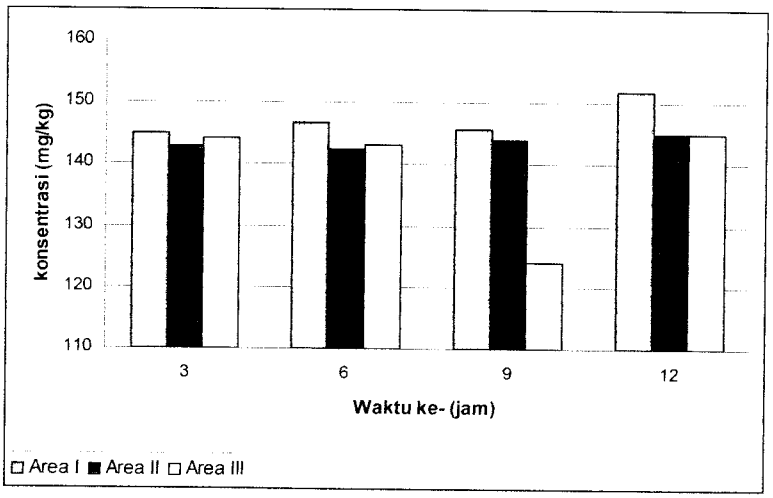
Gambar 4.12. Hubungan konsentrasi Cd terhadap jarak pada waktu ke- 12 jam

Gambar 4.9 sampai gambar 4.12 menunjukkan hubungan konsentrasi kadmium terhadap jarak untuk setiap interval waktu. Gambar-gambar tersebut memberikan informasi bahwa terjadi perubahan konsentrasi kadmium pada setiap interval waktu. Konsentrasi kadmium pada batang katoda setelah proses remediasi elektrokinetik adalah 42,972 mg/kg. Perubahan konsentrasi tidak terlalu signifikan,

dimana konsentrasi terendah pada waktu ke 9 jam yaitu pada area II sebesar 123,921 mg/kg.

Pada penelitian ini jarak antara katoda dan anoda adalah 15 cm sedangkan jarak maksimal antara katoda dan anoda pada metode konfigurasi 2-D *hexagonal* adalah 30 cm. Penggunaan jarak 15 cm ini ternyata belum optimal dalam penurunan konsentrasi kadmium karena masih terlalu jauhnya jarak peletakan antara anoda dan katoda. Hal ini dibuktikan pada area III yang jaraknya 5 cm dari katoda memiliki penurunan konsentrasi yang lebih besar dibandingkan dengan area yang lainnya.

Selain itu dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi kadmium dengan waktu pada masing-masing area yang terlihat pada gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.13. Hubungan antara konsentrasi kadmium dengan waktu

Gambar 4.13 menunjukkan hubungan antara konsentrasi kadmium dengan waktu pada masing-masing area. Fenomena di atas diindikasikan telah terjadi proses elektromigrasi dibawah pengaruh medan listrik.

Elektromigrasi adalah 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).

Tanah akan mengalami 2 proses tahapan reaksi, yaitu yang pertama adalah

$$CdSO_4 \longrightarrow Cd^{2+} + SO_4^{2-} \quad \text{.....(4.1)}$$

Dan reaksi yang kedua adalah

$$Cd^{2+} + 2\,e^- \longrightarrow Cd^0 \quad \text{.....(4.2)}$$

Persamaan 4.1 merupakan reaksi pemecahan larutan $CdSO_4$ yang terjadi karena adanya aliran listrik yang mengalir melalui elektroda-elektroda. Perubahan energi listrik menjadi energi kimia menyebabkan migrasi ion-ion menuju elektroda yang berlawanan. Proses migrasi ini akan menyebabkan reaksi reduksi dan oksidasi. Reduksi adalah reaksi yang terjadi pada katoda dimana akan terjadi pelepasan elektron. Pelepasan 2 elektron ini akan menyebabkan kadmium berubah menjadi netral (Cd^0) dan akan mengendap pada sisi-sisi permukaan batang katoda. Sementara itu oksidasi adalah reaksi yang terjadi pada anoda dimana akan terjadi penerimaan elektron. Reaksi oksidasi tidak dapat terjadi pada SO_4^{2-} tetapi yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (air) dan pada akhirnya terbentuk gas oksigen (persamaan 2.7).

Secara prinsip remediasi elektrokinetik dapat digunakan untuk memulihkan tanah yang tercemar logam berat Cd, tetapi pada penelitian ini penurunan logam Cd tidak terjadi secara linier dimungkinkan karena elektroda karbon yang berdiameter

0,8 cm dan memiliki panjang 5 cm ini ternyata tidak mampu menarik ion-ion kadmium untuk menempel pada batang katoda dan homogenitas sampel yang tidak diketahui .

Tidak menutup kemungkinan dalam proses remediasi elektrokinetik penurunan kadar Cd dalam tanah terdapat parameter pengganggu lain yang memungkinkan akan mempengaruhi penurunan kadar Cd tersebut (tabel 4.7), sehingga penurunan kadar Cd tidak begitu optimal. Logam berat pengganggu ini akan berpengaruh apabila mempunyai potensial reduksi yang lebih besar dari pada Cd. Di dalam deret potensial logam atau yang lebih dikenal dengan deret volta dapat diurutkan dari yang terkecil ke yang besar, yaitu K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Co – Ni – Sn – Pb – (H) – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au dengan nilai potensial elektroda berturut-turut (-2,92) – (-2,90) – (-2,87) – (-2,71) – (-2,37) – (-1,66) – (-1,18) – (-0,76) – (-0,74) – (-0,44) – (-0,40) – (-0,28) – (-0,25) – (-0,14) – (-0,13) – ((0,00)) – (+0,34) – (+0,79) – (+0,80) – (0,99) – (+1,50). Makin ke kanan letak suatu logam dalam deret volta, harga potensial reduksinya semakin besar. Hal ini berarti logam-logam disebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi, sehingga logam-logam sebelah kanan akan bereaksi terlebih dahulu pada katoda dari pada Cd.

Selain itu juga fenomena perubahan warna pada tanah setelah proses remediasi elektrokinetik tidak terjadi karena sedikitnya perpindahan atau migrsi logam kadmium yang menuju katoda. Warna tanah sebelum dan sesudah remediasi coklat muda dikarenakan warna Cd^{2+} berwarna putih seperti putih perak.

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.

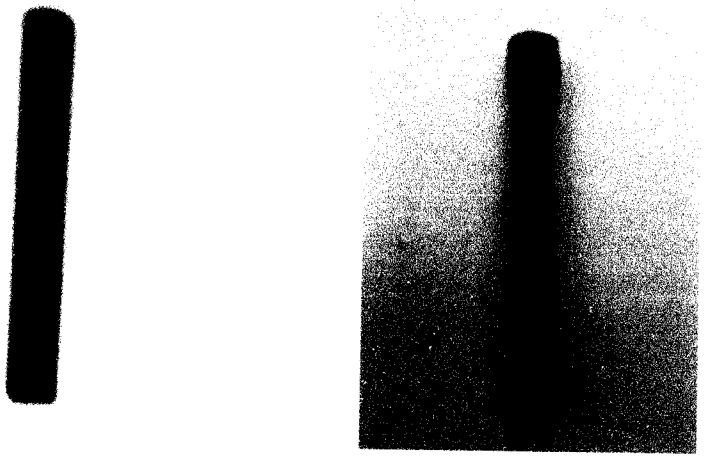
4.2.2. Hasil Analisis pada Batang Katoda.

Elektroda merupakan batang-batang yang apabila dialirkan arus listrik akan bermuatan positif dan negatif. Batang yang bermuatan positif dikenal dengan nama anoda sedangkan batang yang bermuatan negatif disebut dengan katoda. Proses elektromigrasi menyebabkan logam-logam Cd akan berkumpul pada batang katoda. Di bawah ini disajikan data hasil pengukuran konsentrasi kadmium awal sebelum proses remediasi elektrokinetik dan pada batang katoda setelah terjadi proses remediasi elektrokinetik yang terlihat pada tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9. Konsentrasi kadmium awal dan yang menempel di katoda

Titik Sampel	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)
Awal	144,919
Katoda	42,972

Salah satu proses yang terjadi pada remediasi elektrokinetik adalah perpindahan ion-ion Cd^{2+} menuju batang katoda dan mengalami reduksi menjadi Cd^{0}. Konsentrasi Cd^{0} pada batang katoda sangatlah kecil yaitu sebesar 42,972 mg/kg. Berikut ini disajikan gambar batang katoda sebelum proses remediasi dan sesudah proses remediasi.



a b

Gambar a. Batang katoda sebelum proses remediasi elektokinetik, b. Batang katoda sesudah proses remediasi elektrokinetik

Dari gambar 4.14 dan gambar 4.15 di atas, terlihat perbedaan fisik batang katoda sebelum dan sesudah proses remediasi. Batang katoda setelah proses remediasi elektrokinetik mengalami pengikisan pada dinding-dindig luar katoda dan diameter katoda menjadi kecil, sehingga menyebabkan katoda ini tidak dapat bekerja maksimal untuk mereduksi dan mengendapkan logam kadmium.

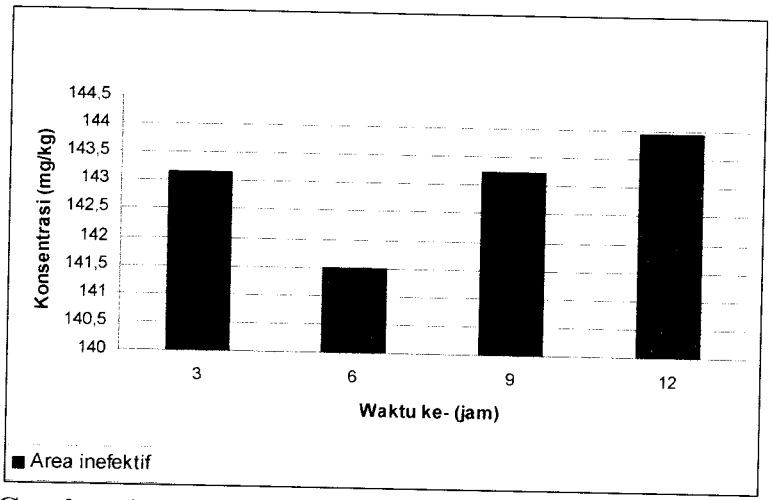
4.2.3. Hasil Analisis konsentrasi kadmium pada area inefektif.

Area inefektif merupakan area pembanding dengan area efektif ketika proses remediasi elektrokinetik berlangsung. Area yang berjarak 15 cm dari anoda ini juga dilakukan pengambilan titik sampling selama interval waktu 3 jam dan dapat dilihat pada gambar 3.5. Adapun hasil uji konsentrasi Cd pada area inefektif dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Konsentrasi Kadmium pada Area inefektif

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Z1	144,919
3	Z1	143,147
6	Z1	141,489
9	Z1	143,233
12	Z1	143,961

Dari tabel 4.10 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Cd dengan waktu yang terlihat pada gambar 4.16.



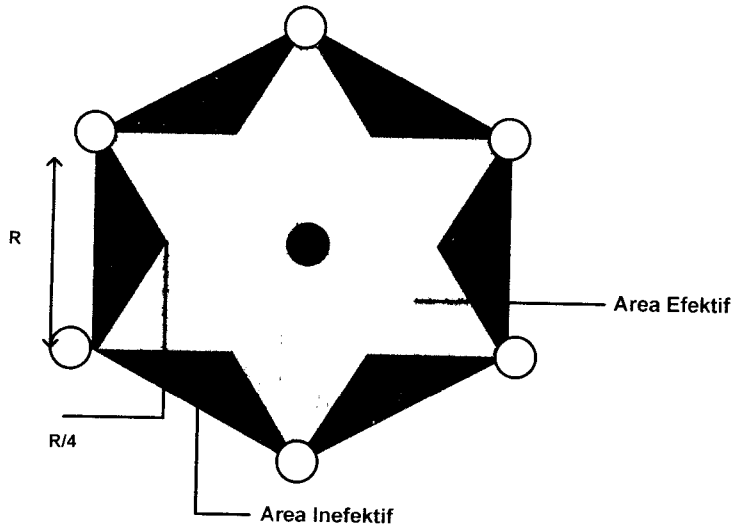
Gambar 4.14. Hubungan antara konsentrasi kadmium dengan waktu pada area inefektif

Dari gambar 4.14 diatas, terlihat adanya perbedaan konsentrasi Cd pada masing-masing interval waktu. Pada 3 jam pertama, konsentrasi Cd sebesar 143,147 mg/kg dan konsentrasi Cd 6 jam mengalami penurunan menjadi 141,489 mg/kg. Kenaikan konsentrasi terjadi pada 9 jam dan 12 yang secara berturut-turut konsentrasi Cd menjadi 143,233 mg/kg dan 144, 961

Perbedaan konsentrasi pada area inefektif disebabkan oleh masih terpengaruhnya daerah inefektif oleh medan listrik. Ion-ion Cd^{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-symetrical*). Katoda ditempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Cd 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 (Alshawbkeh, 1999).

Menurut Alshawabkeh (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. Tinggi area segitiga ini diperkirakan tergantung pada waktu proses, spasi elektroda dan kesejajaran, seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.15. Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik (Alshawabkeh, 1999).

4.3. Hasil Analisis Efisiensi Penurunan Kadmium pada Area efektif dan Area Inefektif

Remediasi elektrokinetik adalah salah satu upaya penurunan konsentrasi logam-logam berat yang terdapat di dalam tanah dengan menggunakan tegangan rendah dan arus searah yang dialirkan pada batang-batang elektroda. Remediasi elektrokinetik merupakan salah satu alternatif pemulihan tanah yang terkontaminasi logam berat. Metode ini sebenarnya telah ada sejak tahun 1809 tetapi pada dekade tersebut tidak difahami fenomena yang terjadi di dalam elektrokinetik. Metode ini terus berkembang hingga sekarang ini yang ditandai dengan semakin menjamurnya penelitian-penelitian remediasi elektrokinetik pada tanah maupun pada air tanah yang terkontaminasi logam berat.

Dari hasil uji laboratarium untuk setiap titik sampel selama 12 jam dapat diketahui seberapa besar efisiensi penurunan konsentrasi Cd seperti pada hitungan dibawah ini.

a. Efisiensi penurunan konsentrasi Cd pada area I.

$$\%E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} x100\%$$

$$= \frac{144{,}919mg/kg - 147{,}317mg/kg}{144{,}919mg/kg} x100\%$$

$$= -1{,}655\%$$

b. Efisiensi penurunan konsentrasi Cd pada area II.

$$\%E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} x100\%$$

$$= \frac{144{,}919mg/kg - 14{,}555mg/kg}{144{,}919mg/kg} x100\%$$

$$= 0{,}941\%$$

c. Efisiensi penurunan konsentrasi Cd pada area III.

$$\%E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} x100\%$$

$$= \frac{144{,}919mg/kg - 141{,}753mg/kg}{139{,}002mg/kg} x100\%$$

$$= 4{,}083\%$$

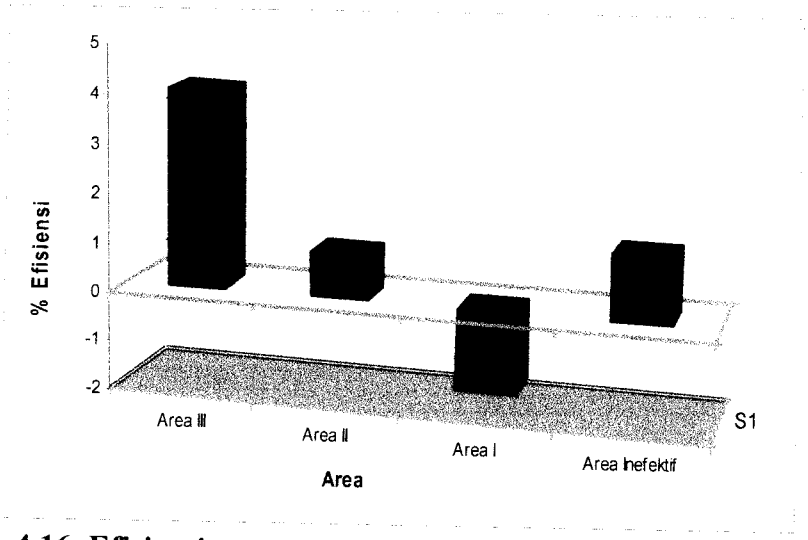
d. Efisiensi penurunan konsentrasi Cd pada area inefektif.

$$\%E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} x100\%$$

$$= \frac{144{,}919mg/kg - 142{,}958mg/kg}{144{,}338mg/kg} x100\%$$

$$= 1{,}353\%$$

Eefisiensi menunjukkan banyaknya migrasi ion-ion Cd menuju batang katoda. Dari besarnya nilai efisiensi diatas dapat dibuat grafik antara % penurunan konsentrasi Cd terhadap area yang ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4.16. Efisiensi penurunan konsentrasi kadmium pada masing-masing area

Dari gambar 4.16 terlihat bahwa efesiensi penurunan konsentrasi kadmium setelah proses remediasi elektrokinetik terbesar terjadi pada area III yaitu sebesar 4,083 % dan efiiensi terendah terdapat pada area I sebesar -1,655%. Untuk area II efisensi penurunan konsentrasi Cd sebesar 0,941 % dan penurunan konsentrasi pada area inefektif sebesar 1,353 %. Proses migrasi ion-ion Cd^{2+} terjadi pada semua arah permukaan tanah, yaitu pada area inefektif dan area efektif. Penuruanan konsentrasi

kadmium tidak terjadi terjadi pada area I dimungkinkan terjadi, karena migrasi ion-ion kadmium dari area inefektif berkumpul pada area I selama terjadinya proses elektrokinetik. Sementara itu, logam-logam Cd akan berlomba-lomba menuju katoda. Besarnya efisiensi pada area III disebabkan karena area ini memiliki jarak yang terdekat dari batang katoda sehingga logam-logam Cd^{2+} akan lebih mudah tertarik menuju batang katoda.

Konsentrasi kadmium setelah proses remediasi elektrokinetik pada area efektif maupun pada area inefektif masih melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh National Environment Protection Council 1999 yaitu untuk kedalaman tanah 0,2 m konsentrasi kadmium adalah sebesar 0,2 mg/kg dan dapat dilihat pada lampiran VI.

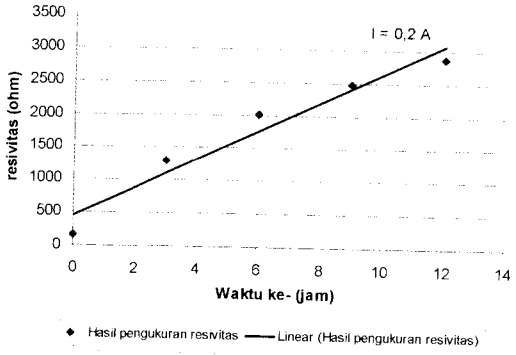
4. 4. Hasil Analisis Resistensi, Arus dan Voltase

Pengukuran resistensi dan arus dilakukan beriringan dengan pengukuran pH dan pengambilan titik sampel pada interval 3 jam selama 12 jam. Untuk pengukuran resistensi, power supply dimatikan. Data hasil pengukuran resistensi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.11. Hasil pengukuran resistensi pada masing-masing anoda

Waktu ke- (jam)	Resistensi (Ω)	Arus (A)
0	166,667	0
3	1299,253	0,2
6	2005,342	0,2
9	2473,363	0,2
12	2863,108	0,2

Dari tabel 4.11 dapat dibuat grafik hubungan antara resistensi dengan waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.19



Gambar 4.17 Hubungan antara resistensi dengan waktu

Gambar 4.19 menunjukkan hubungan antara resistensi dengan waktu selama proses remediasi berlangsung. Resistensi awal sebelum remediasi adalah 166,667 Ω dan resistensi ini terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu dengan arus yang konstan, sebesar 0,2 A. 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 kadmium 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 kekiri 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

volatse yang memilki penurunan konsentrasi yang maksimal. Semakin besar voltase dan arus yang digunakan untuk meremediasi logam akan semakin besar pula efisiensi penurunan konsentrasinya.

Pada 3 jam pengukuran pertama nilai resistensi sebesar 1299,253 Ω, 6 jam sampai 12 jam berturut-turut adalah 2005,342 Ω, 2473,363 Ω dan 2863,108 Ω. 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.

4.5. Hasil Analisis Hubungan antara Konsentrasi, pH dan Waktu di Area Efektif.

Proses remediasi elektrokinetik menyebabkan terjadi beberapa perubahan mendasar dari kondisi awal sampai terjadinya perubahan pH, konsentrasi logam kadmium dan lain-lain. Berdasarkan dari beberapa perubahan ini menyebabkan perlunya dikaji hubungan antara pH dan konsentrasi kadmium. Di bawah ini disajikan data hasil pengukuran pH pada masing-masing area dan konsentrasi kadmium pada masing-masing area.

Tabel. 4.12. Hubungan konsentrasi Cd terhadap pH pada area I

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	144,919	4,8
3 jam	144,891	7,1
6 jam	146,722	7,5
9 jam	145,762	7,9
12 jam	151,894	9

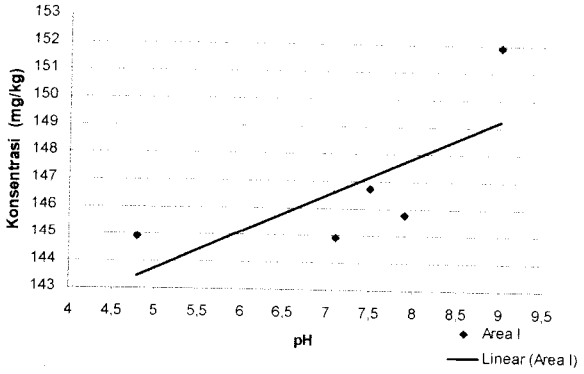
Tabel. 4.13. Hubungan konsentrasi Cd terhadap pH pada area II

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	144,919	4,8
3 jam	143,033	5,3
6 jam	142,304	5,6
9 jam	144,019	5,9
12 jam	144,862	6,1

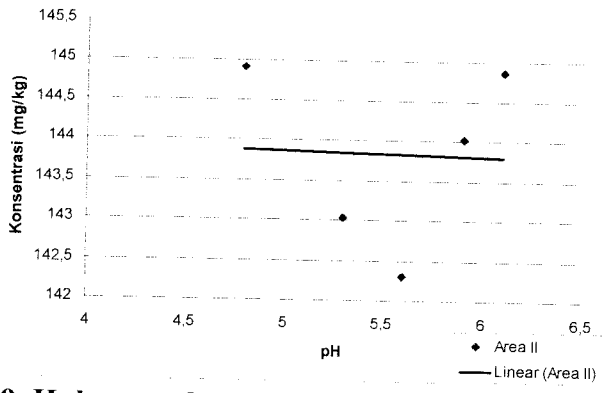
Tabel. 4.14. Hubungan konsentrasi Cd terhadap pH pada area III

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	144,919	4,8
3 jam	144,076	4,9
6 jam	143,061	5,7
9 jam	123,921	5,7
12 jam	144,948	5,9

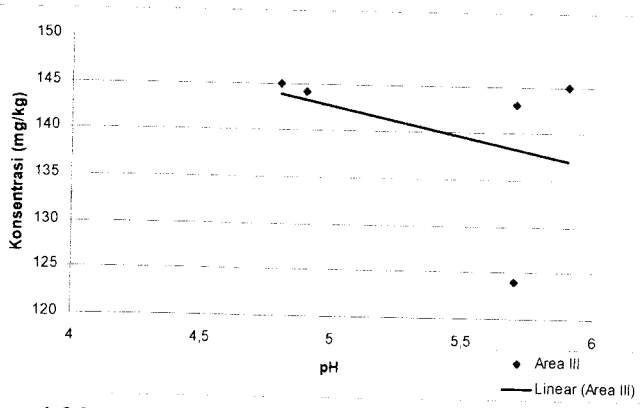
Dari tabel 4.12 sampai tabel 4.14 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Cd dengan pH yang terlihat pada gambar 4.20 sampai gambar 4.22



Gambar 4.18. Hubungan konsentarsi dengan pH pada area I



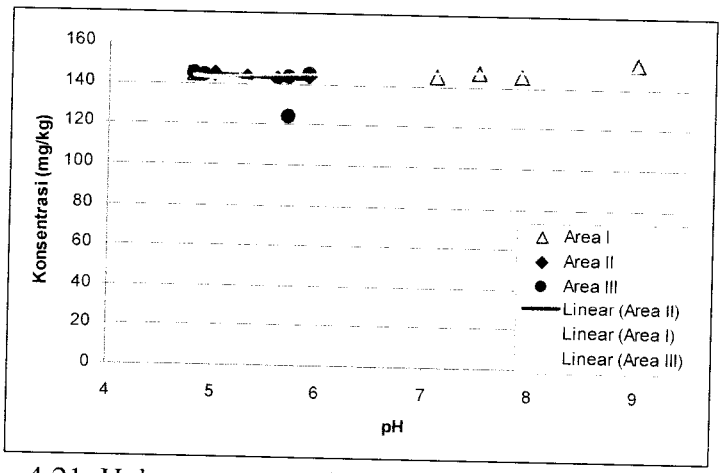
Gambar 4.19. Hubungan konsentarsi dengan pH pada area II



Gambar 4.20. Hubungan konsentarsi dengan pH pada area III

Gambar 4.18 sampai gambar 4.20 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan pH pada masing-masing area. Fenomena yang terjadi adalah perubahan pH yang diikuti dengan perubahan konsentrasi kadmium. Pada area I kondisi tanah bersifat basa dengan pH teringgi 9 yaitu pada waktu ke 12 jam. Area II yang berjarak 10 cm dari katoda mengalami penurunan konsentrasi seiring dengan kenaikan pH, tetapi tanah pada area ini bersifat asam dengan pH tertinggi sebesar 6,1. Sedangkan pada area III mengalami hal yang sama dengan area II yaitu penurunan konsentrasi diiringi dengan naiknya pH dan pada area ini tanah bersifat asam.

Di bawah ini disajikan grafik gabungan hubungan antara konsentrasi terhadap pH yang dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21. Hubungan antara konsentrasi terhadap pH pada area efektif

Dari gambar 4.21 perubahan pH yang terjadi karena adanya proses *electromigration* dan akibat pengaruh dari medan listrik, seharusnya pada perubahan pH ini tidak hanya proses *electromigration* saja tetapi juga *electrolysis*. Sedangkan untuk penurunan konsentrasi Cr diakibatkan karena adanya *electrophoresis* dan

migrasi ion. Fenomena yang terjadi pada gambar-gambar di atas ditunjukkan pada garis linear, sehingga terjadi kenaikan dan penurunan yang tidak stabil dengan data yang ada, ini dimungkinkan karena terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penelitian ini. Kesalahan yang terjadi bisa jadi karena kondisi yang sudah jenuh dan tidak proporsionalnya elektroda yang digunakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pada area anoda bersifat basa dengan nilai pH antara 7,1 sampai 9 dan pada area katoda bersifat asam dengan nilai pH antara 4,9 sampai 5,9.
2. Pada penelitian ini efesiensi penurunan kadmium tidak optimal dimungkinkan karena tidak proporsionalnya elektroda yang digunakan dan pencampuran kontaminan yang kurang homogen.
3. Penggunaan elektroda yang tidak tepat dapat mempengaruhi penurunan konsentrasi kadmium (Cd).
4. Semakin dekat jarak area dari katoda akan semakin mudah logam kadmium untuk berpindah menuju batang katoda.
5. Naiknya resistensi seiring dengan bertambahnya waktu yang disebabkan karena perpindahan ion-ion logam kadmium dan logam-logam berat lainnya yang terdapat di dalam tanah menuju katoda

5.2. Saran

1. Penambahan larutan buffer pada tanah dalam proses remediasi elektrokinetik dapat membantu mempertahankan pH.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut menggunakan elektroda yang lebih besar, yaitu panjang elektroda sama dengan kedalaman tanah yang akan diremediasi.
4. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai remediasi elektrokinetik dengan menggunakan parameter yang berbeda.
5. Untuk penelitian berikutnya pemilihan voltase listrik harus dilakukan beberapa kali percobaan sehingga akan dihasilkan arus yang sesuai untuk menarik logam menuju katoda.
6. Untuk penelitian berikutnya jarak antara katoda dan anoda diperkecil menjadi 10 cm atau variasi jarak area, sehingga didapat penurunan konsentrasi logam berat yang optimal.

.

DAFTAR PUSTAKA

Acar, Y. B. and Alshwabkeh, A. N., 1993, *Principples 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.

Achmad, H, 1992, Kimia Unsur Dan Radiokimia, UI Press, Jakarta.

Alloy and Folochier, 1976, *Tannery and polution,* Centre teqnique da cuir, France.

Alshawabkeh, A. N., 1994, *Theoritical and Experimental Modeling of Removing Contaminants from Soil by an Electric Field,* PhD *Thesis, Lousiana State University,* Baton Rouge

Alshawabkeh, A. N., 1999, *Optimation of 2-D Electrode Configuration for Elektrokinetic Remediation, Juornal of Soil Contamination,* USA.

Alshwabkeh, A. N., 2001, *Basic and Application of Elektrokinetic Remediation,* Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ).

Bird, T, 1987, Kimia Fisik untuk Universitas, Gramedia, Jakarta.

Bueche, F.J., 1989, *Thoery and Problem of College Physics,* MacGraw Hill, Inc.

Chan and Lynch, 2002, *Electroreclamation Applications in The Netherland's, Environmental Scienceand Technology*

Clifton, P, Soeparwadi M., dan Gani A, 1994, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu, Limbah Cair Berbagai Industri Di Indonesia.

Darmono, 1995, Buku Kimia, Erlangga, Jakarta

Djajadiningrat, 1992, Logam Berat, IPB, Bogor

Echols, J. M., dan Shadily, H., 1990, Kamus Inggris Indonesia, PT. Gramedia, Jakarta.

Epa, 1994, *Test Method for Evaluating Solid Waste,* Washington. DC.

Evanko, C. R., 1997, *Remediation of Metals Contaminant Soil and Groundwater,* Groundwater Technology Analysis Centre, USA.

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 Magnet, PN Balai Pustaka, Jakarta.

Kim, 1998, Kimia Tanah, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Manahan, 1972, Sifat Fisik dan Kimia Tanah, Institut Teknologi Bandung, Bandung

Martopo, 1989, Logam-logam Beracun, Rineka Cipta, Jakarta

Metcalf and Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, Mc. Graw Hill, USA.

Pack and Willard, 1997, *Electrokinetics as Method of Contamination Remediation, Bringham Young University*

Pallar. H, 1994, Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, Rineke Cipta, Jakarta.

Pamukcu and Wittle, J, 1993, *Elecktrokinetic Treatment of Contaminated Soils, Sludges and Lagoons*, Final Rep.to Argonne National Laboratory.

Pamukcu,. 1994. *Zinc Detoxification of Soils by Electroosmosis, Electrokinetic Phenomena in Soils*, Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.

Parizek, 1978, *Soil for Plant*, Cornell University Press.

Purnomo, E, 1985, Teknologi Penyamakan Kulit, ATK, Yogyakarta.

Soemirat, J, 1994, Kesehatan Lingkungan, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Wardana, 1995, Pencemaran Tanah, Erlangga, Jakarta.

www. Chemicalelements.com/Cd, 2005

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

ANALISIS PERCOBAAN AWAL MENGGUNAKAN LOGAM KROM

Percobaan Awal Menggunakan Logam Krom.

A.1. Hasil Analisis pH pada Area Efektif dan Inefektif.

Pada penelitian ini, titik sampel tanah di bagi menjadi 2 bagian, yaitu area efektif dan area inefektif.

- area I : terletak 6 cm dari katoda
- area II : terletak 4 cm dari katoda
- area III : terletak 2 cm dari katoda
- area inefektif : terletak 6 cm dari anoda

Pada percobaan awal, pH yang diukur tidak sesuai dengan titik pengambilan sampel karena sangat pendeknya jarak masing-masing area sehingga pH meter yang memiliki dimensi yang cukup besar tidak mungkin diletakkan pada titik sampel. pH yang diukur hanyalah di dalam area efektif dan di luar area efektif (inefektif).Pengukuran

Penelitian remediasi elektrokinetik dengan tipe konfigurasi elektroda 2-D hexagonal ini menggunakan elektroda karbon dari baterei serta tegangan listrik 38 V dengan arus DC, penelitian ini dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada tabel A.1 sampai tabel A.2 di bawah ini.

Tabel. A.1. Hasil pengukuran pH pada aArea efektif

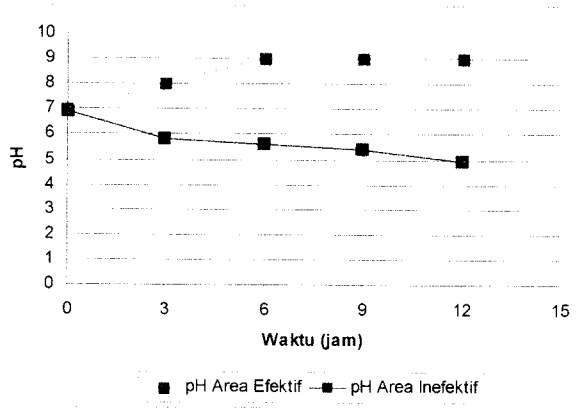
Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	8
6	9
9	9
12	9

Tabel. A.2. Hasil pengukuran pH pada area inefektif

Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	5,8
6	5,6
9	5,4
12	4,9

Dari hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat pada area efektif terjadi kenaikan sedangkan pada area inefektif terjadi penurunan pH. Pada waktu ke-0 pH awal di area efektif dan area inefektif sebesar 6,9 masih dalam kondisi asam. Sedangkan pada waktu ke-3 pada area efektif terjadi peningkatan sebesar 8 dan area inefektif terjadi penurunan sebesar 5,8. Pengukuran pada waktu ke-6 di area efektif dan area inefektif kondisi pH

sama dengan waktu ke-3 yaitu mengalami kenaikan dan penurunan pH. Pada waktu ke-12 pH yang dihasilkan di area efektif sebesar 9 terjadi peningkatan, sedangkan pada area inefektif sebesar 4,9 cenderung dalam kondisi asam serta terjadi penurunan yang sangat drastis. Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan grafik hubungan antara waktu dan pH dapat dilihat pada Gambar A.1.

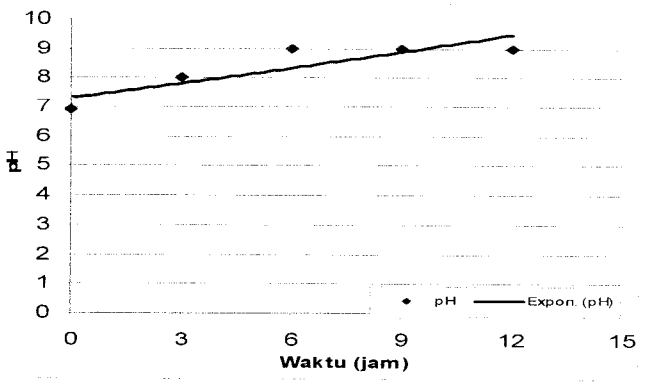


Gambar A.1. Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif dan area inefektif.

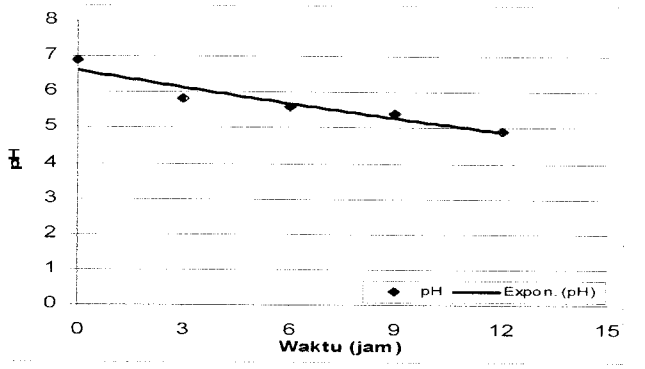
Dari gambar A.1 diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area efektif dan area inefektif. Dari perubahan pH tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia pada area efektif dan area inefektif. Pada peneletian awal pH di area efektif dalam kondisi basa ini dikarenakan jarak antara anoda dan katoda terlalu dekat dan kondisi tanah tidak homogen.

Pada penelitian ini yang mempengaruhi perubahan pH adalah area elektroda (anoda dan katoda) dan waktu juga sangat mempengaruhi kenaikan serta penurunan pH. Berikut ini adalah grafik-grafik hubungan pH dan waktu pada area efektif dan

inefektif berdasarkan data dari tabel A.1 dan tabel A.2 yang disajikan pada gambar A.2 dan gambar A.3.



Gambar A.2 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif



Gambar A.3 Hubungan pH terhadap waktu pada area inefektif

Dari gambar A.2 dan gambar A.3 di atas dapat dilihat dengan jelas fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan dengan garis lurus. Dalam penelitian ini memang diharapkan terjadi perubahan pH pada area efektif seperti pada gambar A.2. pH mengalami kenaikan yang sangat tajam karena pada kutub negatif terjadi

pengurangan (reduksi) sehingga tanah dalam kondisi basa. Selain itu juga dimungkinkan karena faktor jarak yang mempengaruhi proses remediasi.

Dari garis *trend* pada gambar A.2 dan gambar A.3 di atas didapatkan persamaan yaitu pada garis *trend* untuk area efektif dan area inefektif adalah $y = ax + b$. Penelitian awal ini pH yang dihasilkan telah sesuai dengan penelitian terdahulu seperti penelitian Alshawabkeh, 1994, tetapi terdapat kekurangan karena pH yang diukur hanya di area efektif tidak dibagi menjadi 3 area ini dikarenakan jarak yang terlalu dekat antara anoda dan katoda sehingga menghasilkan nilai pH yang sama yaitu dalam keadaan basa.

B. Hasil Analisis Konsentrasi krom

Krom merupakan salah satu logam berat yang keberadaannya di lingkungan membahayakan bagi manusia. Salah satunya adalah keberadaan krom di dalam tanah. Berdasarkan efek negatif tersebut, maka diperlukan penangan yang serius untuk menghilangkan logam berat krom. Penelitian awal tentang remediasi elektrokinetik ini menggunakan krom sebagai kontaminan yang kemudian dicampur ke dalam tanah kaolinit yang berasal dari Godean. Pada tahap awal, keberadaan logam krom yang terdapat didalam tanah sebesar198 mg/kg (lampiran D.1). Dan krom ini merupakan krom bervalensi 3 (Cr^{3+}).

Berikut ini disajikan konsentrasi krom pada saat proses remediasi elektrokinetik berlangsung yang dapat dilihat pada tabel B.1 sampai B.2 di bawah ini.

Tabel B.1. Konsentrasi krom pada area I

Waktu ke-(jam)	Titik Sampling	Cr rata-rata (mg/kg)
0	Awal	12,676
3	Area I 3 jam	10,584
6	Area I 6 jam	10,485
9	Area I 9 jam	15,591
12	Area I 12 jam	15,085

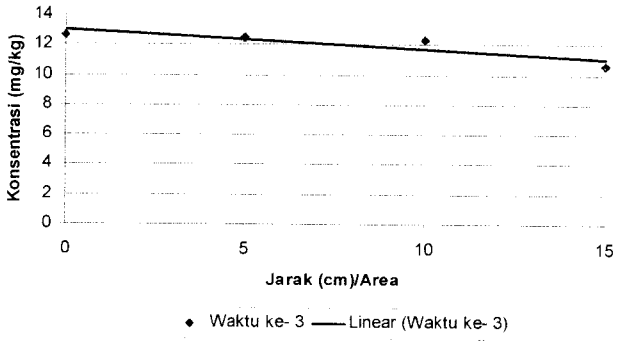
Tabel B.2. Konsentrasi krom pada area II

Waktu ke-(jam)	Titik sampling	Cr rata-rata (mg/kg)
0	Awal	12,676
3	Area II 3 jam	12,331
6	Area II 6 jam	14,146
9	Area II 9 jam	9,120
12	Area II 12 jam	11,769

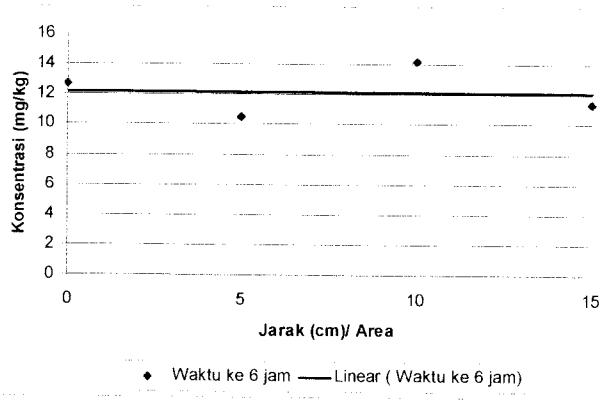
Tabel B.3. Konsentrasi krom pada area III

Waktu ke-(jam)	Titik sampling	Cr rata-rata (mg/kg)
0	Awal	12,676
3	Area III 3 jam	12,483
6	Area III 6 jam	11,292
9	Area III 9 jam	9,560
12	Area III 12 jam	22,006

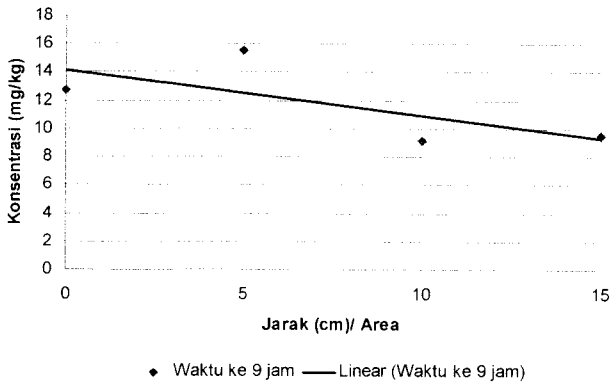
Dari data hasil pengukuran krom tersebut, dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak untuk setiap interval 3 jam yang dapat dilihat pada gambar B.1 sampai gambar B.4 di bawah ini.



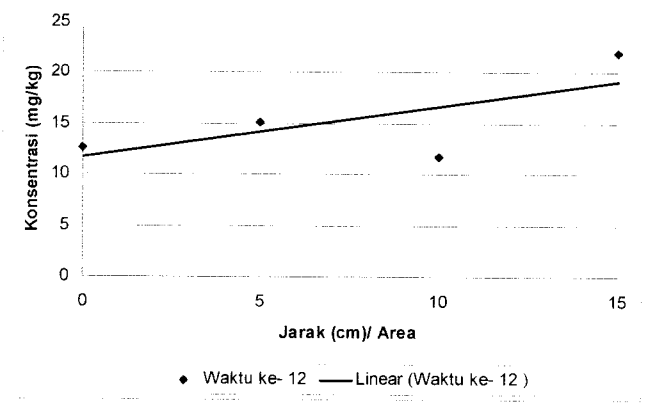
Gambar B.1. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 3 jam



Gambar B.2. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 6 jam



Gambar B.3. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 9 jam

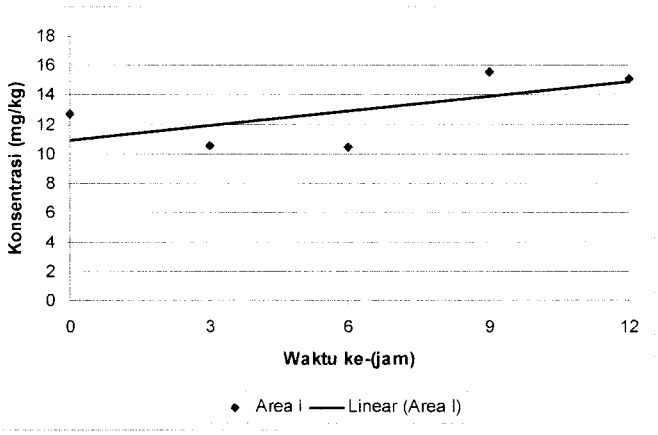


Gambar B.4 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 12 jam

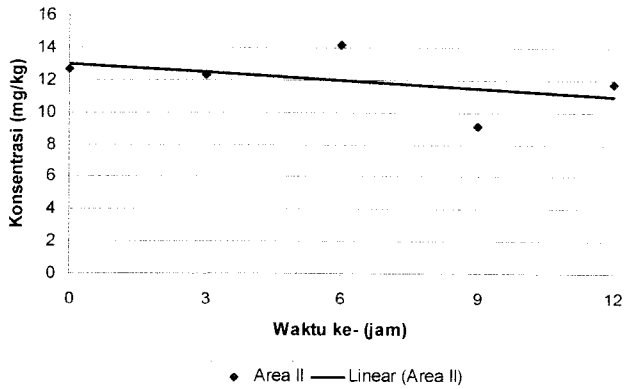
Gambar B.1 sampai B.4 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan jarak pada setiap waktunya. Dari data hasil pengukuran konsentrasi krom tersebut terlihat bahwa konsentrasi awal sebelum proses remediasi elektrokinetik sebesar 12,676 mg/kg. Pada 3 jam pertama konsentrasi Cr pada masing-masing area mengalami penurunan yaitu untuk area I konsentrasi Cr 10,584 mg/kg, konsentrasi Cr pada area II sebesar 12,331mg/kg dan pada area III konsentrasi Cr sebesar12,483

mg/kg. Pada pengambilan sampel ke 6 jam, konsentrsi Cr yang terdapat di dalam tanah juga mengalami penurunan kecuali pada area II, yang memiliki konsentrasi krom sebesar 14,146 mg/kg. Hal serupa juga terjadi kenaikan pada pengambilan sampel ke 9 jam, yaitu pada area I yang memiliki konsentrasi krom sebesar 15,591 mg/kg. Untuk konsentrasi krom pada waktu ke 12 jam, kenaikan terjadi pada area II dan III yaitu konsentrasinya menjadi 11,769 mg/kg dan 22,006 mg/ kg.

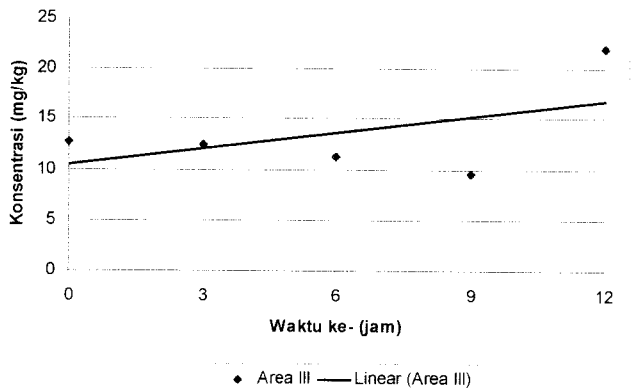
Dari data-data hasil uji krom juga dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada masing-masing-masing area yang disajikan pada gambar B.5. sampai B.7 di bawah ini.



Gambar B.5. Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area I



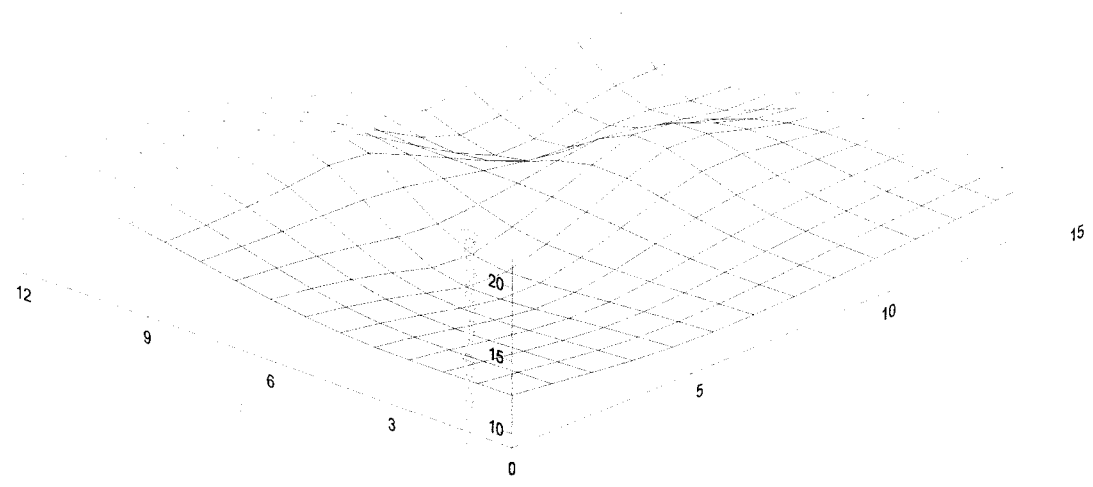
Gambar B.6. Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area II



Gambar B.7. Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area III

Gambar B.5 sampai gambar B.7 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan waktu untuk setiap area. Fenomena yang terjadi pada gambar B.5 dan gambar B.7 adalah kenaikan konsentrasi seiring dengan bertambahnya waktu, sedangkan pada gambar B.6 terjadi penurunan konsentrasi seiring dengan bertambahnya waktu.

Di bawah ini disajikan grafik hubungan antara konsentrasi, waktu dan jarak yang terlihat pada gambar B.8 di bawah ini.



Gambar B.8. Hubungan antara konsentrasi, waktu dan jarak pada area efektif

Gambar B.8 menunjukkan hubungan antara konsentrasi, waktu dan jarak pada area efektif. Ditinjau dari hubungan antara konsentrasi dengan waktu terlihat perbedaan konsentrasi untuk setiap waktu. Penurunan yang terjadi pada waktu 3 jam, 9 jam dan 12 jam disebabkan karena adanya sebuah proses yang dikenal dengan nama proses migrasi ion. Migrasi ion inilah yang menyebabkan penurunan konsentrasi logam krom pada setiap area, karena di dalam migrasi ion-ion krom akan berpindah menuju katoda dan pada katoda terjadi reduksi ion–ion logam menjadi logamnya sendiri, yaitu Cr^0.

Adapun reaksi reduksi pada katoda adalah :

$$Cr^{3+} + 3e \longrightarrow Cr^{0}$$

Menurut Alshawabkeh (1999) bahwa adanya penurunan konsentrasi ion-ion karena telah terjadi proses *electromigration* atau *ion migration* di bawah pengaruh medan listrik. Arus listrik yang terjadi pada tanah mengakibatkan migrasi ion-ion bermuatan menuju ke arah elektroda kebalikannya. Sebagai hasil dari adanya migrasi ion maka kation-kation dikumpulkan di kutub (katoda) dan anion-anion di kutub positif (anoda).

Fenomena yang terlihat pada konsentrsi krom 12 jam cenderung mengalami kenaikan karena kemungkinan keadaan tanah yang tidak homogen dan kemungkinan lain karena terdapatnya logam-logam lain yang mengalami reduksi lebih besar dibandingkan dengan krom.

Ditinjau dari hubungan antara konsentrasi dengan jarak terjadi perbedaan konsentrasi. Pada area II mengalami trend penurunan dan pada area I dan III mengalami trend naik. Terjadi banyak kesalahan pada penelitian awal ini, sehingga penurunan konsentrasi krom tidak optimal.

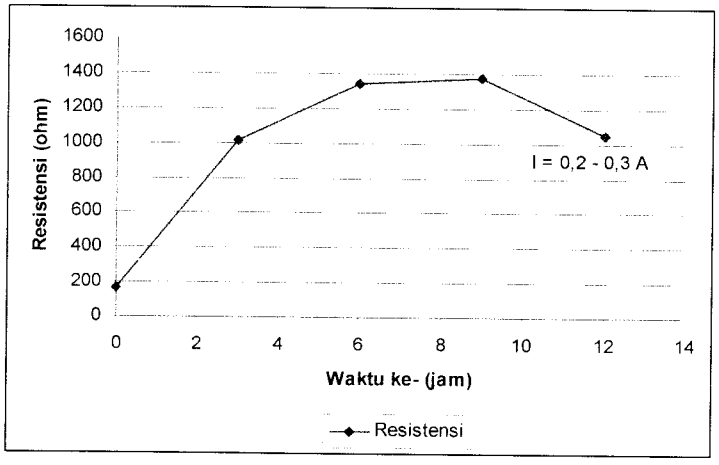
C. Hasil Analisis Arus dan resivitas

Pengukuran resivitas dan arus dilakukan dengan menggunakan multitester, dimana pengukuran dilakuakan setiap interval 3 jam. Di bawah ini disajikan data-data hasil pengukuran yang terlihat pada tabel C.1.

Tabel C.1. Hasil pengukuran pada arus dan resistensi

Waktu ke- (Jam)	Resistensi (Ω)	Arus (A)
0	166	0
3	1010	0,3
6	1340	0,2
9	1370	0,2
12	1048	0,3

Di bawah ini disajikan grafik hubungan antara resistensi, arus dan waktu yang terlihat pada gambar C.1 di bawah ini.



Gambar C.1. Hubungan antara resistensi, arus dan waktu selama proses remediasi elektrokinetik

Gambar C.1 menunjukkan hubungan antara resistensi, arus dan waktu selama proses remediasi elektrokinetik berlangsung yang mengalami kenaikan dan penurunan resistensi, begitu juga dengan arus. Pada 3 jam pertama resistensi yang terukur adalah sebesar 1010 Ω dan arus yang mengalir sebesar 0,3 A. Kenaikan resistensi juga terjadi pada pengukuran 6 jam, sehingga resistensi pada waktu ini

menjadi 1340 Ω, tetapi mengalami penurunan arus menjadi 0,2 A. Pada pengukuran 9 jam resistensi yang terukur sebesar 1370 Ω dengan arus yang konstan 0,2 A dan pada waktu pengukuran terakhir, yaitu 12 jam resistensi yang terukur turun menjadi 1048 Ω serta arus yang mengalir naik menjadi 0,3 A. Kenaikan resistensi setiap interval waktu terjadi karena adanya perpindahan ion-ion logam yang menuju batang katoda, sehingga menyebabkan luas penampang katoda semakin kecil. Kesalahan yang terjadi selama pengukuran adalah tidak dimatikannya arus yang dihasilkan *power supply* sehingga arus dan resiistensi mengalami kenaikan dan penurunan.

D. Kesimpulan

1. Pada area efektif bersifat basa dengan nilai pH antara 8 sampai 9 dan pada area inefektif bersifat basa dengan nilai pH antara 4,9sampai 5,8
2. Pada area katoda konsentrasi krom lebih besar yang disebabkan oleh tertahannya logam-logam krom pada area ini dan terakumulasi ketika menuju katoda.
3. Kenaikan resivitas pada setiap interval waktu yang disebabkan oleh pergerakan ion-ion logam krom menuju katoda.

E. Perhitungan Pembuatan Larutan Cr sebagai Kontaminan

a. Larutan kimia yang dipakai adalah Cr_2O_3 , 60%.

b. Berat Cr_2O_3 yang digunakan 30 gr.

c. Berat sample tanah :

- Berat tanah = 30 kg
- Berat air = 1 liter = 1 kg

d. Berat Cr = $\frac{BA.Cr}{BM.Cr_2O_3}$ x berat Cr_2O_3 x % kandungan Cr

= $\frac{52}{152}$ x 30 gr x $\frac{60}{100}$

= 6,157 gr

e. Konsentrasi Cr dalam tanah :

$$= \frac{BeratCr}{Berat\ \text{tan}ah + beratair}$$

$$= \frac{6{,}157gr}{30kg + 1kg}$$

= 0,198 gr/kg x 1000

= 198 mg/kg

LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

F. **Hasil Pengukuran Arus dan Resistensi Percobaan Awal Menggunakan Krom**

Waktu ke- (Jam)	Resivitas (Ω)	Arus (A)
0	166	0
3	1010	0,3
6	1340	0,2
9	1370	0,2
12	1048	0,3

LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

G. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif dan Inefektif untuk Tanah yang Menggunakan logam Krom.

1. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	8
6	9
9	9
12	9

2. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	5,8
6	5,6
9	5,4
12	4,9



ASITAS GADJAH MADA
ORATORIUM KIMIA ANALITIK
AN KIMIA
TAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

Sekip Utara PO Box BLS 21
Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 902740, 545188 pes. 11
Faks. 0274-545188

HASIL ANALISIS

No. : 1078/HA-KA/12/05
Pengirim : **Retno D.,** Puri Gejayan Indah F-11 Yogyakarta.
Jumlah sampel : 13
Penentuan : Kadar Cr
Tgl. Analisis : 22 Desember 2005

NO	KODE SAMPEL	PARA METER	HASIL PENGUKURAN (ppm)			METODE
			I	II	III	
1.	Awal 0	Cr	11,725	13,541	12,763	Atomic Absorption Spect.
2.	Area I 3 jam	"	11,447	9,375	10,929	"
3.	Area I 6 jam	"	10,485	9,838	11,132	"
4.	Area I 9 jam	"	14,296	15,591	16,886	"
5.	Area II 3 jam	"	12,763	11,466	12,763	"
6.	Area II 6 jam	"	14,319	13,281	14,838	"
7.	Area II 9 jam	"	9,120	8,602	9,638	"
8.	Area III 3 jam	"	12,483	13,519	11,447	"
9.	Area III 6 jam	"	12,503	10,687	10,687	"
10.	Area III 9 jam	"	9,387	8,868	10,424	"
11.	Area I 12 jam	"	14,826	14,567	15,863	"
12.	Area II 12 jam	"	12,200	11,425	11,683	"
13.	Area III 12 jam	"	22,092	22,611	21,314	"

LAMPIRAN II

Pembuatan larutan kontaminan Cd

f. Bahan kimia yang dipakai adalah $CdSO_4$, PA 99%.

g. Berat $CdSO_4$ yang digunakan 60 gr.

h. Berat sample tanah :

- Berat tanah = 95 kg
- Berat air = 18 liter = 18 kg

i. Berat Cd = $\frac{BA.Cd}{BM.CdSO4}$ x 60 gr x $\frac{100}{99}$

= $\frac{112,411}{208,473}$ x 60 gr x $\frac{100}{99}$

= 32,663 gr

j. Konsentrasi Cd dalam tanah :

= $\frac{BeratCd}{Berat\ \tan ah + beratair}$

= $\frac{32,663gr}{95kg + 18kg}$

= 0,289 gr/kg x 1000

= 289 mg/kg

LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

LAMPIRAN III

Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif Menggunakan logam Kadmium.

1. Hasil Pengukuran pH pada Area I

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	A1	7,2	7,1
	D1	7	
6	A1	7,4	7,5
	D1	7,6	
9	A1	7,8	7,9
	D1	8	
12	A1	9	9
	D1	9	

2. Hasil Pengukuran pH pada Area II

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	F2	5,4	5,3
	B2	5,2	
6	F2	6,2	5,6
	B2	5	
9	F2	5,6	5,9
	B2	6,2	
12	F2	6	6,1
	B2	6,2	

LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

3. Hasil Pengukuran pH pada Area III

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	ph rata-rata
0	Awal	4,8	4,8
3	C3	5,2	4,9
	E3	4,6	
6	C3	6	5,7
	E3	5,4	
9	C3	5,8	5,7
	E3	5,6	
12	C3	6	5,9
	E3	5,8	



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

LAMPIRAN IV

Hasil Pengukuran Arus dan Resistensi pada Tanah yang Tercemar Logam Kadmium

Waktu ke- (jam)	Pengukuran resistensi pada anoda (Ω)						R total (Ω)	I (A)
	A	B	C	D	E	F		
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	166,667	0
3	7260	8080	7600	7730	8130	8050	1299,253	0,2
6	11700	12570	11100	12110	12700	12160	2005,342	0,2
9	14210	15210	14190	15120	15200	15220	2473,363	0,2
12	16030	17140	17360	17120	17960	17590	2863,108	0,2

LABORATORIUM TEKNIK LINGKUNGAN FTSP UII KUALITAS LINGKUNGAN

ERSITAS GADJAH MADA

BORATORIUM KIMIA ANALITIK
SAN KIMIA
LTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

Sekip Utara PO Box BLS 21,
Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 902740, 545188 pes. 116
Faks. 0274-545188

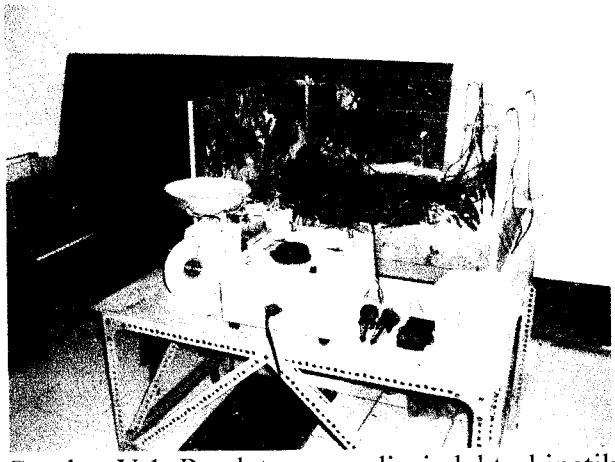
HASIL ANALISIS

No. : 1122/HA-KA/02/06
Pengirim : **Azri Irvandi,** Teknik Lingkungan UII Yogyakarta.
Jumlah sampel : 30
Penentuan : Kadar Cd dalam sampel Tanah.
Tgl. Analisis : 03 Februari 2006

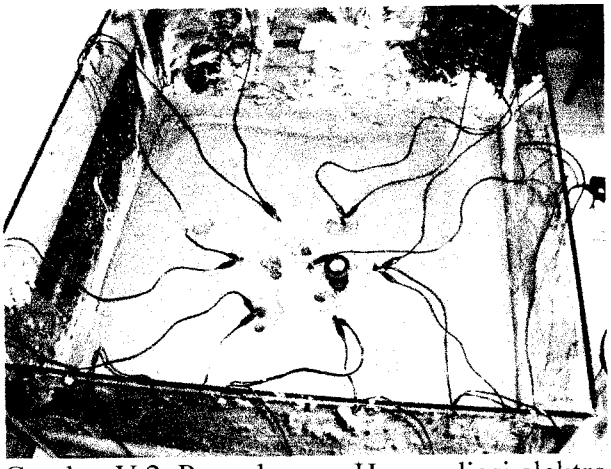
NO	KODE SAMPEL	PARA METER	HASIL PENGUKURAN (ppm)			METODE
			I	II	III	
1.	Awal	Cd	144,919	144,048	144,048	Atomic Absorption Spect.
2.	Katoda	"	42,275	41,926	42,972	"
3.	A1 3 jam	"	148,347	148,347	147,476	"
4.	B2 3 jam	"	141,291	143,033	143,033	"
5.	C3 3 jam	"	139,744	140,617	140,617	"
6.	D1 3 jam	"	144,019	144,019	144,891	"
7.	E3 3 jam	"	142,332	142,332	144,076	"
8.	F2 3 jam	"	140,504	142,247	143,119	"
9.	Z1 3 jam	"	143,147	139,661	141,404	"
10.	A1 6 jam	"	148,466	148,815	146,722	"
11.	B2 6 jam	"	142,304	145,791	142,304	"
12.	C3 6 jam	"	146,634	144,891	146,634	"
13.	D1 6 jam	"	151,803	147,447	150,060	"
14.	E3 6 jam	"	142,190	143,061	143,061	"
15.	F2 6 jam	"	141,376	141,376	141,376	"
16.	Z1 6 jam	"	141,489	139,744	140,617	"
17.	A1 9 jam	"	146,634	145,762	146,634	"
18.	B2 9 jam	"	144,019	144,891	146,634	"
19.	C3 9 jam	"	145,791	143,176	143,176	"
20.	D1 9 jam	"	146,634	144,891	145,762	"
21.	E3 9 jam	"	123,921	125,664	123,921	"
22.	F2 9 jam	"	145,733	147,476	145,733	"
23.	Z1 9 jam	"	144,105	143,233	144,105	"
24.	A1 12 jam	"	151,894	152,766	154,510	"
25.	B2 12 jam	"	147,476	146,605	144,862	"
26.	C3 12 jam	"	144,948	144,948	146,692	"
27.	D1 12 jam	"	153,546	152,674	153,546	"
28.	E3 12 jam	"	147,594	148,466	147,594	"
29.	F2 12 jam	"	145,733	146,605	145,733	"
30.	Z1 12 jam	"	143,961	144,833	145,704	"

LAMPIRAN V

DOKUMENTASI PENELITIAN



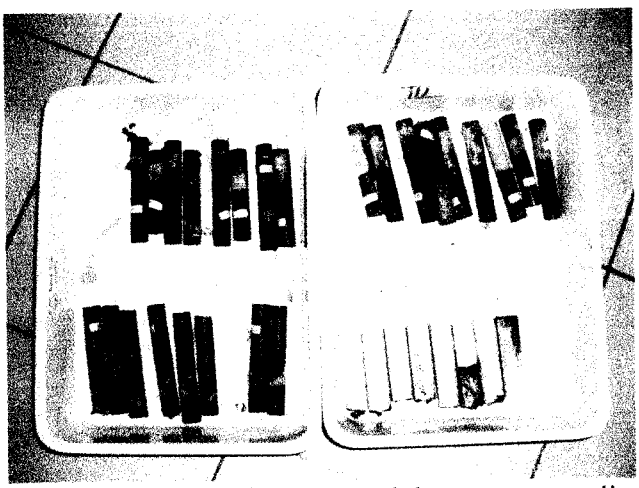
Gambar V.1. Peralatan remediasi elektrokinetik



Gambar V.2. Pengukuran pH remediasi elektro kinetik



Gambar V.3. Pengambilan sampel remediasi elektrokinetik



Gambar V.4. Sampel tanah setelah proses remedia si elektrokinetik

LAMPIRAN VI

Ambang Batas Konsentrasi Logam Berat Yang Terdapat Di Dalam Tanah

Contaminant	Average Concentration (mg/kg) 0,2 m	Average Concentration (mg/kg) 0,5 m	Average Concentration (mg/kg) 1,0 m
Copper	120	8,5	1
Chromium (total)	20,9	2	<0,2
Arsenic	17,2	2,1	<0,2
Cobalt	3,6	<0,2	<0,2
Cadmium	0,8	<0,2	<0,2
Nickel	15,3	<0,2	<0,2
Zinc	520,3	180,5	12,4

Sumber : National Environment Protection Council, 1999