

TA/TL/2006/081

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	6 Juli 2006
NO. JUDUL :	00 2021
NO. INV. :	812 0000 2021 001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK PADA LIMBAH SLUDGE
PENYAMAKAN KULIT MENGGUNAKAN KONFIGURASI
ELEKTRODA TIPE 2-D HEXAGONAL**

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

n
628 4
Daru
r
1

DIBACA DI PERPUSTAKAAN
TEKNIK LINGKUNGAN
TAK DIBAWA PULANG



RETNO DAMAYANTI
01 513 083

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2006**

XVII, 17 Juli 2006

• penyusunan lembar
• penul. lembar
• lembar slide - pe
• penyusunan lembar
• konfigurasi elektroda tipe
2D hexagonal
• judul

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

TA/TL/2006/081

TUGAS AKHIR

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK PADA LIMBAH *SLUDGE*
PENYAMAKAN KULIT MENGGUNAKAN KONFIGURASI
ELEKTRODA TIPE 2-D *HEXAGONAL***

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



Disusun oleh:

RETNO DAMAYANTI

01 513 083

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

2006

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

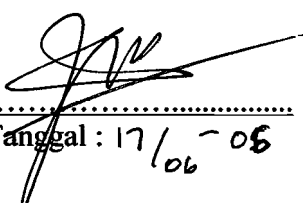
REMEDIASI ELEKTROKINETIK PADA LIMBAH *SLUDGE* PENYAMAKAN KULIT MENGGUNAKAN KONFIGURASI ELEKTRODA TIPE 2-D *HEXAGONAL*

Nama : **RETNO DAMAYANTI**
No. Mahasiswa : **01 513 083**
Program Studi : **Teknik Lingkungan**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :


Dosen Pembimbing I

Dr. Sismanto


Tanggal : 17/06-06

Dosen Pembimbing II

Lugman Hakim, ST. Msi


Tanggal : 19/6 2006

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK pada LIMBAH *SLUDGE* PENYAMAKAN
KULIT MENGGUNAKAN KONFIGURASI ELEKTRODA TIPE 2-D
*HEXAGONAL***

ABTRAKSI

Pemanfaatan bahan kimia berupa krom (Cr) sebagai bahan perontok bulu pada kulit akan menghasilkan limbah berupa krom heksavalen (Cr^{6+}) baik berupa limbah cair maupun limbah padat. Krom (Cr) merupakan logam berat yang termasuk pada limbah Bahan Bahaya dan Beracun (B3) yang jika terakumulasi dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh manusia seperti kanker, iritasi dan gangguan fungsi ginjal.

Salah satu solusi dari pencemaran limbah penyamakan kulit adalah remediasi dengan menggunakan metode elektrokinetik. Remediasi elektrokinetik yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi tipe 2-D *Hexagonal*, dimana katoda diletakkan ditengah sedangkan anoda diletakkan pada bagian luar membentuk segi enam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena remediasi elektrokinetik pada limbah *sludge* yang mengandung logam berat Cr dan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi Cr.

Metode remediasi elektrokinetik ini menggunakan tegangan 40 volt dan 0,2 A dengan arus DC tetap. 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 dengan durasi tiap 3 jam dianalisis sampelnya. Wadah yang dipakai terbuat dari kaca berdimensi 1 m x 1 m x 0,7 m dan *sludge* yang dipakai sebanyak 110 kg.

Dari hasil analisis diperoleh efisiensi penurunan konsentrasi Cr pada area I : 11,53 %, area II : 15,50 % dan area III : 13,13 %. Terdapat perubahan pH dan konsentrasi pada setiap area. pH pada area anoda bersifat basa yaitu 9 dan pada area katoda bersifat asam yaitu 6,85. Penurunan konsentrasi Cr tidak terlalu besar karena mungkin disebabkan oleh ukuran elektroda yang kurang optimal dan keakuratan analisis sampel yang kurang baik.

Kata-kata kunci : remediasi elektrokinetik, krom (Cr).

**ELECTROKINETIC REMEDIATION For LEATHER TANNING SLUDGE
WASTE USING 2-D HEXAGONAL ELCTRODE CONFIGURATION**

ABSTRACT

Chemical application of Chrome (Cr) as the body hair huller substance will produce heksavalent Chrome waste (Cr^{6+}) both in the form of liquid and solid. Chrome (Cr) is a scrap metal included to Dangerous and Poisonous Substance (B3). If this substance is accumulated, it can cause dysfunction in the human body such as cancer, irritation, and kidney dysfunction.

One of the solutions of the skin tanning chemical waste is remediation by using electro kinetic method. Electrokinetic remediation which is applied in this research is 2-D Hexagonal Configuration, where cathode located in the middle whereas anode located in the outside forming hexagonal. The purpose of the research is to find out the electrokinetic remediation phenomenon of the sludge waste containing Cr scrap metal and the Cr concentration efficiency reduction.

Electrokinetic remediation method applies 40 volt tension and 0.2 A constant DC current. The applied electrode is carbon electrode of extinct dry cell diameter 0.8, 5 cm long and the gap among the electrodes is 15 cm, remediation period is 12 hours and in the 3 hours duration the sample analyzed. The plate is made of glass 1 m x 1 m x 0.7 m dimension and the sludge is 110 kg.

According to the result of the analysis Cr concentration efficiency reduction in the area I: 11.53%, area II: 15.59% and area III: 13.13%. There is a pH alteration and the concentration of each area. pII in the anode area is alkali that is 9 and the cathode area is acid that is 6.85. The reduction Cr concentration is not much in amount because the size of the electrode is not optimum and the sample analysis accuracy is not precise enough.

Key words: Electrokinetic remediation, Chrome (Cr)

PERSEMBAHAN

Kedua Orang Tua ku

H. Muh. SOEDARSO

*Terima kasih atas semua yang sudah bapa berikan kepada anakmu ini,
Berkat dukungan dan jerih payah beliau aku masih bisa bernafas dan menghasilkan
Karya kecil ini walaupun beliau cuek tapi aku tau beliau peduli pada putri kecilnya
Aku akan terus menjadi putri kecilmu*

Hj. SRI HARTATI

*Mah terima kasih yang ta terhingga atas semuanya....kasih sayang mamah,
Perhatian mamah, mamah adalah ibu terbaik buat aku putri kecilmu,
Dengan penuh perjuangan mamah melahirkan dan membesarkan aku....
Karya ini khusus kupersembahkan buat mamah... LOVE U Mam.*

Kakak – kakakku tersayang

PRASETYO HERRY SILVIANO, A.md

LILICANTIK, S.Kom

LOLIANA MEI KUSUMANINGRUM, S.Psi

RADITE HERU SATRIA

*Kalian anugerah terindah dari ALLAH, dukungan, kasih sayang kalian yang menjadi
Motivasi ku untuk jadi yang terbaik dan bertahan menghadapi cobaan hidup*

Keponakanku tersayang

Muh. FAJRUNNAQI BAYU PANUNJUNG

*Abem makasih sayang berkat abem nte eno bisa menyelesaikan karya kecil ini
Nte eno sayang ma abem.....*

UCAPAN TERIMA KASIH

1. *Kel. Besar H. Yasin, S. Hut, spesial Yenny Maretha, ST, neng makasih dukungan dan semangatnya, nyoi kamu sahabat sekaligus saudaraku yang terbaik diberikan Allah*
2. *Ahmad Firdaus thank's atas dukungan, kasih sayang, kesabaran & semangatnya buat eno walaupun berjauhan insya Allah daus tetap yang terbaik.*
3. *Rima Fitriani, ST, ima makasih selama ini berkat ima akhirnya selesai juga tugas akhir aku, dukungan n semangat dari ima jadi motivasi buat aku..... maaf kemaren ngga ngantar ima ke bandara..... sukses buat ima.*
4. *Yenny Maliana Mustofa, ST, yen aku ga tau mesti ngomong apa lagi makasih semuanya, makasih juga udah mau dengerin keluhanku, kamu juga sahabat terbaik aku..... thank's ya printernya (Hidup cuma sekali berikan yang terbaik buat diri dan kebahagiaanmuCiaayoo).*
5. *Evariani Sulastri, ST (evot) ma Dian A. ST, terima kasih banyak dukungannya sukses....*
6. *Febrian Abdullah, ST, kucel makasih ya semuanya..... walaupun jauh kamu tetap sahabatku, Andry Wilson (moci) makasih ya ci kamu baik banget..... moga langgenga ma NITA he..he., abang Mail makasih semuanya ade cuma bisa doain m'ga cepet digarap TA nya n cepet lulus.*
7. *Azri makasih banyak..... akhirnya selesai juga perjuangan kita zri.... salam buat NIA maaf ngerepotin dia terus, Rince ayo ce semangat cepet diselesaikan laporan TA nya biar cepet nyusul.*
8. *Yulia R, ST, Pravita R, ST (mamah) + babah (EEN), indri (Ciaayoo cepetan TA.....), Nuniek, idep, HWG, ST, puput, iko, media, novi, lukj (fitnes ki...), qinoy, warih,, affan, indras (janji adalah utang), wisnoe, yuli solo, nilam, yuyun lombok, arianti, maiz, ferin, nial, alin, ida, nana, pipit n azis (moga langgeng...), dede, imam, fikar, pandu, boncel, Jack Daniel (jombor jok.....), bayu pa de, om agung, adi, ari 03 (cepat selesai ya ri, bjm nunggu ikam he..he..) pokoknya buat 01 yang belum lulus n belum TA cepet lulus, cepet TA, angkatan 01 The best.....*
9. *Deny A. T (kenangan terindah....), Wahyu sinchan (teman terbaik aku.....terus jadi sahabat aku), Jaka (ayo semangat....), Robby (thank's dukungan, perhatiannya), Anto, Deny sipil Darmanto, Deny sumbawa, Neneng + Novi (undangannya di tunggu...), wahyu ucil, dan yang lainnya yang ngga bisa disebutin satu persatu makasih banyak*
10. *Anak-anak KKN Unit 25 angkatan 30 (Gowo, Mz aan, Adit, Anton, Dinni, Atik, Aisah, Anggin, de Irawan, Yogo, ika, Mz faqih), Ciaayoo..... kapan ke nambongan lagi he..he..aku KANGEN ma kalian.....*

MOTTO

Tuntutlah ilmu, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada ALLAH Azza wajalla, dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh. Sesungguhnya ilmu pengetahuan menempatkan orangnya dalam kedudukan terhormat dan mulia (tinggi). Ilmu pengetahuan adalah keindahan bagi ahlinya di dunia dan di akhirat. (HR, Ar-rabii)

Apabila Allah memberikan kenikmatan kepada seseorang hendaknya dia pergunkan pertama kali untuk dirinya dan keluarganya . (HR, Muslim)

*Sabar yang sebenarnya ialah sabar pada saat bermula tertimpa musibah.
(HR, Al Bukhari)*

Paling kuat tali hubungan keimanan ialah cinta karena ALLAH dan benci karena ALLAH. (HR, Athabrani)

Kegagalan adalah keberhasilan dan kesuksesan yang tertunda

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

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

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

1. **Bapak Prof. Dr. Drs. Edy Suandi Hamid, MEd** selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. **Bapak Dr. Ir. H. Ruzardi, MS** selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. **Bapak Luqman Hakim, ST. Msi** selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir
4. **Bapak Kasam, ST. MT** selaku dosen penagajar Jurusan Teknik Lingkungan.
5. **Bapak Dr. Sismanto** selaku dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
6. **Bapak Eko Siswoyo, ST** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan dan Koordinator Tugas Akhir.
7. **Bapak Hudori, ST, Bapak Andik Yulianto, ST**, selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
8. **Bapak Samsudin, dan Mas Tasyono**, selaku koordinator lab.Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan UII.
9. **Mas Agus** yang selalu tabah direpotin masalah administrasi.

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tentu tidak luput dari kesalahan ada pepatah mengatakan *Tidak Ada Gading Yang ta Retak*. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

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

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Mei 2006

RETNO DAMAYANTI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABTRAKSI	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum	7
2.2 Limbah penyamakan kulit	8
2.2.1 Proses penyamakan kulit	10
2.2.2 Parameter utama dari kegiatan penyamakan kulit	11
2.2.3 Bahan penyamakan kulit	11
2.2.4 Penanganan limbah padat	12
2.2.5 Sumber dan karakteristik limbah industri penyamakan kulit...	13

2.3	Identifikasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.....	14
2.3.1	Definisi limbah B3	14
2.3.2	Identifikasi limbah berdasarkan karakteristik	14
2.3.2.1	Mudah terbakar	14
2.3.2.2	Mudah meledak	14
2.3.2.3	Limbah reaktif	15
2.3.2.4	Limbah infeksi	15
2.3.2.5	Limbah korosif	15
2.3.2.6	Limbah beracun	15
2.4	Kromium (Cr)	16
2.4.1	Krom (Cr) dalam lingkungan	19
2.4.2	Kegunaan krom (Cr) dalam kehidupan	20
2.4.3	Keracunan kromium (Cr)	21
2.4.4	Efek kromium (Cr) pada lingkungan	22
2.4.5	Efek kromium (Cr) bagi kesehatan	23
2.5	Penetralkan Kromium (Cr) Dengan CaCO_3	24
2.6	Pemanfaatan Metode Remediasi Elektrokinetik untuk	25
	Menurunkan Kadar Khrom (Cr)	
2.6.1	Studi terdahulu	25
2.6.1.1	Electro-klean yang memproses elektrokinetik	25
	tanah.	
2.6.1.2	Sistem remediasi elektrokinetik untuk tanah yang	27
	terkontaminasi metals (DOE).	
2.6.1.3	Remediasi elektrokinetik yang ditingkatkan untuk	28
	Kepindahan dari zat pencemar organik (kim dkk, 2000)	
2.6.1.4	Remediasi elektrokinetik dengan model	30
	kofigurasi elektroda 2-D <i>hexagonal</i> pada tanah yang	
	terkontaminasi logam berat khrom (Cr)	
	[siti fatimah,2004]	
2.7	Material dan Konfigurasi Elektroda 2-D <i>Hexagonal</i>	31

2.7.1 Material elektroda	31
2.7.2 Konfigurasi elektroda 2-D <i>hexagonal</i>	32
2.8 Landasan Teori	34
2.8.1 Katoda	37
2.8.2 Anoda	39
2.8.3 Elektrokinetik	40
2.9 Hipotesa	41

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian	42
3.2 Lokasi Penelitian	42
3.3 Waktu Penelitian	42
3.4 Objek Penelitian	43
3.5 Metode Pengumpulan Data	43
3.6 Metode Eksperimen	43
3.6.1 Tahap pra penelitian	44
I. Persiapan alat dan bahan	44
II. Perencanaan	45
3.6.2 Tahap penelitian	46
3.7 Tahap Akuisisi Data	48
3.8 Analisa Hasil Penelitian	51
I. Tabel hasil analisa data	51
II. Analisis Data	55

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Percobaan Awal pada Tanah Lempung Kaolinit	56
4.1.1 Hasil pengukuran pH pada area efektif dan area inefektif.	56
4.1.2 Hasil analisis konsentrasi Cr pada area efektif	61
4.1.3 Hasil analisis pada arus dan resistensi	70

4.2 Penelitian pada Limbah <i>Sludge</i> Penyamakan Kulit	73
4.2.1 Hasil pengukuran pH pada area efektif	73
4.2.2 Hasil analisis konsentrasi Cr pada area efektif	84
4.2.3 Hasil analisis resistensi dan arus	96
4.2.4 Hasil analisis konsentrasi Cr pada area inefektif	99
4.2.5 Hubungan konsentrasi Cr, pH dan waktu	101
4.3 Hasil Analisis Konsentrasi Cr Keseluruhan	106
4.4 Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr	108

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	112
5.1.1 Percobaan pada limbah sludge penyamakan kulit	112
5.1.2 Percobaan pada tanah lempung kaolinit	113
5.2 Saran	113

DAFTAR PUSTAKA	115
-----------------------------	------------

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Limbah pada Tiap Proses Penyamakan Kulit	13
Tabel 2.2	Beberapa Sifat Fisik Logam Kromium	17
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif	57
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran pH pada Area Inefektif	58
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran Cr pada Area I	62
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Cr pada Area II	62
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Cr pada Area III	63
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran pada Arus dan Resistensi	70
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran pH dalam Area I (Anoda)	74
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran pH dalam Area II	74
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran pH dalam Area III (Katoda)	75
Tabel 4.10	Hasil Analisis Konsentrasi Cr dalam <i>Sludge</i> pada Area Efektif	85
Tabel 4.11	Konsentrasi Cr pada Area I (Anoda)	86
Tabel 4.12	Konsentrasi Cr pada Area II	86
Tabel 4.13	Konsentrasi Cr pada Area III (Katoda)	86
Tabel 4.14	Hasil Pengukuran pada Resistensi dan Arus	96
Tabel 4.15	Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif	99
Tabel 4.16	Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area I	102
Tabel 4.17	Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area II	102
Tabel 4.18	Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area III	102
Tabel 4.19	Hasil Analisis Konsentrasi Cr dalam <i>Sludge</i> pada	106

Seluruh Titik Sampling Selama 12 Jam.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Atom Logam Kromium	16
Gambar 2.2 Proses Elektrokinetik pada Tanah	26
Gambar 2.3 Sistem Remediasi Elektrokinetik untuk Tanah yang Terkontaminasi Metals.	27
Gambar 2.4 Enhanced Electrokinetic Remediation for Removal of Organic Contaminants.	29
Gambar 2.5 Remediasi Elektrokinetik pada Tanah Kaolinit Mengandung Khrom (Cr).	31
Gambar 2.6 Tipe Konfigurasi Elektroda 2-D	33
Gambar 2.7 Prinsip Dasar Remediasi Elektrokinetik	36
Gambar 2.8 Design Bidang Elektrokinetik	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 3.2 a. Konfigurasi 2-D <i>Hexagonal</i>	48
b. Titik Sampling	49
c. Reaktor dan Elektroda	50
Gambar 4.1 Hubungan pH Terhadap Waktu pada Area Efektif dan Area Inefektif.	59
Gambar 4.2 Hubungan pH Terhadap Waktu pada Area Efektif	60
Gambar 4.3 Hubungan pH Terhadap Waktu pada Area Inefektif	60
Gambar 4.4 Hubungan Antara Konsentrasi Krom dengan Jarak pada Waktu ke-3 jam.	63
Gambar 4.5 Hubungan Antara Konsentrasi Krom dengan Jarak pada Waktu ke-6 jam.	64
Gambar 4.6 Hubungan Antara Konsentrasi Krom dengan Jarak pada Waktu ke-9 jam.	64
Gambar 4.7 Hubungan Antara Konsentrasi Krom dengan Jarak pada Waktu ke-12 jam.	65
Gambar 4.8 Hubungan Antara Konsentrasi, Waktu dan Jarak	66

Gambar 4.9 Hubungan Antara Konsentrasi dengan Waktu pada Area I	68
Gambar 4.10 Hubungan Antara Konsentrasi dengan Waktu pada Area II	68
Gambar 4.11 Hubungan Antara Konsentrasi dengan Waktu pada Area III	69
Gambar 4.12 Hubungan Konsentrasi Krom dengan Waktu pada Area Efektif	69
Gambar 4.13 Hubungan Resistensi Terhadap Waktu	71
Gambar 4.14 Hubungan pH, Waktu dan Jarak pada Area Efektif	76
Gambar 4.15 Hubungan pH terhadap Jarak pada ke-3 jam	78
Gambar 4.16 Hubungan pH terhadap Jarak pada ke-6 jam	78
Gambar 4.17 Hubungan pH terhadap Jarak pada ke-9 jam	79
Gambar 4.18 Hubungan pH terhadap Jarak pada ke-12 jam	79
Gambar 4.19 Hubungan pH dan Jarak pada area efektif	80
Gambar 4.20 Hubungan pH terhadap Waktu di Area I	81
Gambar 4.21 Hubungan pH terhadap Waktu di Area II	82
Gambar 4.22 Hubungan pH terhadap Waktu di Area III	82
Gambar 4.23 Hubungan Antara pH dan Waktu di Area Efektif	83
Gambar 4.24 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Jarak pada	87
Waktu ke-3 jam.	
Gambar 4.25 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Jarak pada	88
Waktu ke- 6 jam.	
Gambar 4.26 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Jarak pada	88
Waktu ke-9 jam.	
Gambar 4.27 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Jarak pada	89
Waktu ke-12 jam.	
Gambar 4.28 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Jarak pada Area Efektif	90
Gambar 4.29 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Waktu di Area I	92
Gambar 4.30 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Waktu di Area II	93
Gambar 4.31 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap Waktu di Area III	93
Gambar 4.32 Hubungan Konsentrasi Cr, Waktu dan Jarak pada Area Efektif	94
Gambar 4.33 Perubahan Warna yang Terjadi Selama Proses Remediasi	95
Gambar 4.34 Hubungan Resistensi Terhadap Waktu	97

Gambar 4.35 Konsentrasi Cr terhadap Waktu pada Area Inefektif	100
Gambar 4.36 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH pada Area I	103
Gambar 4.37 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH pada Area II	103
Gambar 4.38 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH pada Area III	104
Gambar 4.39 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH di Area Efektif	105
Gambar 4.40 Konsentrasi Cr Rata-rata dalam Sludge di Seluruh	107
Titik Sampling.	
Gambar 4.41 Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Setiap Area	109

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 Perhitungan Pembuatan Larutan Kontaminan Khrom.
- LAMPIRAN 2 Hasil Analisis pH pada Setiap Area Efektif.
- LAMPIRAN 3 Hasil Analisis Arus dan Resistensi pada Setiap Area.
- LAMPIRAN 4 Hasil Analisis Laboratorium.
- LAMPIRAN 5 Peraturan *National Enviroment Protection Council, New Zealand*
- LAMPIRAN 6 Dokumentasi Penelitian.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Permasalahan lingkungan hidup akan terus muncul secara serius di berbagai pelosok bumi sepanjang penduduk bumi tidak segera memikirkan dan mengutamakan keselamatan dan keseimbangan lingkungan hidup itu sendiri. Demikian juga di Indonesia, permasalahan lingkungan hidup seolah-olah seperti dibiarkan seiring dengan semakin meningkatnya perkembangan penduduk dan perkembangan teknologi di era globalisasi seperti sekarang ini, terutama dibidang industri.

Sektor industri memegang peranan dalam pertumbuhan perekonomian nasional indonesia, tetapi sektor industri juga menghasilkan hasil samping yang kadang tidak bermanfaat bahkan dapat merugikan pihak lain. Hasil samping yang tidak bermanfaat bagi orang / pihak lain biasa disebut dengan limbah atau sampah.

Kulit merupakan salah satu penghasil devisa non migas. Permintaan akan kebutuhan kulit semakin lama semakin meningkat sehingga produksi kulit praktis ikut meningkat guna memenuhi kebutuhan konsumen baik dalam negeri maupun mancanegara. Sebagai contoh kebutuhan kulit yang dibutuhkan konsumen merupakan kulit olahan berupa kulit samakan, bahan

setengah jadi dan bahan jadi seperti: tas, sepatu, ikat pinggang, jaket, souvenir, sarung tangan dan lain sebagainya.

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) banyak sekali terdapat industri kecil dan rumah tangga yang bergerak di bidang kerajinan penyamakan kulit. Daerah Yogyakarta telah dikenal sebagai penghasil kerajinan kulit dengan kualitas ekspor. Untuk itu maka Pemerintah Jogjakarta mengeluarkan kebijaksanaan industri yang berwawasan lingkungan. Pengembangan industri harus selalu dikaitkan dengan usaha-usaha nyata dalam menjaga kelestarian lingkungan. Dalam hal ini industri penyamakan kulit sebagai salah satu industri yang proses investasinya menggunakan air dalam jumlah besar dan mengeluarkan limbah yang sering dipermasalahkan. Dalam industri penyamakan kulit limbah yang dihasilkan yaitu limbah cair dan padatan (*sludge*) dari hasil proses produksi. Apabila limbah tersebut tidak dikelola dengan baik, maka akan menimbulkan pencemaran yang berdampak bagi kesehatan dan lingkungan sekitarnya. Limbah merupakan polutan yang berpotensi dalam menurunkan kualitas lingkungan. Indikator penurunan ini dapat dilihat dengan semakin tinggi kadar polutan yang berada di lingkungan.

Pemerintah Propinsi DIY telah memfasilitasi pengolahan limbah cair dari industri kulit secara terpadu di Desa Sitimulyo Kabupaten Bantul, namun demikian hasil pengolahan limbah cair tersebut menghasilkan lumpur padat (*Sludge*). Sedangkan untuk saat ini pengolahan limbah padat belum dilakukan

sehingga *sludge* tersebut langsung dibuang ke tanah dan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan.

Pemanfaatan bahan kimia berupa krom (Cr) sebagai bahan perontok bulu pada kulit akan menghasilkan limbah berupa krom heksavalen (Cr^{6+}) baik berupa limbah cair maupun limbah padat. Krom (Cr) merupakan logam berat yang termasuk pada limbah Bahan Bahaya dan Beracun (B3) yang jika terakumulasi dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh manusia seperti kanker, iritasi dan gangguan fungsi ginjal. Hal ini harus ditangani secara optimal agar tidak menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan.

Untuk mengatasi permasalahan lingkungan tersebut, salah satu upaya yang dapat ditempuh adalah dengan cara pemulihan (remediasi) lumpur yang telah tercemar. Pemulihan lumpur secara elektrokinetik merupakan salah satu upaya pemulihan lumpur 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.

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 toksitas, pemisahan fisis dan ekstraksi.

Remediasi elektrokinetik dapat menguraikan lumpur yang terkontaminasi oleh logam Cr dengan menggunakan aplikasi arus listrik searah (DC). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena remediasi elektrokinetik dengan menggunakan elektroda tipe 2-D *hexagonal* dan juga untuk mengetahui seberapa besar daya angkat pada *sludge* yang telah tercemar oleh logam Cr. Penelitian ini berskala laboratorium.

Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat memberikan suatu alternatif pengolahan lumpur (*sludge*) yang telah terkontaminasi logam berat. Sehingga dapat meminimalisasi pencemaran yang mungkin ditimbulkan oleh logam berat salah satunya Cr.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

1. Apakah dengan metode remediasi elektrokinetik menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal* dapat menurunkan konsentrasi logam berat Cr pada limbah padat (*Sludge*) dari hasil penyamakan kulit.
2. Seberapa besar pengaruh waktu kontak dan jarak terhadap penurunan kadar Cr dalam proses remediasi elektrokinetik dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.

3. Bagaimana fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal* pada lumpur (*sludge*) yang tercemar logam berat Cr.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

1. Mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam berat Cr pada lumpur (*sludge*) yang telah tercemar logam berat Cr menggunakan remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal*.
2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap penurunan kadar Cr dalam proses remediasi elektrokinetik menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.
3. Mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal* pada lumpur (*Sludge*) yang tercemar logam berat Cr.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

1. Memanfaatkan limbah padat (*sludge*) dari hasil penyamakan kulit dengan metode remediasi elektrokinetik agar dapat meminimalkan unsur logam berat Cr sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Memberikan masukan kepada pelaku industri penyamakan kulit bahwa limbah yang dihasilkan dapat diolah dengan proses elektrokinetik.

1.5 BATASAN MASALAH

1. Menganalisa logam berat Cr pada limbah *sludge* dari proses penyamakan kulit 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 yaitu limbah padat (*sludge*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 GAMBARAN UMUM

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) banyak sekali terdapat industri kecil dan rumah tangga yang bergerak di bidang kerajinan perak, industri batik, pembuatan tempe dan penyamakan kulit. Daerah Yogyakarta telah dikenal sebagai penghasil kerajinan kulit dengan kualitas ekspor. Dalam industri penyamakan limbah yang dihasilkan yaitu limbah cair dan padatan (*sludge*) dari hasil produksi. Apabila limbah tersebut tidak dikelola dengan baik, maka akan menimbulkan pencemaran yang berdampak bagi kesehatan dan lingkungan sekitarnya.

Industri Penyamakan Kulit yang menggunakan proses *Chrome Tanning* menghasilkan limbah cair yang mengandung Krom. Krom yang dihasilkan adalah krom bervalensi 3+ (trivalen) yang diperoleh dari proses penyamakan Krom (*chrome tanning*). Limbah cair maupun lumpurnya yang mengandung *Krom Trivalen* ini dapat membahayakan lingkungan karena *Krom Trivalen* dapat berubah menjadi *Krom Heksalen* pada kondisi basa yang merupakan jenis limbah B3 yang dapat membahayakan bagi kesehatan.

Elektrokinetik menggambarkan pengangkutan muatan secara fisik, kimia, aktivitas muatan partikel dan efek tegangan elektrik yang diterapkan dalam formasi serta pengangkutan partikel pada media berpori. Gejala yang terdapat dalam elektrokinetik adalah arus potensial, electroosmosis, potensial pengendapan dan electrophoresis.

Pada teknologi remediasi elektrokinetik, elektroda ditempatkan pada lumpur (*shudge*) secara vertikal maupun horizontal. Prinsip remediasi secara elektrokinetik adalah menggunakan arus DC intensitas rendah melalui *shudge* yang terkontaminasi dengan dua atau lebih elektroda. Ketika arus *direct current* (DC) digunakan pada elektroda, dihasilkan lumpur yang terpengaruhi medan listrik oleh katoda dan anoda.

2.2 LIMBAH PENYAMAKAN KULIT

Industri penyamakan kulit yang menggunakan proses *Chrome Tanning* menghasilkan limbah cair yang mengandung Krom. Krom yang dihasilkan adalah krom bervalensi 3+ (trivalen) yang diperoleh dari proses penyamakan Krom (*chrome tanning*). Limbah cair maupun lumpurnya yang mengandung *Krom Trivalen* ini dapat membahayakan lingkungan karena *Krom Trivalen* dapat berubah menjadi *Krom Heksavalen* pada kondisi basa yang merupakan jenis limbah B3 yang dapat membahayakan bagi kesehatan.

Proses dalam industri penyamakan kulit bertujuan untuk merubah kulit hewan menjadi lembaran-lembaran kulit jadi yang siap untuk dipergunakan menjadi bahan baku produk kulit seperti : sepatu, tas, kerajinan, dll. Proses dalam industri penyamakan kulit dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu : *Beamhouse proces, tanhouse, dan finishing process.*

Limbah yang dihasilkan oleh industri penyamakan berasal dari kulit mentah dan bahan kimia yang dipakai dalam poses penyamakan. Limbah dari industri penyamakan selama berproduksi setiap harinya dibuang dalam beberapa tumpukan. Jenis limbah dari proses penyamakan kulit secara garis besar dapat di bagi menjadi 3 bagian yaitu: limbah cair, limbah padat (*sludge*) dan limbah gas (www.yahoo.com/pengolahan dan pemanfaatan indusri penyamakan kulit,2005)

Pada industri penyamakan kulit banyak dihasilkan limbah cair dimana limbah yang ditimbulkan sangat bervariasi sifatnya. Pada proses penyamakan dengan menggunakan bahan penyamakan krom (Cr), yang mempengaruhi pencemaran adalah sisa garam krom (Cr) dari natrium sulfide, garam krom perlu mendapatkan penanganan atau pengolahan yang baik ini dikarenakan limbah krom sifat toksisitasnya yang tergantung pada kadar yang dikandungnya. (Aloy, 1976).

2.2.1 Proses Penyamakan Kulit

Kulit terbentuk dari reaksi serat kolagen di dalam kulit hewan dengan tanin, krom, tawas atau zat penyamak lain. Pada dasarnya untuk mengubah kulit hewan digunakan dua proses : proses rumah balok dan proses rumah samak.

Dalam proses rumah balok, kulit hewan dibersihkan dan disiapkan untuk operasi penyamakan. Pertama kali direndam dalam air untuk menghilangkan kotoran, darah, garam dan pupuk. Kemudian kulit dibersihkan dengan mesin atau tangan untuk menghilangkan sisa-sisa daging yang ada. Penghilangan bulu dilakukan secara kimia, dengan tangan atau mesin. Bubur kapur tohor digunakan untuk melepaskan bulu, kemudian jika bulu itu akan digunakan, dapat dilarutkan dengan *natrium sulfida* dan *natrium sulfhidrat*.

Langkah pertama dalam proses penyamakan adalah "perendaman amonia", yaitu kulit hewan direndam dalam larutan garam amonia dan enzim. Semua kulit hewan untuk penyamakan krom harus mengalami "pengasaman". Pengasaman membuat kulit hewan bersifat asam dengan menggunakan asam sulfat dan natrium klorida. Penyamakan itu sendiri dilakukan dalam tong yang berisi tanin nabati (kulit pohon, kayu, buah dan akar), atau campuran kimia yang mengandung krom sulfat.

Pemucatan, pemberian warna coklat, cairan ternak, dan pewarnaan digunakan untuk kulit khusus. Langkah-langkah akhir seperti pengeringan,

perentangan dan penekanan kulit adalah proses kering dan tidak menghasilkan limbah cair (Clifton, Soeparwadi, Aulia Gani, 1994).

2.2.2 Parameter Utama Dari Kegiatan Penyamakan Kulit

Parameter-parameter berikut ini penting dalam mendefinisikan daya cemar limbah dari kegiatan penyamakan kulit yaitu : BOD, COD, TSS, krom (keseluruhan), minyak dan lemak, sulfida, nitrogen total dan pH (Clifton, dkk, 1994).

2.2.3 Bahan Penyamakan Kulit

Bahan untuk penyamakan industri kulit terbagi menjadi 4 golongan yaitu:

1. Bahan penyamakan minyak

Bahan yang biasanya berasal dari minyak ikan hiu atau lainnya, yang dalam perdagangan disebut minyak ikan kasar.

2. Bahan penyamakan nabati

Bahan penyamakan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan baik kulit buah atau daun-daunan, dan kulit kayu. (Purnomo, 1985)

3. Bahan penyamakan khrom (Cr)

Bahan penyamak khrom dengan dua valensi atom khrom yaitu valensi +3 dan valensi +6. Bahan ini digunakan untuk menyamak jaket, kulit box dll.

Bahan penyamak khrom dalam perdagangan dikenal dengan *chromium powder* atau *chromium alunin*.

4. Bahan penyamakan sintetis

Bahan penyamak yang terdiri dari bahan-bahan phenol yang telah dibesarkan molekulnya dengan melebihi kondensasi dan sulfinasi. Dalam perdagangan merupakan bahan penyamak yang siap dipakai dengan nama antara lain: irganton atau taningan yang mana jenis ini banyak digunakan untuk penyamakan kulit reptil yang membutuhkan warna asli dari kulit tersebut.

2.2.4 Penanganan Limbah Padat

Banyak limbah padat penyamakan kulit dapat dijual sebagai hasil sampingan (yaitu hasil pangkasan, bulu, daging dan darah). Sebagian besar limbah padat lainnya, meliputi sisa organik dari tong, total nabati dan kulit kayu untuk penyamakan, lumpur kumpur, dan lumpur dari pengolahan limbah (*sludge*), bersifat merusak tetapi tidak beracun dan biasanya dapat disebar di atas tanah atau ditimbun dalam tanah. Lumpur dan limbah lain yang mengandung krom lebih berbahaya dan ini harus disimpan di tempat penimbunan yang aman (Clifton, dkk, 1994).

2.2.5 Sumber dan Karakteristik Limbah Industri Penyamakan Kulit

Limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari larutan yang digunakan pada unit pemrosesan yaitu: perendaman air, penghilangan bulu, pemberian bubuk kapur, perendaman ammonia, pengasaman, penyamak, pemucatan sampai pemberian warna. Penghilangan bulu menggunakan kapur dan sulfide merupakan penyumbang/kontributor terbesar beban pencemar pada industri penyamakan kulit.

Dalam teknologi pengendalian dampak lingkungan industri penyamakan kulit, karakteristik limbah pada tiap proses industri penyamakan kulit dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Karakteristik limbah pada tiap proses penyamakan kulit

No.	Proses	Bahan	Karakteristik Limbah Cair
1.	Perendaman	Air, Sodium Hipoklorida	Mengandung Sodium Hipoklorida
2.	Pengapuran	Air, Air Kapur (Kalsium Hidroksida)	Bersifat basa
3.	Pembuangan bulu dan bekas daging	Air, Sodium Sulfida	Bersifat alkalin, limbah Hidrogen Sulfida
4.	Penghilangan kapur	Enzim, Garam Amonium	Bersifat basa, limbah gas amonia
5.	Pencucian	Air	Bersifat basa
6.	Pengasaman	Air, Asam Sulfur, Sodium Klorida	Bersifat asam
7.	Proses Krom	Krom dioksida, Sodium Klorida, Sodium Bikarbonat	Bersifat asam mengandung Krom Trivalen
8.	Pemutihan	Air, Natrium Karbonat, Asam Sulfat	Bersifat asam
9.	Pencucian	Air	Bersifat asam, mengandung Krom
10.	Fat Liquoring	Minyak	Mengandung minyak
11.	Pemucatan	Bahan pemucat	Mengandung zat pemucat

Sumber: Teknologi pengendalian dampak lingkungan industri penyamakan kulit.

2.3 IDENTIFIKASI LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN

2.3.1 Definisi Limbah B3

Limbah adalah bahan yang tidak diinginkan atau sisa dari suatu proses produksi, atau yang dibuang dari pemukiman penduduk atau komunitas hewan. Limbah bahan berbahaya dan beracun, disingkat B3 adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat merusak dan/atau mencemari lingkungan hidup dan/atau dapat membahayakan kesehatan manusia.

2.3.2 Identifikasi Limbah Berdasarkan Karakteristik

Identifikasi limbah B3 berdasarkan karakteristiknya dapat dijabarkan seperti dibawah ini yaitu,

2.3.2.1 Mudah Terbakar

Limbah mudah terbakar adalah limbah yang apabila berdekatan dengan api, percikan api, gesekan atau sumber nyala lain akan mudah menyala atau terbakar dan apabila telah nyala akan terus terbakar hebat dalam waktu lama.

2.3.2.2 Mudah Meledak

Limbah mudah meledak adalah limbah yang melalui reaksi kimia dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.

2.3.2.3 Limbah Reaktif

Limbah yang bersifat reaktif adalah limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepaskan atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.

2.3.2.4 Limbah Infeksi

Limbah yang menyebabkan infeksi, yaitu bagian tubuh yang diamputasi dan cairan dari tubuh manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lain yang terkena infeksi kuman penyakit yang menular.

2.3.2.5 Limbah Korosif

Limbah yang bersifat korosif, yaitu limbah yang menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit atau mengkorosikan baja.

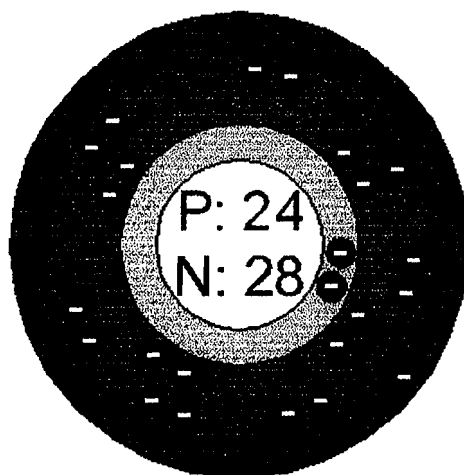
2.3.2.6 Limbah Beracun

Limbah beracun adalah limbah yang mengandung racun yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Limbah B3 dapat menyebabkan kematian dan sakit serius. Apabila masuk kedalam tubuh melalui pernafasan, kulit, atau mulut. Prosedure ekstraksi untuk menentukan senyawa organik dan anorganik (TCLP) dapat digunakan untuk identifikasi limbah ini. Limbah yang menunjukkan karakteristik

beracun yaitu jika diekstraksi dari sampel yang mewakili mengandung kontaminan lebih besar.

2.4 KROMIUM (Cr)

Kromium berasal dari bahasa Yunani yaitu *Chroma* yang berarti warna. Logam kromium ditemukan pertama kali oleh Nicolas-Louis Vaqueline (1763-1829), seorang ahli kimia berkebangsaan perancis pada tahun 1799. Logam ini merupakan logam kristalin yang berwarna abu-abu , tidak begitu liat dan di golongan dalam *transition metal*. Struktur secara skematis digambarkan pada **Gambar 2.1**, sedangkan sifat-sifat fisik logam kromium di sajikan pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.1 Struktur atom logam kromium
(Sumber : www.Chemicalelements.com/Cr, 2005)

Tabel 2.2 Beberapa Sifat Fisik Logam Kromium

Nama	Kromium
Simbol	Cr
Nomor atom	24
Massa atom relative	51,996 g.mol ⁻¹
Titik leleh	1857.0 °C (2130.15 °K, 3374.6 °F)
Titik didih	2672.0 °C (2945.15 °K, 4841.6 °F)
Nomor Protton/Elektron	24
Nomor Neutron	28
Klasifikasi	Logam Transisi
Struktur Kristal	Kubik
Densitas @ 293 K	7.19 g/cm ³
Warna	Abu-abu

(Sumber : www.Chemicalelements.com/Cr , 2005).

Salah satu logam transisi yang penting adalah kromium (Cr). Sepuhan kromium (*chrome plating*) banyak digunakan pada peralatan sehari-hari, pada mobil dan sebagainya, karena lapisan kromium ini sangat indah, keras dan melindungi logam lain dari korosi. Kromium juga penting dalam paduan logam dan digunakan dalam pembuatan "*stainless steel*" (Achmad, 1992).

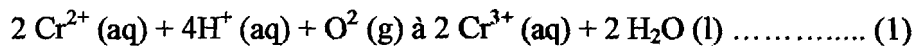
Kromium (Cr) adalah metal kelabu yang keras. Cr didapatkan pada industri gelas, metal, fotografi, penyamakan kulit dan elektroplating. Khromium sendiri sebetulnya tidak toksik, tetapi senyawanya iritan dan korosif, menimbulkan ulcus yang dalam pada kulit dan selaput lendir. Alhasil Cr dapat menimbulkan kerusakan pada tulang hidung, di dalam paru-paru Cr ini dapat menimbulkan kanker (Soemirat, 1994).

Kromium mempunyai konfigurasi electron $3d^54s^1$, sangat keras, mempunyai titik leleh dan titik didih tinggi diatas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deret pertama lainnya. Jika dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II). (Achmad, 1992).

Berdasarkan sifat kimianya, logam kromium dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, bahkan pada proses pemanasan, cairan logam teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit, akan tetapi dalam udara yang mengandung karbondioksida (CO_2) dalam konsentrasi tinggi, logam Cr dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 . Kromium merupakan logam yang sangat mudah bereaksi. Logam ini secara langsung dapat bereaksi dengan nitrogen, karbon, silika dan boron (Palar, 1994).

Senyawa-senyawa yang dapat dibentuk oleh kromium mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan valensi yang dimilikinya. Senyawa

yang terbentuk dari logam Cr^{+2} akan bersifat basa, dalam larutan air kromium (II) adalah reduktor kuat dan mudah dioksidasi di udara menjadi senyawa kromium (III) dengan reaksi :



Senyawa yang terbentuk dari ion kromium (III) atau Cr^{3+} bersifat amphoteric dan merupakan ion yang paling stabil di antara kation logam transisi yang lainnya serta dalam larutan, ion ini terdapat sebagai $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ yang berwarna hijau. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam. Cr^{3+} dapat mengendap dalam bentuk hidroksida. Krom hidroksida ini tidak terlarut dalam air pada kondisi pH optimal 8,5–9,5 akan tetapi akan melarut lebih tinggi pada kondisi pH rendah atau asam. Cr^{6+} sulit mengendap, sehingga dalam penanganannya diperlukan zat pereduksi dari Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} (Palar,1994).

Kromium dengan bilangan oksidasi +6 mudah membentuk senyawa oksidator dengan unsur lain karena memiliki sifat oksidasi yang kuat, maka Cr^{6+} mudah tereduksi menjadi Cr^{3+} dan kromium (VI) kebanyakan bersifat asam.

2.4.1 Krom (Cr) Dalam Lingkungan

Logam Cr dapat masuk kedalam semua strata lingkungan, baik pada strata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Kromium yang masuk kedalam

strata lingkungan datang dari berbagai sumber tetapi yang paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta immobilisasi bahan bakar. Masuknya krom ke lapisan udara dari strata lingkungan adalah dari pembakaran, mobilitas batu bara dan minyak bumi.

Logam Cr dapat masuk ke badan perairan melalui dua cara yaitu cara alamiah dan non alamiah. Masuknya Cr secara alamiah disebabkan oleh faktor fisika, seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan atau mineral. Disamping itu, debu dan partikel Cr di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah masuknya Cr lebih merupakan dampak dari aktivitas manusia, yang dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga.

2.4.2 Kegunaan Krom (Cr) Dalam Kehidupan

Kromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Dalam industri *metallurgy*, logam ini banyak digunakan dalam penyepuhan logam (*chromium plating*) yang memberikan dua sifat, yaitu *dekoratif* dan sifat kekerasan yang mana *chromium plating* ini banyak digunakan pada macam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai ke alat transportasi.

Dalam industri kimia, krom digunakan sebagai :

1. Cat pigment (*dying*), dapat berwarna merah, kuning, orange dan hijau
2. Penyamakan kulit (*tanning*)
3. Elektroplating (*chrome plating*)
4. *Treatment woll*

Aktivitas di atas merupakan kontributor/sumber utama terjadinya pencemaran krom ke air dan limbah padat dari sisa proses penyamakan kulit juga dapat menjadi sumber kontaminasi air tanah.

2.4.3 Keracunan Kromium (Cr)

Sebagai logam berat, Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki Cr ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr^{6+} merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Cr^{6+} merupakan *toxic* yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis.

Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadi pembengkakan hati. Tingkat keracunan Cr pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan Cr dalam urine, kristal asam kromat yang sering digunakan sebagai obat untuk kulit, akan tetapi penggunaan senyawa tersebut seringkali mengakibatkan keracunan fatal.

Dalam studi perbandingan yang dilakukan terhadap 879 pekerja dari 6 pabrik yang mengolah kromat ditemukan terjadinya kematian yang disebabkan oleh kanker paru-paru sebanyak 28,6 kali lebih besar dari jumlah kematian yang disebabkan oleh penyakit lain. Studi lain juga dilakukan adalah 332 pekerja yang terlibat dengan kromat selama 37-43 tahun ditemukan sebanyak 173 orang yang meninggal. Dari 173 orang tersebut 41 orang diantaranya disebabkan oleh kanker paru-paru (Palar,1994).

2.4.4 Efek Kromium (Cr) Pada Lingkungan

Ada berbagai macam perbedaan logam kromium yang berbeda-beda pada dampak organisma. Logam kromium (Cr) dapat masuk di udara (lapisan atmosfer), air dan tanah didalam kromium (III) dan kromium (VI) yang terbentuk melalui proses alami dan aktivitas manusia.

Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentrasi logam kromium (III) adalah pabrik kulit dan tekstil. Aktivitas utama manusia yang meningkatkan konsentari logam kromium (VI) adalah yang memproduksi bahan kimia, tekstil, kulit, elektro dan penggunaan kromium (VI) lainnya dalam industri. Sebagian besar penggunaan ini akan meningkatkan konsentrasi logam kromium dalam air. Melalui pembakaran batu bara juga terdapat kromium diudara dan melalui *waste disposal* kromium juga ada di tanah.

Kebanyakan kromium terdapat diudara dan *end up* di air dan tanah. Kromium di dalam tanah mengikat kuat butiran partikel sehingga tidak menyebar ke air tanah. Di air, kromium akan tesorap dalam *sediment* sehingga tidak menyebar. Hanya sebagian kecil logam kromium mengendap dan pada akhirnya akan larut dalam air (www.chemicalelements.com/Cr, 2005).

2.4.5 Efek Kromium (Cr) Bagi Kesehatan

Logam kromium (Cr) dapat masuk kedalam tubuh manusia melalui pernapasan, minuman atau makanan dan kulit. Kebanyakan orang makan makanan mengandung kromium (III), karena kromium (III) terjadi secara alami di dalam sayur-sayuran, buah-buahan dan daging. Kromium (III) adalah suatu bahan gizi yang penting untuk manusia, dan kekurangan kromium (III) menyebabkan sakit jantung, kencing manis dan gangguan metabolisme. Akan tetapi kromium (III) yang berlebih dapat mempengaruhi kesehatan, seperti *skin rashes* (www.chemicalelements.com/Cr, 2005).

Logam kromium (VI) berbahaya bagi kesehatan manusia, sebagian besar pada orang-orang yang bekerja di industri tekstil dan baja. Ketika kromium (VI) berada di dalam kulit, menyebabkan alergi kulit seperti *skin rashes*. Permasalahan kesehatan yang lain disebabkan oleh kromium (VI) adalah :

1. Gangguan borok dan perut

2. Permasalahan yang berhubungan dengan pernapasan
3. Kerusakan hati dan ginjal
4. Kanker paru-paru.

2.5 PENETRANALAN KROMIUM (Cr) DENGAN CaCO_3

Krom dapat dinetralkan dengan CaCO_3 yang telah dilarutkan dalam air dengan persamaan reaksi larutan kapur sebagai berikut:



Penambahan kapur ini didasari karena krom lebih bersifat asam sedangkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mempunyai sifat basa sehingga diharapkan akan terjadi netralisasi.

Krom dapat dipisahkan dari air buangan penyamakan kulit dengan jalan mengendapkan krom hidroksida sehingga endapan krom dapat digunakan lagi sebagai bahan penyamakan kulit. Pemisahan ini dilakukan dengan cara mencampur air limbah yang mengandung krom yang bersifat asam dengan larutan kapur yang bersifat basa, sehingga diharapkan air limbah mempunyai pH netral.

Pencampuran cairan krom ($\text{Cr}(\text{SO}_4)_3$) bekas penyamakan kulit dengan larutan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) akan menghasilkan reaksi sebagai berikut:



Kromium sulfat	Kapur tohor	Kromium hidroksida	Kalsium sulfat
----------------	-------------	--------------------	----------------

(sumber: Alloy, 1976)

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

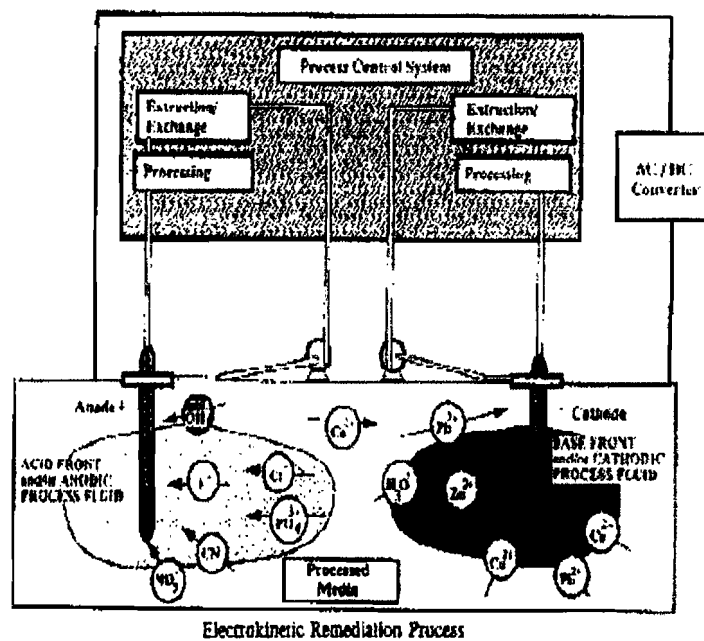
2.6.1 Studi Terdahulu

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

Electro-Klean® adalah proses electrokinetic tanah yang menggunakan arus searah dengan elektroda yang ditempatkan pada masing-masing sisi tanah yang dicemari dengan memisahkan dan menyuling/menyadap logam berat serta zat-pencemar organik pembentuk tanah, yang dapat diterapkan secara *in-situ*. Kondisi larutan asam mengalir seperti yang digunakan untuk elektroda (katoda) untuk meningkatkan proses depolarisasi. **Gambar 2.2** menggambarkan proses dan aliran ion ke masing-masing lubang yang terkandung. Zat-Pencemar dipisahkan dengan listrik dalam unit post-treatment.

Electro-Klean dapat mengekstraksi logam berat, radio-nuclides, dan kontaminan organik lainnya. *Bech-Scale test* sudah mampu memindahkan arsenik, benzen, cadmium, kromium, tembaga, ethylbenze, lead, nikel, zat asam karbol, trichloroethylene, toluene, xylene, dan seng dalam tanah. Sedangkan *Pilot-Scale* pada percobaan skala lapangan dapat menurunkan kandungan seng dan arsenik dari pasir lempungan jenuh dan tidak jenuh. Timbal dan tembaga juga dapat dipindahkan dari sedimen dengan cara dikeruk. Efisiensi kerja tergantung pada jenis bahan-kimia, konsentrasi dan

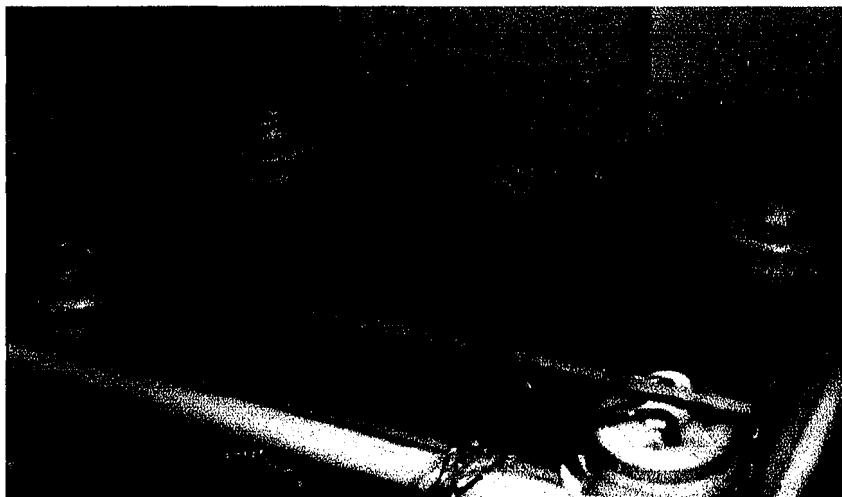
kapasitas lahan. Teknik ini membuktikan efisiensi mencapai 85% - 95% untuk memindahkan zat asam karbol pada konsentrasi 500 ppm. Sebagai tambahan, pemindahan untuk timbal, kromium, dan uranium mencapai 5% - 95%.



Gambar 2.2 Proses elektrokinetik pada tanah
(Sumber : Epa, 1994)

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

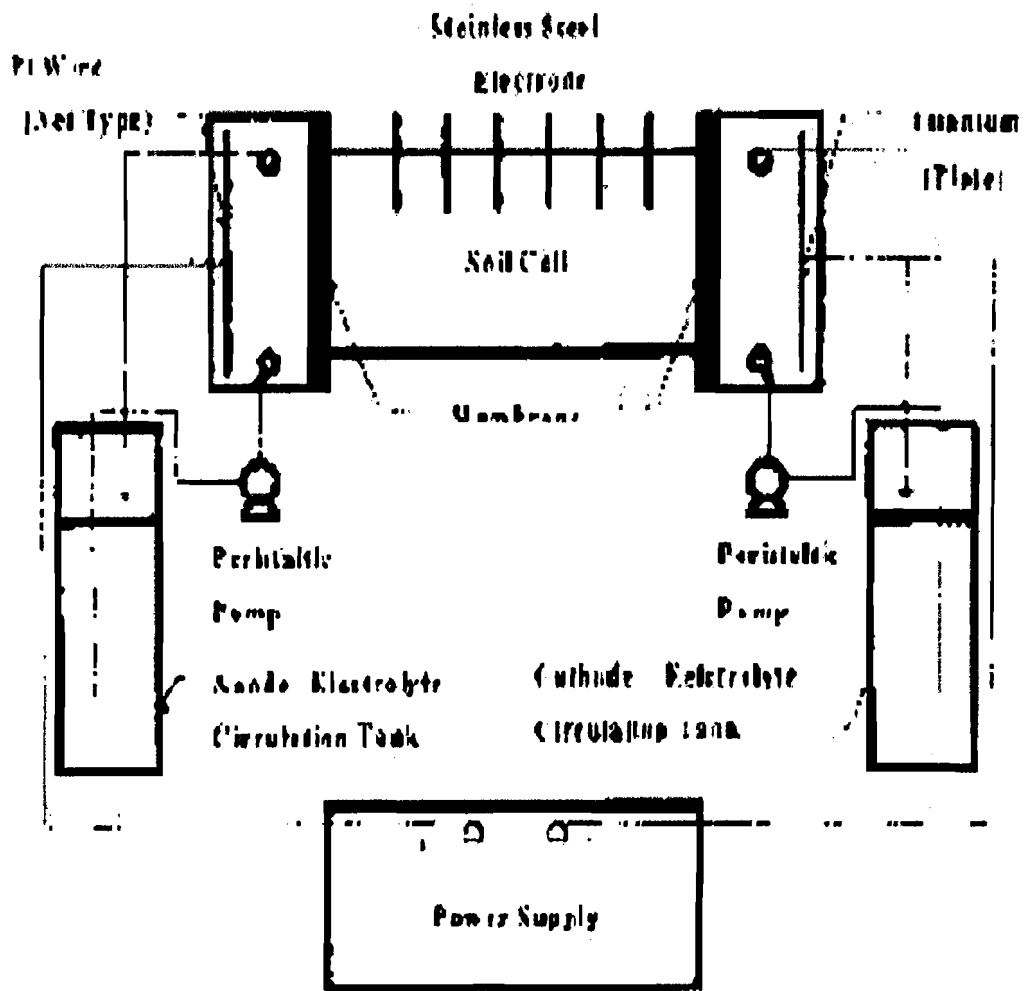
Logam bersifat ion seperti air raksa dan uranium akan bergerak melalui tanah ketika medan elektrik dikenakan. Peristiwa Electrokinetic ini dapat menarik kontaminan uranium dan menghalangi penangkapan uranium untuk disposal yang terjadi secara umum. *Extractants* digunakan untuk meningkatkan daya larut metal, **Gambar 2.3** menunjukkan proses yang dipasang. Kegunaan untuk remediasi pencemaran oleh logam berat dan radionuklida yang bersifat ion aktif dan *Low-Permeability* remediasi tanah. Manfaat: Lebih ekonomis jika dibandingkan ke penggalian, mengurangi resiko kesehatan dihubungkan dengan penggalian, mengurangi volume limbah buangan.



Gambar 2.3 Sistem remediasi elektrokinetik untuk tanah yang terkontaminasi metals.
(Sumber : DOE)

2.6.1.3 Remediasi Electrokinetic yang ditingkatkan untuk perpindahan dari zat-pencemar organik [Kim dkk, 2000].

Pencemaran organik dalam tanah merupakan suatu masalah umum pada buangan yang beresiko. Studi ini menyelidiki aplikasi peningkatan proses elektrokinetik tanah untuk remediasi tanah yang dicemari dengan zat asam karbol (C_6H_5OH) dan PCP (pentachlorophenol; C_6Cl_5OH). Remediasi elektrokinetik tanah mempunyai efisiensi tingkat tinggi dan waktu efektif dalam kemampuannya menyerap air atau gas tanah rendah seperti tanah liat. Studi ini bersifat percobaan untuk menguji proses yang ditingkatkan dari *electrokinetic* untuk membersihkan tanah yang dipenuhi polutan bahan kimia, seperti yang ditunjukkan di dalam **Gambar 2.4**. Pengolahan secara elektrokinetik tanah dilakukan dengan cara memindahkan kutub zat-pencemar organik secara *electromigration*, *electroosmosis*, difusi, dan elektrolisis dalam air. Perubahan efisiensi dipengaruhi oleh voltase yang diterapkan, jenis larutan yang membersihkan, pH tanah, dapat menyerap air atau gas, dan zeta potensi tanah, yang bergantung pada konsentrasi awal atau banyak polutan serta jangka waktu proses. Efisiensi perpindahan zat asam karbol dan PCP adalah yang paling tinggi 85% pada jangka waktu 4 hari dan sebagian besar bergantung pada arus yang *electroosmosis*, dibawah ini adalah **Gambar 2.4** tentang proses remediasi elektrokinetik.



Gambar 2.4 Enhanced electrokinetic remediation for removal of organic contaminants
(Sumber : Kim, dkk, 2000)

2.6.1.4 Remediasi Elektrokinetik dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D

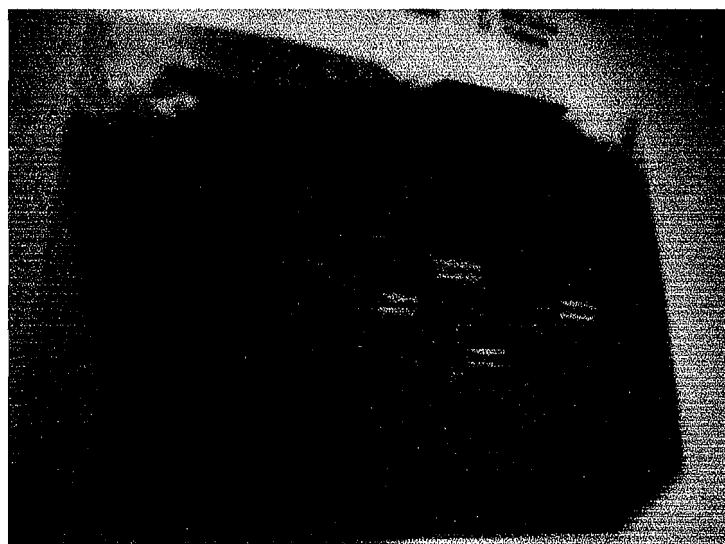
Hexagonal pada Tanah yang Terkontaminasi Logam Berat Khrom (Cr)

[Siti Fatimah, 2004].

Tanah merupakan salah satu medium alami untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme 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 digunakan 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, arus DC maksimum 30 A, 60 Volt 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*, seperti yang ditampilkan pada **Gambar 2.5**. Waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 12 jam dengan durasi tiap 3 jam diambil sampelnya untuk di analisis. 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 efisiensi 78,13 %.



Gambar 2.5 Remediasi elektrokinetik pada tanah kaolinit mengandung khrom (Cr).

(Sumber : Siti Fatimah, 2004)

2.7 MATERIAL DAN KONFIGURASI ELEKTRODA 2-D HEXAGONAL

2.7.1 Material Elektroda

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

elektrokinetik sangat penting, karena elektroda merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik kedalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi. Material elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda karbon (*grafit*) dari batu batere dengan panjang 5 cm, sedangkan dimensi reaktor 1m x 0,95m x 1m.

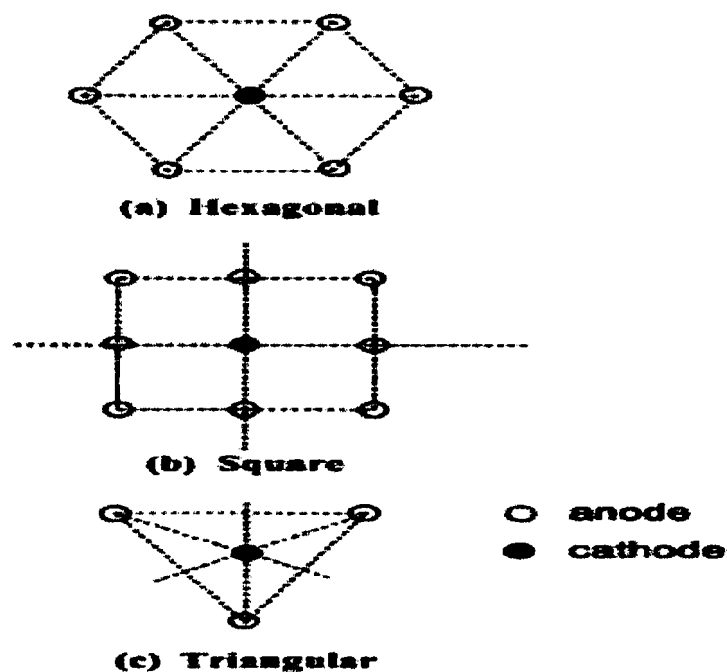
Elektroda adalah logam yang dapat menerima ion-ion atau menyerahkan ion dimana logam tercelup didalam suatu larutan elektrolit. Sel yang bila dialiri arus listrik akan menghasilkan reaksi kimia yaitu akan merubah energi listrik menjadi reaksi kimia disebut elektrolisa. Pada kutub anoda akan terjadi reaksi oksidasi dan pada kutub katoda terjadi reaksi reduksi (Johannes, 1978).

2.7.2 Konfigurasi Elektroda 2-D Hexagonal

Konsentrasi elektroda memberikan perubahan solusi antara elektroda dan lingkungan bawah permukaan yang penting untuk ketepatan fungsi proses. Dalam studi remediasi elektrokinetik terdapat 2 tipe konfigurasi yaitu 1-D dan 2-D, yang mana sebagian besar *bench-scale*, skala besar laboratorium dan *pilot* skala lapangan menggunakan konfigurasi 1-D. Sedangkan pada penelitian ini hanya dibataskan pada penggunaan konfigurasi elektroda 2-D.

Konfigurasi elektroda 1-D menggunakan batang elektroda yang dibariskan dan ditancapkan pada tanah, konfigurasi ini membangun titik-titik

medan listrik yang *inactive*. Konfigurasi elektroda 2-D memiliki beberapa macam tipe yaitu meliputi *hexagonal*, *square* dan *triangular* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Pada penelitian ini menggunakan tipe *hexagonal* karena sesuai dengan penelitian fatimah (2004) didapatkan bahwa konfigurasi 2-D *hexagonal* lebih efektif dan efisien untuk menurunkan konsentrasi Cu serta Cr pada tanah yang terkontaminasi logam berat di bandingkan dengan tipe *square* ataupun *triangular*. Dalam konfigurasi elektroda tipe *hexagonal*, elektroda membentuk lubang seperti sarang lebah, berisi katoda yang dikelilingi oleh 6 (enam) anoda (Chan dan Lynch, 2002).



Gambar 2.6 Tipe konfigurasi elektroda 2-D.
(Sumber : Chan dan Lynch, 2002)

Secara umum tujuan penerapan konfigurasi elektroda 2-D adalah untuk mencapai aliran radial (*axi-symetrical*). Katoda di tempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Cr pada zone yang lebih kecil di sekitar katoda, sedangkan anoda ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang di bangkitkan oleh anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang di bangkitkan oleh katoda. Titik-titik inactive medan listrik dalam konfigurasi 2-D tetap terbentuk, namun lebih kecil dibanding yang terbentuk pada 1-D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1-D, rapat arus lokasinya bebas sedangkan dalam konfigurasi 2-D rapat arus bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linear dengan jarak menuju katoda (Alshawabkeh,1999).

2.8 LANDASAN TEORI

Remediasi berasal dari bahasa inggris yaitu *remediation* yang berarti pemulihan (Echols dan Shodily,1990) sedangkan secara umumnya artinya pemulihan pada suatu media yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan atau senyawa organik untuk mengembalikan fungsi dari media tersebut sehingga dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah.

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

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan lumpur (*sludge*) tercemar logam berat dan senyawa-senyawa organik melalui proses secara *in-situ* dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*direct current*) pada potongan melintang area antar elektroda yang diletakkan pada *sludge* dengan susunan aliran terbuka. Metode ini dapat digunakan untuk memindahkan zat pencemar seperti logam berat dan lebih efektif dalam memindahkan logam berat berdasarkan pada *electromigration* yang mana merupakan suatu peristiwa elektrokinetik. 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 *sludge* dapat dipindahkan/digerakkan, dipekatkan/dipadatkan, oleh elektroda serta diekstraksikan dari *sludge*, yang secara skematik dapat dilihat pada **Gambar 2.7** (Alshawabkeh, 2001).

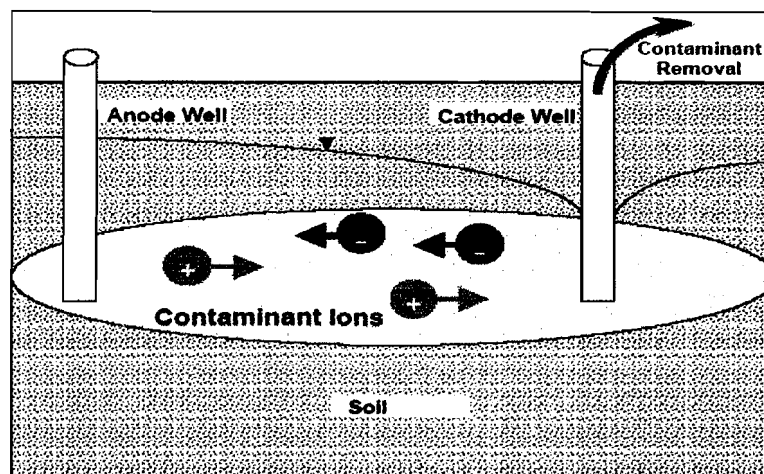
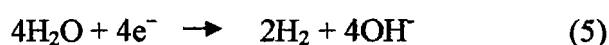
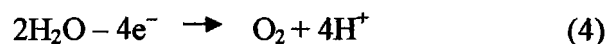


Figure 1: General Schematic of Electrokinetic Remediation

Gambar 2.7 Prinsip dasar remediasi elektrokinetik.
(Sumber : Alshwabkeh, 2001)

Pada teknologi remediasi elektrokinetik, elektroda ditempatkan pada lumpur (*sludge*) secara vertikal maupun horizontal. Ketika arus DC digunakan pada elektroda, dihasilkan lumpur yang terpengaruhi medan listrik oleh katoda dan anoda. Penggunaan sistem tersebut pada lumpur mempunyai beberapa efek yaitu: *electromigration*, *electroosmosis*, perubahan pH dan *electrophoresis*. *Electromigration*, yaitu pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan sistem tersebut pada *sludge*. Kation (ion bermuatan +) cenderung untuk berpindah ke arah katoda bermuatan negatif, dan anion (ion bermuatan -) berpindah ke arah anoda bermuatan positif. Pada penyelesaiannya, ion-ion yang dipekatkan tersebut akan mendekati elektroda atau mengalami reaksi pada elektroda, dimana logam-

logam pencemar naik ke arah elektroda atau melepaskan komponen yang berbentuk gas. Perubahan pH kerana pengaruh arus merupakan reaksi elektrolisis pada elektroda. Terjadi oksidasi air pada anoda dan menghasilkan ion-ion hidrogen (H^+). Ion-ion H^+ (4) tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion hidroxyil (OH^-) (5) kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar, dkk, 1990).



Transport pada ion-ion H^+ diperkirakan 2 kali lebih cepat daripada ion-ion OH^- . Dengan demikian, gerakan asam rata-rata lebih besar daripada basa. *Electroosmosis* adalah proses transport air dalam jumlah besar yang terus mengalir pada *sludge*. Sedangkan *Electrophoresis* merupakan pergerakan partikel-partikel karena pengaruh medan listrik (Acar dan Alshawabkeh, 1993).

2.8.1 Katoda

Katoda umumnya merupakan suatu bahan yang bila dipanaskan akan menyebabkan material elektron di dalamnya mengeksitasi. Perbedaan bahan yang digunakan pada katoda akan menghasilkan emisi yang berbeda-beda pula kuatnya. Ada dua tipe katoda yaitu dipanaskan secara langsung dan juga

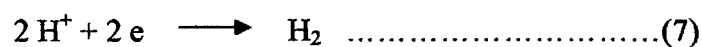
tidak langsung. Katoda yang dipanaskan secara langsung biasanya berupa kawat yang ditambahkan material-material seperti senyawa oksida dan karbon. Panas akan menyebabkan elektron dari material ini mengeksitasi diri, tentu saja besarnya berbeda-beda tergantung material yang digunakan. Sedangkan untuk tipe yang keduanya adalah suatu tabung metal yang dilapisi lapisan yang emissif dan sebuah pemanas yang biasanya adalah suatu filamen. Emisi terjadi karena radiasi yang dipancarkan pemanas diserap oleh tabung metal tersebut.

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

- 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.

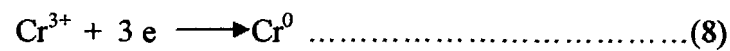


- Jika larutan mengandung asam, maka ion H^+ dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H_2) pada katoda.



- Jika larutan mengandung ion-ion logam yang lain, maka ion-ion logam ini akan direduksi menjadi masing-masing logamnya dan logam yang

terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda (Setiono dan Hadyana,1990).

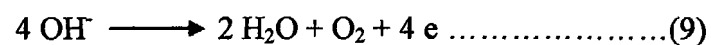


2.8.2 Anoda

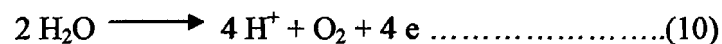
Anoda umumnya adalah materi silinder ataupun kotak yang terdapat di sekeliling elektroda lainnya. Anoda menangkap elektron-elektron yang tereksitasi sehingga memiliki arus dan tegangan yang bervariasi. Kelebihan daya dari anoda akan diradiasi dengan syarat adanya sirkulasi udara yang terjadi disekitar anoda. Setelah menangkap elektron-elektron maka anoda akan panas dan untuk itu diperlukan adanya suatu sistem pendinginan.

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

- Ion-ion halida (F^- , Cl^- , Br^- , I^-) akan dioksidasi menjadi halogen-halogen.
- Ion OH^- dari busa akan dioksidasi menjadi gas oksigen (O_2).



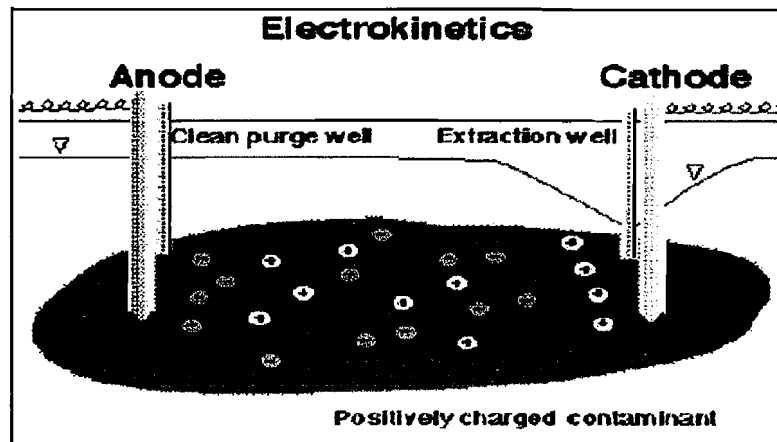
- Anion-anion yang lain (SO_4^{2-} , NO_3^- , dsb) tidak dapat dioksidasi dari larutan. Yang akan mengalami oksidasi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas oksigen (O_2) pada anoda (Setiono dan Hadyana,1990).



2.8.3 ELEKTROKINETIK

Elektrokinetik adalah suatu proses pembangkitan reaksi kimia dengan melewati arus listrik yang dimiliki dua elektroda, yaitu kutub anoda dan katoda yang diletakkan didalam *sludge* yang sudah tercemar logam berat. Ujung-ujung keluar masuknya arus dari dan ke lumpur (*sludge*) disebut elektroda. Elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif dari suatu arus listrik disebut anoda, sedangkan elektroda yang dihubungkan kutub negatif dari sumber arus listrik disebut katoda. Teknologi Elektrokinetik ini dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat, radionuklida dan organik.

Elektrokinetik suatu proses sederhana. Dimana dua elektroda ditempatkan didalam suatu tanah atau *sludge* dengan melewati suatu aliran arus listrik yang mana didalam arus tersebut terdapat kutub anoda dan katoda. Arus listrik ini lewat melalui tanah atau *sludge* dan menciptakan suatu jalan kecil yang di atasnya terdapat perjalanan ion. **Gambar 2.8** menunjukkan design suatu bidang elektrokinetik. Di dalam **Gambar 2.8** suatu suntikan dimasukkan dekat kutub anoda (positif) dan suatu penghisap dimasukkan di kutub katoda. Dalam hal ini zat pencemar bermuatan di anoda dan cenderung akan bergerak ke arah katoda (Willard, 1997).



Gambar 2.8 Design bidang elektrokinetik.
(Sumber : Willard, 1997)

2.9 HIPOTESA

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

1. Teknik remediasi elektrokinetik dapat dipergunakan untuk memulihkan sludge dari proses penyamakan kulit yang mengandung logam berat Cr.
2. Teknik Remediasi elektrokinetik efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berat Cr dalam *sludge*.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 JENIS PENELITIAN

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

3.2 LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian dilaksanakan di 2 tempat yaitu :

1. Pelaksanaan penelitian di Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Analisis Data di lakukan di Laboratorium Kimia Analitik, MIPA UGM.

3.3 WAKTU PENELITIAN

Waktu penelitian direncanakan ± 2 minggu yang dilanjutkan dengan pengolahan data, penyusunan data dan penyusunan skripsi pada bulan Desember 2005 – April 2006.

3.4 OBJEK PENELITIAN

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat (*sludge*) dari hasil proses penyamakan kulit.

3.5 METODE PENGUMPULAN DATA

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

1. Studi Pustaka (*library research*)

Studi pustaka merupakan metode 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*) dan Penelitian Awal, adalah metode pengumpulan data melalui pengujian sampel dan melakukan penelitian pendahuluan yang meliputi :

- a. Analisis karakteristik *sludge*.
- b. Analisis terhadap konsentrasi logam berat Cr, resistensi dan pH.

3.6 METODE EKSPERIMEN

Metode eksperimen terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut :

3.6.1. Tahap Pra Penelitian

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

I. Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan :

- Tong, dipakai untuk mengambil sampel limbah penyamakan kulit.
- Wadah *sludge* atau reaktor dari fiber glas, dipakai untuk tempat proses elektrokinetik
- *Power supply*
- Penggaris
- Elektroda
- Ohmmeter
- PH meter
- Pengaduk
- Kabel
- Multitester
- Pipa PVC
- Metode AAS

2. Bahan yang digunakan :

- Penelitian ini menggunakan limbah padat (*sludge*) yang mengandung logam berat Cr yang diambil dari hasil proses penyamakan kulit.

II. Perencanaan

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

➤ Pemilihan limbah

Di gunakan limbah padat berupa lumpur (*sludge*) dari hasil proses penyamakan kulit.

➤ Persiapan wadah *sludge*

Wadah dibuat dari bahan kaca berukuran 1m x 0,95m x 1 m dengan tebal kaca 1cm

➤ Persiapan elektroda

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

➤ Persiapan *power supply*

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

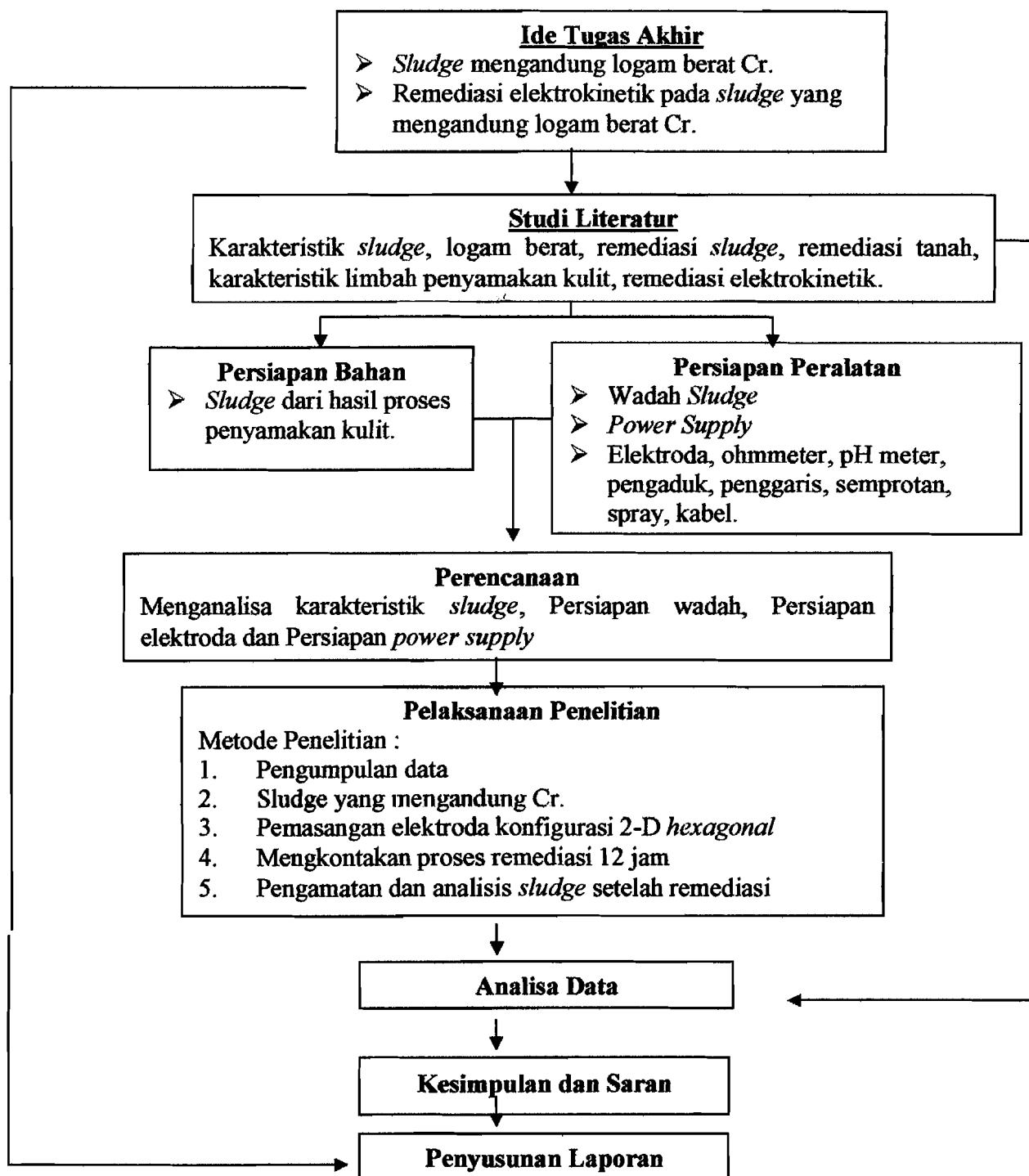


3.6.2. Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian meliputi :

1. *Sludge* yang telah dianalisis.
2. Pemasangan elektroda pada masing-masing *sludge* yang mengandung logam berat Cr dengan konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal*.
3. Mengkontakan power supply dengan sumber arus listrik AC 220 Volt agar arus DC maksimum 30 Ampere 60 Volt dapat mengalir pada permukaan elektroda dan *sludge*.
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 *sludge* dengan pengamatan terhadap kandungan konsentrasi kontaminan logam berat, resistensi, pH pada *sludge* setelah proses.

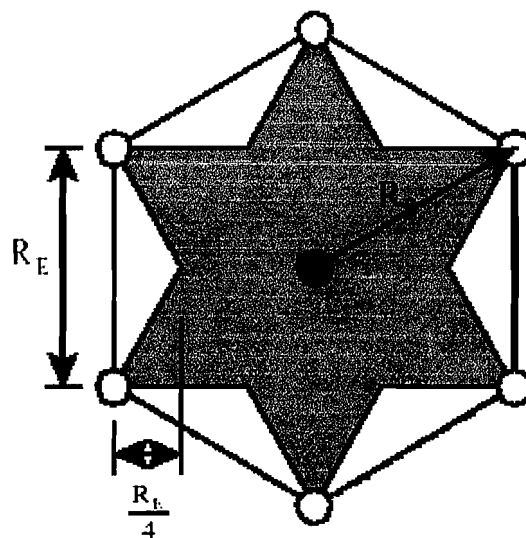
Secara lebih sederhana, alur pikir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1** di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.7 TAHAP AKUISISI DATA

Kebutuhan elektroda : Konfigurasi elektroda *hexagonal* terdiri dari beberapa sel, masing-masing berisi satu katoda yang dikelilingi oleh 6 kutub positif (anoda), seperti pada **Gambar 3.2 a, b dan c (Lampiran 6)**.



$$\text{Area of Cell} = \frac{\sqrt{3}R_i^2}{2}$$

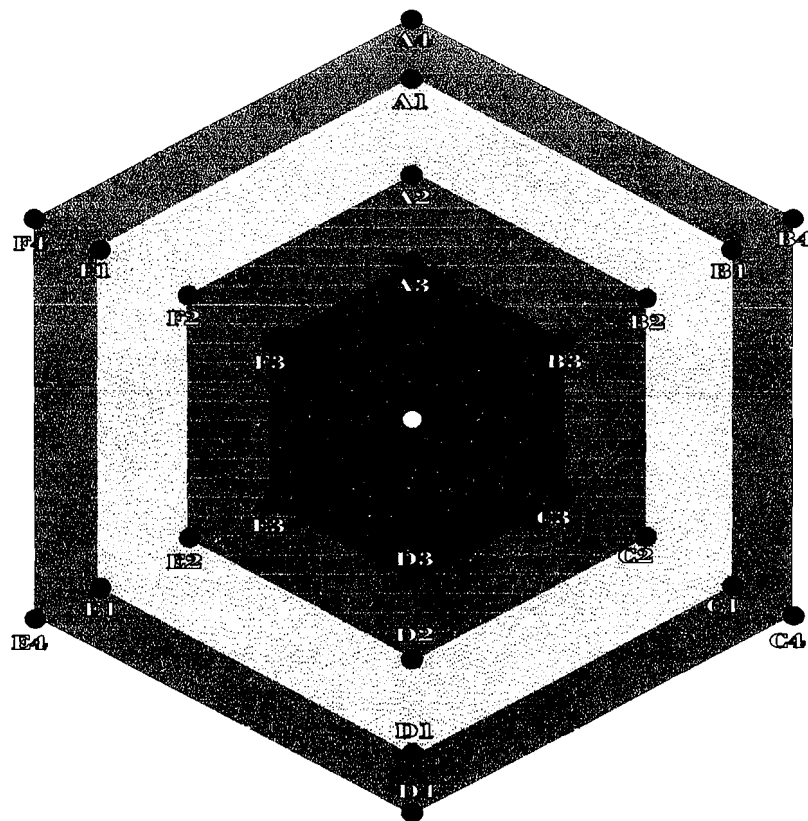
$$\text{Ineffective Area} = \frac{3R_i^2}{4}$$

● Cathode

○ Anode

Gambar 3.2 a. Konfigurasi 2-D *hexagonal*.

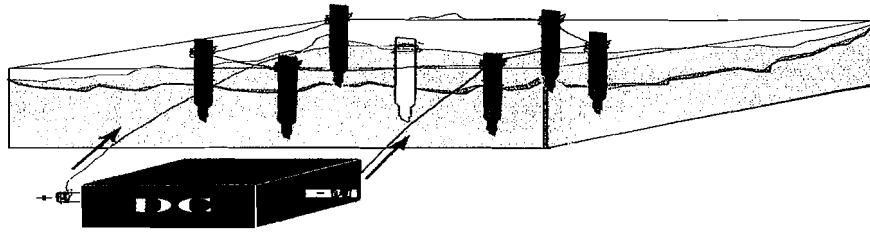
➤ **Desain Titik Sampling**



- = TITIK SAMPLING
- = KATODA
- = AREA 3
- = AREA 2
- = AREA 1
- = AREA 4

Gambar 3.2 b. Titik sampling.

➤ **Desain Reaktor dan Elektroda**



Gambar 3.2 c. Reaktor dan elektroda.

➤ **Volume Reaktor**

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tanah} &= p \times l \times t \\
 &= 1\text{ m} \times 0,95\text{ m} \times 0,13\text{ m} \\
 &= 0,12\text{ m}^3 = 120\text{ l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sludge} &= B_j \text{ sludge} \times \text{volume sludge} \\
 &= 1,005\text{ kg/l} \times 120\text{ l} = 120,6\text{ kg}
 \end{aligned}$$

3.8 ANALISA HASIL PENELITIAN

I. Tabel Hasil Analisa Data

Pada tabel hasil analisis di bagi menjadi 3 tabel yang terdiri : tabel hasil pengukuran pH, tabel hasil konsentrasi Cr dan tabel resistensi.

I.1 Tabel Hasil Pengukuran pH.

➤ Tabel Hasil Pengukuran pH di Area I

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D1		
3	D1		
	E1		
6	C1		
	F1		
9	B1		
	A1		
12	D1		
	E1		
	F1		

➤ Tabel Hasil Pengukuran pH di Area II

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D2		
3	D2		
	E2		
6	C2		
	F2		
9	B2		
	A2		
12	D2		
	E2		
	F2		

➤ Tabel Hasil Pengukuran pH di Area III

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D		
3	D		
	E		
6	C		
	F		
9	B		
	A		
12	D		
	E		
	F		

I.2 Tabel Analisa Konsentrasi Cr Rata-rata Area Efektif dan Area Inefektif.**➤ Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area I**

Konsentrasi Sampel		
0	D1 awal	
3	D1	
6	C1	
9	A1	
12	E1,2	

➤ Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area II

Konsentrasi Sampel		
0	D1 awal	
3	E2	
6	F2	
9	A2	
12	F2,2	

➤ Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area III

Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area III		
0	D1 awal	
3	E3	
6	F3	
9	A3	
12	E3,2	

➤ Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif

Tabel Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif		
0	D1 awal	
3	X2	
6	X3	
9	X6	
12	X5,2	

I.3 Tabel Hasil Pengukuran Resistensi dan Arus

Waktu ke- (jam)	Resistensi (k Ω)	Arus (Ampere)
0		
3		
6		
9		
12		

II. Analisa Data

Untuk menentukan tingkat efisiensi penurunan konsentrasi Cr (Krom) pada *sludge* setelah dilakukan remediasi secara elektrokinetik adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Metcalf dan Eddy,1991) :

$$E = \frac{CAwal - CAakhir}{CAwal} \times 100\%$$

Keterangan :

E = Efisiensi (%)

C = Konsentrasi

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 PERCOBAAN AWAL pada TANAH LEMPUNG KAOLINIT

Penelitian awal tentang remediasi elektrokinetik ini menggunakan tanah lempung kaolinit dari godean sebanyak 30 kg, kemudian diberi kontaminan Cr 30 gram sehingga kandungan Cr dalam tanah kaolinit sebesar 198 $\mu\text{g/g}$ (ppm) (Lampiran 1), dan pH awal 6,9 cenderung dalam kondisi asam. Harapan dilakukannya studi awal ini adalah untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian yang berikutnya, yaitu remediasi elektrokinetik dengan limbah *sludge* dari penyamakan kulit yang mengandung logam khrom.

4.1.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif dan Area Inefektif

Pada penelitian ini, titik sampel tanah di bagi menjadi 3 area, area I, II dan III yang merupakan area efektif, yaitu:

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

Dalam penelitian awal pH yang diukur tidak sesuai dengan titik pengambilan sampel, pH yang diukur hanya terdiri dari pH dalam area efektif dan di area inefektif.

Penelitian remediasi elektrokinetik dengan tipe konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* ini menggunakan elektroda karbon dari baterai serta tegangan listrik 38 V dengan arus DC, penelitian ini dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam untuk diambil sampel dan dianalisis. Hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini :

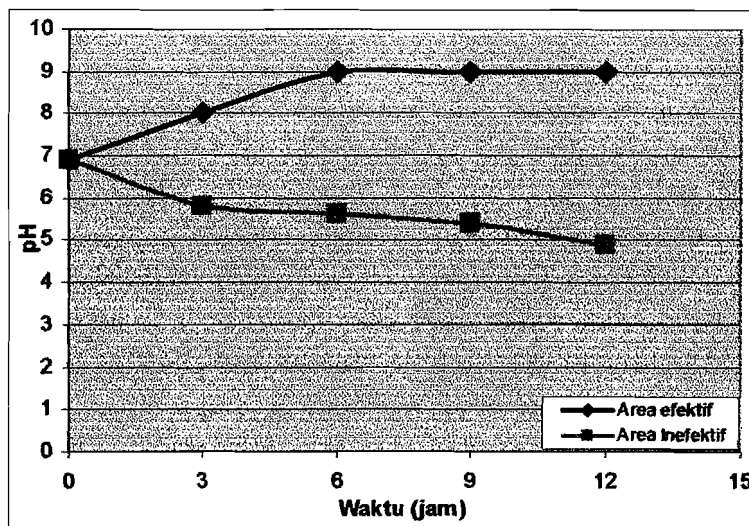
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif

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

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pH pada Area Inefektif

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

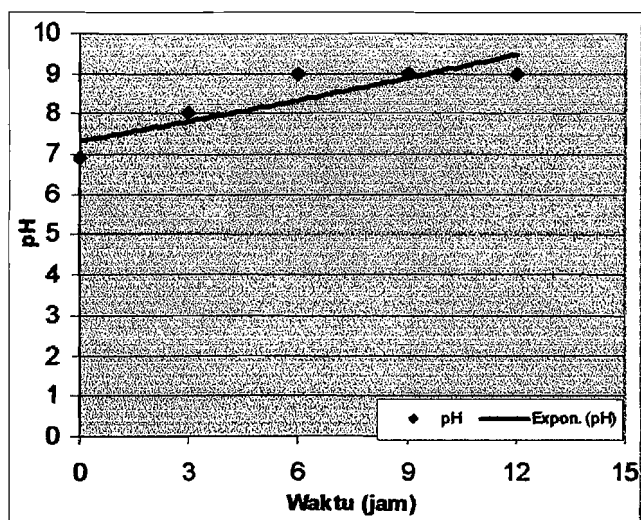
Dari hasil pengukuran pH tersebut dapat dilihat pada area efektif terjadi kenaikan sedangkan pada area inefektif terjadi penurunan pH. Pada waktu ke-0 pH awal di area efektif dan area inefektif sebesar 6,9 masih dalam kondisi asam. Sedangkan pada waktu ke-3 pada area efektif terjadi peningkatan sebesar 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 4.1.



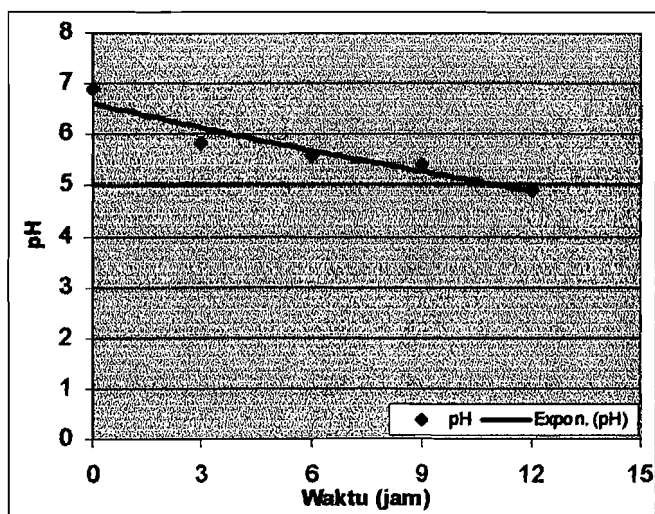
Gambar 4.1 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif dan area inefektif.

Dari grafik 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 penelitian awal pH di area efektif dalam kondisi basa ini dikarenakan jarak antara anoda dan katoda terlalu dekat dan kondisi tanahnya 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 4.1 dan Tabel 4.2 yang disajikan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif



Gambar 4.3 Hubungan pH terhadap waktu pada area inefektif .

Dari **Gambar 4.2** dan **Gambar 4.3** 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 4.2 pH mengalami kenaikan yang sangat tajam ini karena pada kutub negatif terjadi pengurangan (reduksi) sehingga tanah dalam kondisi basa, tidak hanya itu saja faktor jarak juga mempengaruhi proses remediasi.

Dari garis *trend* pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 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 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.

4.1.2 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Efektif.

Krom merupakan salah satu logam berat yang keberadaannya di lingkungan membahayakan bagi manusia. Salah satunya adalah keberadaan krom di dalam tanah. Berdasarkan atas efek negatif tersebut maka diperlukan penanganan 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 sebesar 12,676 $\mu\text{g/g}$ (Lampiran 4). Krom ini merupakan krom bervalensi 3 (Cr^{3+}). Berikut ini disajikan konsentrasi krom pada saat proses remediasi elektrokinetik berlangsung pada Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran Cr pada area I.

Waktu ke- (jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr (mg/kg)			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area I 3 jam	11,447	9,375	10,929	10,584
6	Area I 6 jam	10,485	9,838	11,132	10,485
9	Area I 9 jam	14,296	15,591	16,886	15,591
12	Area I 12 jam	14,826	14,567	15,863	15,085

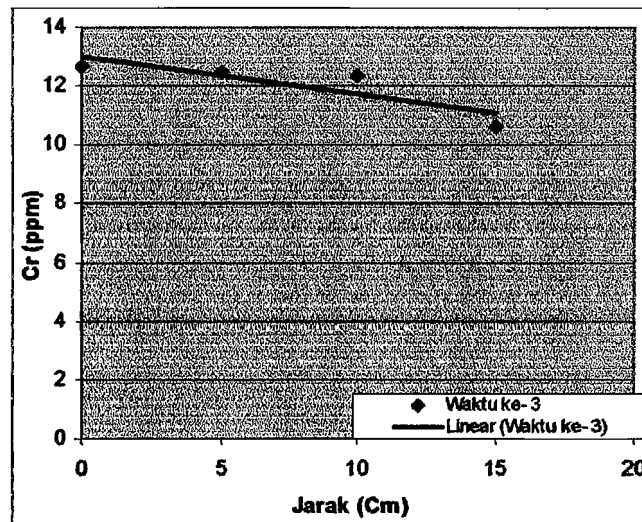
Tabel 4.4 Hasil pengukuran Cr pada area II

Waktu ke- (jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr (mg/kg)			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area II 3 jam	12,763	11,466	12,763	12,331
6	Area II 6 jam	14,319	13,281	14,838	14,146
9	Area II 9 jam	9,12	8,602	9,638	9,120
12	Area II 12 jam	12,2	11,425	11,683	11,769

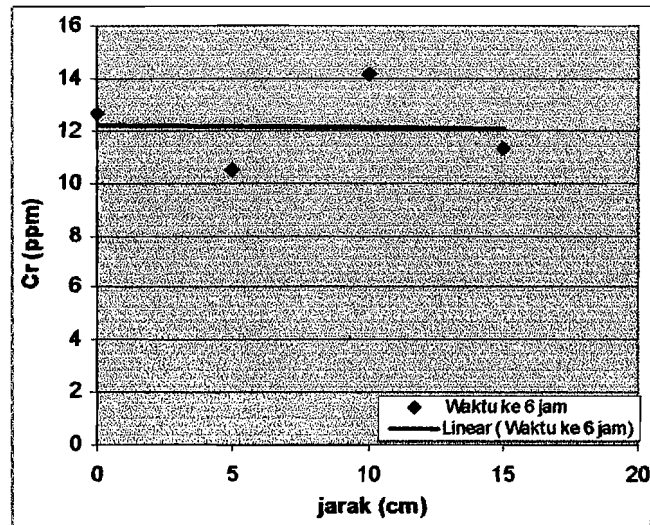
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Cr pada area III

Waktu ke-(jam)	Titik sampling	Hasil Pengukuran Cr			Cr rata-rata (mg/kg)
		I	II	III	
0	Awal	11,725	13,541	12,763	12,676
3	Area III 3 jam	12,483	13,519	11,447	12,483
6	Area III 6 jam	12,503	10,687	10,687	11,292
9	Area III 9 jam	9,387	8,868	10,424	9,560
12	Area III 12 jam	22,092	22,611	21,314	22,006

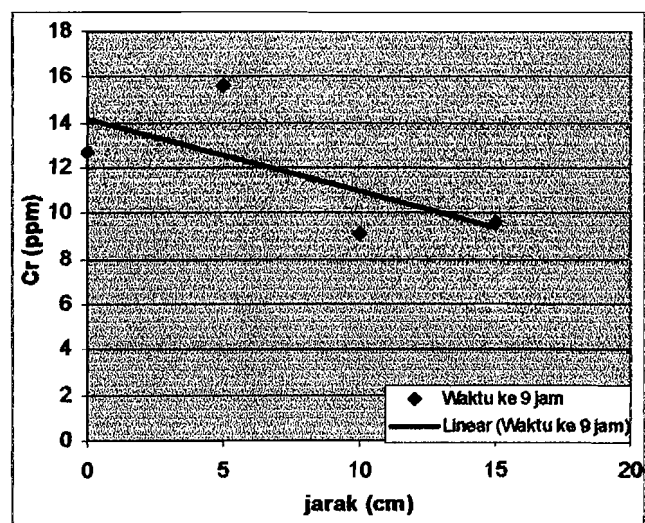
Dari data hasil pengukuran krom tersebut (Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5) dapat dibuat grafik hubungan krom dengan jarak untuk setiap interval 3 jam yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.7.



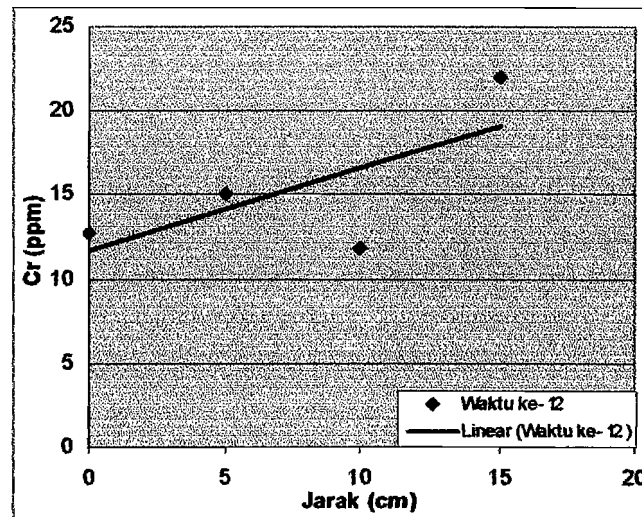
Gambar 4.4 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke-3 jam



Gambar 4.5 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke-6 jam



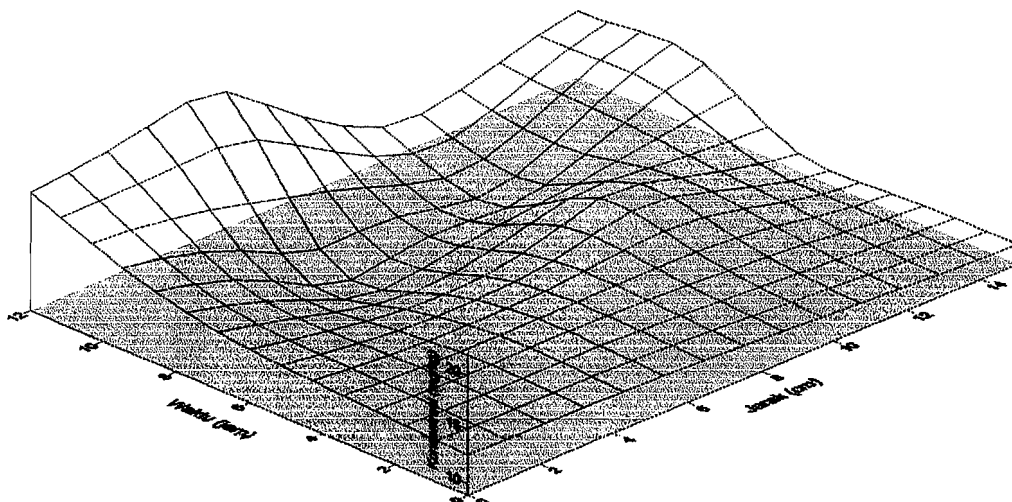
Gambar 4.6 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke-9 jam



Gambar 4.7 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 12 jam

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 sebesar 12,483 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.

Terlihat pada **Gambar 4.4** sampai **Gambar 4.7** konsentrasi krom pada tanah mengalami penurunan yang terlihat melalui *trend* garis, sedangkan pada **Gambar 4.7** *trend* yang terlihat adalah kebalikannya atau mengalami kenaikan. Untuk lebih memperjelas perbedaan antara masing-masing area selama pengambilan sampling dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.8 Hubungan antara konsentrasi krom, waktu dan jarak

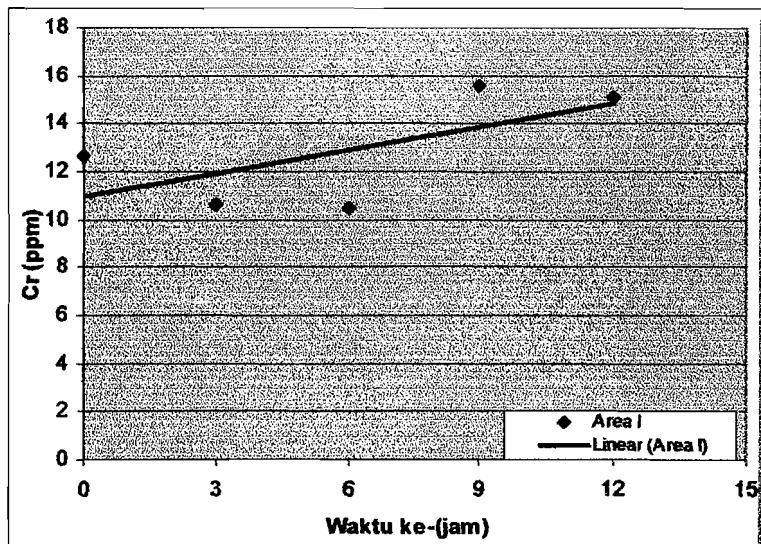
Dari **Gambar 4.8** terlihat adanya perbedaan konsentrasi pada masing-masing jarak untuk setiap waktunya. Penurunan yang terjadi pada waktu 3 jam, 9 jam dan 12 jam disebabkan karena adanya sebuah proses yang dikenal dengan nama proses migrasi ion. Migrasi ion inilah yang menyebabkan penurunan konsentrasi logam khrom pada setiap area karena di dalam migrasi

ion, 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 :

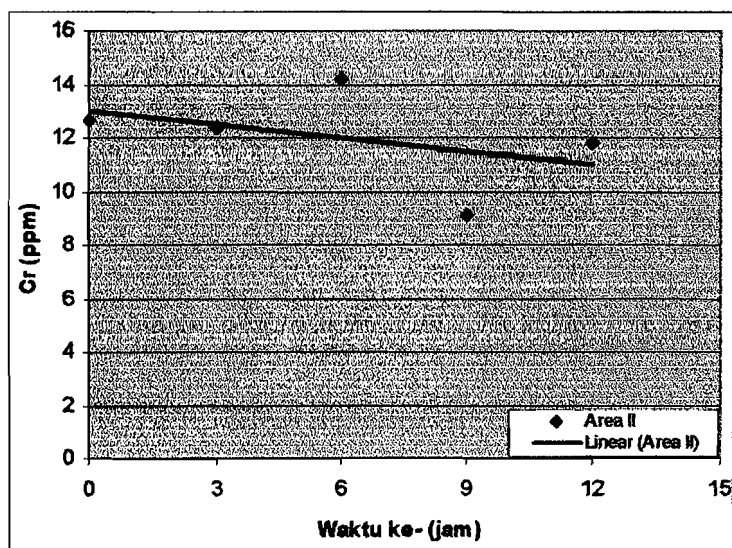


Menurut Alshawabkeh (1999) bahwa adanya penurunan konsentrasi ion-ion karena telah terjadi proses *electromigration* atau *ion migration* di bawah pengaruh medan listrik. Arus listrik yang terjadi pada tanah mengakibatkan migrasi ion-ion bermuatan menuju ke arah elektroda kebalikannya. Sebagai hasil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

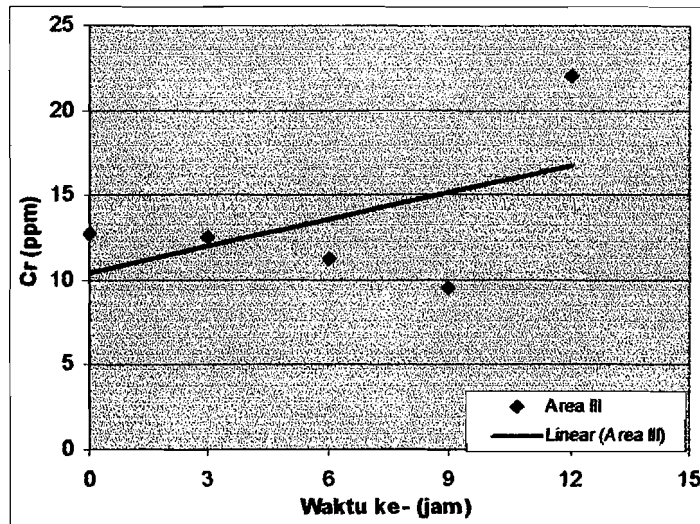
Fenomena yang terlihat pada konsentrasi krom di waktu ke-12 jam cenderung mengalami kenaikan disebabkan karena kemungkinan keadaan pada tanah yang diambil tidak homogen dan kemungkinan lain karena terdapatnya logam-logam lain yang mengalami reduksi lebih besar dibandingkan dengan krom. Dari data-data hasil uji krom juga dapat dibuat grafik antara konsentrasi dengan waktu pada masing-masing-masing area yang disajikan pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.11.



Gambar 4.9 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area I

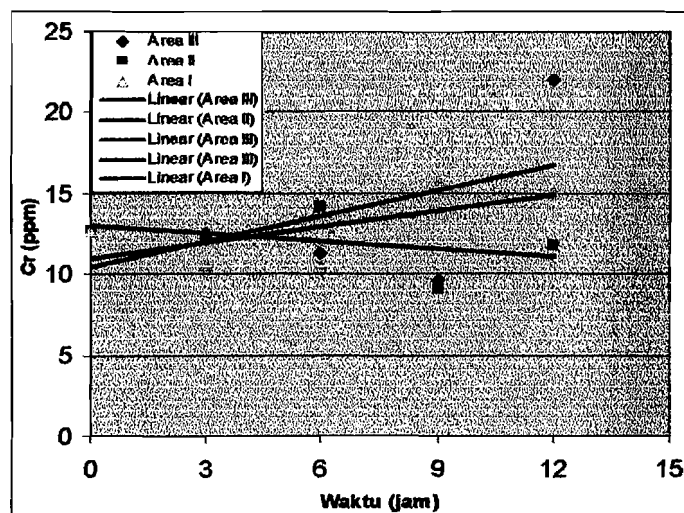


Gambar 4.10 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area II



Gambar 4.11 Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area III

Dari **Gambar 4.9** sampai **Gambar 4.11** dapat dibuat grafik gabungan hubungan konsentrasi krom dengan area efektif yang terlihat pada **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Hubungan konsentrasi krom dengan waktu pada area efektif.

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan waktu remediasi. Terlihat *trend* konsentrasi pada area II mengalami penurunan dan pada area I dan III mengalami naik. Dalam hal ini terjadi banyak kesalahan di antaranya yaitu kandungan air yang terlalu banyak, penggabungan titik sampel dan tidak mematikan *power supply*, sehingga pada penelitian awal penurunan konsentrasi krom yang terjadi tidak optimal.

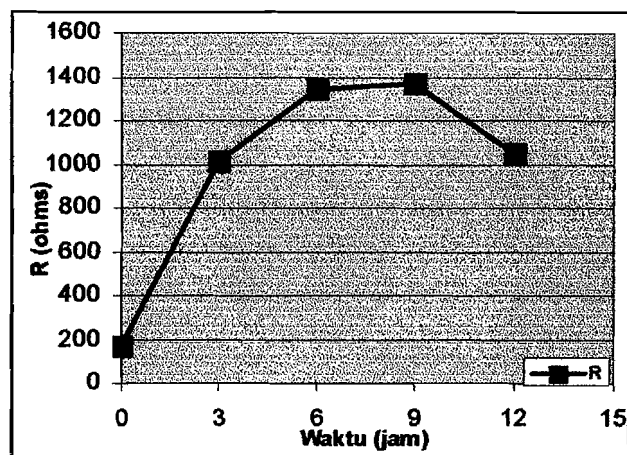
4.1.3 Hasil Analisis pada Arus dan Resistensi.

Pengukuran arus dan resistensi dilakukan dengan interval waktu setiap 3 jam. Data hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran pada Arus dan Resistensi.

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

Dari data pada **Tabel 4.6** didapat grafik hubungan antara waktu dan resistensi seperti pada **Gambar 4.13** berikut:



Gambar 4.13 Hubungan resistensi terhadap waktu

Pada **Gambar 4.13** menunjukkan bahwa terjadi peningkatan resistivitas pada variasi waktu setiap 3 jam, sedangkan pada arus relatif berubah – ubah. Karena tidak stabilnya arus, maka penghantaran mengalami pengurangan dan penambahan jumlah ion-ion penghantar sehingga hambatan (resistensi) yang terjadi dalam tanah juga mengalami peningkatan dan penurunan. Penurunan hambatan (resistensi) ini terjadi pada waktu 12 jam tetapi arus mengalami peningkatan pada waktu 12 jam sedangkan penurunan arus terjadi pada waktu 6 jam dan waktu 9 jam tetap konstan. Karena adanya penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi kecil sehingga hambatan yang dialami arus listrik akan semakin besar sedangkan pada waktu 12 jam untuk hambatan mengalami penurunan ini disebabkan karena semakin berkurangnya jumlah ion-ion penghantar maka hambatan (resistensi) yang terjadi dalam tanah semakin menurun. Maka penurunan resistensi yang

terjadi pada waktu 12 jam pada penelitian ini disebabkan karena adanya penurunan jumlah konsentrasi ion-ion logam muatan positif sehingga menyebabkan penurunan hambatan(resistensi) pada waktu 12 jam yang cukup signifikan, serta terdapat kesalahan yaitu pada saat pengukuran hambatan, pH dan pengambilan sampel *power supply* dalam keadaan hidup (*on*), yang seharusnya dalam keadaan mati (*off*).

4.2 PENELITIAN pada LIMBAH *SLUDGE* PENYAMAKAN KULIT.

Penelitian remediasi elektrokinetik ini menggunakan limbah *sludge* dari proses penyamakan kulit dengan kandungan konsentrasi Cr awal sebesar 39517,402 $\mu\text{g/g}$ (ppm) dan pH awal 4 cenderung dalam kondisi asam. Logam khrom yang terdapat pada limbah *sludge* penyamakan kulit ini adalah khrom bervalensi 3 (Cr^{3+}).

4.2.1 Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

Pada penelitian ini, titik sampel *sludge* dibagi menjadi 4 area terdiri dari area I, II, dan III yang disebut area efektif karena area tersebut dikelilingi oleh 6 anoda, sedangkan yang berada diluar anoda disebut area Inefektif. Masing-masing area memiliki jarak baik dari anoda ke katoda dan diluar anoda untuk lebih detailnya seperti dibawah ini:

- Area I : 15 cm dari katoda
- Area II : 10 cm dari katoda
- Area III : 5 cm dari katoda
- Area Inefektif : 15 cm diluar anoda

Penelitian remediasi elektrokinetik menggunakan tegangan listrik 40 V dengan arus *direct current* (DC). Proses penelitian dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam ditiap area untuk dilakukan pengambilan sampel,

pengukuran pH dan pengukuran resistivitas. Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9 dibawah ini adalah tabel hasil pengukuran pH pada masing-masing area.

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran pH dalam Area I (anoda)

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D0	4	4
3	D1	9	7,5
	E1	6	
6	C1	5,5	6,2
	F1	6,9	
9	B1	9	9
	A1	9	
12	D1	9	9
	E1	9	
	F1	9	

Tabel 4.8 Hasil Pengukuran pH dalam Area II

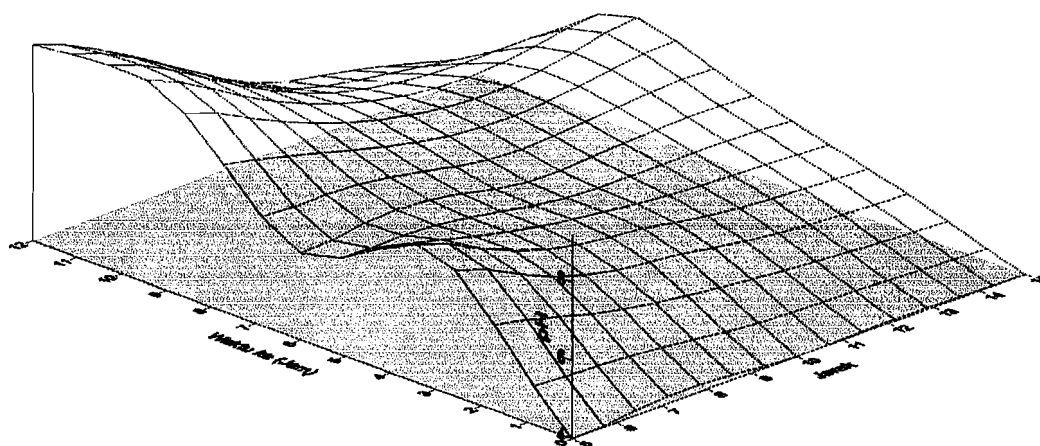
Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D2	4	4
3	D2	5,5	5,7
	E2	5,9	
6	C2	5,9	5,9
	F2	5,9	
9	B2	6,9	6,55
	A2	6,2	
12	D2	6	5,9
	E2	6	
	F2	5,8	

Tabel 4.9 Hasil pengukuran pH dalam Area III (katoda)

Waktu (jam)	Area Anoda	pH	pH rata-rata
0	D	4	4
3	D	4,5	5,1
	E	5,7	
6	C	6	6
	F	6	
9	B	6,7	6,85
	A	7	
12	D	3,8	4,47
	E	5	
	F	4,6	

Dari hasil pengukuran pH dapat terlihat terjadi peningkatan disetiap area dan juga terjadi penurunan pH pada waktu ke 12 di area II dan III. Hasil pengukuran pH tersebut dapat diperoleh hubungan antara waktu, pH dan jarak yang disajikan pada Gambar 4.14. Pada waktu ke-0 pH masing-masing area dalam kondisi asam dengan nilai rata-rata 4, kemudian pada waktu ke-3 di area II dan area III terjadi kenaikan masing-masing sebesar 5,7 dan 5,1, sedangkan pada area I (anoda) kenaikan pH lebih besar dibandingkan area II dan area III yaitu sebesar 7,5. Pada waktu ke-6 di area II dan area III juga terjadi kenaikan sebesar 5,9 dan 6 dan pada area I pH sebesar 6,2 serta terjadi penurunan. Pengukuran pH pada waktu ke-9 nilai pH mengalami peningkatan untuk area I sebesar 9 pada area II juga mengalami kenaikan yaitu 6,55 dan area III sebesar 6,85. Pada jam ke-12 pH mengalami penurunan masing-

masing sebesar 5,9 dan 4,47. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14 (Lampiran 2)**.

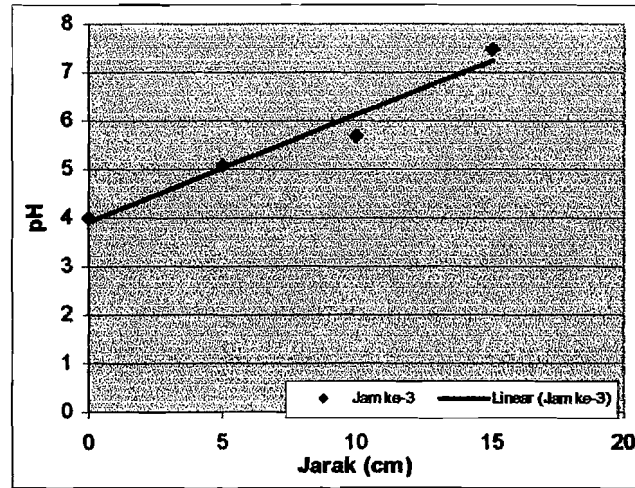


Gambar 4.14 Hubungan pH, waktu dan jarak pada area efektif.

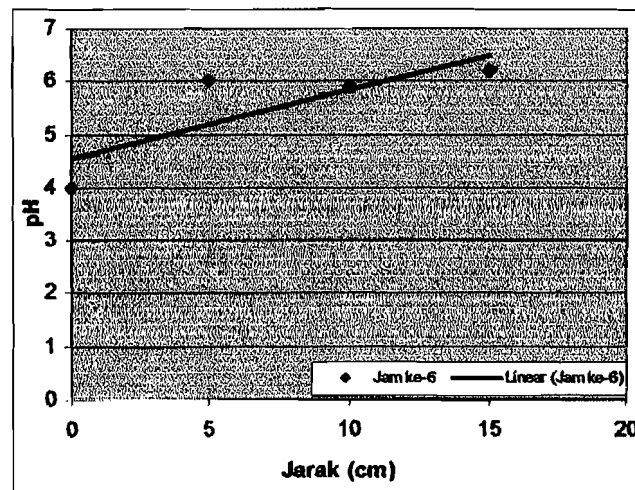
Dari **Gambar 4.14** diatas dapat dilihat terjadi perubahan pII sehingga dapat diartikan bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia di setiap titik sampling. Pada pengukuran ini pH yang dihasilkan berbanding terbalik dengan percobaan sebelumnya karena pada percobaan sebelumnya pH yang dihasilkan yaitu pada katoda dalam keadaan basa sedangkan pada anoda dalam keadaan asam. Pada percobaan ini kondisi pH di katoda asam dan di anoda basa ini dikarenakan proses migrasi ion Cr pada area I akan lebih lambat dibandingkan dengan area III, sedangkan pada area II ion-ion Cr akan bermigrasi dan menumpuk pada katoda sehingga terjadi perubahan warna.

Berdasarkan referensi yang ada seharusnya kondisi pH pada katoda basa dan asam pada anoda, ini dikarenakan adanya proses *electrolysis*, yaitu reaksi oksidasi air pada kutub positif (anoda) disebut sebagai area I yang menghasilkan kondisi asam, sementara pada kutub negatif (katoda) disebut sebagai area III terjadi reduksi air yang menghasilkan kondisi basa (Setiono dan Hadyana,1990).

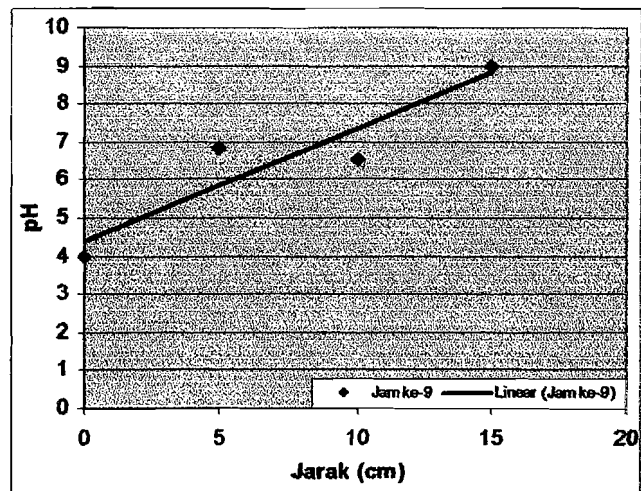
Area II yang berada di antara anoda dan katoda mengalami kondisi asam dengan nilai pH seimbang. Area II memiliki pH rata-rata 5, sehingga dimungkinkan di area II tersebut lebih dominan terpengaruh oleh area anoda dan katoda. Namun pada jam ke-12 terjadi penurunan dari 6,5 menjadi 5,9 peristiwa ini terjadi karena larutan sudah dalam keadaan jenuh sehingga terjadi penurunan pH, maka bisa dikatakan pada penelitian ini hanya efektif pada jam ke-9. Dari data pada Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9 dapat dibuat grafik hubungan antara pH, jarak dan waktu di area efektif seperti pada Gambar 4.15 sampai Gambar 4.18.



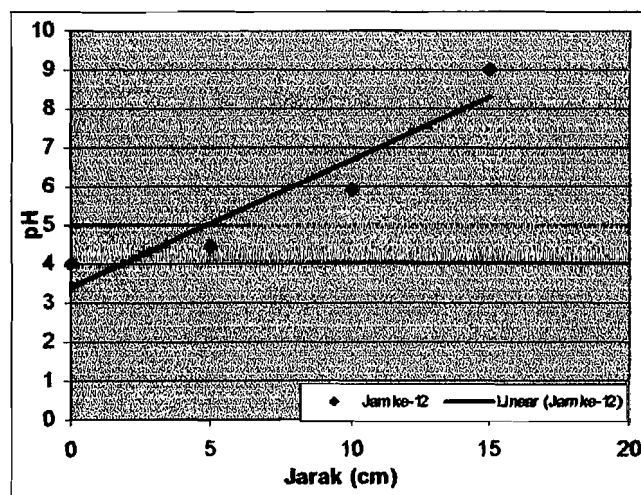
Gambar 4.15 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-3 Jam.



Gambar 4.16 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-6 Jam.

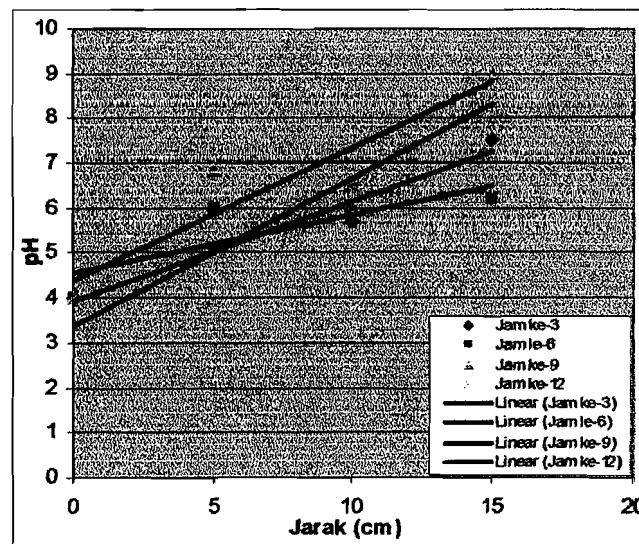


Gambar 4.17 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-9 Jam.



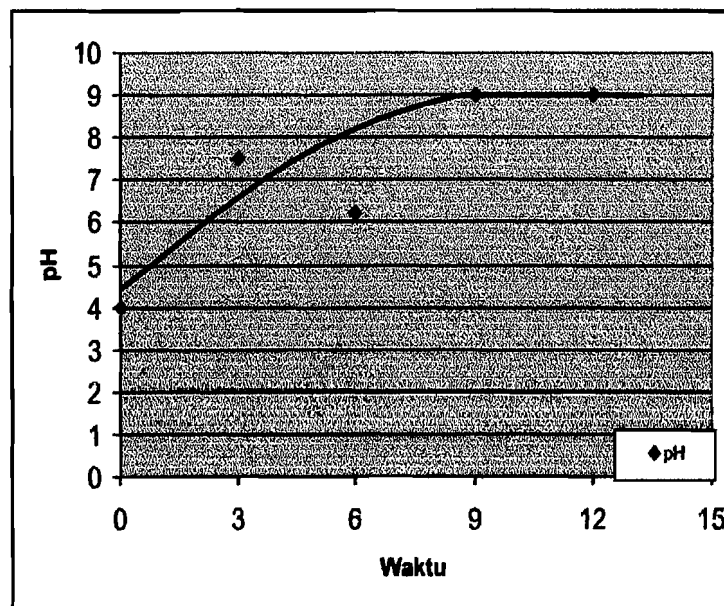
Gambar 4.18 Hubungan pH terhadap jarak pada ke-12 Jam.

Dari **Gambar 4.15** sampai **Gambar 4.18** dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak maka pH akan mengalami kenaikan dalam interval waktu 3 jam, seharusnya pada gambar di atas semakin jauh jarak antara anoda dan katoda pH yang terjadi akan semakin turun. Fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan pada garis *linear*. Perbedaan posisi dan garis *linear* dengan data sebaran yang ada pada setiap grafik di atas kemungkinan karena adanya kesalahan dalam pengukuran pH dan kadar air yang tidak seimbang sehingga proses yang terjadi dalam remediasi elektrokinetik tidak merata atau bisa juga diakibatkan karena faktor lain. Fenomena dan hubungan pH terhadap jarak di area efektif dari **Gambar 4.15** sampai **Gambar 4.18** dapat dilihat pada **Gambar 4.19**.

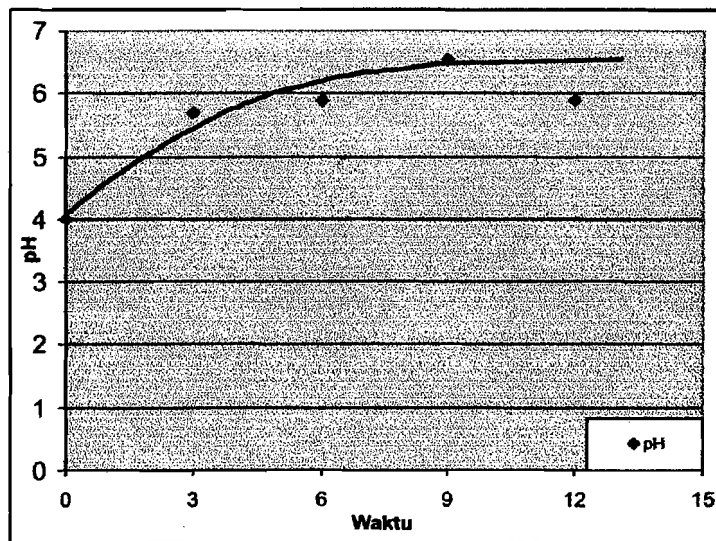


Gambar 4.19 Hubungan pH dan jarak pada area efektif

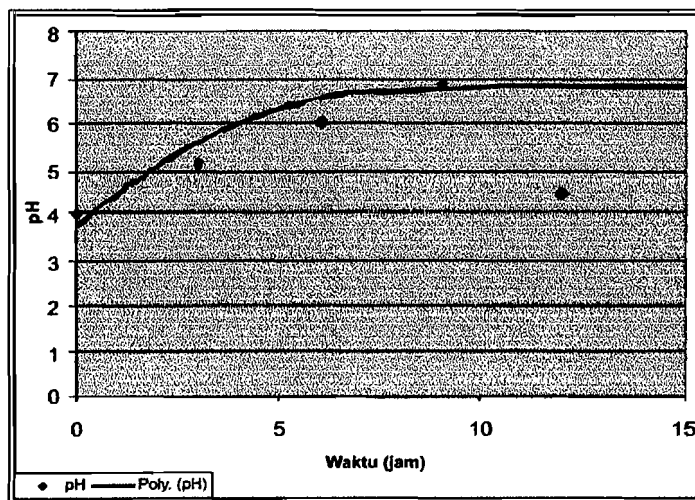
Pada penelitian ini tidak hanya area elektroda (anoda dan katoda) saja yang mempengaruhi perubahan pH, jenis bahan kimia, kadar air dalam *sludge*/tanah, proses *electrolysis* dan faktor waktu juga berpengaruh terhadap kenaikan pH. Berikut pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.22 adalah grafik-grafik hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area efektif yang disesuaikan dengan data dari Tabel 4.7 sampai Tabel 4.9



Gambar 4.20 Hubungan pH terhadap waktu di Area I



Gambar 4.21 Hubungan pH terhadap waktu di Area II

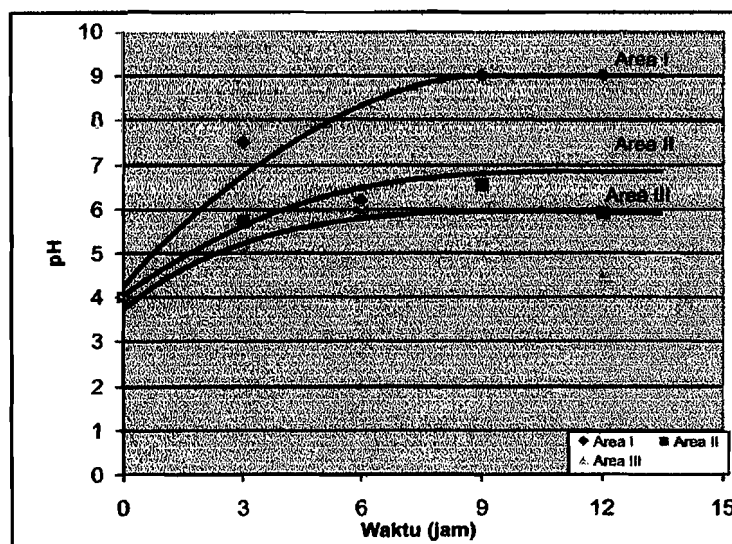


Gambar 4.22 Hubungan pH terhadap waktu di Area III.

Pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.22 tersebut bahwa semakin lama waktu remediasi maka pH akan semakin meningkat, hanya saja dari

garis *trend* untuk penelitian ini diharapkan semakin lama waktu remediasi maka pH yang dihasilkan tetap dalam keadaan konstan. Apabila pada proses remediasi ini pada saat waktu bertambah pH yang dihasilkan meningkat sangat tinggi maka pada proses tersebut terjadi pergerakan dari ion-ion lain yang lebih dominan. Dari **Gambar 4.20** sampai **Gambar 4.22** pH konstan berada pada jam ke-9 dan terjadi penurunan pada jam ke-12 (khususnya pada **Gambar 4.22**).

Apabila proses remediasi elektrokinetik sudah mengalami titik kejenuhan maka kondisi pH akan turun serta intensitas arus tinggi dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses removal kontaminan, **Gambar 4.23** adalah gambar gabungan pH terhadap waktu pada area efektif I, II dan III.



Gambar 4.23 Hubungan antara pH dan waktu di area efektif

Dalam penelitian ini keadaan pH berbanding terbalik karena terjadi beberapa kesalahan salah satunya yaitu tidak adanya kontrol pH. Dalam remediasi elektrokinetik perubahan pH sangat mempengaruhi oleh karena itu perlu dilakukan kontrol pH agar pH selalu dalam keadaan seimbang, salah satu solusinya dengan menambahkan buffer yaitu menggunakan larutan fosfat, fungsi dari penambahan buffer adalah sebagai penyangga atau penahan terhadap penambahan ion H^+ dan ion OH^- , sehingga pada kondisi asam akan lebih cepat ion bermigrasi ke katoda begitu juga sebaliknya (Willard,1997).

Pada penelitian ini diketahui bahwa pH dan waktu optimum yang dicapai dapat dilakukan melalui perhitungan pada persamaan garis *trend* di tiap area, tetapi pada penelitian ini tidak dilakukan perhitungan karena dari gambar-gambar di atas waktu optimum untuk pH hanya pada jam ke-9.

4.2.2 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Are Efektif.

Analisis konsentrasi Cr dalam limbah *sludge* penyamakan kulit menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrum*), pada metode AAS sebelum dilakukan pengukuran konsentrasi Cr dilakukan preparasi dengan berat masing-masing sampel rata-rata adalah 0,5 gr dan volume akhir 25 ml (Lampiran 4). Dari data hasil analisis didapatkan konsentrasi Cr awal (D1 awal) adalah sebesar 39517,402 $\mu g/g$, setelah dilakukan proses remediasi

elektrokinetik ternyata terjadi penurunan konsentrasi Cr yang sangat berbeda di setiap area titik sampling, proses remediasi tersebut dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu remediasi masing-masing area adalah 3 jam. Data-data hasil analisis konsentrasi Cr dapat dilihat pada lampiran 4.

Berikut ini disajikan data hasil uji laboratorium pada setiap area dengan menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption spectrum*) dapat dilihat pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.13 di bawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Analisis Konsentrasi Cr dalam *Sludge* pada Area Efektif.

0	D1 awal	39517,402
3	D1	37392,083
	E2	37747,966
	E3	34840,640
6	C1	34032,874
	F2	29925,627
	F3	33652,875
9	A1	35985,715
	A2	37740,432
	A3	36182,358
12	F2,2	28148,088
	E1,2	32433,184
	E3,2	32636,263

Tabel 4.11. Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area I (Anoda)

0	D1 awal	39517,402
3	D1	37392,083
6	C1	34032,874
9	A1	35985,715
12	E1,2	32433,184

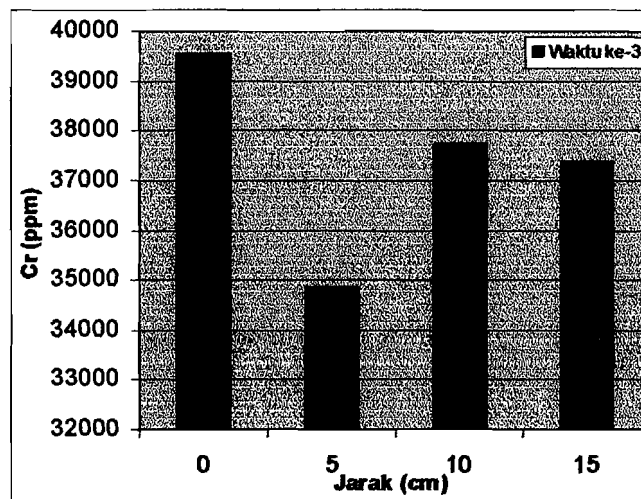
Tabel 4.12 Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area II

0	D1 awal	39517,402
3	E2	37747,966
6	F2	29925,627
9	A2	37740,432
12	F2,2	28148,088

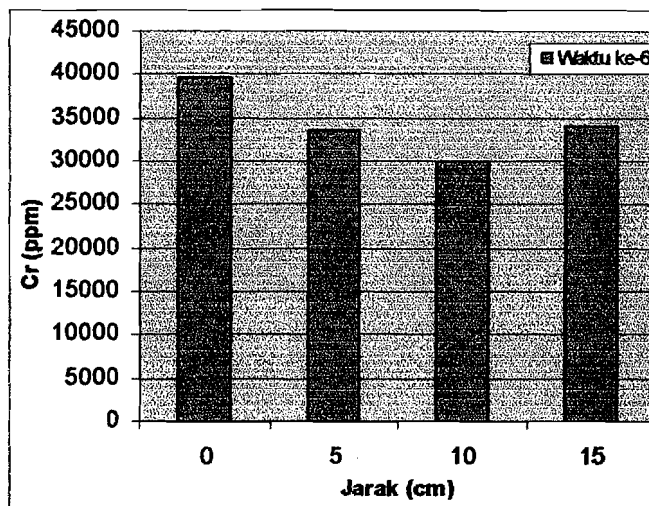
Tabel 4.13. Konsentrasi Cr Rata-rata pada Area III

0	D1 awal	39517,402
3	E3	34840,640
6	F3	33652,875
9	A3	36182,358
12	E3,2	32636,263

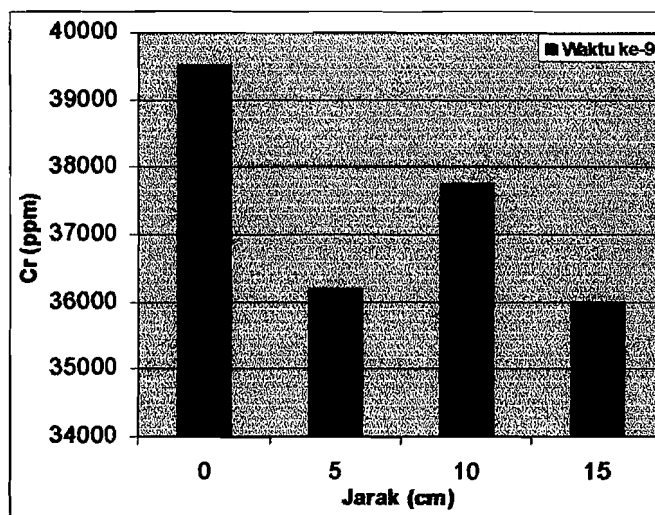
Dari data pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.13 dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi Cr di tiap titik sampling, tetapi pada jam ke-9 konsentrasi Cr mengalami kenaikan kemudian terjadi penurunan kembali pada jam ke-12. Data-data tersebut dapat di buat grafik hubungan antara konsentrasi Cr, jarak dan waktu untuk area efektif seperti pada Gambar 4.24 sampai Gambar 4.27.



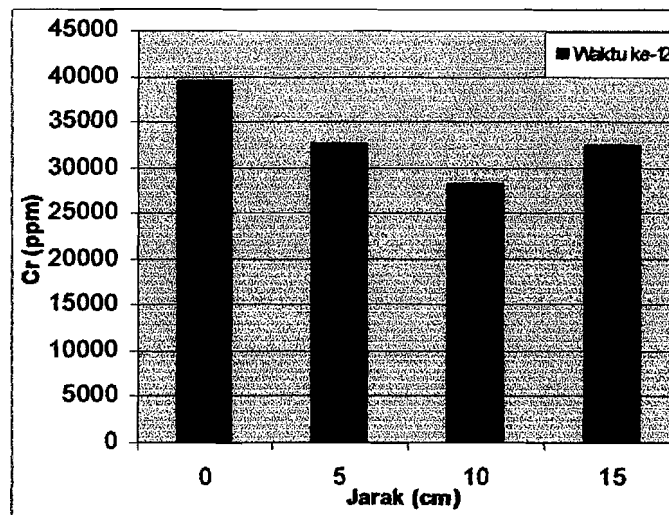
Gambar 4.24 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-3 jam.



Gambar 4.25 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-6 jam.



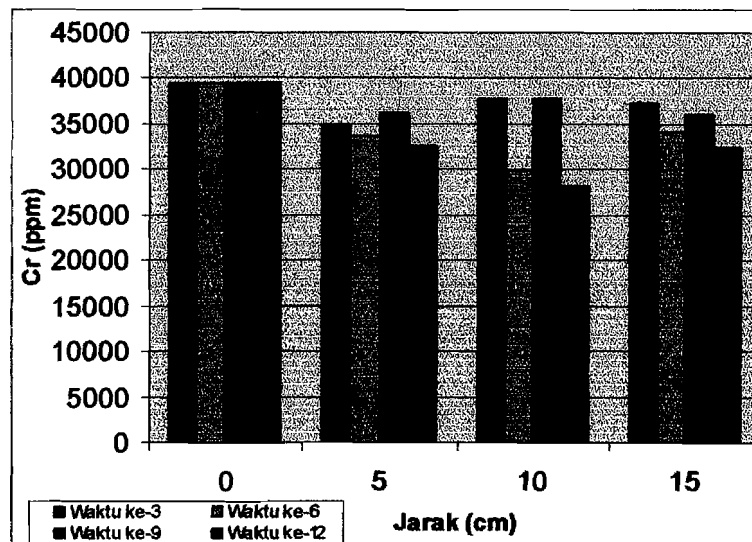
Gambar 4.26 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-9 jam.



Gambar 4.27 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada waktu ke-12 Jam

Dari grafik hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada **Gambar 4.24** sampai **Gambar 4.27** menjelaskan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Cr setiap interval waktu 3 jam di setiap area, dapat dilihat pada gambar di atas pada jarak 5 cm (area III) dari katoda dengan waktu ke-3 dan waktu ke-9 terjadi penurunan yang sangat tajam sedangkan pada waktu ke-6 serta waktu ke-12 terjadi penurunan juga tetapi tidak begitu besar. Pada jarak 10 cm (area II) dari katoda terjadi penurunan konsentrasi Cr tetapi penurunan yang terjadi seimbang dengan nilai konsentrasi terkecil sebesar 28148,088 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan pada jarak 15 cm (area I) dari katoda yang disebut area anoda mengalami penurunan tidak terlalu besar seperti yang kita lihat pada **Gambar 4.24** sampai **Gambar 4.27** dan penurunan konsentrasi Cr terbesar adalah sebesar 32433,184 $\mu\text{g/g}$. Dari gambar-gambar tersebut dapat dibuat grafik

gabungan hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu pada area efektif seperti pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Hubungan konsentrasi Cr terhadap jarak pada area efektif

Penurunan konsentrasi Cr yang terjadi pada masing-masing area tersebut dikarenakan adanya pergerakan ion-ion Cr^{3+} menuju katoda sehingga pada area I, II dan III mengalami penurunan konsentrasi Cr di tiap titik area, sedangkan pada jam ke-9 selama proses remediasi berjalan mengalami pergerakan ion-ion juga hanya saja kemungkinan besar pergerakan ion-ion yang terjadi terlalu kecil.

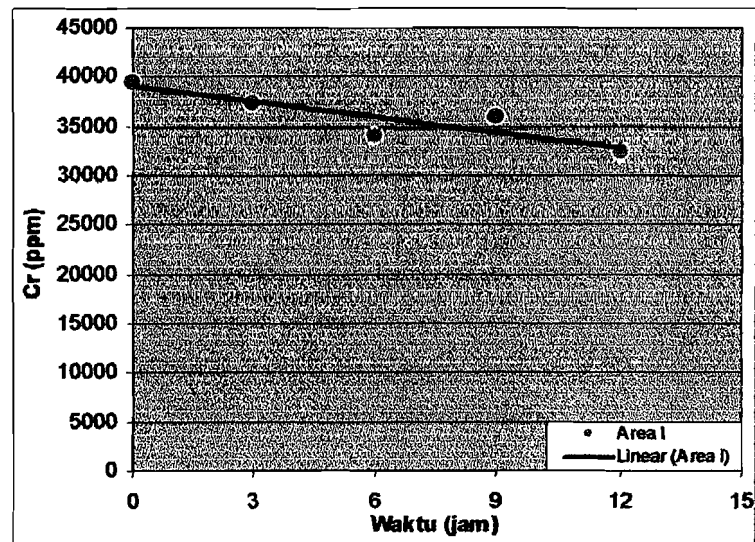
Pada grafik batang yang ditunjukkan Gambar 4.28 titik terendah di alami area II yaitu area dengan jarak 10 cm dari katoda. Penurunan

konsentrasi yang terjadi selama proses remediasi adalah karena adanya migrasi ion, migrasi ion Cr^{3+} menuju katoda pada area II tersebut lebih banyak di bandingkan dengan area I dan area III. Penurunan konsentrasi ion-ion dikarenakan telah terjadi proses *electromigration* atau *ion migration* di bawah pengaruh medan listrik, *elctromigration* adalah pergerakan kation dan anion karena pengaruh sifat listrik yang ditimbulkan sistem tersebut pada *sludge*. 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 di kumpulkan di katoda dan anion-anion berada di anoda (Alshawabkeh, 1999). Banyaknya jumlah ion Cr^{3+} yang bermigrasi salah satunya ditentukan oleh cepatnya gerakan antar ion Cr^{3+} bermigrasi menuju katoda, sehingga dalam penelitian ini jarak antara anoda dan katoda sangat berpengaruh terhadap pergerakan ion-ion Cr^{3+} .

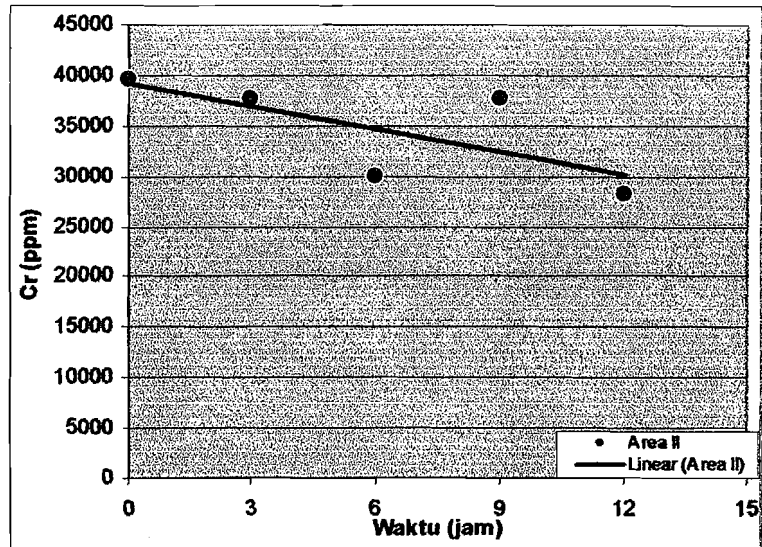
Pada penelitian ini saat jam ke-9 terjadi kenaikan dikarenakan pergerakan ion-ion Cr^{3+} lebih sedikit dan kesalahan dalam analisis sampel. Area III adalah area yang berada 5 cm dari katoda, dari grafik terlihat konsentrasi Cr terendah di area III lebih tinggi di bandingkan area yang lainnya, dimungkinkan ion-ion Cr^{3+} yang bermigrasi menuju katoda terakumulasi di area sekitar katoda, sehingga walaupun terjadi penurunan konsentrasi Cr namun tidak terlalu besar. Selama proses remediasi elektrokinetik terjadi Cr^{3+} ada dalam format *hidroksida cationic* seperti Cr

$[\text{OH}]^{2+}$ dan akan berpindah ke arah katoda, sedangkan Cr^{6+} ada dalam wujud *oxyanions* seperti CrO_4^{2-} yang berpindah ke arah kutub positif (anoda) (Reddy dan Shirani, 1996).

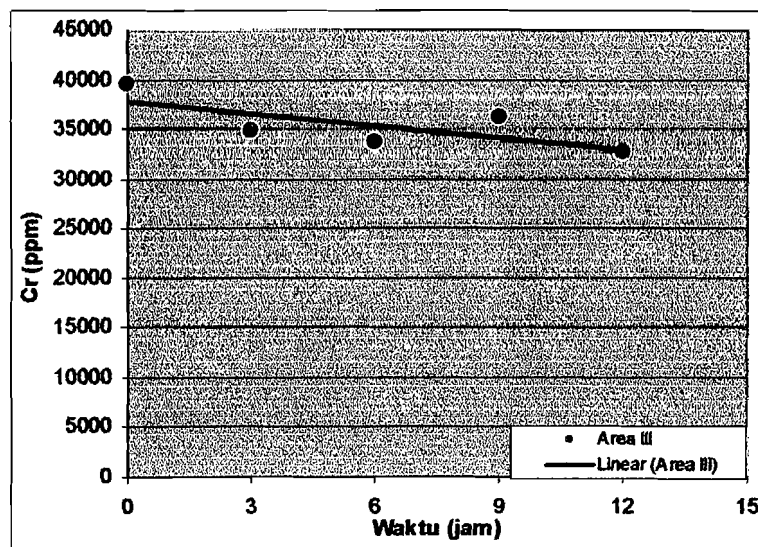
Pada jam ke-9 terjadi kenaikan selain karena hal-hal di atas juga di karenakan terjadinya korosi atau karat pada besi yang menghantarkan arus listrik, pada ujung kabel ada sebuah cepit besi dan besi tersebut mengalami korosi sehingga besi terlepas, pada saat jam ke-12 pertengahan waktu besi juga lepas sehingga untuk jam ke-12 dilakukan pengulangan pengukuran, hal ini di karenakan kondisi yang sudah jenuh dan kandungan air yang terlalu banyak juga mempengaruhi besi tersebut. **Gambar 4.29** sampai **Gambar 4.31** adalah grafik-grafik yang menunjukkan fenomena (*trend*) yang terjadi dalam hubungan antara konsentrasi Cr terhadap waktu pada masing-masing area :



Gambar 4.29 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di Area I

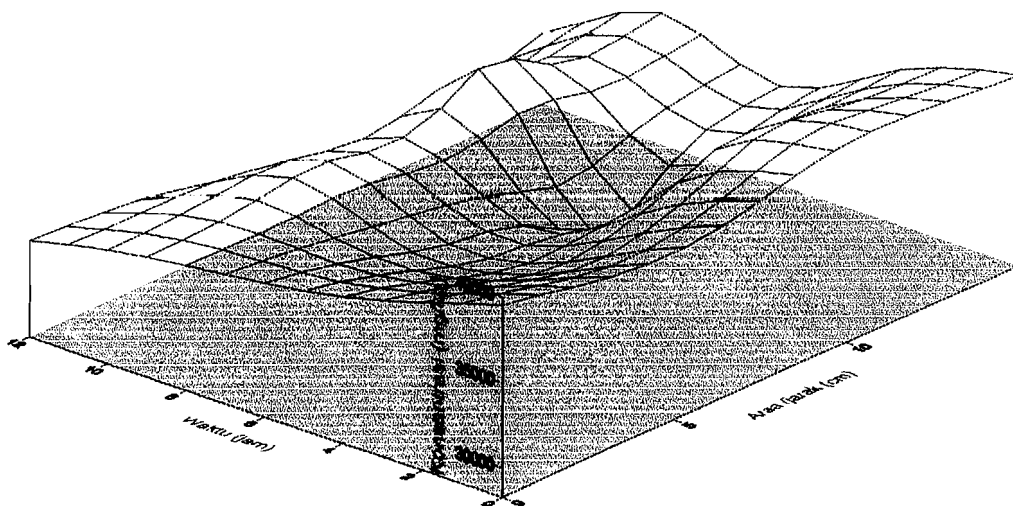


Gambar 4.30 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di area II



Gambar 4.31 Hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu di area III

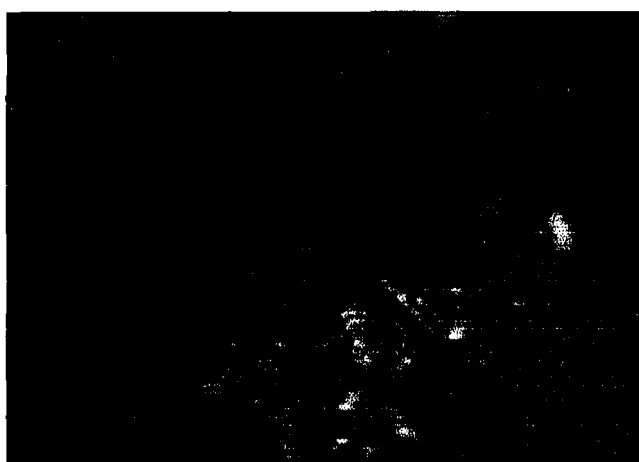
Gambar 4.29 sampai dengan Gambar 4.31 di atas dapat dilihat terjadi penurunan konsentrasi Cr yang drastis dan juga terjadi kenaikan pada masing-masing area. Penurunan konsentrasi Cr terjadi dalam interval waktu 3 jam pada saat proses remediasi berlangsung yaitu selama 12 jam. Pada gambar di atas fenomena atau *trend* yang terjadi ditunjukkan pada garis *linear*. Dari fenomena atau garis *trend* dapat dilihat bahwa semakin lama waktu remediasi maka konsentrasi Cr akan semakin turun sampai pada saat dimana ion-ion tersebut dapat bermigrasi kembali, grafik hubungan konsentrasi Cr terhadap waktu untuk area efektif dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Hubungan konsentrasi Cr, waktu dan jarak pada area efektif.

Garis *trend* pada Gambar 4.29 sampai Gambar 4.31 di atas menghasilkan persamaan untuk area I, area II dan III adalah $y = ax + b$. Beberapa hal yang mempengaruhi proses remediasi selain pergerakan ion, lamanya waktu remediasi juga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi ion-ion Cr^{3+} . Pada penelitian ini penurunan konsentrasi Cr terlalu kecil adalah karena hambatan yang kecil dan ukuran elektroda yang digunakan tidak seimbang dengan volume *sludge* serta luas reaktor.

Penurunan konsentrasi ion-ion diakibatkan adanya pergerakan ion-ion menuju kutub negatif (katoda) dalam interval waktu 12 jam. Penurunan ion-ion juga tergantung pada jarak elektroda, konfigurasi elektroda, waktu *treatment* dan biaya. Selama proses berlangsung terdapat perubahan yang terjadi pada *sludge* salah satunya yang terlihat adalah adanya perubahan warna, perubahan warna tersebut terjadi pada area III dan area I, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33 Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi.

Dari **Gambar 4.33** di atas pada area III (katoda) perubahan warna yang terjadi adalah coklat keemasan, tidak hanya itu saja disekitar area juga terjadi pengurangan air. Perubahan warna yang terjadi pada titik katoda dapat diartikan bahwa pada area III (katoda) telah terjadi perpindahan ion-ion yang bermuatan positif sehingga warna coklat keemasan tersebut merupakan warna dari logam khrom bervalensi 3 (Cr^{3+}).

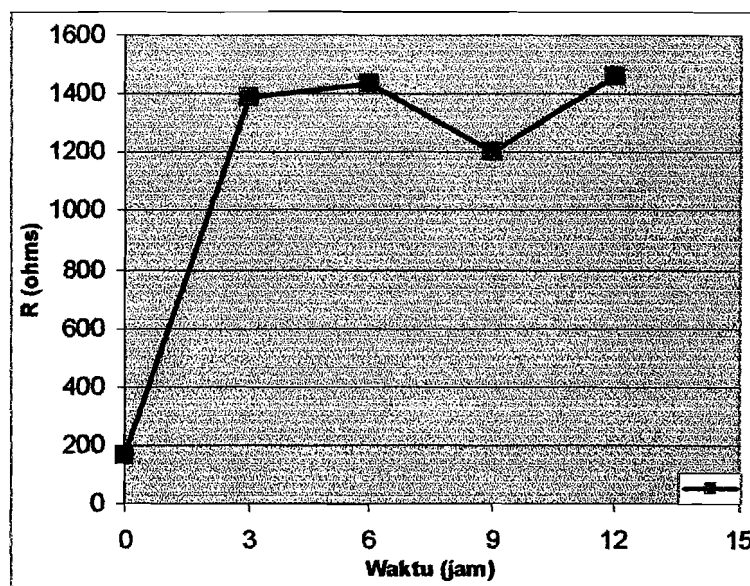
4.2.3 Hasil Analisis Resistensi dan Arus.

Pengukuran resistensi dan arus dilakukan dalam interval waktu tiap 3 jam, pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan multimeter. Data dari hasil pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 4.15 (Lampiran 3)** berikut ini :

Tabel 4.14 Hasil Pengukuran pada Resistensi dan Arus

Waktu ke-(jam)	Resistensi (Ω)	Arus (Ampere)
0	166	0
3	1387	0,2
6	1437	0,2
9	1201	0,2
12	1459	0,2

Pada **Tabel 4.14** di atas dapat dilihat terjadi peningkatan resistensi serta penurunan pada jam ke-9, dari data **Tabel 4.14** didapatkan grafik hubungan antara resistensi dan waktu seperti pada **Gambar 4.34** berikut.



Gambar 4.34 Hubungan resistensi terhadap waktu

Pada **Gambar 4.34** terjadi peningkatan resistensi tiap waktu 3 jam dan juga terjadi penurunan resistensi sedangkan arus yang terjadi mengalami nilai konstan yaitu 0,2 A (**Lampiran 3**). Dari **Gambar 4.34** tersebut terjadi peningkatan karena berkurangnya jumlah ion-ion penghantar maka hambatan (resistensi) yang terjadi dalam *sludge* semakin meningkat. Penumpukan kation pada katoda mengakibatkan luas penampang katoda menjadi kecil sehingga hambatan yang di alami arus listrik akan semakin meningkat, teori tersebut sesuai dengan persamaan bahwa resistensi akan berbanding terbalik dengan luas penampang (Bueche,1989).

Millman dan Halkias (1991) mengungkapkan apabila sebuah elektron mencoba meninggalkan logam, elektron tersebut akan mengimbas suatu

muatan positif di permukaan oleh karena logam tersebut bersifat netral. Akibatnya antara muatan yang diimbans dan elektron bekerja gaya tarik menarik. Elektron akan dipaksa kembali ke logam, kecuali apabila elektron tersebut mempunyai energi yang cukup besar untuk mengeluarkannya dari daerah pengaruh gaya muatan imbas tersebut. Oleh karena itu dalam logam mempunyai distribusi energi, maka elektron-elektron yang meninggalkan logam juga akan mempunyai suatu distribusi energi. Apabila semua elektron meninggalkan katoda dengan energi yang sama, arusnya akan tetap konstan sampai suatu tegangan tertentu dicapai kemudian menurun mendadak menjadi nol.

Pada pengukuran resistensi terjadi penurunan di jam ke-9 kemudian mengalami kenaikan kembali pada jam ke-12, ini dikarenakan keadaan yang sudah jenuh dan konsentrasi penurunan ion-ion logam yang bermuatan positif sangat sedikit sehingga pada penurunan konsentrasi Cr juga mengalami kenaikan yang tidak terlalu besar. Sedangkan kenaikan resistensi yang terjadi disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi ion-ion logam, ini sesuai karena semakin besar nilai resistensi maka penurunan konsentrasi Cr akan semakin kecil dan sebaliknya. Pada penelitian ini arus sangat mempengaruhi terhadap penurunan khrom (Cr) karena dengan adanya arus listrik yang di alirkan pada media *sludge* maka akan terjadi penurunan konsentrasi Cr, tidak hanya itu saja dalam penurunan konsentrasi Cr juga seharusnya disesuaikan

dengan voltase dari logam berat yang terdapat didalam direct volta. Voltase yang digunakan untuk setiap logam berat tidak dapat diukur secara empiris, karena setiap logam memiliki energi potensial yang berbeda-beda.

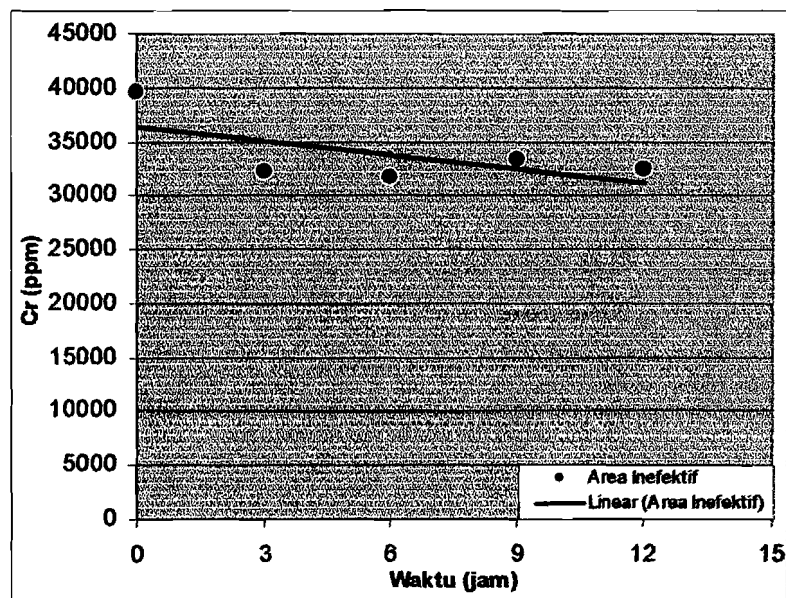
4.2.4 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif

Analisis konsentrasi Cr selain pada area efektif juga dilakukan pada area inefektif, area inefektif terletak 15 cm di luar dari area efektif. Area inefektif area yang berada di luar dari anoda dan katoda, pada area inefektif juga dilakukan pengambilan sampel fungsinya sebagai pembanding terhadap area efektif. Data yang di ambil di area inefektif (X) adalah untuk melihat apakah terjadi pengurangan konsentrasi Cr apabila terjadi pengurangan berarti area inefektif mendapatkan pengaruh dari medan listrik area efektif. Pengambilan sampel *sludge* pada area inefektif yang telah diremediasi dilakukan pada jam yang sama dengan area efektif yaitu selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam. Hasil analisis konsentrasi Cr pada area inefektif dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut :

Tabel 4.15 Hasil Analisis Konsentrasi Cr pada Area Inefektif

0	D1 awal	39517,402
3	X2	32243,055
6	X3	31659,563
9	X6	33245,986
12	X5,2	32478,563

Dari data pada Tabel 4.15 tersebut didapatkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi Cr pada area inefektif, walaupun pada jam ke-9 terjadi kenaikan kemudian penurunan kembali. Tabel 4.15 menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi diakibatkan karena adanya pengaruh aliran listrik dari area efektif, sehingga penurunan yang terjadi sangat tajam ini dimungkinkan karena aliran listrik pada titik sampel pengaruhnya sangat besar, sesuai dengan hambatan (resistensi) yang di hasilkan. Dari data pada Tabel 4.15 dapat di buat grafik seperti pada Gambar 4.35 di bawah ini :



Gambar 4.35 Konsentrasi Cr terhadap waktu pada area inefektif

Pada Gambar 4.35 fenomena yang terjadi ditunjukkan dengan garis *linear*, dari *trend* di atas penurunan konsentrasi Cr di area inefektif sangat besar berarti pada area inefektif telah terjadi pengaruh dari sistem elektroda area efektif terhadap area inefektif. Penurunan konsentrasi Cr dari grafik di atas di dapatkan konsentrasi Cr minimum sebesar 31659,563 $\mu\text{g/g}$ dan pada jam ke-12 nilainya 32478,563 $\mu\text{g/g}$ dengan nilai konsentrasi Cr rata-rata yaitu sebesar 32406,792 $\mu\text{g/g}$.

Distribusi medan listrik menunjukkan area inefektif beberapa sel berbentuk segitiga sama kaki dengan badan kaki merupakan jarak elektroda yang mempunyai polaritas sama. Tinggi dari area segitiga diperkirakan tergantung pada waktu proses, spasi elektroda dan kesejajaran (Alshawabkeh,1999).

4.2.5 Hubungan Konsentrasi Cr, pH dan Waktu.

Konsentrasi Cr, pH dan Waktu dimungkinkan memiliki hubungan yang saling berkaitan antara satu sama lain, dibawah ini adalah Tabel 4.16 sampai Tabel 4.18 hubungan antara konsentrasi Cr, pH dan waktu di tiap area

:

Tabel 4.16 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area I

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	37392,083	7,5
6	34032,874	6,2
9	35985,715	9
12	32433,184	9

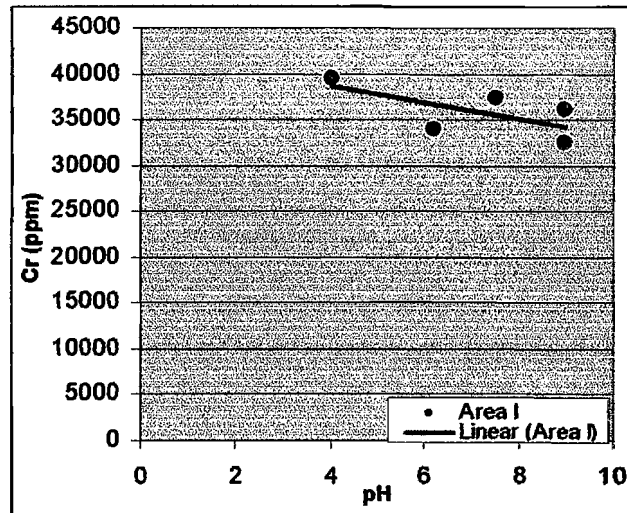
Tabel 4.17 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area II

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	37747,966	5,7
6	29925,627	5,9
9	37740,432	6,55
12	28148,088	5,9

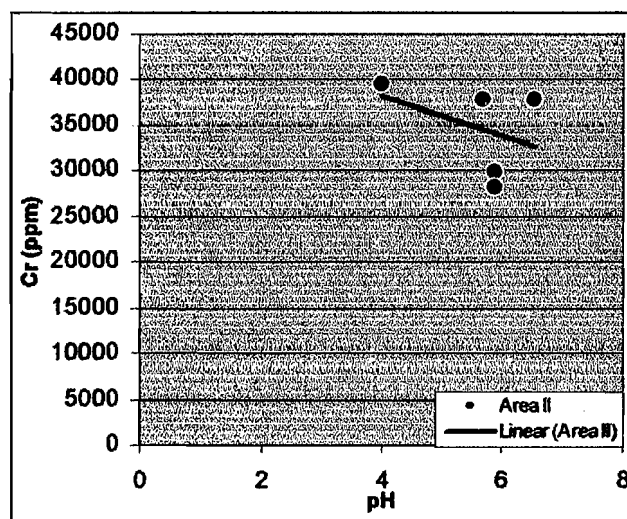
Tabel 4.18 Hubungan Konsentrasi Cr dan pH pada Area III

Waktu ke-(jam)	Konsentrasi Cr	pH rata-rata
0	39517,402	4
3	34840,640	5,1
6	33652,875	6
9	36182,358	6,85
12	32636,263	4,47

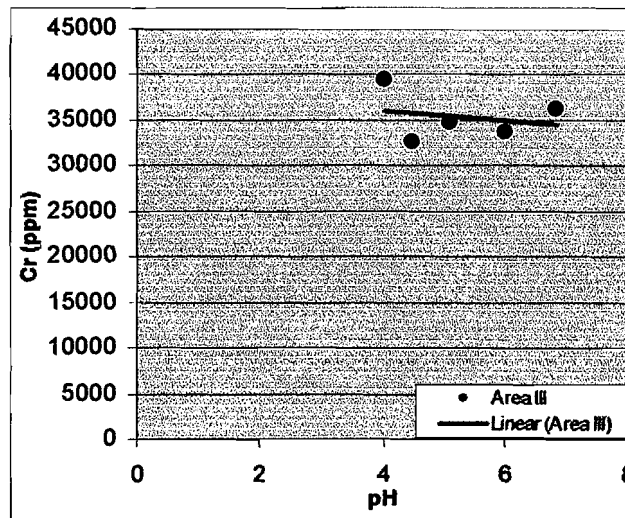
Dari Tabel 4.16 sampai Tabel 4.18 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Cr dan pH seperti Gambar 4.36 sampai Gambar 4.38.



Gambar 4.36 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH pada Area I



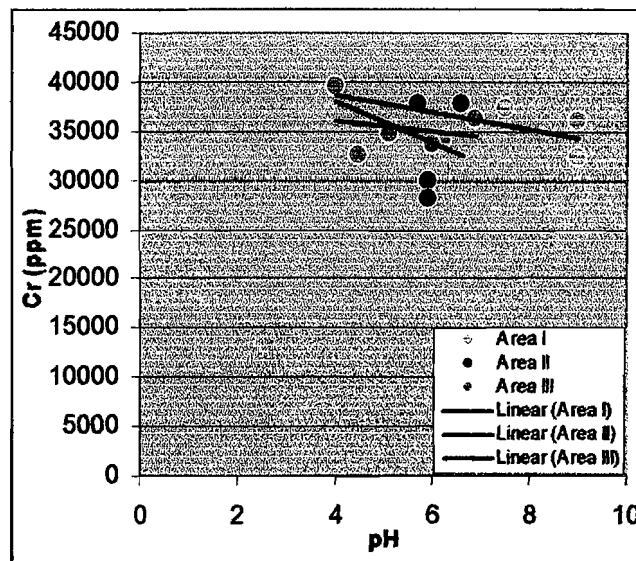
Gambar 4.37 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH pada Area II.



Gambar 4.38 Hubungan Konsentrasi Cr terhadap pH pada Area III.

Dari **Gambar 4.36** sampai **Gambar 4.38** dapat dilihat bahwa dalam interval waktu tiap 3 jam pada area efektif mengalami penurunan konsentrasi Cr dimana penurunan konsentrasi Cr tersebut terjadi bersamaan dengan perubahan pH. Pada perubahan pH di anoda (area I) mengalami kondisi basa sedangkan pada katoda kondisinya asam, di area I pH tertinggi sebesar 9 untuk area III pH tertinggi nilainya 6,85 tepatnya pada jam ke-9. Sedangkan untuk area II pH dalam kondisi asam dengan nilai sebesar 6,55 dan berada pada jam ke-9 karena jam ke-12 pH mengalami penurunan begitu juga yang terjadi pada area III. Penurunan konsentrasi Cr terendah terjadi pada area II yaitu area yang terletak di antara anoda dan katoda dengan nilai sebesar 28148,088 $\mu\text{g/g}$. Sedangkan konsentrasi Cr tertinggi terdapat pada area III yaitu area yang berjarak 5 cm dari katoda, dengan konsentrasi terendah

sebesar 32636,263 $\mu\text{g/g}$. Pada area I yaitu area anoda penurunan konsentrasi Cr tidak terlalu besar juga tidak terlalu kecil dengan nilai terendah sebesar 32433,184 $\mu\text{g/g}$. Berikut **Gambar 4.39** adalah hubungan konsentrasi Cr terhadap pH di area efektif :



Gambar 4.39 Hubungan konsentrasi Cr terhadap pH di area efektif.

Dari **Gambar 4.39** 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 pengambilan sampel, kondisi yang sudah jenuh juga ukuran elektroda yang tidak sesuai dengan volume *sludge* serta ukuran reaktor karena dengan ukuran elektroda yang panjangnya hanya 5 cm maka penurunan konsentrasi yang terjadi tidak terlalu besar dan bisa dikatakan kurang efektif.

4.3 HASIL ANALISIS KONSENTRASI Cr KESELURUHAN.

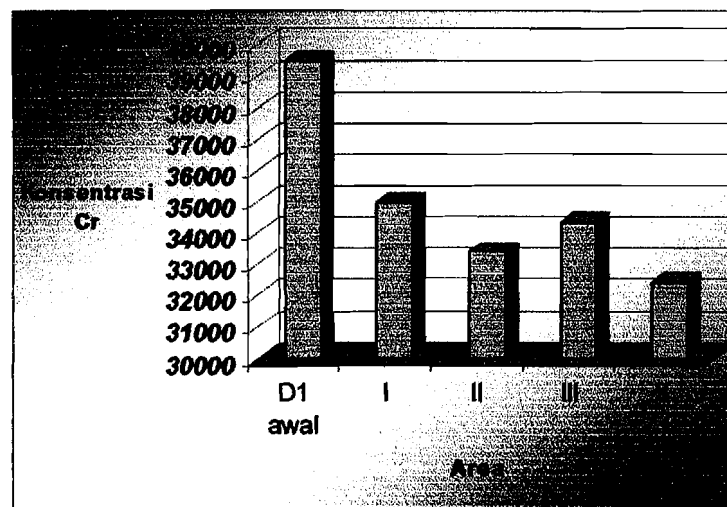
Hasil analisis konsentrasi Cr rata-rata pada *sludge* di setiap sampel area efektif dan area inefektif dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut :

Tabel 4.19 Hasil analisis konsentrasi Cr dalam *sludge* pada seluruh titik sampling selama 12 jam.

Area Sampel	Konsentrasi Cr rata-rata ($\mu\text{g/g}$)
D1 awal	39517,402
I	34960,964
II	33390,528
III	34328,034
X	32406,792

Dari Tabel 4.19 di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan konsentrasi Cr pada tiap titik sampel selama 12 jam dengan interval waktu tiap 3 jam. Titik sampel awal yang disebut D1 awal memiliki nilai sebesar

39517,402 $\mu\text{g/g}$, pada titik area I sampai area III juga mengalami perubahan konsentrasi Cr walaupun perubahan yang terjadi tidak terlalu besar. Pada Area inefektif (X) juga mengalami perubahan konsentrasi Cr, hasil dari perubahan konsentrasi Cr tersebut tidak jauh beda dengan titik sampel yang lain yaitu sebesar 32406,792 $\mu\text{g/g}$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.40 di bawah ini :



Gambar 4.40 Konsentrasi Cr rata-rata dalam *sludge* di seluruh titik sampling.

Menurut *National Environment Protection Council, New Zealand*, ambang batas kontaminan Cr pada limbah *sludge* adalah 20,9 mg/kg (Lampiran 5). Walaupun belum mencapai nilai ambang batas yang diijinkan, pada masing-masing area titik sampling telah terjadi penurunan konsentrasi Cr setiap interval waktu 3 jam selama 12 jam.

4.4 Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr.

Nilai efisiensi konsentrasi Cr dapat diketahui dengan menggunakan persamaan selisih konsentrasi awal - akhir di bagi konsentrasi awal dikalikan 100 %, data yang digunakan yaitu data penurunan konsentrasi Cr (Lampiran 4) :

✚ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area I

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g} / \text{g} - 34960,964 \mu\text{g} / \text{g}}{39517,402 \mu\text{g} / \text{g}} \times 100\% \\
 &= 11,53 \%
 \end{aligned}$$

✚ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area II

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g} / \text{g} - 33390,528 \mu\text{g} / \text{g}}{39517,402 \mu\text{g} / \text{g}} \times 100\% \\
 &= 15,50 \%
 \end{aligned}$$

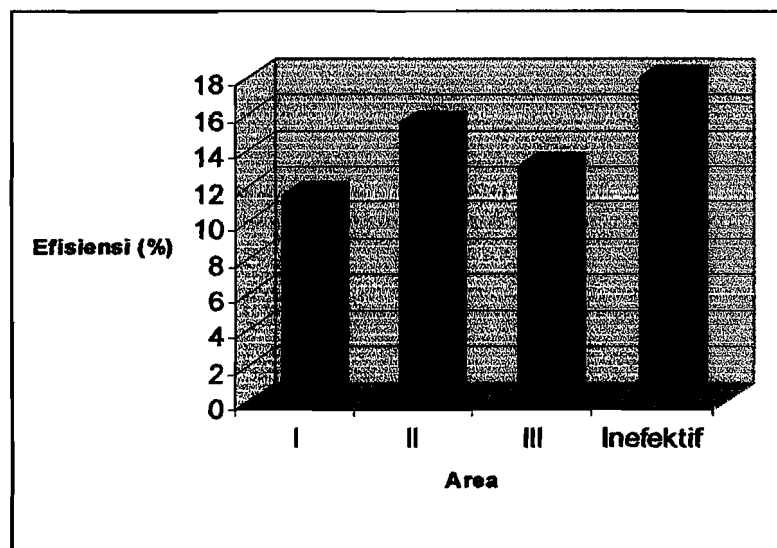
✚ Nilai Efisiensi Konsentrasi Cr di Area III

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g} / \text{g} - 34328,034 \mu\text{g} / \text{g}}{39517,402 \mu\text{g} / \text{g}} \times 100\% \\
 &= 13,13 \%
 \end{aligned}$$

↓ **Nilai Konsentrasi Cr di Area Inefektif.**

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{39517,402 \mu\text{g/g} - 32406,792 \mu\text{g/g}}{39517,402 \mu\text{g/g}} \times 100\% \\
 &= 17,99\%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai efisiensi konsentrasi Cr tertinggi di area efektif terdapat pada area II yaitu sebesar 15,50 % sedangkan yang terendah terdapat pada area I yaitu 11,53 %. Pada area III nilai konsentrasi sebesar 13,13 % sedangkan untuk area inefektif nilainya sebesar 17,99 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4.41**.



Gambar 4.41 Nilai efisiensi konsentrasi Cr di setiap area

Gambar 4.41 di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi konsentrasi Cr di dalam area efektif yang terbesar adalah terletak pada area II yaitu 15,50 % sedangkan yang terkecil terletak pada area I yaitu 11,53 % sedangkan untuk area inefektif nilai efisiensinya besar yaitu 17,99 % ini berarti pada area inefektif aliran listrik yang di aliri pada area efektif sangat berpengaruh pada penurunan konsentrasi Cr. Area efektif merupakan area yang dipengaruhi oleh medan listrik sehingga pada area efektif terjadi proses *electromigration* atau migrasi ion. Sedangkan untuk area III efisiensi yang didapat sebesar 13,13 % untuk area III (katoda) ion-ion Cr^{3+} terakumulasi tetapi tidak terlalu banyak karena ion-ion Cr lebih dominan ke anoda. Dari nilai efisiensi konsentrasi Cr terlihat nilai yang didapatkan sangat kecil ini berarti bahwa pada penelitian ini kurang efektif karena nilai efisiensi yang didapat dibawah 50 % padahal hasil yang diinginkan di atas 50 %.

Ukuran elektroda untuk panjangnya harus sama dengan kedalaman lumpur yang akan diremediasi supaya migrasi ion Cr dapat menyebar dalam *sludge* sehingga efisiensi konsentrasi Cr dapat lebih optimal atau di atas 50 %, tidak hanya itu saja direct volta juga dapat mempengaruhi berikut ini adalah susunan direct volta 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 V) – (-2,90 V) – (-2,87 V) – (-2,71 V) – (-2,37 V) – (-1,66 V) – (-1,18 V)

- (-0,76 V) - (-0,74 V) - (-0,44 V) - (-0,40 V) - (-0,28 V) - (-0,25 V) - (-0,14 V) - (-0,13 V) - ((0,00)) - (+0,34 V) - (+0,79 V) - (+0,80 V) - (0,99 V) - (+1,50 V). Setiap direct volta memiliki potensial elektroda yang berbeda sehingga apabila dilihat dari titik H semakin ke kiri (-) akan sulit untuk direduksi sedangkan semakin ke kanan (+) akan mudah direduksi. Dalam penggunaan voltase semakin ke kiri voltase yang dibutuhkan semakin besar dan sebaliknya. 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.

Dalam penelitian ini terdapat banyak kekurangan salah satunya yaitu ukuran elektroda, karena inti dari penelitian ini terletak pada elektroda. Apabila elektroda seimbang/proporsional dengan ukuran reaktor dan volume *sludge* maka hasil yang dicapai akan efektif begitu juga pada nilai efisiensinya mungkin akan mencapai di atas dari 50 %.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

5.1.1 Percobaan pada Limbah *Sludge* Penyamakan Kulit.

1. Remediasi elektrokinetik dengan metode konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal* kurang efektif untuk menurunkan konsentrasi Cr pada limbah *sludge* dari penyamakan kulit dengan nilai efisiensi pada area efektif 15,50 % dan pada area inefektif sebesar 17,99 %.
2. Fenomena yang terjadi selama proses remediasi elektrokinetik adalah semakin lama waktu remediasi pH yang dihasilkan menjadi konstan dan konsentrasi Cr mengalami penurunan.
3. Pada anoda pH dalam kondisi basa dengan nilai paling tinggi adalah 9, sedangkan pada katoda pH dalam kondisi asam dengan nilai tertinggi sebesar 6,85.
4. Panjang dan dimensi elektroda karbon yang digunakan pada penelitian ini tidak proporsional terhadap reaktor dan volume *sludge*.

5.1.2 Percobaan pada Tanah Lempung Kaolinit Mengandung Khrom.

1. Pada area katoda konsentrasi khrom lebih besar yang disebabkan oleh tertahannya logam krom pada area dan terakumulasi ketika menuju katoda.
2. Pada area efektif pH yang dihasilkan basa yaitu sekitar 8 sampai 9 sedangkan pada area inefektif pH yang dihasilkan antara 5,8 sampai 4,9 dan dalam kondisi asam.

5.2 SARAN

1. Ukuran elektroda yang digunakan harus seimbang terhadap luas reaktor dan volume *sludge*, ukuran elektrodanya adalah panjang lebih dari 5 cm atau sekitar ± 15 cm dengan diameter 1,5 cm.
2. Penambahan larutan buffer pada limbah *sludge* dalam proses remediasi elektrokinetik supaya dapat menstabilkan pH.
3. Jarak dan waktu perlu di kaji ulang supaya mendapatkan konsentrasi penurunan logam berat yang lebih optimal, jarak yang digunakan untuk konfigurasi 2-D elektroda maksimal 30 cm, jadi untuk penelitian selanjutnya coba dilakukan dengan menggunakan jarak 10 cm atau 20 cm.
4. Untuk pemaksimalan migrasi logam berat dalam pemilihan voltase, pada penelitian selanjutnya hendaknya dilakukan percobaan beberapa kali

dengan menggunakan voltase yang berbeda-beda dan dilihat penurunan konsentrasi yang maksimal, karena untuk voltase tidak dapat ditentukan secara empiris dan juga tergantung pada energi potensial dari setiap logam.

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, Folochier, 1976, *Tannery and polution*, Centre teqnique da cuir, France.
- Alshawabkeh, A. N., 1999, *Optimiation 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).
- Bueche, F.J., 1989, *Thoery and Problem of College Physics*, MacGraw Hill, Inc.
- Clifton Polter, Soeparwadi M., Gani Aulia, 1994, *Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu, Limbah Cair Berbagai Industri Di Indonesia*.
- Chan, M. S. and Lynch, J. R., 2002, *Two- Dimension Elektrokinetic Remediation of Soil*, Cambridge University Engineering Departement, UK.
- Echols, J. M., Shadily, H., 1990, *Kamus Inggris Indonesia*, PT. Gramedia, Jakarta.

- Epa, 1994, *Test Method for Evaluating Solid Waste*, Studies of Elektrokinetic Remediation, Washington. DC.
- Evanko, C. R., 1997, *Remediation of Metals Contaminant Soil and Groundwater*, Groundwater Technology Analysis Centre, USA.
- Fatimah, Siti, 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. SO, Moon. SH and Kim. KW, 2000, *Enhanced Elektrokinetic Remediation for Removal of Organic Contaminants*, Studies of Elektrokinetic Remediation.
- Metcalf and Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, Mc. Graw Hill, USA.
- Millman dan Halkias, 1991, *Elektronika Terpadu Rangkaian dan Sistem Analog dan Digital*, Erlangga, Bandung.
- Palar. H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineke Cipta, Jakarta.
- Purnomo. E, 1985, *Teknologi Penyamakan Kulit*, ATK, Yogyakarta
- Reddy, K. R and Shirani, A. B., 1996, *Elektrokinetic Remediation of Metal Contaminated Glacial Tills*, University of Illinois at Chicago, Chicago.

Setiono, L., Hadyana, A., 1990, Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro, (Terjemahan dari Vogel,1979), Kalman Media Pustaka, Jakarta.

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

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

www.Chemicalelements.com/Cr, 2005

[www.Yahoo.com/pengolahan dan pemanfaatan industri penyamakan kulit](http://www.Yahoo.com/pengolahan%20dan%20pemanfaatan%20industri%20penyamakan%20kulit), 2005

LAMPPIRAN

LAMPIRAN 1

Pembuatan larutan kontaminan Cr

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 = $\frac{BA.Cr}{BM.Cr_2O_3} \times 18 \text{ gr}$

$$= \frac{52}{152} \times 18 \text{ gr}$$

$$= 6,157 \text{ gr}$$

e. Konsentrasi Cr dalam tanah :

$$= \frac{\text{BeratCr}}{\text{Berat tanah} + \text{Berat air}}$$

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

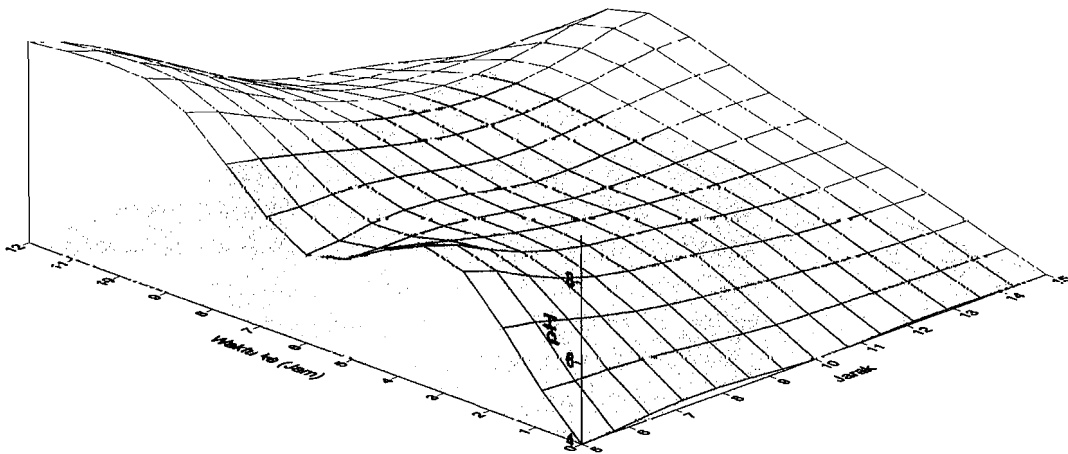
$$= 0,198 \text{ gr/kg} \times 1000$$

$$= 198 \text{ mg/kg}$$

LAMPIRAN 2

HASIL ANALISIS pH PADA SETIAP AREA EFEKTIF

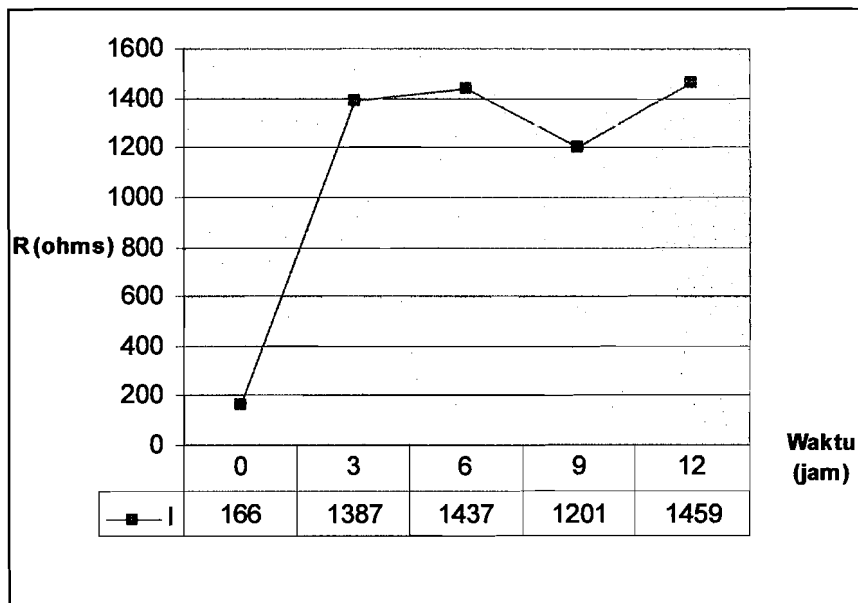
Jarak dari katoda (cm)	pH	Jarak dari katoda (cm)	pH
5	4	10	6,55
5	5,1	10	5,9
5	6	15	4
5	6,85	15	7,5
5	4,47	15	6,2
10	4	15	9
10	5,7	15	9
10	5,9		



LAMPIRAN 3

HASIL ANALISIS ARUS DAN RESISTENSI pada SETIAP AREA

Waktu ke- (jam)	Resistensi (Ω)	Arus (Ampere)
0	166	0
3	1387	0,2
6	1437	0,2
9	1201	0,2
12	1459	0,2



LAMPİRAN 4
HASIL ANALISIS LABORATORIUM



UNIVERSITAS GADJAH MADA

LABORATORIUM KIMIA ANALITIK

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

Sekip Utara PO Box BLS 2
Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 902740, 545188 pes. 11
Faks. 0274-54518

NASIL 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	"

HASIL ANALISIS

No. : 1126/HA-KA/02/06
 Pengirim : Retno Damayanti, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
 Jumlah sampel : 28
 Perentuan : Kadar Cr dalam sampel Limbah Penyamakan.
 Tgl. Analisis : 07 Februari 2006

NO	KODE SAMPEL	PARA METER	HASIL PENGUKURAN (ppm)			METODE
			I	II	III	
1.	A1	Cr	37755,504	35985,715	36772,288	Atomic Absorption Spect.
2.	A2	"	39509,515	38919,820	37740,432	"
3.	A3	"	37558,861	36182,358	36379,001	"
4.	B1	"	42500,401	42106,879	40926,312	"
5.	C1	"	36196,813	34032,874	34426,317	"
6.	D1 awal	"	41090,234	37944,570	39517,402	"
7.	D1	"	37392,083	36998,482	38966,487	"
8.	D1.2	"	41332,401	42410,638	40613,577	"
9.	E1	"	32832,867	34405,698	34602,302	"
10.	E1.2	"	32433,184	33022,878	32433,184	"
11.	E2	"	36568,342	37747,966	35978,530	"
12.	E2.2	"	32459,099	32065,655	32262,377	"
13.	E3	"	34446,961	34446,961	34840,640	"
14.	E3.2	"	33029,471	32636,263	33619,282	"
15.	F1	"	30289,109	30289,109	29699,061	"
16.	F1.2	"	35227,278	34833,678	34440,077	"
17.	F2	"	28153,715	29925,627	26381,803	"
18.	F2.2	"	26770,209	27360,729	28148,088	"
19.	F3	"	33652,875	32668,873	34440,077	"
20.	F3.2	"	27530,055	27726,698	27923,341	"
21.	X1	"	26759,512	27940,079	28136,840	"
22.	X2	"	31260,035	31849,847	32243,055	"
23.	X3	"	32249,493	33429,352	31659,563	"
24.	X3.1	"	32852,543	33836,152	33049,264	"
25.	X4	"	40393,515	38813,881	39039,543	"
26.	X5	"	37573,866	37770,588	38360,753	"
27.	X5.2	"	33265,922	33659,601	32478,563	"
28.	X6	"	32262,377	33442,708	33245,986	"

ANALISIS AAS

Tanggal : 07 Februari 2006

Parameter : Cr

Pengirim : Retno Damayanti (UII)

Absorbansi Standar Cr

Kons. (ppm)	Absorbansi	Keterangan
0	0,000	r (correl) = 0,9981712 A (intercept) = 0,007 B (slope) = 0,02564
2,50	0,076	
5,00	0,143	
7,50	0,197	
10,00	0,260	

Absorbansi Sampel

No.	Kode Sampel	Berat (gr)	Volume (ml)	Parameter	Absorbansi (1)	Absorbansi (2)	Absorbansi (3)	Pengenceran
1.	A1	0,5008	25	Cr	0,199	0,190	0,194	101
2.	A2	0,5010	25	"	0,208	0,205	0,199	101
3.	A3	0,5008	25	"	0,198	0,191	0,192	101
4.	B1	0,5005	25	"	0,223	0,221	0,215	101
5.	C1	0,5006	25	"	0,191	0,180	0,182	101
6.	D1 awal	0,5009	25	"	0,216	0,200	0,208	101
7.	D1	0,5004	25	"	0,197	0,195	0,205	101
8.	D1.2	0,2740	25	"	0,122	0,125	0,120	101
9.	E1	0,5009	25	"	0,174	0,182	0,183	101
10.	E1.2	0,5010	25	"	0,172	0,175	0,172	101
11.	E2	0,5009	25	"	0,193	0,199	0,190	101
12.	E2.2	0,5006	25	"	0,172	0,170	0,171	101
13.	E3	0,5003	25	"	0,182	0,182	0,184	101
14.	E3.2	0,5009	25	"	0,175	0,173	0,178	101
15.	F1	0,5007	25	"	0,161	0,161	0,158	101
16.	F1.2	0,5004	25	"	0,186	0,184	0,182	101
17.	F2	0,5002	25	"	0,150	0,159	0,141	101
18.	F2.2	0,5003	25	"	0,143	0,146	0,150	101
19.	F3	0,5004	25	"	0,178	0,173	0,182	101
20.	F3.2	0,5008	25	"	0,147	0,148	0,149	101
21.	X1	0,5005	25	"	0,143	0,149	0,150	101
22.	X2	0,5009	25	"	0,166	0,169	0,171	101
23.	X3	0,5008	25	"	0,171	0,177	0,168	101
24.	X3.1	0,5006	25	"	0,174	0,179	0,175	101
25.	X4	0,4364	25	"	0,186	0,179	0,180	101
26.	X5	0,5006	25	"	0,198	0,199	0,202	101
27.	X5.2	0,5003	25	"	0,176	0,178	0,172	101
28.	X6	0,5006	25	"	0,171	0,177	0,176	101



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

REMEDIASI ELEKTROKINETIK PADA LIMBAH
PENYAMAKAN KULIT MENGGUNAKAN KONFIGURASI
ELEKTRODA TIPE 2-D *HEXAGONAL*

A. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif

Waktu (jam)	Area Efektif	pH
0	D0	4
3	D1	9
	E1	6
6	C1	5,5
	F1	6,9
9	B1	9
	A1	9
12	D1	9
	E1	9
	F1	9

Waktu (jam)	Area Efektif	pH
0	D2	4
3	D2	5,5
	E2	5,9
6	C2	5,9
	F2	5,9
9	B2	6,9
	A2	6,2
12	D2	6
	E2	6
	F2	5,8





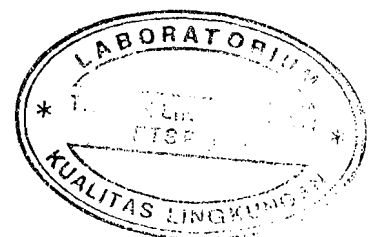
LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang km 14,4 Yogyakarta 55584, Phone 0274-895042, 895707, Fax 0274-895330

Waktu (jam)	Arus Katoda	pH
0	D	4
3	D	4,5
	E	5,7
6	C	6
	F	6
9	B	6,7
	A	7
12	D	3,8
	E	5
	F	4,6

B. Hasil Pengukuran Resistensi dan Arus

Waktu ke-(jam)	Resistensi (Ω)	Arus (Ampere)
0	166	0
3	1387	0,2
6	1437	0,2
9	1201	0,2
12	1459	0,2





**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

C. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif dan Area Inefektif untuk Percobaan Awal.

pH Area Efektif

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

pH Area Inefektif

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

D. Hasil Pengukuran Resistensi dan Arus pada Percobaan Awal

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



LAMPPIRAN 5
PERATURAN NATIONAL PROTECTION
COUNCIL, NEW ZEALAND

AMBANG BATAS KONTAMINAN TANAH

Soil samples XYZ-1 - XYZ-6 were taken for analysis of metals for an area suspected of metals contamination. Average results are presented below.

Contaminant	Average Concentration mg/kg 0.2 m	Average Concentration mg/kg 0.5 m	Average Concentration mg/kg 1.0 m	Human Health Guidelines	Ecological Guidelines
Copper	120.0	8.5	1.0	Not limited ¹	100
Chromium (total)	20.9	2.0	<0.2	360 ¹	1 (Cr VI) 400 (Cr III)
Arsenic	17.2	2.1	<0.2	500 ¹	20
Cobalt	3.6	<0.2	<0.2	500 ²	
Cadmium	0.8	<0.2	<0.2	100 ²	3
Nickel	15.3	<0.2	<0.2	3000 ²	60
Zinc	520.3	100.5	12.4	35000 ²	200

1 Guidelines for Timber Treatment Chemicals: 1997.

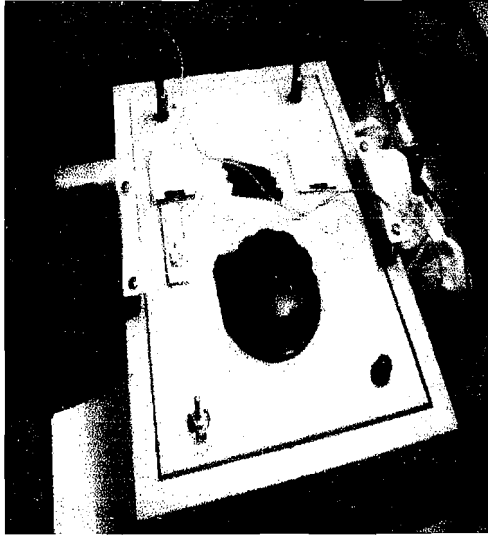
2 National Environmental Protection Measure:
Assessment of site Contamination Schedule B (1)
Soil Investigation Levels. National Environment
Protection Council 1999.

The results show that ecological guideline values for soil are exceeded for copper, chromium and zinc. Further work analysing Cr VI specifically would be needed to check whether the concentrations measured are of concern, as Cr VI has a greater toxicity than Cr III.

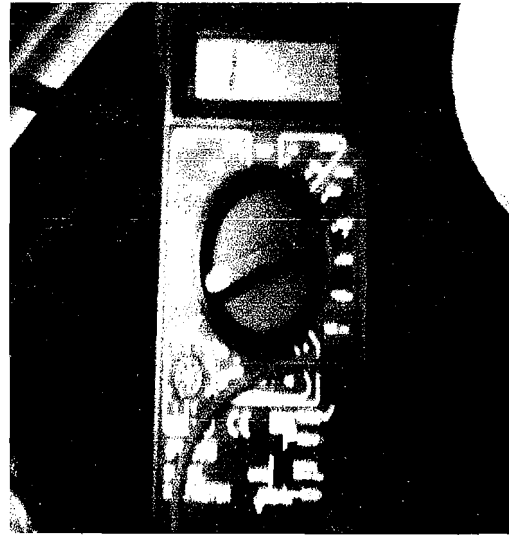
The assessment indicates that average concentrations of copper and zinc exceed guideline values only in the shallow soils

DOKUMENTASI PENELITIAN

LAMPIRAN 6



Gambar 1. *Power supply*



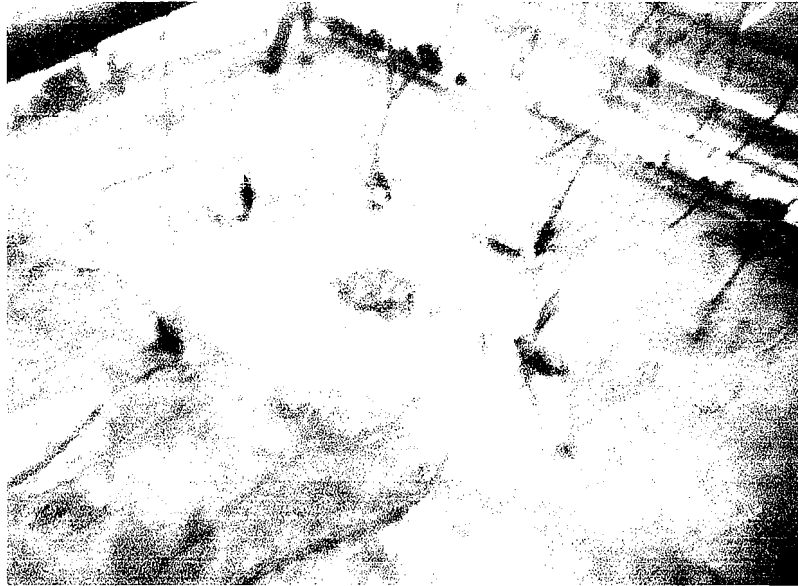
Gambar 2. Multitester



Gambar 3. Alat ukur Ph



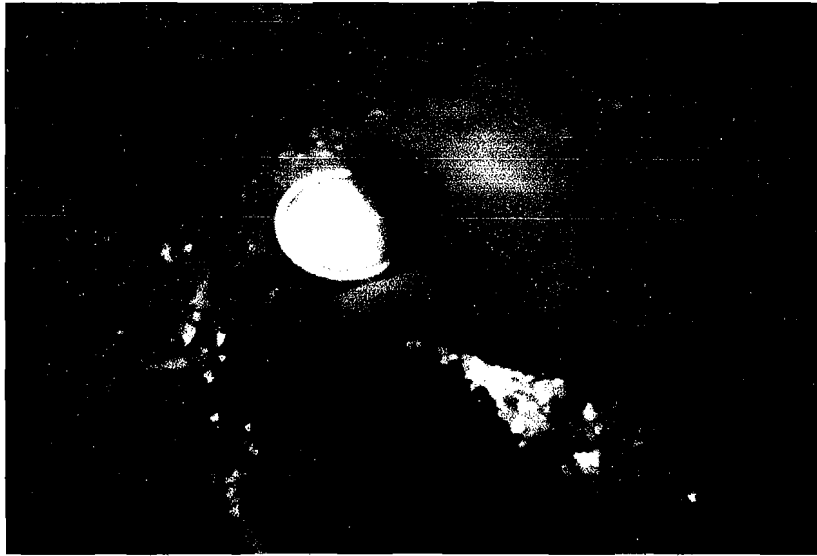
Gambar 4. Elektroda karbon



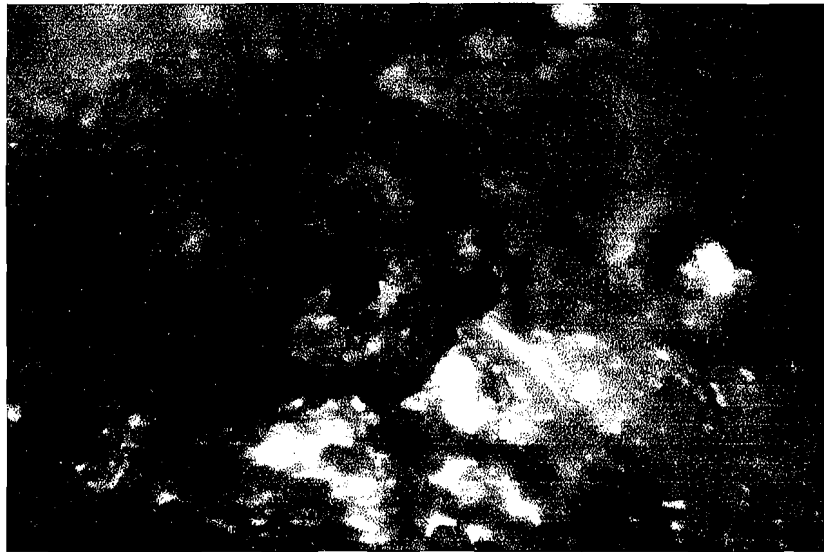
Gambar 5. Media penelitian dalam bak reaktor pada jam ke-3.



Gambar 6. Pengambilan sampel pada area II.



Gambar 7. Pengukuran pH pada area anoda.



Gambar 8. Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi berlangsung