
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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 in

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

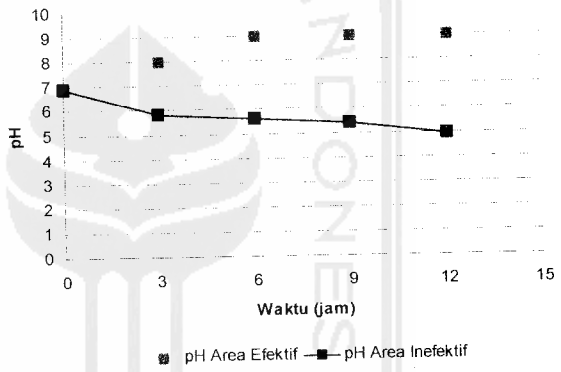
Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	8
6	9
9	9
12	9

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.

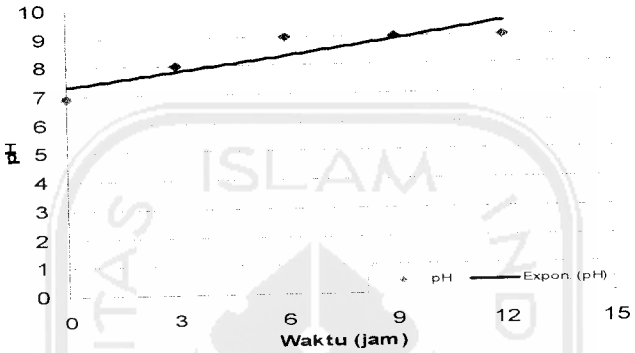


Gambar A.1. Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif dan area inefektif.

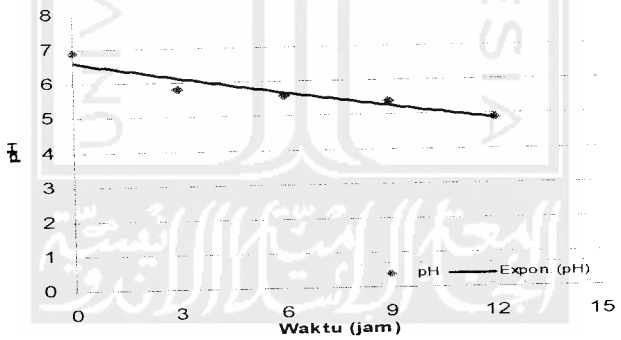
Dari gambar A.1 diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area efektif dan area inefektif. Dari perubahan pH tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia pada area efektif dan area inefektif. Pada peneletian awal pH di area efektif dalam kondisi basa ini dikarenakan 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.



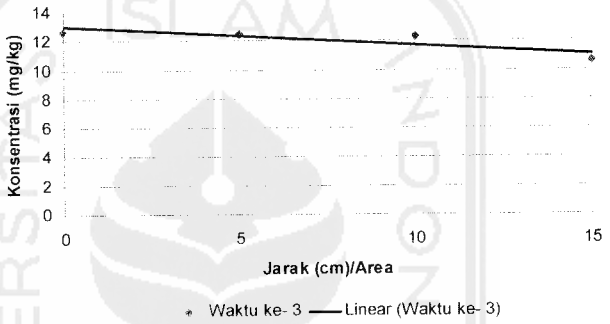
Gambar A.2 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif



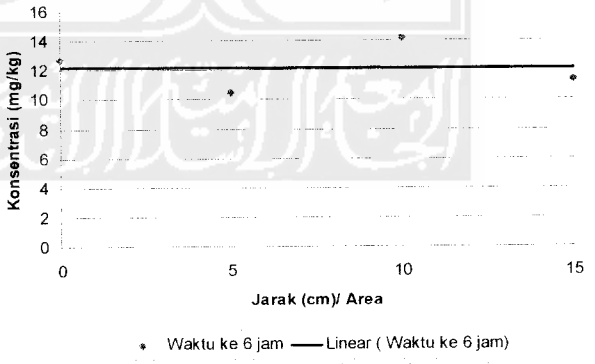
Gambar A.3 Hubungan pH terhadap waktu pada area inefektif

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

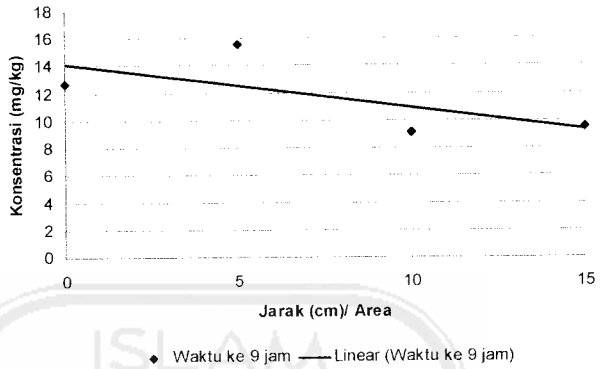
Dari data hasil pengukuran krom tersebut, dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak untuk setiap interval 3 jam yang dapat dilihat pada gambar B.1 sampai gambar B.4 di bawah ini.



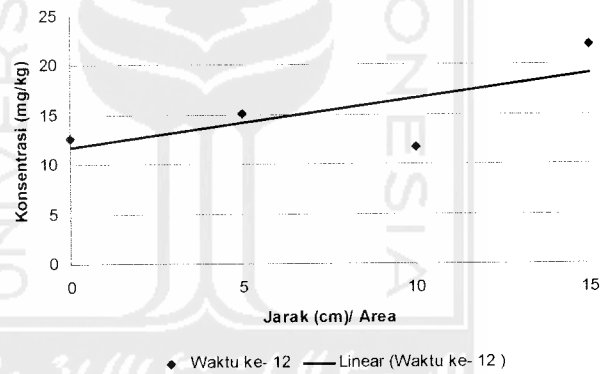
Gambar B.1. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 3 jam



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

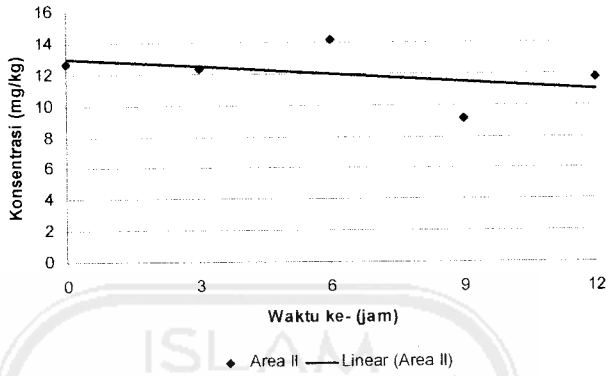


Gambar B.3. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 9 jam

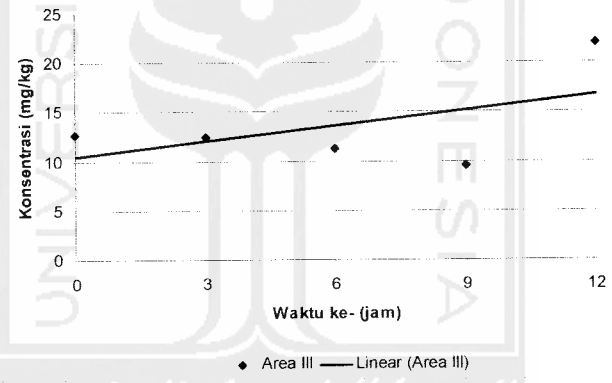


Gambar B.4 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 12 jam

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



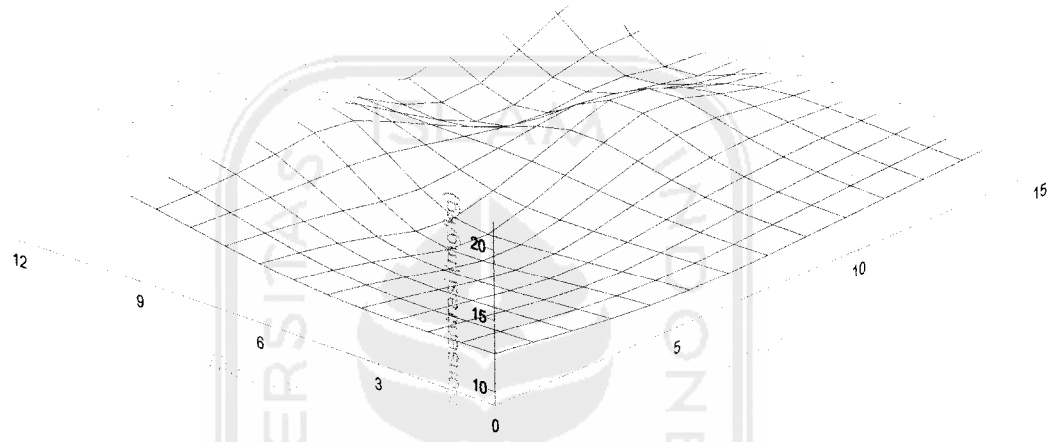
Gambar B.6. Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area II



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.

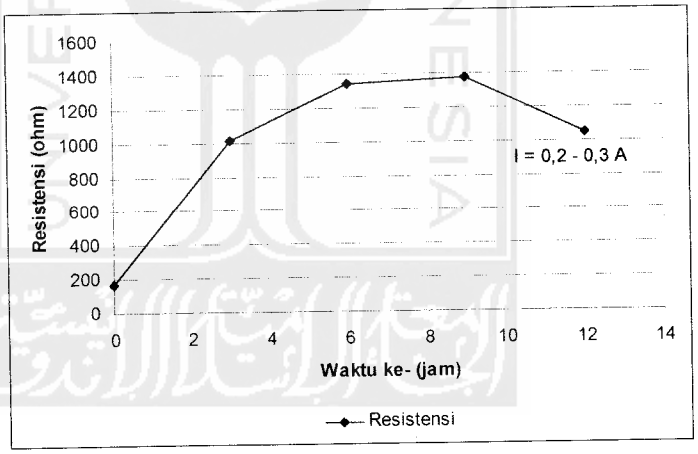
C. Hasil Analisis Arus dan resivitas

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 :

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

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

= 0,198 gr/kg x 1000

= 198 mg/kg

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

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

LAMPIRAN II

2.1 PEMANFAATAN METODE REMEDIASI ELEKTROKINETIK UNTUK MENURUNKAN KADAR KHROM (Cr).

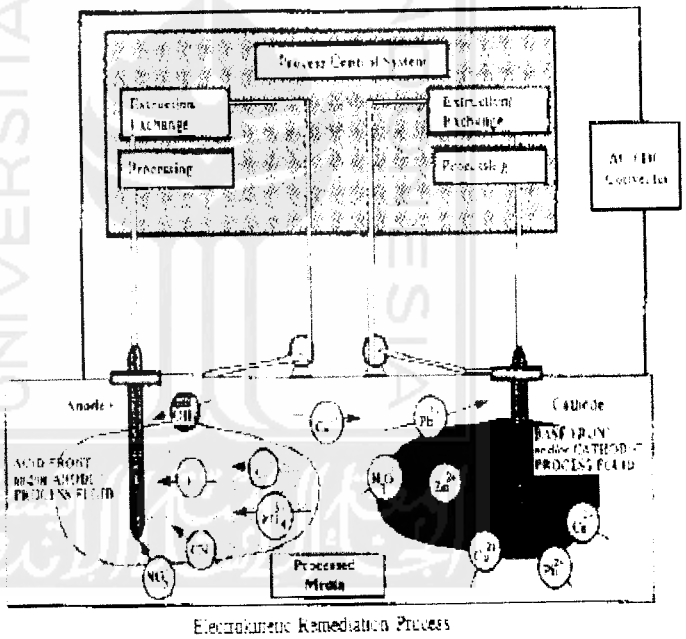
2.1.1 Studi Terdahulu

2.1.1.1 Electro-Klean® yang memproses elektrokinetik tanah [EPA, 1994a]

Electro-Klean® adalah proses electrokinetic tanah yang menggunakan arus searah dengan electroda yang ditempatkan pada masing-masing sisi tanah yang dicemari dengan memisahkan dan menyuling/menyadap logam berat serta zat-pencemar organik pembentuk tanah, yang dapat diterapkan dengan *in-situ*. *Conditioninf* mengalir seperti larutan asam yang digunakan untuk elektroda (katoda) untuk meningkatkan proses deplorisasi. **Gambar 2.4** menggambarkan bidang yang memproses rencana dan aliran ion ke masing-masing lubang yang terkandung. Pengaruh cairan pada pori-pori mungkin dengan ditambahkan atau yang diedarkan di electroda ke proses pengawasan *electrochemistry*. Zat-Pencemar dipisahkan dengan listrik dalam post-treatment unit.

Electro-Klean® ekstrasi logam berat, radio-nuclides, dan kontaminan organik lainnya. *Bech-Scale test* sudah memindahkan arsenik, benzen, cadmium, kromium, tembaga, ethylbenze, lead, nikel, zat asam karbol, trichloroethylene, toluene, xylene, dan seng dalam tanah. *Pilot-Scale* pada percobaan skala lapangan dapat menurunkan kandungan seng dan arsenik dari caly pasir jenuh dan tidak

jenuh juga pasir tersimpan. Lead dan tembaga juga dipindahkan dari sedimen dengan cara dikeruk. Perawatan efisiensi tergantung pada bahan-kimia yang spesifik, konsentrasi dan kapasitas lahan. Teknik ini membuktikan 85 dari 95% efisien untuk memindahkan zat asam karbol pada konsentrasi 500 ppm. Sebagai tambahan, kepindahan untuk lead, kromium , dan uranium meninggalkan sampai pada 2,000 μg/g, bergerak antara 5 dan 95%.



Electrokinetic Remediation Process

Gambar 2.1 Proses Elektrokinetik pada Tanah

2.1.1.2 Sistem Remediasi Electrokinetic untuk tanah yang terkontaminasi Metals (DOE).

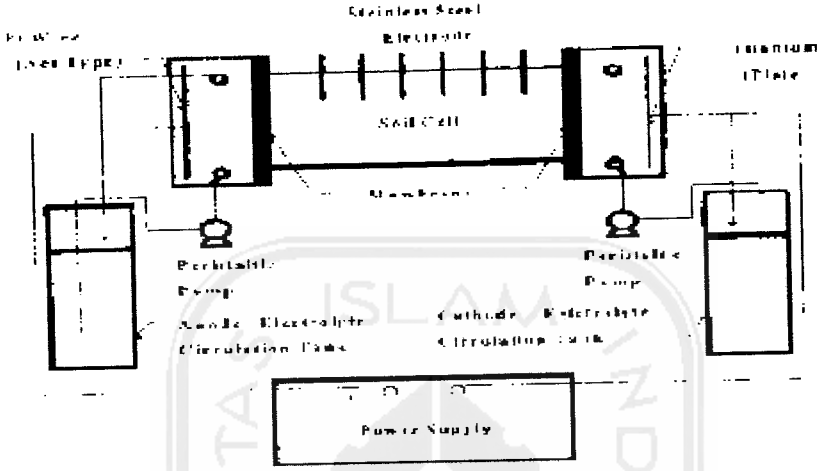
Logam bersifat ion seperti air raksa dan uranium pindah bergerak melalui tanah ketika diperlakukan ke suatu medan elektrik yang dikenakan. Peristiwa Electrokinetic ini dapat menarik kontaminan uranium dan menghalangi penangkapan uranium untuk disposal yang terjadi secara umum. *Extractants* digunakan untuk tingkatkan daya larut metal. **Gambar 2.5** menunjukkan proses yang diinstall. Remediasi pencemaran oleh logam berat dan radionuklida bersifat ion gesit dan *Low-Permeability* remediasi tanah Lebih Ekonomis jika dibandingkan ke penjualan dan penggalian, mengurangi resiko kesehatan dihubungkan dengan penggalian, mengurangi volume limbah buangan.



Gambar 2.2 Sistem Remediasi Elektrokinetik Untuk Tanah yang Terkontaminasi Metals.

2.1.1.3 Remediasi Electrokinetic yang ditingkatkan untuk kepindahan dari zat-pencemar organik [Kim et al., 2000].

Pencemaran organik dalam tanah suatu masalah umum pada buangan yang berresiko. Studi ini menyelidiki aplikasi peningkatan proses elektrokinetik tanah untuk remediasi tanah yang dicemari dengan zat asam karbol (C6H5OH) dan PCP (pentachlorophenol;C6Cl5OH). Remediasi elektrokinetik tanah mempunyai efisiensi removal tinggi dan *time-effectiveness* dalam kemampuannya menyerap air atau gas tanah rendah seperti tanah liat. Studi bersifat percobaan ini menguji proses yang ditingkatkan dari *electrokinetically* untuk membersihkan tanah yang dipenuhi bahan kimia, seperti yang ditunjukkan di dalam **Gambar 2.6**. Pengolahan elektrokinetik tanah dengan memindahkan kutub zat-pencemar organik dengan *electromigration*, *electroosmosis*, difusi, dan elektrolisis tentang air. Kepindahan efisiensi dipengaruhi oleh voltase yang diterapkan, jenis solusi yang membersihkan, pH tanah, dapat menyerap air atau gas dan zeta potensi tanah. Tergantung pada tingkatan yang asli atau banyak sekali polutan dan jangka waktu dari kepindahan proses, efisiensi kepindahan zat asam karbol dan PCP adalah yang lebih tinggi dibanding 85% di atas jangka waktu 4 hari dan sebagian besar bergantung pada arus yang *electroosmosis*,dibawah ini adalah gambar 2.6 tentang proses remediasi elektrokinetik.



Gambar 2.3 Enhanced Electrokinetic Remediation for Removal of Organic Contaminants

2.1.1.4 Remediasi Elektrokinetik dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal pada Tanah Yang Terkontaminasi Logam Berat Khrom (Cr) [Siti Fatimah, 2004].

Tanah merupakan salah satu medium alami untuk pertumbuhan dan perkembangan mikoorganisme yang tersusun dari bahan organik dan anorganik. Adanya bahan pencemar berupa logam berat dalam tanah yang bersifat toksik misalnya Hg, Cu, Cr, dan Pb pada konsentrasi tertentu dapat menghambat pertumbuhan dan aktifitas respirasi mikroorganisme. Studi ini meneliti tentang

teknologi remediasi elektrokinetik terhadap tanah yang diberi kontaminan logam berat Cr.

Pada teknologi ini menggunakan elektroda karbon dengan panjang 5 cm dengan jumlah elektroda 7 satu sebagai katoda dan 6 sebagai anoda, jarak antar elektroda 15 cm serta menghidupkan *power supply* dengan sumber arus listrik AC 220 Volt agar arus DC maksimum 30 A 60 Volt dapat mengalir pada permukaan tanah lempung, daya arus dan kuat arus yang digunakan dalam percobaan ini adalah 40 Volt 0,2 A. Elektroda di tancapkan pada tanah secara horizontal atau vertikal, tanah dialiri arus listrik sehingga logam berat Cr bergerak dan menempel pada elektroda dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*, waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12 jam dengan durasi tiap 3 jam. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini bahwa teknologi elektrokinetik ini dapat sukses di aplikasikan pada tanah lempung, dan efisien untuk menurunkan konsentrasi logam berat Cr dalam tanah dengan nilai efisien 78,13 %.

LAMPIRAN III

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pH pada Area efektif

Waktu (jam)	pH
0	6,5
3	6,9
6	7
9	7,1
12	7,5

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pH pada Area Inefektif

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

Tabel 4.3. Hasil pengukuran pH pada area I

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	6,5	6,5
3	A1	6,7	6,8
	C1	6,9	
6	A1	6,9	7
	C1	7	
9	A1	7,2	7,3
	C1	7,3	
12	A1	7,4	7,4
	C1	7,4	

Tabel 4.4. Hasil pengukuran pH pada area II

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	pH rata-rata
0	Awal	6,5	6,5
3	A2	6,5	6,4
	C2	6,3	
6	A2	6,8	6,5
	C2	6,1	
9	A2	6,6	6,7
	C2	6,8	
12	A2	6,9	7,1
	C2	7,3	

Tabel 4.5. Hasil pengukuran pH pada area III (Katoda)

Waktu ke- (jam)	Titik Pengukuran	pH	ph rata-rata
0	Awal	6,5	6,5
3	A3	6,2	6,1
	C3	6	
6	A3	6,4	6,2
	C3	5,9	
9	A3	6,2	6,2
	C3	6,1	
12	A3	6,5	6,4
	C3	6,2	

Tabel 4.6. Konsentrasi Zn rata-rata pada area I

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	415,20
3	A1	364,40
6	A1	277
9	A1	542,40
12	A1	446,20

Tabel 4.7. Konsentrasi Zn rata-rata pada area II

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	415,20
3	A2	364,40
6	A2	524,20
9	A2	408,40
12	A2	458,20

Tabel 4.8. Konsentrasi Zn rata-rata pada area III

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	Awal	415,20
3	A3	416
6	A3	437,40
9	A3	449,20
12	A3	418,80

Tabel. 4.9. Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area I

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	415,20	6,5
3 jam	364,40	6,8
6 jam	277	7
9 jam	542,40	7,3
12 jam	446,20	7,4

Tabel. 4.10. Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area II

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	415,20	6,5
3 jam	364,40	6,4
6 jam	524,20	6,5
9 jam	408,40	6,7
12 jam	458,20	7,1

Tabel. 4.11. Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area III

Waktu Ke-	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)	ph rata-rata
0 jam	415,20	6,5
3 jam	416	6,1
6 jam	437,40	6,2
9 jam	449,20	6,2
12 jam	418,80	6,4

Tabel 4.12. Konsentrasi seng awal dan yang menempel di katoda

Titik Sampel	Konsentrasi Rata-rata Area (mg/kg)
Awal	415,20
Katoda	187,248

Tabel 4.13. Konsentrasi Seng pada Area inefektif

Waktu (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/kg)
0	X1	415,20
3	X1	395,15
6	X1	392,48
9	X1	385,23
12	X1	395,96

Tabel 4.14. Hasil pengukuran resistensi pada masing-masing anoda

Waktu ke- (jam)	**Resistensi (Ω)**	**Arus (A)**
0	100	0
3	360	0,2
6	140	0,2
9	90	0,2
12	30	0,2

LAMPIRAN IV

Hasil Pengukuran Arus dan Resistensi pada Tanah yang Tercemar Logam Seng

No	Waktu (Jam)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Rtotal (Ω)	I (A)
1	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	100	0,2
2	3	0,67	3,95	4,4	5,5	4,2	2,4	360	0,2
3	6	0,6	4	0,3	3	4	1	140	0,2
4	9	0,33	1,85	0,2	2	2,5	0,9	90	0,2
5	12	0,2	0,4	0,1	0,1	2,4	0,8	30	0,2

LAMPIRAN V

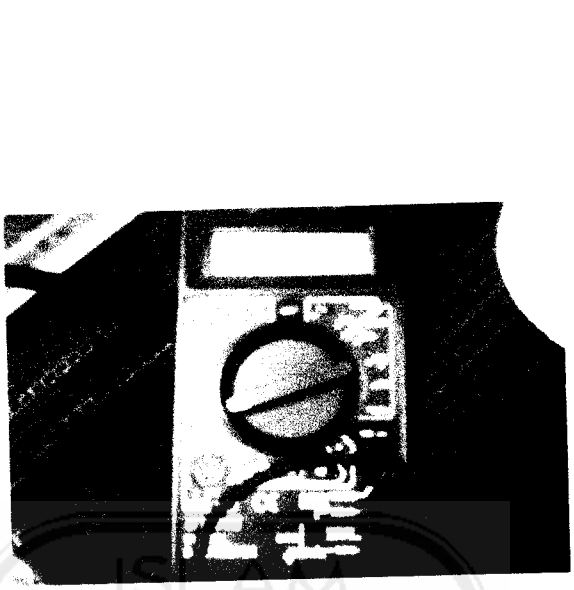
DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar V.1. Peralatan remediasi elektrokinetik



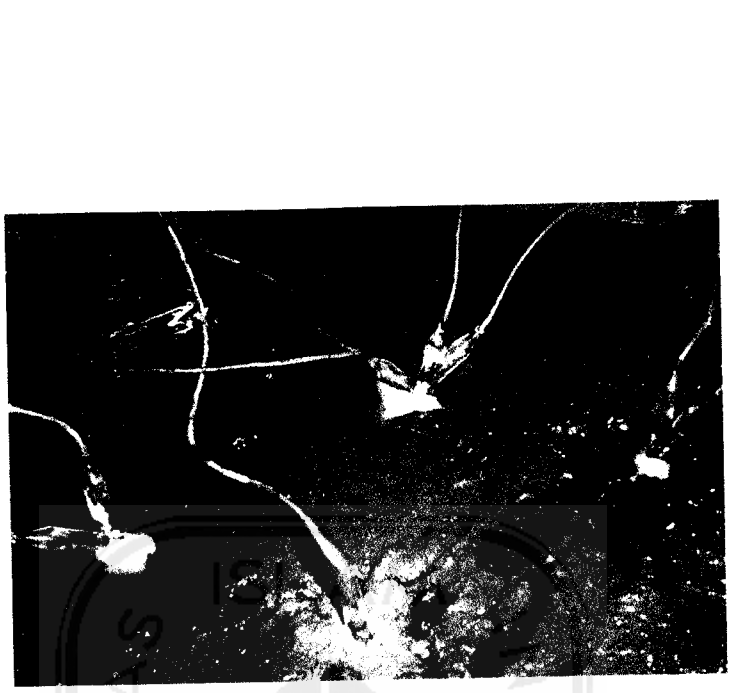
Gambar 1. *Power supply*



Gambar 2. Multitester



Gambar V.2. Pengukuran pH remediasi elektro kinetik



Gambar 7. Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi berlangsung

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

LAMPIRAN VII

Nilai effisiensi konsentrasi Zn pada area efektif dan area inefektif

- Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area I

$$E = \frac{Cawal - Cakhir}{Cawal} \times 100\%$$

$$= \frac{415{,}20\ ppm - 446{,}20\ ppm}{415{,}20\ ppm} \text{ x } 100\ \%$$

$$= -\ 0{,}746\ \%$$

- Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area II

$$= \frac{415{,}20\ ppm - 458{,}20\ ppm}{415{,}20\ ppm} \text{ x } 100\ \%$$

$$= -\ 10{,}35\ \%$$

- Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area III

$$= \frac{415{,}20\ ppm - 418{,}80\ ppm}{415{,}20\ ppm} \text{ x } 100\ \%$$

$$= 0{,}86\ \%$$

- Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area inefektif

$$= \frac{415{,}20\ ppm - 395{,}96\ ppm}{415{,}20\ ppm} \text{ x } 100\ \%$$

$$= 4{,}63\ \%$$