

TA/TL/2006/0139

TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UH	
HADIAH/BELEI	
TGL. TERIMA :	3 Mei 2007
NO. JUDUL :	06 24 06
NO. INV. :	5120002406001
NO. INDUK. :	

**REMEDIASI LUMPUR *LEACHATE* YANG TERCEMAR LOGAM ASAM
SENG ($ZnSO_4$) DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTROKINETIK
KONFIGURASI 2 - D *HEXAGONAL***

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



Disusun oleh:

YULIA YUSFARIANCE

01 513 049

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

2006

MILIK PERPUSTAKAAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UH YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

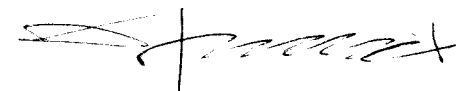
REMEDIASI LUMPUR *LEACHATE* YANG TERCEMAR LOGAM
BERAT ASAM SENG ($ZnSO_4$) DENGAN MENGGUNAKAN
KONFIGURASI 2 – D *HEXAGONAL*

Nama : YULIA YUSFARIANCE
No. Mahasiswa : 01 513 049
Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

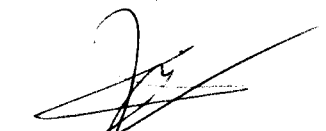
Dosen Pembimbing I

Luqman Hakim, ST, Msi


.....
Tanggal : 5/7/2027

Dosen Pembimbing II

Dr. Sismanto


.....
Tanggal :

MOTTO

*Mohonlah pertolongan Allah dengan sabar dan salat
(QS Al Baqarah 2 : 45)*

*Orang-orang yang beriman dan selalu beramal saleh, akan mendapat
surga sebagai tempat kediaman. Itulah tempat tinggal sebagai
balasan atas perbuatan mereka
(QS As Sajdah 32 : 19)*

*Sahabat sejatimu adalah orang yang selalu berterus terang
kepadamu jika engkau berada dalam kebingungan, Dia pun rela
berkorban dan mencurahkan tenaga demi dapat berkumpul
denganmu
(Ali Bin Abi Thalib. RA)*

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

*Jangan sekali-kali berputus asa, tetapi jika anda berputus asa juga,
maka teruslah bekerja dalam putus asa itu
(Edmund Burke)*

*Sebiji atom amalan-amalan hati sama nilainya dengan amalan-
amalan lahiriah sebesar gunung*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kedua Orang Tua ku :

*Ir. Yuzril Yusuf
Syarifah*

*Semua risau sirna mendengar suaramu. Kala beban-beban meletihkanku
Saat pundakku tak kuasa tegak Jika tulang punggungku kaku
Di tepi pagi dan sore Kucium tanganmu habis lelah bekerja untuk anakmu
Papa, Mama rinduku untukmu
Papa, Mama doaku untukmu
Sebagai wujud cinta, bakti dan kasih sayang
Papa dan Mama tercinta*

Adik- adikku tersayang :

*Wiwik Rahayu
Tri Utami Pangestika
Reihan Maulana Pangestu (Alm)
Reza Pangestu*

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

R. Reska Prehartono

*Oh ya papa dan mama, Kubawakan seorang pria soleh Yang selalu
membimbingku, Yang selalu memberikan kesabaran dan pengertian
Yang selalu memberikan perhatian, kasih dan sayangnya padaku
Yang selalu tegas dan bijak seperti Papa, Yang akan menjadi Papa
Untuk mujahid-mujahidah-Nya Kuyakin ia yang terbaik
Dalam setiap istikharahku Dalam setiap tasbihku
Aku mohon ridhomu yang senilai ridho-Nya
Restumu ialah keijinan langit*

REMEDICATION OF THE LEACHATE SLUDGE THAT CONTAMINATED BY ZINCUM ACID ($ZnSO_4$) USING HEXAGONAL ELECTROKINETIC 2-D CONFIGURATION

Luqman Hakim ¹⁾, Sismanto ²⁾, Yulia Yusfariance ³⁾

ABSTRACT

One of metal that contaminate sludge leachate is Zincum (Zn). Zn make damage physiology body system, such as kidney, blood circulation system and heart function.

One of the leachate sludge remediation uses electrokinetic method. The electrokinetic remediation of technique 2D-hexagonal configuration. The cathode is located in central and anode at out side hexagonal from. The aims of this research is to study the phenomena of electrokinetic of the remediation with 2D- hexagonal configuration of leachate sludge contaminated by Zn acid that identify by removing efficiency of Zincum.

The method of electrokinetic's remediation is used 40 volt and 0,2 A constanly. A glass box was anode in (1x1x0,7)m full of 120,6 kg leachate sludge. The electrodes are carbonous of battery core with 5 cm in length and 0,6 cm in diameter. The total remediation time is 12 hours by interval 3 ham measurent of pH, sampling (concentration measurent) resistance for 5, 10 and 15 cm area.

Efficiency degradation of zinc is not effective. At area number one and area number two equal to - 0,746% and - 10,35% while at area number three equal to 0,86%, This matter happened because of zinc is not easy to react by elektrokinetik's at room's temperature or low temperature, zinc can reacting well at ambient temperature 110°C -150°C.

Bar carbon electrode can not yet remediate of zinc acid at leachate mud although in fact happened decomposition of zinc acid, but also happened forming of zinc acid from SO_4^{2-} that ravelled with zinc from the carbon electrode.

Key word : Zincum, Remediation Electrokinetic, electrode, pH, resistance

¹⁾ Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

²⁾ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

REMEDIASI LUMPUR *LEACHATE* YANG TERCEMAR LOGAM ASAM SENG ($ZnSO_4$) DENGAN MENGGUNAKAN ELEKTROKINETIK KONFIGURASI 2-D HEXAGONAL”

Luqman Hakim ¹⁾, Sismanto ²⁾, Yulia Yulfariance ³⁾

INTISARI

Dari sekian banyak komponen logam yang mencemari lumpur *leachate* adalah seng (Zn). Keracunan yang disebabkan oleh Zn, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem tubuh yang dapat rusak oleh keracunan kronis logam Zn ini adalah pada sistem urinaria (ginjal), sistem sirkulasi (darah) dan hati

Salah satu solusi pemulihan lumpur *leachate* adalah dengan menggunakan metode remediasi elektrokinetik. Remediasi elektrokinetik yang digunakan pada penelitian ini adalah konfigurasi elektrokinetik 2D- Hexagonal, dimana katoda ditempatkan ditengah sedangkan anoda ditempatkan pada bagian luar membentuk segi enam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik pada lumpur *leachate* tercemar logam Zn dan untuk mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi Zn

Metode remediasi elektrokinetik ini menggunakan tegangan 40 volt dan 0,2 A dengan arus DC konstan. Wadah yang dipakai terbuat dari kaca berdimensi 1 m x 1 m x 0,13 m dan lumpur *leachate* yang dipakai sebanyak 120,6 kg. Elektroda yang digunakan adalah elektroda karbon bekas batu baterai berdiameter 0,6, panjang 5 cm dan jarak antara elektroda adalah 15 cm. Waktu remediasi selama 12 jam dan setiap 3 jam dilakukan pengukuran pH, pengambilan sampel, pengukuran resistensi dan pengamatan perubahan lumpur *leachate* yang terjadi pada setiap area.

Efisiensi penurunan seng tidak efektif. Pada area I dan area II sebesar -0,746% dan -10,35% sedangkan pada area III sebesar 0,86%. Hal ini terjadi karena seng tidak mudah bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar atau suhu rendah. Seng dapat bereaksi dengan baik pada suhu sekitar 110°C -150°C,

Elektroda batang karbon belum dapat meremediasi asam seng pada lumpur *leachate* walaupun sebenarnya terjadi penguraian asam seng, tetapi juga terjadi pembentukan asam seng dari SO_4^{2-} yang terurai dengan Zn dari elektroda karbon tersebut.

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

¹⁾ Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

²⁾ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

³⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan tugas akhir ini.

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

Maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari fenomena elektro remediasi pada lumpur *leachate* yang tercemar logam asam seng ($ZnSO_4$) dengan menggunakan teknik elektrokinetik konfigurasi 2-D *hexagonal* serta mengetahui efisiensi penurunan konsentrasi logam asam seng ($ZnSO_4$) pada lumpur *leachate* tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khususnya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik dan sebagai informasi bagi masyarakat dan industri dikemudian hari.

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

1. **Bapak Prof. Dr. Drs. Edy Suandi Hamid, MSCe, Ph.D**, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. **Bapak Dr. Ir, H. Ruzardi, Ms**, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3. **Bapak selaku Luqman Hakim, ST.** Msi Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, dan selaku dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
4. **Bapak Dr. Ir. Sismanto, MSC,** selaku dosen Pembimbing II Tugas Akhir
5. **Bapak Ir Kasam, MT** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
6. **Bapak Andik Yulianto, ST** atas sharing dan masukannya selama ini.
7. **Bapak Eko Siswoyo, ST** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan dan Penanggung Jawab Tugas Akhir.
8. **Bapak Hudori, ST** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
9. **Bapak Tasyono** selaku Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan.
10. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan dan cinta serta kasih sayang yang terhingga kepada anakmu.
11. Adik-adikku, Wiwik Rahayu, Tri Utami Pangestu, Reihan Maulana Pangestu (Alm), Reza Pangestu atas dorongan dan dukungan yang tak terhingga.
12. Keluarga besar Yusuf (Alm) yang ada di Sawahlunto (Sumbar), Pekanbaru, Batam, Surabaya. Nenek yang memberikan semangat buat Rince agar cepat lulus, makasih nek Rince sayang nenek.
13. Teruntuk senyum terindah yang kau berikan kepadaku, kesabaran, pengertian, dan kasih sayang, R. Reska Prehartono.
14. Sahabat-sahabat gokilku, Nial (Blangwier aku sedih pisah sama kamu, soalnya sahabat kaya kamu langka (hewan kale)), Pipit (si Kepit yang pendiam, tapi sekali ngomong dalam boo..), Kalfi, ST (si Osah yang udah sembuh), Peni (si Berbie imoet, jangan sedih, tetap berjuang Ok), Wiwit, ST (si Betok yang tukang ribut, request volumenya dikurangi), Nana (Snot aku harap kamu lebih peduli sama teman-teman, jangan kaya keong lagi ya..).
15. Anak-anak Basecamp, Indras, Dedek, Fikor, Wisnu, Pandu, Joko, Een.
16. Anak-anak wisma biru, Warih, Q-noy, Aziz, Affan, Khairil.

2.2	Elektrokinetik	12
2.3	Leachate	16
2.4	Proses Pembentukan <i>Leachate</i>	18
2.4.1	Parameter Utama Dari <i>Leachate</i>	20
2.4.2	Kualitas dan Kuantitas dari <i>Leachate</i>	20
2.4.3	Karakteristik <i>Leachate</i>	23
2.4.4	Pengaruh <i>Leachate</i>	26
2.4.5	Penanganan <i>Leachate</i>	26
2.5	Seng	28
2.5.1	Seng dalam Lingkungan	32
2.5.2	Kegunaan Seng dalam Kehidupan	32
2.5.3	Keracunan Seng	33
2.6	Landasan Teori	35
2.7	Hipotesis	36

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian	37
3.2	Waktu Penelitian	37
3.3	Metode Pengumpulan Data	37
3.4	Metode Eksperimen	38
3.4.1	Persiapan Alat dan Bahan	38
3.4.2	Tahap Penelitian	40
3.4.3	Tahap Analisis	42
3.5	Desain	42

DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	Kandungan unsur-unsur dalam <i>leachate</i>	22
TABEL 2.2	Beberapa sifat fisik logam seng	28
TABEL 4.1	Hasil Pengukuran pH pada area efektif	47
TABEL 4.2	Hasil Pengukuran pH pada area inefektif	47
TABEL 4.3	Hasil Pengukuran pH pada area I	47
TABEL 4.4	Hasil Pengukuran pH pada area II	47
TABEL 4.5	Hasil Pengukuran pH pada area III	47
TABEL 4.6	Konsentrasi Zn rata-rata pada area I	54
TABEL 4.7	Konsentrasi Zn rata-rata pada area II	54
TABEL 4.8	Konsentrasi Zn rata-rata pada area III.....	54
TABEL 4.9	Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area I	60
TABEL 4.10	Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area II	60
TABEL 4.11	Hubungan konsentrasi Zn terhadap pH pada area III	60
TABEL 4.12	Konsentrasi Zn pada area inefektif	62
TABEL 4.13	Konsentrasi Zn awal dan yang menempel di katoda	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Dasar Remediasi Elektrokinetik	21
Gambar 2.2	Konfigurasi Elektroda 1-D dan 2-D <i>Hexagonal</i>	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3.2	Konfigurasi Elektroda 2-D <i>Hexagonal</i>	40
Gambar 3.3	Desain Wadah dan <i>Power Supply</i>	40
Gambar 3.4	Desain Elektroda pada Tanah	41
Gambar 3.5	Desain Titik Sampling	42
Gambar 4.1	Hubungan antara pH dengan tanah	48
Gambar 4.2	Hubungan antara pH dengan waktu	50
Gambar 4.3	Hubungan antara pH, jarak dan waktu di area I, II, III	51
Gambar 4.4	pH terhadap waktu pada area inefektif	53
Gambar 4.5	Hubungan antara konsentrasi seng dengan jarak	55
Gambar 4.6	Hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu	56
Gambar 4.7	Hubungan konsentrasi dengan pH pada area I, II, III	60
Gambar 4.8	Konsentrasi seng pada area inefektif	62
Gambar 4.9	Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik	64
Gambar 4.10	Batang katoda sebelum dan sesudah remediasi	65
Gambar 4.11	Hubungan antara resistensi dengan waktu	66
Gambar 4.12	Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi	68
Gambar 4.13	Nilai efisiensi konsentrasi Zn disetiap area	71

17. Anak-anak 01 dari A sampai Z, kumpulan TA bareng, Azri, ST, Retno, ST, Evi, Ayu, Wiwin, Sherly dan semuanya.
18. Para ST terdahulu, Idef, Aan, Dian, Vita, Yeyen, Retno, Azri (dah banyak banget, gak bisa disebutin satu-satu).
19. Anak-anak kost Menara, Mince, Tia, Lia, Rita, Novi, Icha, Wiwik, Nana, Lena, Dewi.
20. Sahabat-sahabat daerahku, Iros, Ayu, Nike, dan teman-temanku yang error Eka, Tika, Ama, Iche, Reza, Dedek, Bang Dedet, Iqie, Ilul, dll.
21. Anak-anak KKN unit 92 Wirokerten Bangun Tapan, dan seluruh warga Wirokerten.
22. Anak-anak Arsitek dan Sipil.
23. Dan pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, matur nuwun sanget.

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

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, Desember 2006

YULIA YUSFARIANCE

DAFTAR ISI

	HALAMAN JUDUL	i
	HALAMAN PENGESAHAN	ii
	MOTTO	iii
	HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
	ABSTRAC	v
	INTISARI	vi
2	KATA PENGANTAR	vii
	DAFTAR ISI	x
	DAFTAR TABEL	xiii
	DAFTAR GAMBAR	xiv
2		
2	BAB I PENDAHULUAN	
	I.1 Latar Belakang	1
3.	I.2 Perumusan Masalah	4
3.	I.3 Tujuan Penelitian	5
3.	I.4 Manfaat Penelitian	5
3.4	I.5 Batasan Masalah	5
	BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
	2.1 Remediasi Elektrokinetik	7
	2.1.1 Katoda	10
3.5	2.1.2 Anoda	11

	3.5.2 Kebutuhan Elektroda	42
	3.5.2 Desain Wadah dan Berat Tanah	43
	3.5.3 Desain Wadah dan Elektroda	44
	3.5.4 Desain Titik Sampling	45
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1	Penelitian pada Leachate	46
4.2.1	pH pada Area Efektif	46
4.2.2	pH pada Area Inefektif	52
4.3	Konsentrasi Zn pada Area Efektif	54
4.4	Hubungan Konsentrasi Zn, pH dan Waktu	60
4.5	Konsentrasi Zn pada Area Inefektif	62
4.6	Batang Katoda	64
4.7	Resistensi, arus dan voltase	66
4.8	Pengamatan terhadap fenomena yang terjadi	68
4.9	Efisiensi penurunan seng pada area efektif	69
BAB V	KESIMPULAN DAN PEMBAHASAN	
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

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 semakin meningkatnya timbunan sampah yang harus segera dikelola dengan baik agar tidak mencemari lingkungan.

Sampah dan pengelolaannya kini menjadi masalah yang kian mendesak di kota-kota di Indonesia, sebab apabila tidak dilakukan penanganan yang baik akan mengakibatkan terjadinya perubahan keseimbangan lingkungan yang merugikan atau tidak diharapkan sehingga dapat mencemari lingkungan baik terhadap tanah, air dan udara. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah pencemaran tersebut diperlukan penanganan dan pengendalian terhadap sampah. Masalah yang ditimbulkan dari sampah ini salah satunya adalah leachate yang dapat mencemari air tanah.

1.3 . Tujuan Penelitian

1. Mengetahui efisiensi remediasi konsentrasi logam berat asam seng pada lumpur *leachate* yang tercemar dengan proses remediasi elektrokinetik tipe 2-D *hexagonal*.
2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap pembentukan seng (Zn) dalam proses remediasi elektrokinetik tipe 2-D *hexagonal* terhadap asam seng.
3. Mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal* pada lumpur *leachate* yang tercemar logam berat asam seng ($ZnSO_4$).

1.4 . Manfaat Penelitian

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

1.5 . Batasan Masalah

1. Menganalisa logam berat asam seng ($ZnSO_4$) pada lumpur *leachate* yang tercemar dan remediasinya elektrokinetik menggunakan konfigurasi elektroda 2-D *hexagonal*.

2. Jarak antar elektroda 15 cm dan operasi waktu 12 jam dengan interval waktu 3 jam.
3. Bahan yang digunakan adalah lumpur *leachate* dari TPA Piyungan Bantul.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. REMEDIASI ELEKTROKINETIK

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

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

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan lumpur (*sludge*) tercemar logam berat dan senyawa-senyawa organik melalui proses secara *in-situ* dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*direct current*) pada potongan melintang area antar elektroda yang diletakkan pada *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 2.1** (Alshwabkeh, 2001).

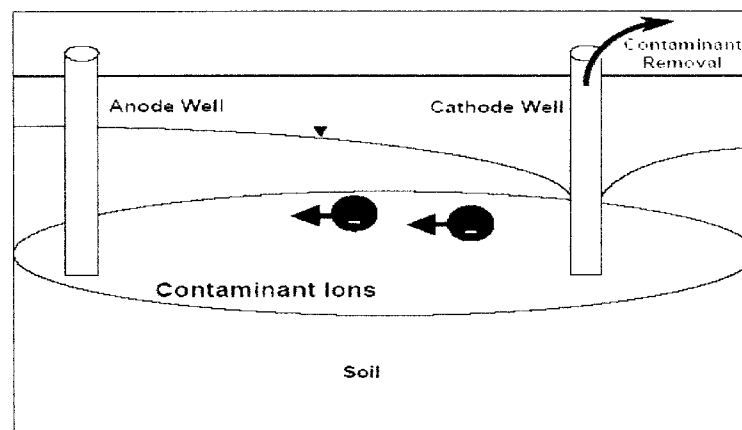


Figure 1: General Schematic of Electrokinetic Remediation

Gambar 2.1 Prinsip dasar remediasi elektrokinetik

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

Dengan adanya sampah akan menghasilkan *leachate* baik berupa *leachate* cair maupun lumpur (*sludge*). Apabila *leachate* tersebut tidak dikelola dengan baik, maka akan menimbulkan pencemaran yang berdampak bagi kesehatan dan lingkungan sekitarnya. *Lechate* 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 *leachate* ini dengan membuat kolam-kolam di TPA Piyungan Kabupaten Bantul, namun demikian hasil dari *leachate* tersebut menghasilkan lumpur . Sedangkan untuk saat ini pengolahan lumpur *lechate* belum dilakukan sehingga lumpur tersebut langsung dibuang ketanah dan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan.

Lumpur *leachate* merupakan salah satu medium alami untuk pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme yang tersusun dari bahan organik dan anorganik. Kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik dan anorganik menjadi senyawa yang lebih sederhana (proses respirasi), selain ditentukan oleh jumlah dan jenis mikroorganisme lumpur *leachate* juga ditentukan oleh kondisi kimiawi lumpur. Adanya bahan pencemar berupa logam berat dalam lumpur *leachate* yang bersifat toksik misalnya Hg, Cu, Cr, Pb, Zn pada konsentrasi tertentu dapat menghambat pertumbuhan dan aktifitas respirasi mikroorganisme (Parizek, 1978). Selain itu logam-logam berat pada lumpur *leachate* tertransportasi mengikuti aliran

air tanah menyebar ke tempat yang lebih rendah dalam waktu yang lama sehingga dapat mencemari air tanah.

Salah satu kandungan logam berat yang terkandung pada *leachate* adalah Seng (Zn) yang dapat mencemari air, dan tanah. Seng (Zn) merupakan logam berat yang terdapat pada *leachate* yang jika terdefisiensi seng (Zn) akan terlihat pada hewan dan gejala peradangan pada hidung dan mulut serta pembengkakan persendian. Zn merupakan racun protoplasma dimana seng (Zn) merupakan penyebab *pneumonitis* dan menyebabkan *dermatitis* jika kontak dengan kulit (Bapedal,1994). 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. 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.

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

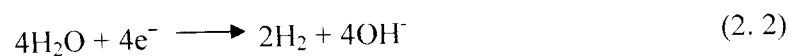
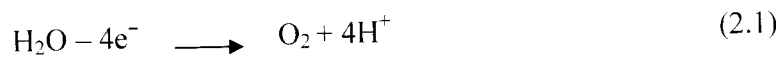
menggunakan biaya yang rendah dan sangat potensial digunakan untuk berbagai tipe kontaminan.

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

1.2 . Perumusan Masalah

1. Apakah dengan metode remediasi elektrokinetik dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal* dapat menurunkan konsentrasi logam berat asam seng ($ZnSO_4$) pada lumpur *leachate* yang diindikasikan oleh naiknya Zn^0
2. Seberapa besar pengaruh waktu kontak dan jarak terhadap penurunan konsentrasi asam seng ($ZnSO_4$) dalam proses remediasi elektrokinetik dengan menggunakan konfigurasi 2-D *hexagonal*.
3. Bagaimana fenomena remediasi elektrokinetik dengan konfigurasi 2-D *hexagonal* pada lumpur *leachate* yang tercemar logam berat asam seng ($ZnSO_4$).

listrik oleh katoda dan anoda. Penggunaan sistem tersebut pada lumpur mempunyai beberapa efek yaitu: *electromigration*, *electroosmosis*, perubahan pH dan *electrophoresis*. *Electromigration*, yaitu pergerakan partikel bermuatan 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 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^+ (persamaan 1) tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion hidroxy (OH^-) (persamaan 2) kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar et.al, 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* dalah proses transport air dalam jumlah besar yang terus

mengalir pada *suldge*. Sedangkan *Electrophoresis* merupakan pergerakan partikel-partikel karena pengaruh medan listrik (Acar dan Alshawabkeh, 1993).

2.1.1 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 heater yang biasanya adalah suatu filamen. Emisi terjadi karena radiasi yang dipancarkan heater diserap oleh tabung metal tersebut .

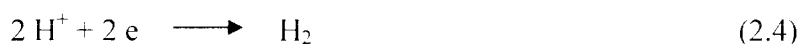
Reaksi pada katoda adalah reduksi terhadap kation, jadi yang perlu diperhatikan adalah kation saja.

- 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,1990).

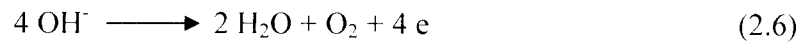


2.1.2 Anoda

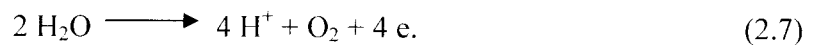
Anoda umumnya adalah materi silinder ataupun kotak yang terdapat di sekeliling elektroda lainnya. Anoda menangkap elektron-elektron yang tereksitasi sehingga memiliki arus dan tegangan yang bervariasi. Kelebihan daya dari anoda akan diradiasi dengan syarat adanya sirkulasi udara yang terjadi disekitar 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 basa 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,1990).

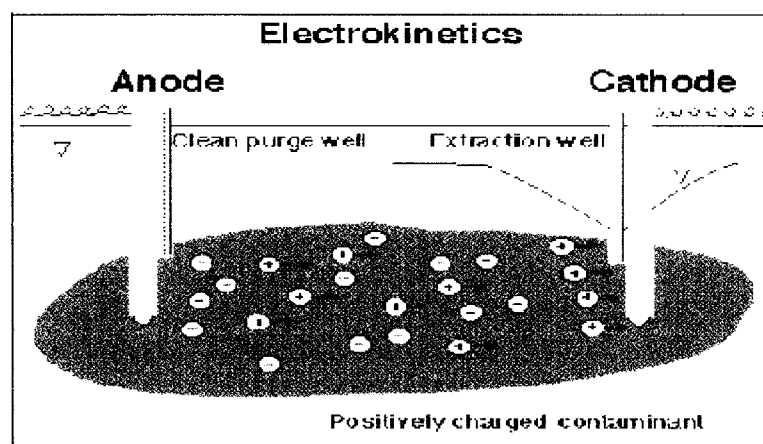


2.2 ELEKTROKINETIK

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 dimana di atasnya terdapat perjalanan ion. **Gambar 2.2** menunjukkan design suatu bidang elektrokinetik. Di dalam gambar suatu suntikan atau pembersihan yang baik adalah yang dimasukkan dekat kutub anoda (positif) dan suatu extraction yang baik adalah dimasukkan di kutub katoda. Dalam hal ini zat pencemar adalah bermuatan anoda dan cenderung akan bergerak ke arah katoda (Willard , 1997).



Gambar 2.2 Design bidang elektrokinetik.

2.2.1 MATERIAL DAN KONFIGURASI ELEKTRODA 2-D HEXAGONAL

2.2.1.1 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).

2.2.1.2 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 2.3**. Pada penelitian ini menggunakan tipe *hexagonal* karena sesuai dengan penelitian (Siti, 2004) didapatkan bahwa konfigurasi 2-D *hexagonal* lebih efektif dan efisien untuk menurunkan konsentrasi 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 and Lynch, 2002).

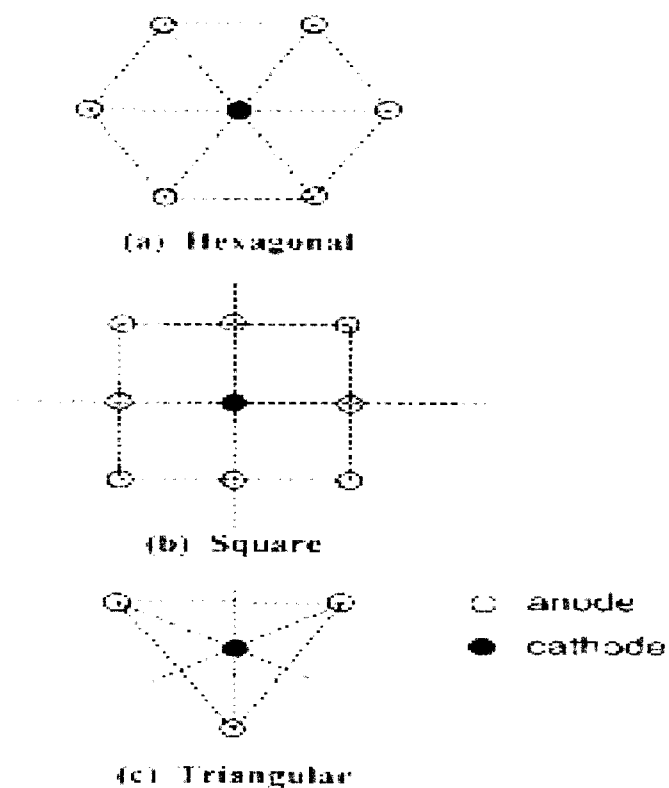


FIG. 2. Examples of 2D Electrode Configurations

Secara umum tujuan penerapan konfigurasi elektroda 2-D adalah untuk mencapai aliran radial (*axi-symmetrical*). Katoda di tempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Zn 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 (Alshwabkeh,1999).

2.3 Leachate

Menurut Stegmann (1992), *leachate* yang dihasilkan landfill sebagian besar terdiri atas sejumlah senyawa khusus yaitu senyawa organik yang mempunyai relevansi satu sama lainnya. Sedangkan menurut dinas kebersihan kota *leachate* merupakan cairan hasil dekomposisi sampah maupun rembesan air yang melewati suatu timbunan sampah.

Leachate dalam ilmu kesehatan lingkungan (refuse) adalah kombinasi dari perembesan air hujan langsung, dan cairan apapun yang keluar sebagai hasil dari konsolidasi dari material – material sampah landfill. Defenisi secara

umum *leachate* adalah cairan sampah yang ditimbulkan oleh proses dekomposisi sampah padat dan perkolasi air kedalam timbunan sampah. Sampah padat dengan kandungan air minimum 25 % akan mengalami pembusukan secara organis oleh pengurai menghasilkan *leachate* sebagai salah satu hasilnya.

Pengolahan *leachate* yang kurang higienis dapat mengakibatkan pencemaran air tanah sekitar lokasi karena kandungan kimianya sangat besar. Pencemaran udara pun dapat terjadi karena bau busuk yang ditimbulkan oleh *leachate* yang terkomposisi. *Leachate* yang tidak dikelola dapat menyebabkan proses dekomposisi sampah padat terhambat karena syarat kelembaban nisbinya tidak terpenuhi.

Efektivitas dari sistem saluran *leachate* ke instalasi pengolahan *leachate* sangat mempengaruhi kinerja saluran *leachate* itu sendiri, termasuk pemeriksaan, pemeliharaan dan perbaikan. Pemilihan desain sistem penyaluran *leachate* yang kurang tepat dapat menyebabkan kesulitan pada kinerja pemeliharaan dan pengumpulannya.

Dengan sistem penyaluran *leachate* diharapkan sebagian besar dapat tertangkap disaluran selanjutnya dialirkan secara lancar ke instalasi pengolahan *leachate* sebelum dibuang ke badan air.

Selain itu *leachate* dapat pula dihasilkan dari ekstraksi sampah itu sendiri, karena sampah (solid waste) pemukiman mengandung kadar air 20 %

- c. Pelepasan gas dari timbunan sampah
- d. Pergerakkan cairan karena perbedaan tekanan
- e. Pelarutan bahan organik dan anorganik oleh air dan *leachate* yang melewati timbunan sampah
- f. Perpindahan materi terlarut karena konsentrasi dan osmosis
- g. Penurunan permukaan yang disebabkan oleh pemadatan yang mengisi ruang kosong pada timbunan.

Salah satu hasil dari rangkaian proses diatas adalah terbentuknya *leachate* berupa cairan akibat adanya air eksternal yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah. Air yang ada pada timbunan sampah ini antara lain berasal dari:

- a. Aliran permukaan yang berinfiltrasi kedalam timbunan sampah horizontal melalui tempat penimbunan
- b. Kandungan air dari sampah itu sendiri
- c. Air hasil proses dekomposisi bahan organik pada sampah

Reaksi biologis akan terus menerus berlansung didalam timbunan sampah menurut kondisi ada atau tidak adanya oksigen serta tahapan proses dekomposisi sehingga proses yang terjadi akan bersifat dekomposisi secara aerob dan anaerob.(Damanhuri, 1993)

2.4.1 Parameter Utama Dari *Leachate*

Parameter-parameter berikut ini penting dalam mendefinisikan daya cemar *sludge leachate* dari kegiatan proses dekomposisi sampah : BOD, COD, TSS, krom (keseluruhan), minyak dan lemak, sulfida, nitrogen total dan pH (Aulia Gani, dkk 1994).

2.4.2 Kualitas dan Kuantitas *Leachate*

Kualitas dan kuantitas *leachate* penting diketahui untuk menentukan sistem pengolahan yang tepat dan untuk memperkirakan efek-efek polusi dari *leachate* terhadap lingkungan.

Komposisi dan produktivitas *leachate* dipengaruhi oleh berbagai hal, seperti:

- a. Karakteristik sampah (organik/anorganik, mudah tidaknya terurai, mudah larut atau tidak)
- b. Hidrologeologi lokasi penimbunan sampah
- c. Klimatologi
- d. Kondisi TPA : umur timbunan sampah, kelembaban, temperatur
- e. Sifat air yang masuk ketimbunan sampah
- f. Jenis operasi yang dilakukan ditempat penimbunan sampah (lahan tertutup dan sebagainya).

- 30 %. Kadar air ini sebenarnya tidak akan menimbulkan masalah, asalkan sampah tersebut sudah teraduk dan dipadatkan dengan baik. Air yang timbul akibat pengaruh kelembaban sampah atau yang berasal dari proses dekomposisi akan diserap oleh sampah kering lainnya.

Bila *leachate* merembes kedalam sampah yang sedang mengalami pembusukan, maka unsur-unsur kimia dan bahan-bahan biologis hasil pembusukan tersebut akan ikut terbawa. Ini berarti komposisi *leachate* tergantung jenis sampah dan aktifitas fisis, kimia dan biologis dalam timbunan sampah.

Leachate ini dapat mencemari air permukaan dan air tanah, maka komposisi *leachate* penting diketahui dalam menentukan pengaruhnya yang potensial terhadap kualitas air permukaan dan air tanah yang ada didekatnya.

2.4. Proses Pembentukan *Leachate*

Sejak sampah berada dalam timbunan sampah maka mulailah terjadi proses dekomposisi yang ditandai oleh perubahan secara fisik, biologis dan kimiawi pada sampah. Proses yang terjadi antara lain:

- a. Penguraian biologis bahan organik secara aerob dan anaerob yang menghasilkan gas dan cairan
- b. Oksidasi kimia

Faktor-faktor tersebut diatas sangat bervariasi pada satu tempat pembuangan yang lain, demikian pula aktivitas biologis serta proses yang terjadi pada timbunan sampah baik secara aerob maupun anaerob. Komponen utama yang terdapat dalam *leachate* dari landfill antara lain adalah (Tchobanoglous, 1993):

1. Organik
2. Kalsium (Ca)
3. Besi (Fe)
4. Nitrat (NO₃-N)
5. Magnesium (Mg)
6. Seng (Zn)
7. Tracemetal seperti Mangan (Mn), timah hitam serta komponen mikrobiologi.

Kandungan unsur-unsur dalam leachate terdapat pada **tabel 2.1**

Tabel 2.1 Kandungan unsur-unsur dalam leachate

No	Parameter	Konsentrasi mg/l	
		Range	Tipikal
1	BOD	2000-30000	10000
2	TOC	1500-20000	6000
3	COD	3000-45000	18000
4	Total Suspended Solid	200-1000	500
5	Organik Nitrogen	10-600	200
6	Amonia Nitrogen	10-800	200
7	Nitrat	5-40	25
8	Total Phospor	1-70	30
9	Otho Phospor	1-50	20
10	Alkaliniti	1000-1000	3000
11	pH	5.3-8.3	6
12	Total Hardness	300-10000	3000
13	Kalsium	200-3000	3500

14	Magnesium	50-1500	250
15	Potasium	200-2000	300
16	Natrium	200-2000	500
17	Klorida	100-3000	500
18	Sulfat	100-1500	300
19	Total Besi	50-600	6

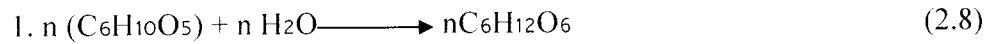
Sumber : Tchobanoglous, G, et,all, 1977, Asolid Waste Engineering Principles and Management Issues, pg, 99.

2.4.3 Karakteristik Leachate

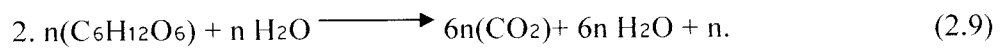
Aktifitas dalam landfill umumnya mengikuti suatu pola tertentu, pada mulanya sampah terdekomposisi secara aerobik, tetapi setelah oksigen didalamnya habis maka mikroorganisme utama yang bekerja adalah mikroorganisme fakultatif dan anaerobik yang menghasilkan gas methan yang tidak berbau dan berwarna. Karakteristik penguraian secara aerobik adalah timbulnya Karbon Dioksida, sedangkan penguraian secara anaerobik menghasilkan methan, karbon dioksida, air, asam organik, nitrogen, sulfida, mangan, besi dan sebagainya.

Reaksi kimia dekomposisi secara aerobik dijelaskan sebagai berikut (Chen, 1994):

Mikrobia

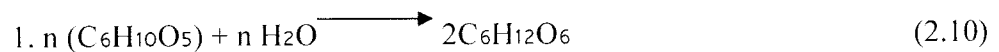


Selulosa



Reaksi kimia secara anaerobik (Chen, 1994)

Mikrobia

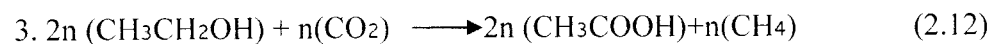


Glukosa



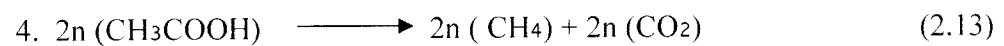
Etanol

Karbondioksida Kalori Panas



Asam Asetat

Metana



Asam asetat

Metana

Leachate sebagai hasil proses dekomposisi organik banyak mengandung zat organik dan anorganik dengan konsentrasi yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi materi organik *leachate* memiliki konsentrasi 100 kali lebih tinggi daripada air limbah. Konsentrasi materi organik yang berkaitan dengan pencemaran biasanya memakai parameter BOD, COD, TOC.

Adapun kualitas *leachate* dipengaruhi oleh:

- 1) Komposisi material sampah padat
- 2) Musim
- 3) Temperatur dan kelembaban
- 4) Teknis operasional pengolahan lindi
- 5) Umur timbunan

Sedang kuantitas *leachate* sangat dipengaruhi oleh curah hujan harian.

Jenis tanah penutup, infiltrasi air tanah dan sampah padat.

Secara umum karakteristik *leachate* di Indonesia adalah:

- a. Mempunyai pH rendah
- b. Memiliki nilai COD tinggi.

2.4.4 Pengaruh Leachate

1. Air permukaan yang terpolusi oleh *leachate* dengan kandungan organik, untuk proses penguraiannya secara biologis memerlukan oksigen. Bila kandungan organik dalam *leachate* tinggi maka oksigen dalam badan air akan habis terpakai oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik dalam *leachate* tinggi maka oksigen dalam badan air akan habis terpakai oleh mikroorganisme untuk menguraikan zat organik dalam *leachate* dan akhirnya seluruh kehidupan dalam badan air akan mati karena kondisi menjadi anaerobik.
2. Air tanah dapat pula dicemari *leachate*, akibatnya kualitas air tanah menurun dan tidak dapat lagi dipakai sebagai sumber air bersih.
3. Adanya kandungan organik tinggi dalam *leachate* akan menimbulkan bau yang tidak enak.

2.4.5 Penanganan Leachate

Sistem saluran pengumpul sangat penting untuk mencegah emisi dan terakumulasinya *leachate* pada bagian dalam sel. Sistem pengumpulan harus aman dan tahan lama.

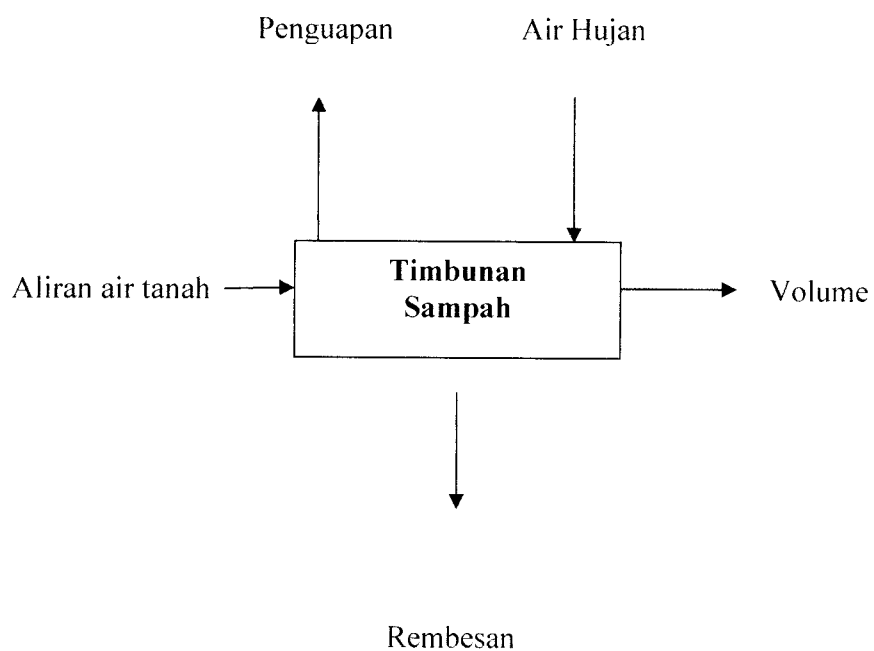
Untuk membuat saluran pengumpul dan penampungan, *leachate* perlu diketahui volume *leachate*. Volume *leachate* dipengaruhi oleh banyaknya

rembesan yang masuk kedalam timbunan sampah, termasuk pengaruh hujan.

Jumlah leachate dipengaruhi oleh beberapa faktor:

- a. Banyaknya air yang terkandung dalam sampah
- b. Proses penguapan yang berlangsung
- c. Reaksi yang memungkinkan terbentuknya molekul air

Hubungan antara faktor yang meningkatkan dan mengurangi jumlah leachate disebut neraca air.



Gambar 2.4 Neraca Aliran

2.5 SENG (Zn)

Seng berasal dari bahasa Jerman yaitu *Zin* yang berarti timah. Logam seng ditemukan pertama kali oleh Andreas Marggraf berkebangsaan Jerman pada tahun 1746. Logam ini merupakan logam kristalin yang berwarna putih-kebiruan, logam ini cukup mudah bereaksi pada suhu 110-150°C. Logam seng di golongan dalam *transition metal*. (Will dan cotton, 1976)

Tabel 2.2 Beberapa Sifat Fisik Logam Seng

Nama	Seng
Simbol	Zn
Nomor atom	30
Massa atom relative	65,39 g.mol ⁻¹
Titik leleh	419.58°C(692.73°K,787.2439°F)
Titik didih	907.0 °C (1180.15 °K1664,6 °F)
Nomor Proton/Elektron	30
Nomor Neutron	35
Klasifikasi	Logam Transisi
Struktur Kristal	Segi enam
Densitas @ 293 K	7.133 g/cm ³
Warna	Putih-kebiruan

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

Salah satu logam transisi yang penting adalah seng (Zn). Seng adalah logam yang berwarna putih – kebiruan. Logam ini mudah bereaksi pada suhu 110-150°C. Seng (Zn) melebur pada suhu 410°C dan mendidih pada suhu 906°C. Seng (Zn) digunakan dalam produksi logam campuran, misalnya : Perunggu, logam dan kuningan. Senyawa seng (Zn) ini juga sering digunakan dalam pelapisan logam seperti : Baja, besi yang merupakan produk anti karat. Juga digunakan zat warna untuk cat, lampu, gelas bahan keramik, pestisida dan sebagainya. Seng (Zn) juga banyak dijumpai pada limbah industri CO₂ (Will dan Cotton 1976).

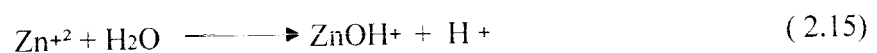
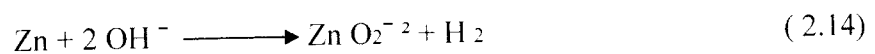
Kadar seng (Zn) pada air minum sebaiknya tidak lebih dari 5 mg/l. Toksisitas seng (Zn) menurun dan meningkatnya kesadahan dan meningkatnya suhu dan menurunnya oksigen terlarut, toksisitas seng (Zn) bagi organisme *algae*, *avertebrata* dan ikan sangat bervariasi < 1 mg/l hingga > 100 mg/l (Effendi, 2003).

Keracunan seng (Zn) sering dijumpai pada hewan yang hidup didaerah yang tercemar unsur ini, dan keracunan Zn ini juga terjadi bersamaan dengan keracunan Cd secara kronis. Defisiensi seng (Zn) akan terlihat pada hewan dan gejala peradangan pada hidung dan mulut serta pembengkakan persendian. Zn merupakan racun protoplasma dimana seng (Zn) merupakan penyebab *pneumonitis* dan menyebabkan *dermatitis* jika kontak dengan kulit. (Bapedal,1994).

Seng (Zn) adalah logam-logam putih, mengkilap, namun mudah ternoda. Zn didapatkan pada tempat penimbunan akhir sampah (TPA), industri cat, industri kosmetik, pestisida, industri mobil, tanah pertanian. Seng sendiri sebetulnya dalam jumlah kecil tidak toksik dan merupakan unsur yang dibutuhkan organisme, tetapi dalam jumlah besar senyawanya iritan dan korosif, dapat masuk ke dalam tubuh melalui mulut, hidung atau terserap lewat kulit. Akibat setelah masuk ke dalam tubuh logam tersebut akan mengalir bersama aliran darah dan beredar ke seluruh tubuh. Hal ini kemungkinan akan mengganggu fungsi hati dan ginjal. (Soemirat, 1994).

Senyawaan biner, Oksida ZnO dibentuk dengan pembakaran logamnya di udara, atau dengan pirolisis karbonat atau nitratnya, asap oksida dapat diperoleh dengan pembakaran. Seng oksida biasanya putih dan berubah menjadi kuning pada pemanasan.

Seng mempunyai konfigurasi elektron $3d^{10}4s^2$, Zn mudah bereaksi dengan asam bukan pengoksidasi, melepaskan H_2 dan menghasilkan ion divalensi. Seng juga larut dalam basa kuat karena kemampuannya membentuk ion zinkat, biasanya ditulis ZnO_2^{2-} , sedangkan seng juga larut dalam asam.



Berdasarkan sifat kimianya, logam seng dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi + 0 dan +2. Cara isolasi melibatkan pengapungan dan pemanggangan, Zn diperoleh kembali dengan cara tungku pemanas letupan. Seng mudah bereaksi bilamana dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksidasi. Seng membentuk banyak aliansi beberapa diantaranya seperti kuningan, yang merupakan aliansi tembaga seng. Seng membentuk ion Zn^{+2} tidak stabil dan dikenal hanya dalam bentuk lelehan atau padatan.

Seng merupakan logam yang sangat mudah bereaksi. Logam ini secara langsung dapat bereaksi dengan nitrogen, sulfat (Palar, 1994).

Kemampuan adsorpsi ion logam dapat tergantung dengan pH pada pH lebih dari 7 Zn^{+2} akan mengendap dengan bentuk sebagai hidroksidasinya. (Hughes dan Poole, 1989).

Menurut Wulfsberg (1991), Zn^{+2} pada pH 1 – 7 berada sebagai Zn^{+2} (larutan) pada pH 7 -13 sbg $Zn(OH)_2$ padatan dan pada pH 13 -15 sebagai $Zn(OH)_4^{-2}$ larutan. Seng mengendap pada pH 6-11,5 dengan membentuk ion terhidrasi pada kondisi air normal atau asam.

Kation atau asam keras membentuk kompleks yang stabil dengan ligan atau basa keras, sedangkan anion atau asam lunak membentuk kompleks yang stabil dengan ligan atau basa lunak. Zn^{+2} di kelompokkan kedalam asam. (Hughes dan Poole, 1989)

2.5.1 Seng (Zn) Dalam Lingkungan

Logam Zn dapat masuk kedalam semua strata lingkungan, baik pada strata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Peningkatan konsentrasi Zn di lingkungan sangat di mungkin karena penggunaannya sangat luas dalam bidang industri. Akibatnya limbah yang di keluarkan akan semakin menambah konsentrasinya di lingkungan. Industri yang menggunakan logam berat Zn antara lain adalah industri cat, kosmetik, pestisida, industri mobil dan sebagainya. Masuknya Zn kelapisan udara dari strata lingkungan adalah dari pembakaran, mobilitas batu bara dan minyak bumi.

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

2.5.2 Kegunaan Seng (Zn) Dalam Kehidupan

Seng telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Logam seng (Zn) selalu ada bercampur dengan logam lain, terutama dalam

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

- a. Seng dithiokarbamat penting dalam industri sebagai pemercepat dalam vulkanisasi karet dengan sulfur.
- b. Senyawaan seng, khususnya $ZnCO_3$ dan ZnO digunakan dalam salep obat, karena seng nampaknya kemungkinan terjadinya proses penyembuhan.
- c. Zn adalah hara utama penting yang dibutuhkan tanaman untuk beberapa proses biokimia dalam tanaman padi, termasuk produksi klorofil dan integritas membran.

2.5.3 Keracunan Seng (Zn)

Sebagai logam berat, Zn termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki Zn ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Zn^{2+} merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Zn^{2+} merupakan *toxic* yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis.

Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $ZnCl_2$, $ZnSO_4$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadi gangguan fungsi darah didalam hati dan fungsi ginjal. Tingkat keracunan Zn pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan Zn dalam urine.

Keracunan akut yang disebabkan oleh Zn sering terjadi pada pekerja di industri-industri yang berkaitan dengan logam ini. Peristiwa keracunan akut ini terjadi karena para pekerja tersebut terkena paparan uap logam Zn. Gejala-gejala keracunan akut yang disebabkan oleh keracunan Zn adalah timbulnya rasa sakit dan panas pada bagian dada. Gejala keracunan akut ini mulai muncul setelah 4-10 jam sejak si penderita terpapar uap logam Zn. Akibat dari keracunan logam Zn ini dapat menimbulkan penyakit paru-paru yang akut. Penyakit paru-paru akut ini dapat terjadi apabila penderita terpapar oleh uap Zn dalam waktu 24 jam, lebih jauh keracunan akut yang disebabkan oleh keracunan Zn dapat menimbulkan kematian apabila konsentrasi yang mengakibatkan keracunan tersebut berkisar (2500-2900)mg/m³.

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

Pada keracunan yang disebabkan oleh Zn, umumnya berupa kerusakan-kerusakan pada banyak sistem fisiologis tubuh. Sistem-sistem

tubuh yang dapat rusak oleh keracunan kronis logam Zn ini adalah pada sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi (pernafasan/paru-paru), sistem sirkulasi (darah) dan jantung (Palar, 1994).

2.6 LANDASAN TEORI

Produksi leachate yang berlebih yang tidak diolah dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan disekitar tempat pembuangan akhir sampah. Sehingga memerlukan perhatian yang serius dari pemerintah dan masyarakat sekitarnya.

Akibat dari pencemaran lingkungan yang diakibatkan dari leachate yang tidak diolah diantaranya bau, sungai disekitar tempat pembuangan akhir sampah tercemari, pencemaran air tanah, pencemaran tanah. Oleh karena itu pengolahan leachate sangat diperlukan untuk mengurangi beban pencemaran.

Leachate yang dihasilkan yaitu berupa *Leachate* cair dan padatan (*sludge*) dari hasil produksi sampah. Apabila leachate tersebut tidak dikelola dengan baik, maka akan menimbulkan pencemaran yang berdampak bagi kesehatan dan lingkungan sekitarnya.

Kandungan logam berat yang terdapat didalam *leachate* salah satunya adalah Seng (Zn). Seng (Zn) diperoleh dari proses dekomposisi sampah atau rembesan air dari sampah.

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 secara vertikal maupun horizontal. Prinsip remediasi secara elektrokinetik adalah menggunakan arus DC intensitas rendah melalui sludge 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.

2.7. Hipotesis

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

1. Teknik remediasi elektrokinetik dapat dipergunakan untuk memulihkan lumpur *leachate* dari proses dekomposisi sampah yang mengandung logam berat asam Zn.
2. Teknik Remediasi elektrokinetik efektif untuk menurunkan konsentrasi logam berat asam Zn dalam lumpur *leachate*.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

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

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan dalam 2 tahap, yaitu :

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

3.3. Metode Pengumpulan Data

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

1. Studi Pustaka (*library research*)

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

2. Penelitian Lapangan (*field research*)

Yaitu pengumpulan data melalui pengujian sampel yang meliputi :

- a. Analisis karakteristik lumpur.
- b. Analisis terhadap konsentrasi logam berat asam Zn, *resitivity* dan pH.

3.4. Metode Eksperimen

Metode eksperimen terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut :

3.4.1. Tahap Pra Penelitian

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

I. Persiapan Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan :
 - a. Tong, dipakai untuk mengambil sampel lumpur leachate dari TPA Piyungan Bantul.
 - b. Wadah lumpur dari kaca
 - c. Timbangan/neraca
 - d. Pengaduk
 - e. *Power supply*
 - f. Kabel
 - g. Elektroda
 - h. pHmeter
 - i. Multitester
 - j. Metode AAS

2. Bahan yang digunakan :

Penelitian ini menggunakan lumpur *leachate* yang mengandung logam berat asam Zn yang diambil dari TPA Piyungan Bantul Yogyakarta.

II. Perencanaan

Meliputi penentuan dan pelaksanaan :

1. Pemilihan lumpur

Di gunakan lumpur *leachate* dari hasil proses dekomposisi sampah TPA Piyungan Bantul.

2. Persiapan wadah lumpur

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

3. 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*.

4. Persiapan *power supply*

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

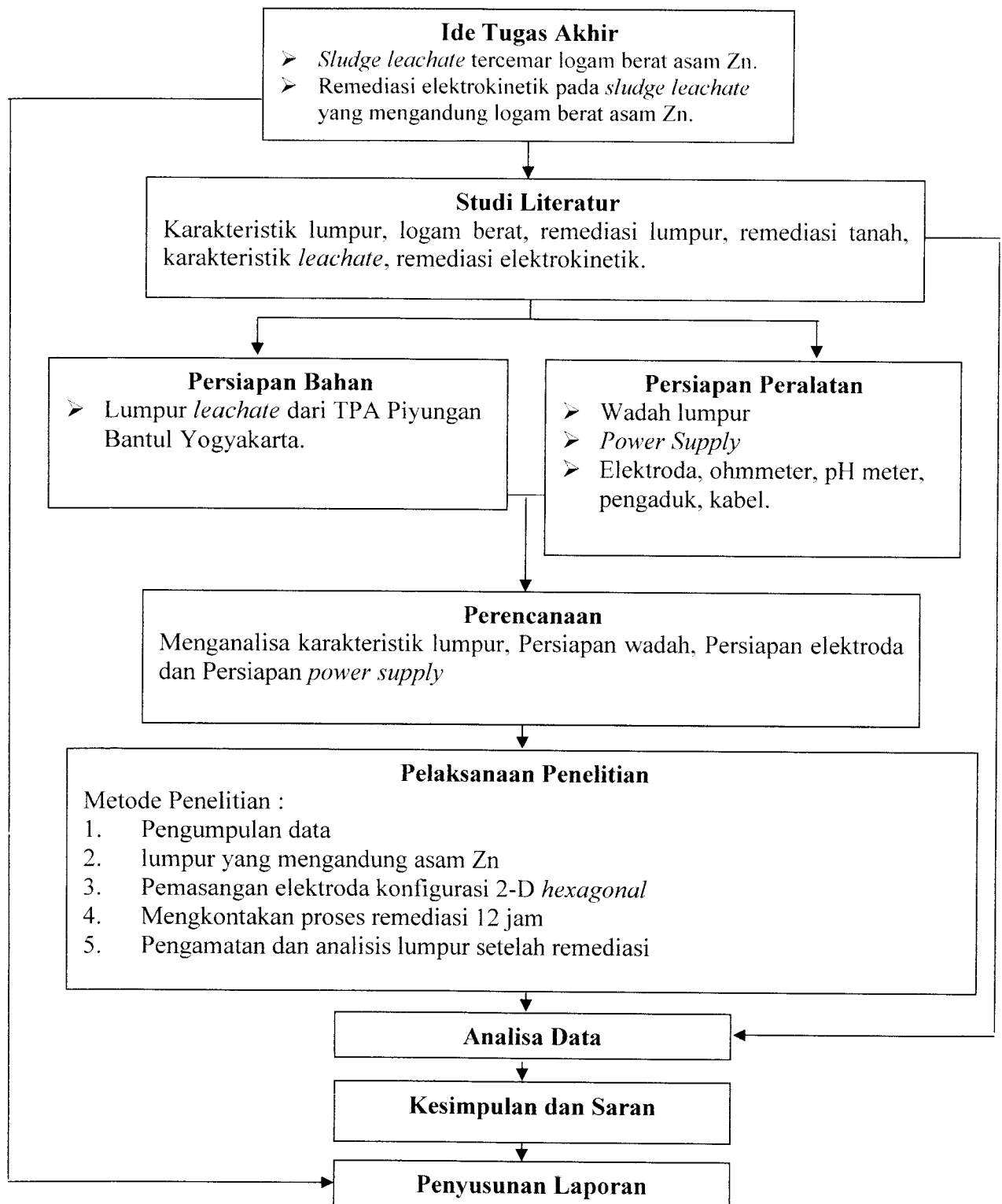
3.4.2. Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian meliputi :

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

Secara lebih sederhana, alur pikir penelitian ini dapat dilihat pada

Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.4.3. Tahap Analisa

Analisa data yang digunakan untuk membuktikan kebenaran hipotesis yaitu :

1. Menghitung efisiensi pembentukan asam Zn setelah dilakukan remediasi tanah secara elektrokinetik. Untuk menghitung efisiensi tersebut digunakan persamaan sebagai berikut :
(Metcalf dan Eddy, 1991).

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

E = Efisiensi (%)

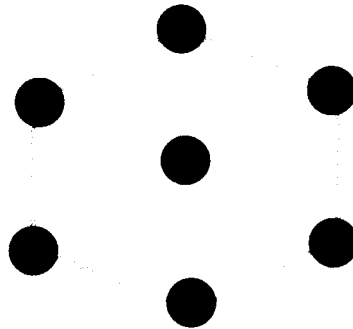
C = Konsentrasi

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

3.5. Desain

3.5.1. Kebutuhan Elektroda

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

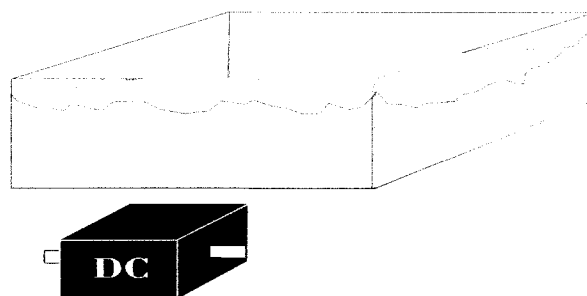


Gambar 3.2. Konfigurasi elektroda

- = Anoda
- = Katoda

3.5.2. Desain Wadah dan Berat Tanah

Wadah terbuat dari kaca dengan dimensi 1 m x 0,95 m x 1 m dan ketebalan kaca 1 cm. Lumpur yang digunakan adalah Lumpur *leachate* berasal dari TPA Piyungan Bantul Yogyakarta. Desain wadah dan *power supply* dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



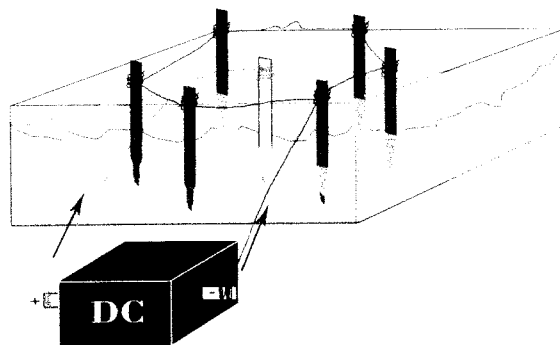
Gambar 3.3. Desain wadah dan *power supply*

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

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

3.5.3. Desain Wadah dan Elektroda

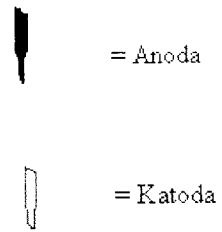
Desain wadah dan konfigurasi elektrokinetik 2D- *Hexagonal* dapat di lihat pada gambar 3.4, sedangkan dokumentasi penelitian dapat dilihat pada lampiran V.



Gambar 3.4. Disain elektroda pada Lumpur leachate

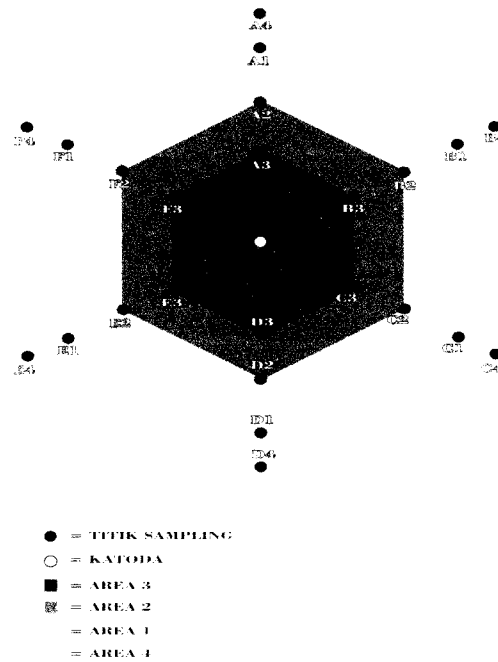
Keterangan :

- = Arus
- = Kabel katoda
- = kabel anoda



3.5.4. Desain Titik Sampling

Titik sampling yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5. Desain titik sampling



BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1. Penelitian pada *leachate*

Penelitian remediasi elektrokinetik menggunakan media lumpur *leachate* dari TPA Piyungan Bantul dengan kandungan konsentrasi Zn awal 415,20 ppm dan pH awal 6,5 cenderung dalam kondisi netral. Konsentrasi seng setelah proses remediasi elektrokinetik pada area efektif maupun pada area inefektif masih melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh National Environment Protection Council 1999 yaitu untuk kedalaman tanah 0,2 m konsentrasi seng adalah sebesar 12,4 mg/kg. Dapat dilihat pada (lampiran VI)

Dampak yang dihasilkan dari asam seng pada manusia dalam jumlah besar senyawanya iritan dan korosif, dapat masuk kedalam tubuh melalui mulut, hidung atau terserap lewat kulit. Alhasil setelah masuk kedalam tubuh logam tersebut akan mengalir bersama aliran darah dan beredar keseluruh tubuh. Hal ini kemungkinan akan mengganggu fungsi hati dan ginjal. (Soemirat, 1994).

Keracunan seng (Zn) sering dijumpai pada hewan yang hidup didaerah yang tercemar unsur ini, dan keracunan Zn ini juga terjadi bersamaan dengan keracunan Cd secara kronis. Defisiensi seng (Zn) akan terlihat pada hewan

dan gejala peradangan pada hidung dan mulut serta pembengkakkan persendian. Zn merupakan racun protoplasma dimana seng (Zn) merupakan penyebab *pneumonitis* dan menyebabkan *dermatitis* jika kontak dengan kulit. (Bapedal,1994).

4.2.1 pH pada area efektif.

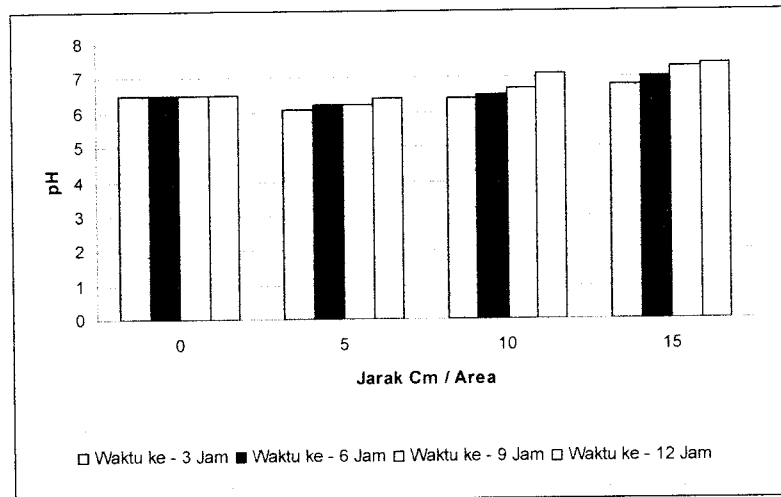
Pada penelitian ini, titik sampel lumpur *leachate* dibagi menjadi 4 area terdiri dari area I, II, dan III yang disebut area efektif karena area tersebut dikelilingi oleh 6 anoda, sedangkan yang berada diluar anoda disebut area Inefektif. Masing-masing area memiliki jarak baik dari anoda ke katoda dan 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 dan arus DC pada potongan melintang area antara elektroda pada lumpur *leachate* dari TPA Piyungan Bantul. Proses penelitian dilakukan selama 12 jam dengan interval waktu 3 jam ditiap area untuk melakukan pengambilan, pengukuran pH dan pengukuran resistivitas pada sampel lumpur *leachate*.

Tabel 4.3 sampai Tabel 4.5 adalah tabel hasil pengukuran pH pada masing-masing area : (Lampiran III)

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 di dapatkan gambar hubungan antara waktu, pH dan jarak dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pada waktu ke-0 pH masing-masing area dalam kondisi rendah (netral) dengan nilai rata-rata 6,5, kemudian pada waktu ke-3 di area II dan area III terjadi penurunan masing-masing sebesar 6,4 dan 6,1. Sedangkan pada area I (anoda) kenaikan pH lebih besar dibandingkan area II dan area III yaitu sebesar 6,8. Pada waktu ke-6 di area II dan area III juga terjadi kenaikan sebesar 6,5 dan 6,2. Sedangkan pada area I pH sebesar 7 dan terjadi kenaikan. Pada waktu ke-9 dan 12 pH pada area I terjadi kenaikan yang tidak terlalu mencolok yaitu sebesar 7,3 dan 7,4., sedangkan pada area II dan area III pada jam ke-9 pH masih mengalami kenaikan, pada kondisi jam ke-12 pH mengalami kenaikan masing-masing sebesar 7,1 dan 6,4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1. Hubungan antara pH dengan jarak

Dari gambar 4.1 dapat dilihat terjadi perubahan pH, sehingga dapat diartikan bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia di setiap titik sampling. Pada penelitian ini pH terhadap jarak dalam waktu 12 jam telah sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Alshwabkeh dkk, 1994 didapat hasil pada area anoda bersifat basa dan pada area katoda bersifat asam dikarenakan adanya *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,1990).

(Willard, 1997) mengemukakan bahwa dalam *electrolysis* air yang terjadi di elektroda akan menyebabkan ion H^+ dan OH^- berpisah di kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda) secara bertahap, ion-ion tersebut

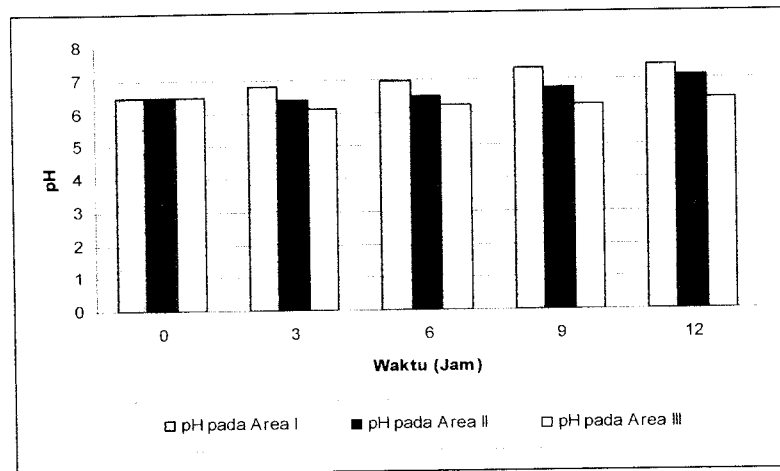
akan berjalan di dalam tanah menuju elektroda sehingga terjadi perubahan pH.

Oksidasi air dikutub positif (anoda) menghasilkan kondisi asam sementara pada kutub negatif atau katoda terjadi pengurangan (reduksi) yang menghasilkan kondisi basa dalam tanah. Saat asam dihasilkan dikutub positif, melalui tanah dapat sampai ke arah katoda dibantu oleh migrasi ion dan elektroosmosis, basa yang dihasilkan di katoda dapat bergerak menuju ke anoda dibantu secara difusi dan migrasi ion (Alshwabkeh,1999).

Area II yang berada di antara anoda dan katoda mengalami kondisi asam dengan nilai pH seimbang. Area II memiliki pH rata-rata 6, sehingga dimungkinkan di area II tersebut lebih dominan terpengaruh oleh area anoda dan katoda. Namun kenaikan pH pada Area I, II, III terus berlangsung sehingga pH masih dalam keadaan tidak jenuh., maka bisa dikatakan pada penelitian ini efektif pada jam ke-12.

Dari gambar 4.1 dapat dilihat pH pada setiap area semakin meningkat ini dikarenakan telah terjadi pergerakan dari ion-ion lain yang lebih dominan dan di area III pH bersifat konstan, karena yang diharapkan pada penelitian ini pH yang dihasilkan dalam keadaan konstan itu membuktikan bahwa penelitian pada Area III telah sesuai yang diharapkan.

Berikut adalah gambar hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area efektif, yang disesuaikan dengan data dari tabel 4.3 sampai 4.5 (Lampiran III)

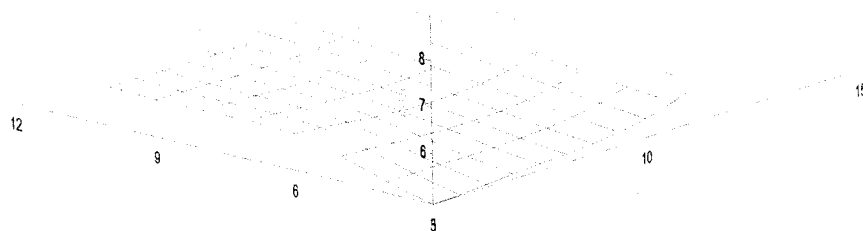


Gambar 4.2 Hubungan antara pH dengan waktu

Dilihat dari gambar 4.2 menunjukkan hubungan pH dengan waktu pada masing-masing area. Semakin lama waktu remediasi maka pH akan semakin naik. Pada area I (gambar 4.2) pH terus mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Area yang jaraknya 15 cm dari katoda ini memiliki kondisi awal netral dan setelah 12 jam terukur kondisinya berubah menjadi basa. Pada area II kondisi sebelum dan sesudah remediasi elektrokintik bersifat netral. Pada area III kondisi awal netral dan sesudah remediasi pH menjadi asam.

Kenaikan pH pada masing-masing area pada setiap waktunya terjadi karena konsentrasi seng yang ada pada setiap area berpindah atau bergerak menuju batang katoda. Katoda yang menyebarkan kondisi asam keseluruhan permukaan lumpur *leachate* hanya terjadi pada area III yang jaraknya 5 cm dari katoda. Lumpur *leachate* yang memiliki kondisi asam akan mempercepat pergerakan ion menuju katoda.

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, dibawah ini adalah grafik hubungan pH terhadap waktu pada area efektif secara 3 dimensi.



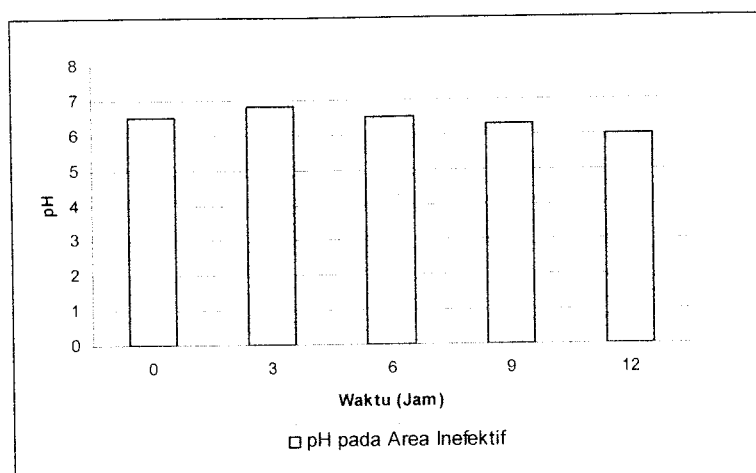
Gambar 4.3 Hubungan antara pH , jarak dan waktu di area I, II, III

Perubahan pH pada lumpur *lechate* tergantung pada jenis bahan kimia, kadar air dalam tanah, proses *electrolysis*, waktu *treatment* dan potensial elektrokimia. Arus listrik yang mengalir melalui elektroda juga mempengaruhi proses *electrolysis* di elektroda (Alshawabkeh,1999).

Dalam penelitian ini untuk Area I, II keadaan pH berbanding terbalik karena terjadi beberapa kesalahan salah satunya yaitu tidak adanya kontrol pH sedangkan pada area III sudah dalam keadaan asam. 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 untuk menetralkan ion hidroksida dan ion hidrogen (Willard,1997).

4.2.2 pH pada area inefektif.

Area inefektif berada pada area diluar anoda, yaitu area IV. Pengukuran pH dilakukan setiap 3 jam sekali pada masing-masing area menggunakan pH meter tanah. Berikut adalah gambar hubungan antara pH dan waktu di tiap-tiap area inefektif, yang disesuaikan dengan data dari tabel 4. 2 (Lampiran III)



Gambar 4.4 pH terhadap waktu pada area inefektif

Dilihat dari gambar 4.4 menunjukkan hubungan pH dengan waktu pada area inefektif. Pada waktu ke-0 pH awal diarea inefektif sebesar 6,5 masih dalam kondisi netral. Sedangkan pada waktu ke-3 terjadi kenaikan sebesar 6,8. Pada waktu ke-6 kondisi pH sama dengan waktu ke-0 yaitu sama-sama dalam kondisi netral. Pada waktu ke-9 dan waktu ke-12 terjadi penurunan sebesar 6,3 dan 6.

Dari gambar 4.4 diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area inefektif dengan kondisi awal netral dan semakin bertambahnya waktu kondisi pH menjadi asam, ini dikarenakan pada area inefektif terjadi reaksi oksidasi air yaitu pelepasan electron sebanyak $4e$ dan menghasilkan ion H^+ yang berarti bahwa pada area inefektif mengalami kondisi asam. Ion-ion dari zat terlarut dan ion-ion hydrogen maupun hidroksil (OH^-), berlomba-lomba

untuk melepaskan muatan mereka pada elektroda dan ion yang berhasil adalah ion yang memerlukan energi paling sedikit untuk melepaskan muatan (Setiono,1990).

Daya hantar larutan pada proses *electrolysis* ini disebabkan karena adanya pergerakan ion-ion yang apabila dialirkan aliran listrik akan bermigrasi ke arah ke elektroda yang muatannya berlawanan, karena adanya gaya elektrostatis. Pada penelitian ini yang mempengaruhi perubahan pH adalah area elektroda (anoda dan katoda) dan waktu juga sangat mempengaruhi kenaikan serta penurunan pH.

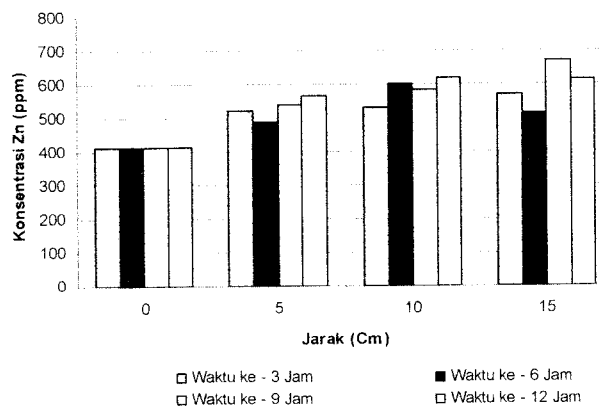
4.3 Konsentrasi Zn pada area efektif.

Seperti yang disebutkan sebelumnya, penelitian ini menggunakan lumpur *leachate* yang berasal dari TPA Piyungan Bantul. Berdasarkan hasil laboratorium konsentrasi seng awal menggunakan metode *Atomic Absorption spectrum* sebelum proses remediasi yang berada pada lumpur *leachate* sebesar 415,20 ppm. Pengambilan sampel lumpur *leachate* dilakukan selama 3 jam sekali pada titik sampling yang dapat dilihat pada gambar 3.5

Pengambilan titik sampling lumpur *leachate* dilakukan pada 2 area yaitu pada area efektif yang berada pada area anoda dan katoda dan area inefektif yang berada pada area inefektif

Dari tabel 4.6 sampai tabel 4.8 (Lampiran III) terlihat adanya perbedaan konsentrasi pada masing-masing titik sampling (area). Konsentrasi awal logam berat seng sebelum remediasi elektrokinetik adalah 415,20 ppm. Pada 3 jam pertama konsentrasi seng pada area I sebesar 364,40 ppm, pada area II konsentrasinya konstan sebesar 364,40 ppm dan area III naik menjadi 416 ppm. Pada pengukuran ke 6 jam, area I mengalami penurunan konsentrasinya sebesar 277 ppm, area II mengalami kenaikan menjadi 524,20 ppm dan pada area III terjadi kenaikan yang tidak terlalu mencolok menjadi 416 ppm. Pada pengambilan sampel ke 9 jam konsentrasi seng pada area I sebesar 542,40 ppm, sedangkan pada area II terjadi penurunan konsentrasi yaitu sebesar 408 ppm dan pada area III kembali naik konsentrasinya yaitu menjadi 449,20 ppm. Pada waktu ke 12 jam konsentrasi seng yang terdapat pada area I sebesar 446,20 ppm, pada area II konsentrasi seng mengalami kenaikan menjadi 458,20 ppm dan pada area ke III konsentrasi seng mengalami kenaikan yang tidak terlalu mencolok menjadi 418,80 ppm.

Dari tabel 4.6 sampai tabel 4.8 (Lampiran III) hasil pengujian konsentrasi seng dapat dibuat grafik-grafik hubungan antara konsentrasi dengan jarak untuk setiap waktu yang terlihat pada gambar 4.5 berikut ini:

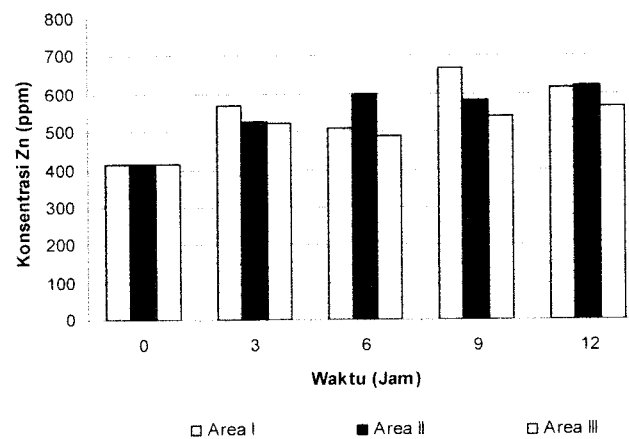


Gambar 4.5. Hubungan antara konsentrasi seng dengan jarak

Dari gambar 4.5 menunjukkan hubungan konsentrasi seng terhadap jarak untuk setiap interval waktu. Pada gambar tersebut dapat dilihat disetiap area berbentuk flat (datar) yang artinya konsentrasi normal atau tidak mengalami perubahan yang signifikan dikarenakan tidak mudahnya Zn bereaksi pada kondisi normal, sedangkan pada percobaan ini dengan cara elektroda (Elektrokinetik), sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

Menurut Will dan Cotton (1976), Zn mudah bereaksi dengan cara dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksida.

Selain itu dapat dibuat hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada masing-masing area yang terlihat pada gambar 4.6 berikut ini:



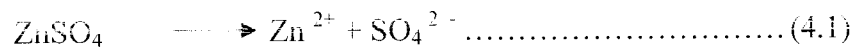
Gambar 4.6 Hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu

Pada gambar 4.6 di atas dapat dilihat pada Area I pada waktu ke 3 jam dan 6 jam terjadi penurunan konsentrasi Zn dan pada 9 jam dan 12 jam mengalami kenaikan yang drastis dikarenakan pergerakan ion-ion Zn^{2+} sedikit dan terjadi titik kejenuhan. Area II adalah area yang berada 10 cm dari katoda, dari gambar terlihat konsentrasi Zn terendah pada waktu ke 3 jam dikarenakan ion-ion Zn^{2+} yang bermigrasi menuju anoda terakumulasi di area sekitar anoda. Pada Area III untuk setiap pertambahan waktu konsentrasi Zn keadaannya datar (flat), yang artinya konsentrasi berjalan normal atau tidak mengalami perubahan yang signifikan sehingga remediasi tidak efektif ini dikarenakan tidak adanya perpindahan ion-ion Zn^{2+} dan disetiap titik mengalami kejenuhan.

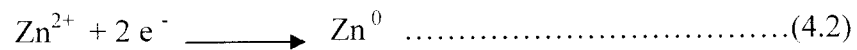
Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada masing-masing area. Fenomena di atas diindikasikan telah terjadi proses elektromigrasi dibawah pengaruh medan listrik.

Elektromigrasi adalah perpindahan ion-ion ke elektroda yang berlawanan karena pengaruh medan listrik. Ion-ion positif (kation) akan menuju atau menempel pada batang katoda ion-ion negatif (anion) akan menempel pada batang anoda, (Pack,1997).

Lumpur *leachate* akan mengalami 2 proses tahapan reaksi, yaitu yang pertama adalah:



Dan reaksi yang kedua adalah



Persamaan 4.1 merupakan reaksi pemecahan larutan ZnSO_4 yang terjadi karena adanya aliran listrik yang mengalir melalui elektroda-elektroda. Perubahan energi listrik menjadi energi kimia menyebabkan migrasi ion-ion menuju elektroda yang berlawanan. Proses migrasi ini akan menyebabkan reaksi reduksi dan oksidasi. Reduksi adalah reaksi yang terjadi pada katoda dimana akan terjadi pelepasan elektron. Pelepasan 2 elektron ini akan menyebabkan seng berubah menjadi netral (Zn^0) dan akan mengendap pada

sisi-sisi permukaan batang katoda. Sementara itu oksidasi adalah reaksi yang terjadi pada anoda dimana akan terjadi penerimaan elektron. Reaksi oksidasi tidak dapat terjadi pada SO_4^{2-} tetapi yang akan mengalami oksidasi adalah pelarutnya (air) dan pada akhirnya terbentuk gas oksigen.

Menurut Will dan Cotton (1976), Zn mudah bereaksi dengan cara dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksida.

Kenaikan konsentrasi Zn dikarenakan tidak mudahnya Zn bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar (rendah) tetapi Zn mudah bereaksi pada suhu ($110\text{-}150^\circ\text{C}$), sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

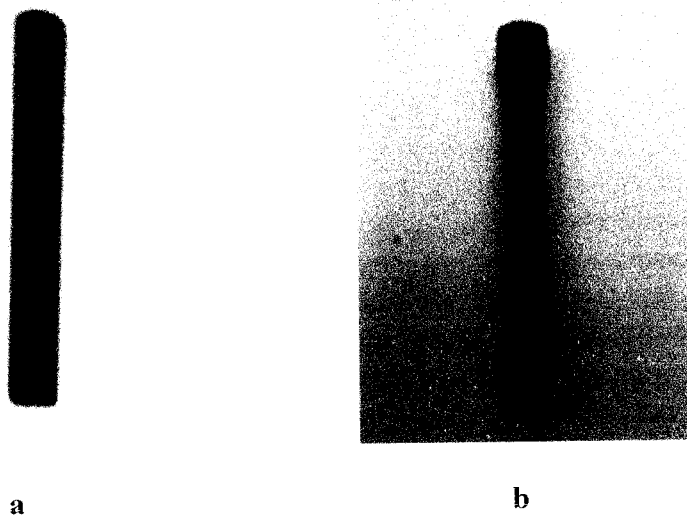
Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Oktobianto (2005) berdasarkan hasil analisis AAS terhadap serbuk baterai bekas yang umum digunakan diperoleh hasil bahwa dalam 1 unit baterai bekas mengandung 22,100 % Zn. Dalam batu baterai bekas mempunyai efisiensi energi cukup tinggi, dapat langsung dihasilkan logam murni.

Elektroda batang karbon yang mengandung unsur Zn ± (22,100%) belum dapat meremediasi asam seng pada lumpur *leachate* walaupun sebenarnya terjadi penguraian asam seng, tetapi juga terjadi pembentukan asam seng dari SO_4^{2-} yang terurai dengan Zn dari elektroda karbon tersebut.

Dari peristiwa tersebut mengalami pengikisan pada dinding-dinding luar batang karbon dan diameter batang karbon menjadi kecil sehingga

menyebabkan batang karbon ini tidak dapat bekerja maksimal untuk mereduksi dan mengendapkan logam seng.

Berikut ini disajikan gambar batang karbon sebelum proses remediasi dan sesudah proses remediasi.



Gambar 4.7 a. Batang karbon sebelum proses remediasi elektokinetik, b. Batang karbon sesudah proses remediasi elektokinetik

Selain karena hal di atas juga di karenakan terjadinya korosi atau karat pada besi yang menghantarkan arus listrik, hal ini di karenakan kondisi yang sudah jenuh, dan kandungan air yang terlalu banyak juga mempengaruhi besi tersebut.

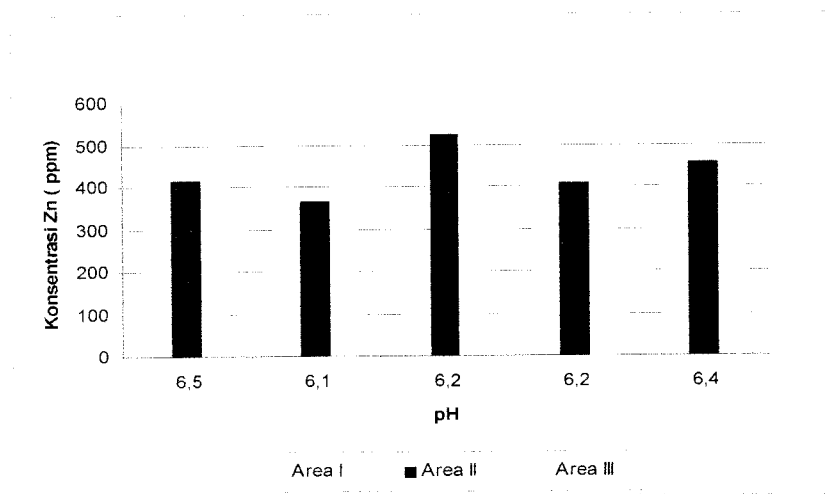
Pada penelitian ini penurunan logam Zn tidak terjadi secara linier karena elektroda karbon yang berdiameter 0,6 cm dan memiliki panjang 5 cm ini ternyata tidak mampu menarik ion-ion seng untuk menempel pada batang katoda dan homogenitas sampel yang tidak diketahui.

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

4.4 Hubungan konsentrasi Zn, pH dan waktu.

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

Dari tabel 4.9 sampai tabel 4.11 (Lampiran III) dapat dibuat gambar hubungan antara konsentrasi Zn dengan pH yang terlihat pada gambar 4.7 berikut ini:



Gambar 4.8 Hubungan konsentrasi dengan pH pada area I,II,III

Gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan pH pada masing-masing area. Fenomena yang terjadi adalah perubahan pH yang diikuti dengan perubahan konsentrasi seng. Pada area I kondisi lumpur *leachate* bersifat basa dengan pH tertinggi 7,4 yaitu pada waktu ke12 jam. Area yang berjarak 10 cm dari katoda mengalami kenaikan konsentrasi seiring dengan kenaikan pH lumpur *leachate* pada area ini bersifat netral dengan pH tertinggi sebesar 7,1 sedangkan pada area III mengalami hal yang sama dengan area II yaitu kenaikan konsentrasi dengan turunnya pH dan pada area ini lumpur *leachate* masih bersifat netral.

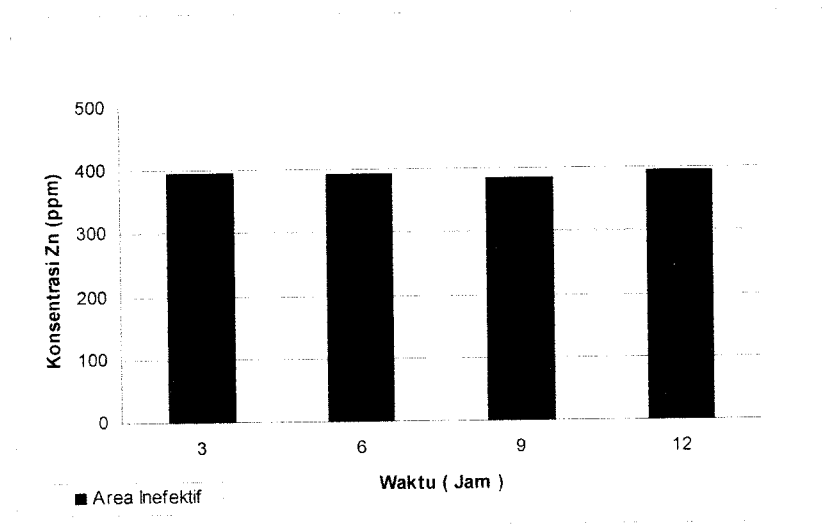
Perubahan pH yang tidak terlalu mencolok ini terjadi karena tidak adanya proses *electromigration* tidak hanya proses *electromigration* saja tetapi juga *electrolysis*. Sedangkan untuk kenaikan konsentrasi Zn diakibatkan karena tidak adanya *electrophoresis* dan migrasi ion.

Fenomena yang terjadi pada gambar 4.1 sampai 4.8 penurunan logam Zn tidak terjadi secara linear, ini dimungkinkan karena terdapat kesalahan dan kekurangan dalam penelitian ini. Kesalahan yang terjadi bisa jadi karena kondisi yang sudah jenuh dan tidak proporsionalnya elektroda yang digunakan serta Zn tidak mudah bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar / rendah tetapi Zn mudah bereaksi pada suhu (110-150 °C) sehingga penurunan konsentrasi Zn tidak efektif.

4.5. Konsentrasi seng pada area inefektif

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

Dari tabel 4.13 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi Zn dengan waktu yang terlihat pada gambar 4.9. dibawah ini :



Gambar 4.9. Hubungan antara konsentrasi seng dengan waktu pada area inefektif

Dari gambar 4.9 diatas, terlihat adanya perbedaan konsentrasi Zn pada masing-masing interval waktu. Pada 3 jam pertama, konsentrasi Zn sebesar 395,15 ppm dan konsentrasi Zn Pada 6 jam mengalami penurunan menjadi

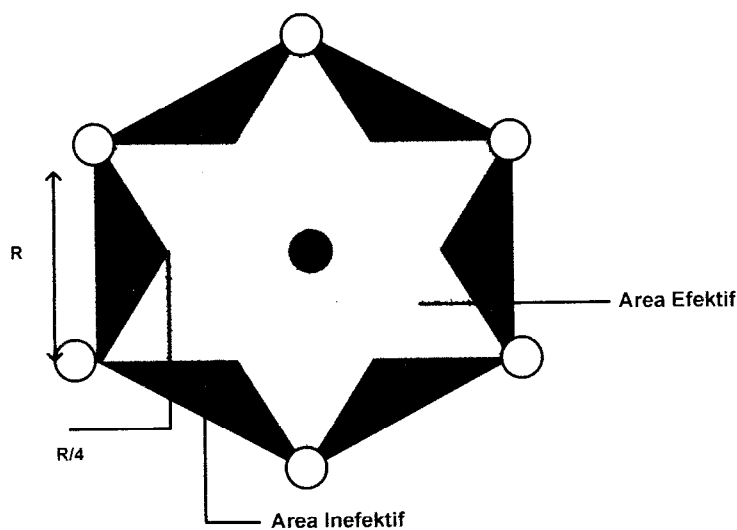
392,48 ppm. Penurunan konsentrasi terjadi pada 9 jam menjadi 385,23 ppm dan pada waktu 12 jam terjadi kenaikan sebesar 395,96 ppm.

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

Secara umum tujuan penerapan konfigurasi elektroda 2D adalah untuk mencapai aliran radial (*axi-symmetrical*). Katoda ditempatkan di tengah untuk memberikan akumulasi kontaminan Zn pada zona yang lebih kecil di sekitar katoda sedangkan anoda ditempatkan pada batas pinggir untuk memaksimalkan penyebaran lingkungan asam yang dibangkitkan oleh anoda dan meminimalkan perluasan lingkungan basa yang dibangkitkan oleh katoda. Titik-titik *inactiv* (mati) medan listrik dalam konfigurasi 2-D terbentuk, namun lebih kecil dibandingkan yang terbangun pada konfigurasi 1-D yang berisi garis paralel anoda dan katoda. Dalam konfigurasi 1-D, rapat arus lokasinya bebas, dalam konfigurasi 2-D, rapat arus bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda. Kuatnya medan listrik juga bertambah secara linier dengan jarak menuju katoda (Alshawbkeh, 1999).

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

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

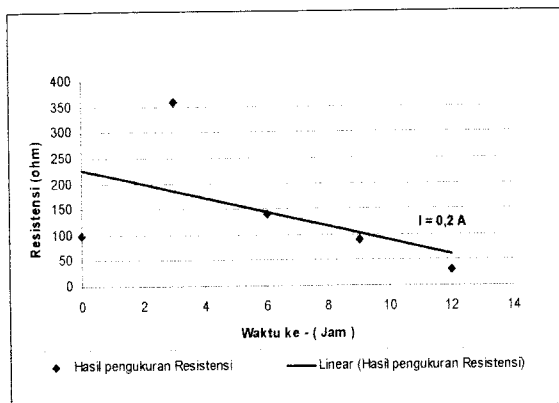


Gambar 4.10. Bentuk area efektif dan inefektif karena distribusi medan listrik (Alshawabkeh, 1999).

4. 6. Resistensi, arus dan voltase

Pengukuran resistensi dan arus dilakukan beriringan dengan pengukuran pH dan pengambilan titik sampel pada interval 3 jam selama 12 jam. Untuk pengukuran resistensi, power supply dimatikan. Data hasil pengukuran resistensi dapat dilihat pada tabel 4.14 (Lampiran III)

Dari tabel 4.10 dapat dibuat grafik hubungan antara resistensi dengan waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.1



Gambar 4.11 Hubungan antara resistensi dengan waktu

Gambar 4.11 menunjukkan hubungan antara resistensi dengan waktu selama proses remediasi berlangsung. Resistensi awal sebelum remediasi adalah 100Ω dan resistensi ini terus mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu dengan arus yang konstan, sebesar $0,2 \text{ A}$. Arus mempunyai keterkaitan dengan tegangan yang dialirkan dari *power supply*. Voltase yang dipakai pada penelitian ini ternyata tidak mampu menghasilkan hambatan yang cukup untuk menarik logam seng menuju batang katoda. Voltase yang dibutuhkan untuk setiap logam tidak dapat diukur dengan menggunakan rumus secara empiris, karena setiap logam memiliki resistensi yang berbeda satu sama lainnya. Sesuai dengan deret volta semakin kekanan maka tegangan yang dibutuhkan untuk mereduksi logam berat akan semakin besar. Untuk pemaksimalan migrasi logam-logam berat haruslah dilakukan

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

Pada 3 jam pengukuran pertama nilai resistensi sebesar 300Ω , 6 jam sampai 12 jam berturut-turut adalah 140Ω , 90Ω dan 30Ω . Penurunan resistensi ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi ion-ion positif logam-logam berat yang menuju katoda. Sesuai dengan pernyataan Bueche(1989), bahwa resistensi berbanding terbalik dengan luas penampang. Pengecilan luas penampang disebabkan karena pengendapan logam-logam berat yang telah direduksi menjadi logam-logamnya

4.7. Pengamatan terhadap fenomena yang terjadi



Gambar 4.12 Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi.

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa selama proses berlangsung terdapat perubahan yang terjadi pada lumpur *leachate* salah satunya yang terlihat adalah adanya perubahan warna, dimana lumpur *leachate* mula-mula berwarna hitam dan pada proses remediasi berlangsung seluruh permukaan lumpur *leachate* berubah menjadi coklat. Dari gambar 4.12 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 terakumulasi pada area katoda. Oleh karena itu pada area III terjadi perubahan warna yaitu warna coklat keemasan.

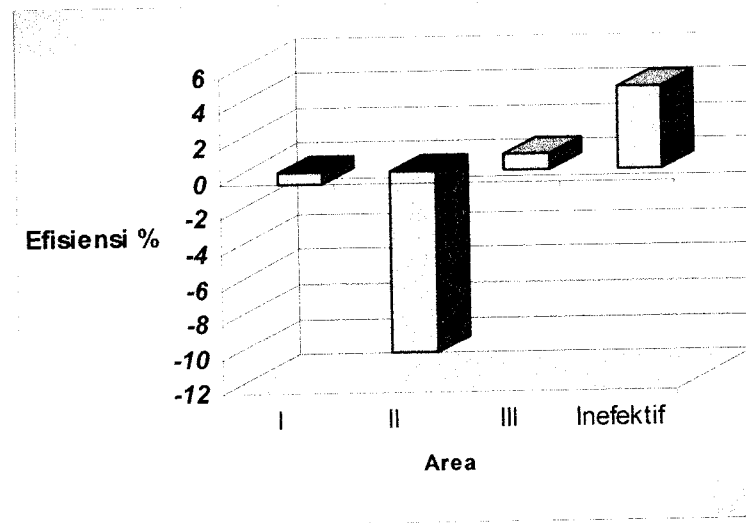
4.8. Efisiensi penurunan seng pada area efektif dan area inefektif

Nilai efisiensi konsentrasi Zn dapat diketahui dengan menggunakan rumus-rumus di bawah ini, data yang digunakan yaitu data penurunan konsentrasi Zn dapat dilihat pada (lampiran VII)

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

Dari perhitungan di atas telah didapatkan bahwa nilai efisiensi konsentrasi Zn tertinggi di area efektif terdapat pada area III yaitu sebesar

0,86 % sedangkan yang terendah terdapat pada area II yaitu -10,35 % . Pada area I nilai konsentrasi sebesar -0,76 % sedangkan untuk area infektif nilainya sebesar 4,63 % . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.13 di bawah ini :



Gambar 4.13 Nilai efisiensi konsentrasi Zn di setiap area

Pada gambar 4.13 di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi konsentrasi Zn di dalam area efektif yang terbesar adalah terletak pada area III yaitu 0,86 % Sedangkan yang terkecil terletak pada area II yaitu -10,35 % Penurunan konsentrasi seng tidak terjadi pada area II karena migrasi ion-ion seng dari area I berkumpul pada area II selama terjadinya proses elektrokinetik. Sementara itu, logam-logam Zn akan berlomba-lomba menuju katoda. Besarnya efisiensi pada area III disebabkan karena area ini memiliki

jarak yang terdekat dari batang katoda sehingga logam-logam Zn^{2+} akan lebih mudah tertarik menuju batang katoda.

Dari nilai efisiensi konsentrasi Zn terlihat nilai yang didapatkan sangat kecil ini berarti bahwa pada penelitian ini tidak efektif karena nilai efisiensi yang didapat dibawah 50 % padahal hasil yang diinginkan di atas 50 %.

Konsentrasi seng setelah proses remediasi elektrokinetik pada area efektif maupun pada area inefektif masih melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan oleh National Environment Protection Council 1999 yaitu untuk kedalaman tanah 0,2 m konsentrasi seng adalah sebesar 12,4 mg/kg dan dapat dilihat pada lampiran VI.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Efisiensi penurunan seng tidak efektif, pada area I dan area II sebesar $-0,746\%$ dan $-10,35\%$ dan area III sebesar $0,86\%$ ini dikarenakan seng tidak mudah bereaksi dengan cara elektrokinetik pada suhu kamar / rendah seng dapat bereaksi dengan baik pada suhu sekitar ($110-150^{\circ}\text{C}$), (Will dan Cotton, 1976).
2. Elektroda batang karbon yang mengandung unsur Zn $\pm 22,100\%$ didapat dari hasil penelitian yang dilakukan oleh (Oktobianto,2005) belum dapat meremediasi asam seng pada lumpur *leachate* walaupun sebenarnya terjadi penguraian asam seng, tetapi juga terjadi pembentukan asam seng dari SO_4^{2-} yang terurai dengan Zn dari elektroda karbon tersebut.
3. Fenomena yang terjadi pada lumpur *leachate* yaitu perubahan warna yang hanya terjadi pada area III yaitu berwarna coklat keemasan serta terjadi pengurangan air.
4. Turunnya resistensi seiring dengan bertambahnya waktu yang disebabkan karena sedikitnya perpindahan ion-ion logam seng dan logam-logam berat lainnya yang terdapat di dalam tanah menuju katoda.

DAFTAR PUSTAKA

- Acar, Y. B. and Alshwabkeh, A. N., 1993, *Principples of Electrokinetic Remediation, Environmental Science and Technology*, New Delhi, India.
- Acar, Y. B., Gale R. J., Putnam, G. A., Hamed, J. and Wong, R. L., 1990, *Electrochemical Processing of Soils*, Betlehem.
- Achmad, H, 1992, *Kimia Unsur Dan Radiokimia*, UI Press, Jakarta.
- Alloy and Folochier, 1976, *Tannery and polution*, Centre teqnique da cuir, France.
- Alshawabkeh, A. N., 1994, *Theoritical and Experimetal Modeling of Removing Contaminants from Soil by an Electric Field*, PhD Thesis, Lousiana State University, Baton Rouge
- Alshawabkeh, A. N., 1999, *Optimation of 2-D Electrode Configuration for Elektrokinetic Remediation*, *Juornal of Soil Contamination*, USA.
- Alshwabkeh, A. N., 2001, *Basic and Application of Elektrokinetic Remediation*, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ).
- Bird, T, 1987, *Kimia Fisik untuk Universitas*, Gramedia, Jakarta.
- Bueche, F.J., 1989, *Thoery and Problem of College Physics*, MacGraw Hill, Inc.

- Chan and Lynch, 2002, *Electroreclamation Applications in The Netherland's, Environmental Science and Technology*
- Clifton, P, Socparwadi M., dan Gani A, 1994, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu, Limbah Cair Berbagai Industri Di Indonesia.
- Darmono, 1995, Buku Kimia, Erlangga, Jakarta
- Damanhuri, E, 1993 Teknik Pembuangan Akhir, Bandung. Fakultas Sipil ITB
- Damayanti, D, 2005, Remediasi Elektrokinetik Dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D *Hexagonal* Pada Limbah Penyamakan Kulit yang Tercemar Logam Berat Kromium (Cr), UII, Yogyakarta.
- Djajadiningrat, 1992, Logam Berat, IPB, Bogor
- Echols, J. M., dan Shadily, H., 1990, Kamus Inggris Indonesia, PT. Gramedia, Jakarta.
- Epa, 1994, *Test Method for Evaluating Solid Waste*, Washington. DC.
- Efendi , 2003, Telaah Kualitas air “ Bagi Pengelolaan Sumber daya dan Lingkungan Perairan” Kanisius Yogyakarta.
- Evanko, C. R., 1997, *Remediation of Metals Contaminant Soil and Groundwater*, Groundwater Technology Analysis Centre, USA.

- Fatimah, S, 2004, Remediasi Elektrokinetik Dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D *Hexagonal* Pada Tanah yang Tercemar Logam Berat Khrom (Cr), UII, Yogyakarta.
- Hughes, M. N and Poole, R.K. 1989, *Metals and Microorganism*, Chapman and Hall, London.
- Irvandi, A, 2005, Remediasi Elektrokinetik Dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D *Hexagonal* Pada Tanah yang Tercemar Logam Berat Kadmium (Cd), UII, Yogyakarta.
- Johannes. H, 1978, *Listrik dan Magnet*, PN Balai Pustaka, Jakarta.
- Kim, 1998, *Kimia Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Manahan, 1972, *Sifat Fisik dan Kimia Tanah*, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Martopo, 1989, *Logam-logam Beracun*, Rineka Cipta, Jakarta
- Metcalf and Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, Mc. Graw Hill, USA.
- Oktobianto, D, 2005, Pengaruh Rapat Arus, Keasaman dan Konsentrasi Elektrolit Elektrowining Zn dari Larutan Hasil Lindi Baterai Kering, Departemen Pertambangan ITB, Bandung, Jawa Barat.
- Pack and Willard, 1997, *Electrokinetics as Method of Contamination Remediation*, Brigham Young University
- Pallar. H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineke Cipta, Jakarta.

- Pamukcu and Wittle, J, 1993, *Electrokinetic Treatment of Contaminated Soils, Sludges and Lagoons*, Final Rep.to Argonne National Laboratory.
- Pamukcu,. 1994. *Zinc Detoxification of Soils by Electroosmosis, Electrokinetic Phenomena in Soils*, Transportation Research Record, TRB, Washington, D.C.
- Parizek, 1978, *Soil for Plant*, Cornell University Press.
- Purnomo, E, 1985, *Teknologi Penyamakan Kulit*, ATK, Yogyakarta.
- Soemirat, J, 1994, *Kesehatan Lingkungan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tcobanoggloos, george, Thesen, Hylary and Eliassen, Rolf. (1997). *Solid Wastes Engineering Principles and management issues*. Tokyo. Mccgreaw Hill Kogakusha Ltd.
- Wardana, 1995, *Pencemaran Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Wilkinson, G, and Cotton, F.A 1976, "Kimia Inorganik Dasar", Imperial College of Science and Technology University of London, England.
- Wulfsberg, G., 1991, *Principles of Descriptive Inorganic Chemistry*, University Science books, California
- www.Chemicalelements.com/Zn, 2006

WIPPIA

LAMPIRAN I

ANALISIS PERCOBAAN AWAL MENGGUNAKAN LOGAM KROM

Percobaan Awal Menggunakan Logam Krom.

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

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

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

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

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

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

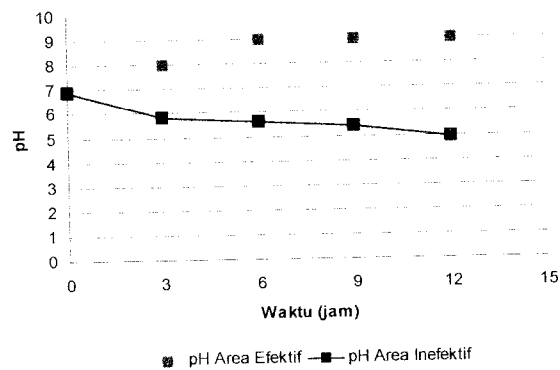
Waktu (jam)	pH
0	6,9
3	8
6	9
9	9
12	9

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

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

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

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

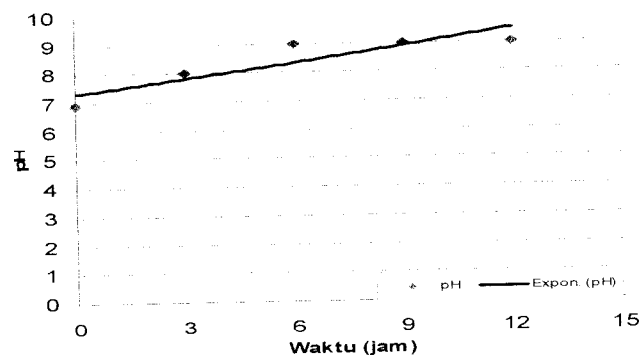


Gambar A.1. Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif dan area inefektif.

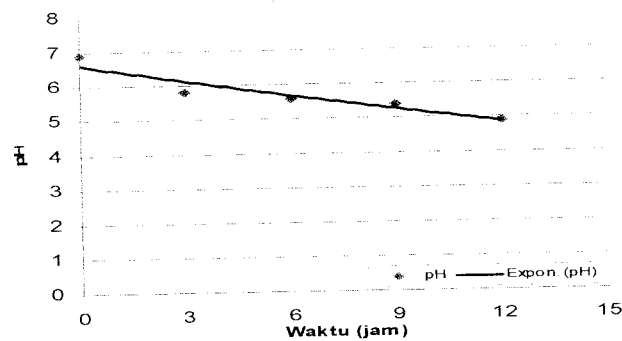
Dari gambar A.1 diatas dapat terlihat terjadi perubahan pH di area efektif dan area inefektif. Dari perubahan pH tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, bahwa telah terjadi reaksi-reaksi kimia pada area efektif dan area inefektif. Pada peneletian awal pH di area efektif dalam kondisi basa ini dikarenakan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

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

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



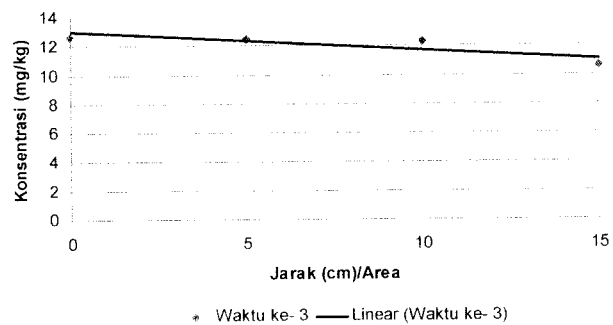
Gambar A.2 Hubungan pH terhadap waktu pada area efektif



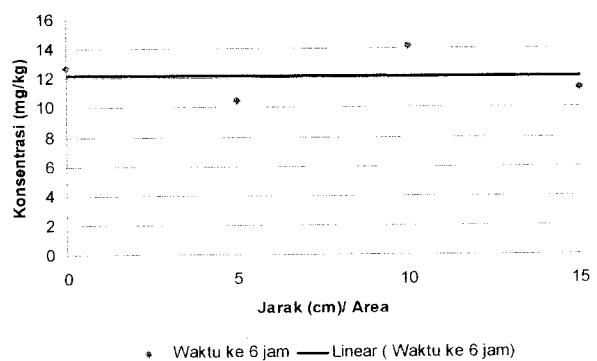
Gambar A.3 Hubungan pH terhadap waktu pada area inefektif

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

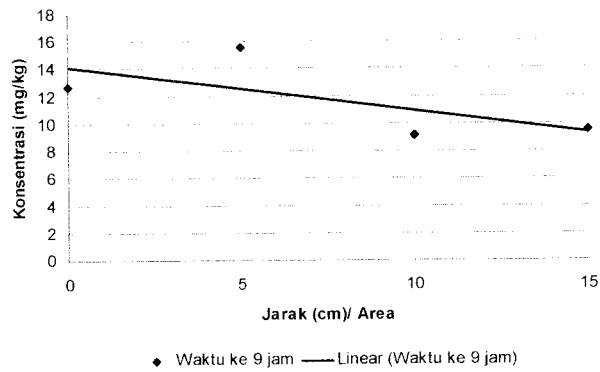
Dari data hasil pengukuran krom tersebut, dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak untuk setiap interval 3 jam yang dapat dilihat pada gambar B.1 sampai gambar B.4 di bawah ini.



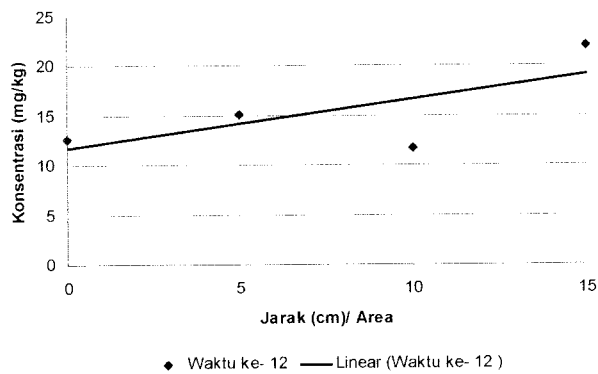
Gambar B.1. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke-3 jam



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

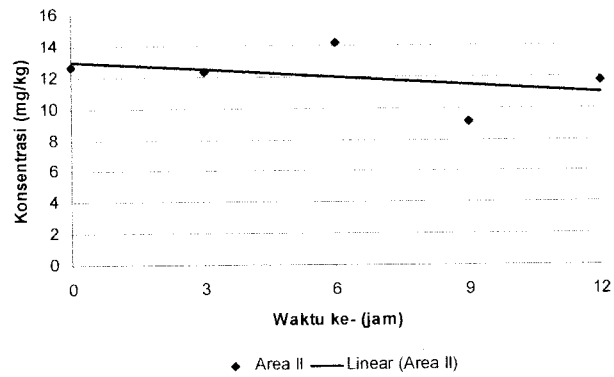


Gambar B.3. Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 9 jam

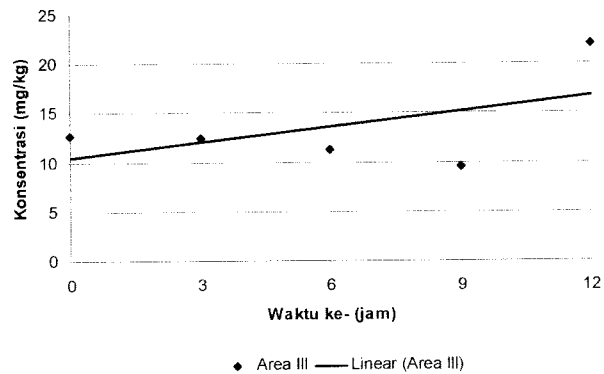


Gambar B.4 Hubungan antara konsentrasi krom dengan jarak pada waktu ke- 12 jam

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



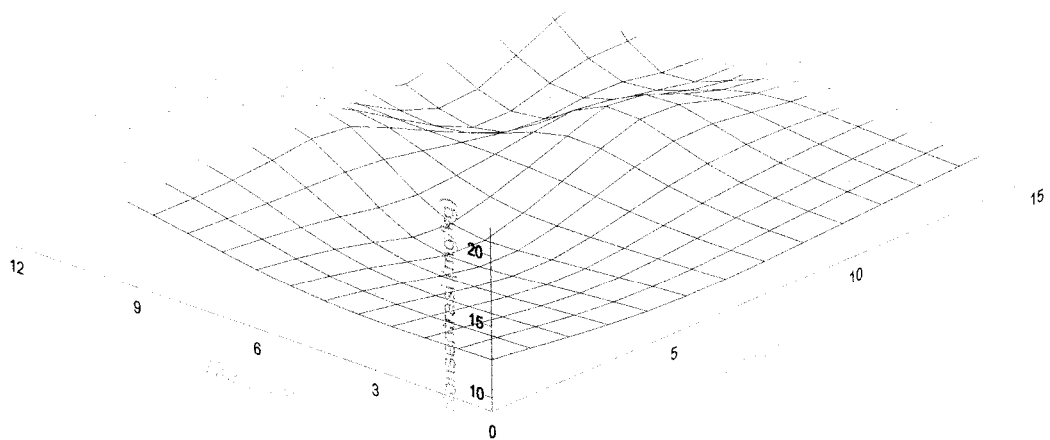
Gambar B.6. Hubungan antara konsentrasi dengan waktu pada area II



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

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

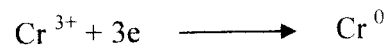
Di bawah ini disajikan grafik hubungan antara konsentrasi, waktu dan jarak yang terlihat pada gambar B.8 di bawah ini.



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

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

Adapun reaksi reduksi pada katoda adalah :



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

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

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

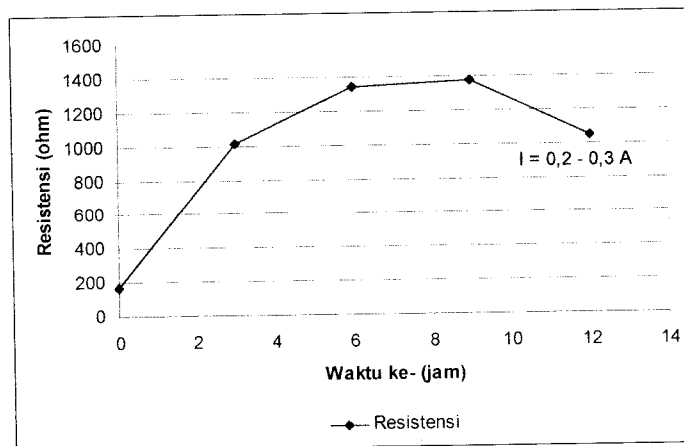
C. Hasil Analisis Arus dan resistivitas

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

Tabel C.1. Hasil pengukuran pada arus dan resistensi

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

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



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

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

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

D. Kesimpulan

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

E. Perhitungan Pembuatan Larutan Cr sebagai Kontaminan

a. Larutan kimia yang dipakai adalah Cr_2O_3 60%.

b. Berat Cr_2O_3 yang digunakan 30 gr.

c. Berat sample tanah :

- Berat tanah = 30 kg

- Berat air = 1 liter = 1 kg

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

$$= \frac{52}{152} \quad \times 30 \text{ gr} \times \frac{60}{100}$$

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

e. Konsentrasi Cr dalam tanah :

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

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

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

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

F. Hasil Pengukuran Arus dan Resistensi Percobaan Awal Menggunakan Krom

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

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

1. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

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

2. Hasil Pengukuran pH pada Area Efektif.

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

LAMPIRAN II

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

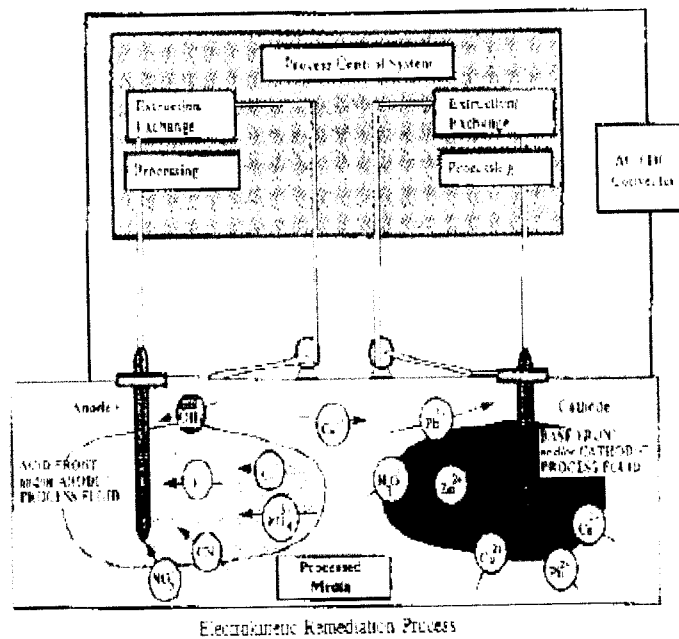
2.1.1 Studi Terdahulu

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

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

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

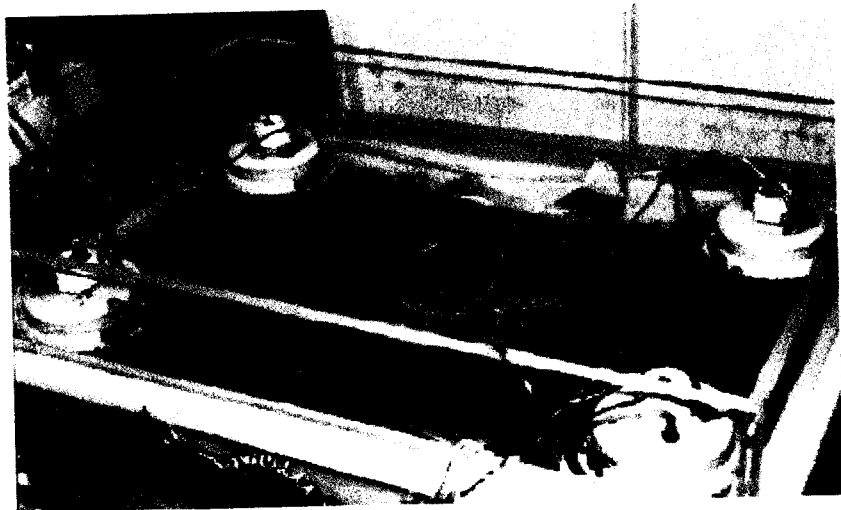
jenuh juga pasir tersimpan. Lead dan tembaga juga dipindahkan dari sedimen dengan cara dikeruk. Perawatan efisiensi tergantung pada bahan-kimia yang spesifik, konsentrasi dan kapasitas lahan. Teknik ini membuktikan 85 dari 95% efisien untuk memindahkan zat asam karbol pada konsentrasi 500 ppm. Sebagai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



Gambar 2.1 Proses Elektrokinetik pada Tanah

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

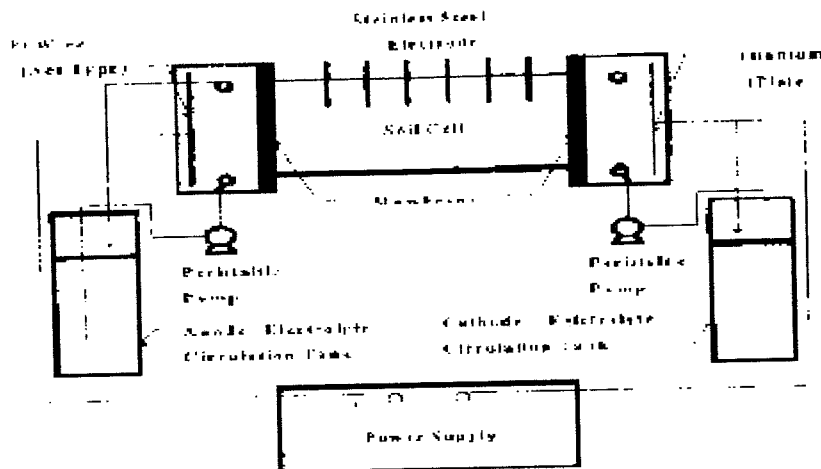
Logam bersifat ion seperti air raksa dan uranium pindah bergerak melalui tanah ketika diperlakukan ke suatu medan elektrik yang dikenakan. Peristiwa Electrokinetic ini dapat menarik kontaminan uranium dan menghalangi penangkapan uranium untuk disposal yang terjadi secara umum. *Extractants* digunakan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



Gambar 2.2 Sistem Remediasi Elektrokinetik Untuk Tanah yang Terkontaminasi Metals.

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

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



Gambar 2.3 Enhanced Electrokinetic Remediation for Removal of Organic Contaminants

2.1.1.4 Remediasi Elektrokinetik dengan Model Konfigurasi Elektroda 2-D

Hexagonal pada Tanah Yang Terkontaminasi Logam Berat Khrom (Cr) [Siti Fatimah, 2004].

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

LAMPIRAN III

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran pH pada Area efektif

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

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran pH pada Area Inefektif

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

Tabel 4.3. Hasil pengukuran pH pada area I

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

Tabel 4.4. Hasil pengukuran pH pada area II

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

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

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

Tabel 4.6. Konsentrasi Zn rata-rata pada area I

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

Tabel 4.7. Konsentrasi Zn rata-rata pada area II

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

Tabel 4.8. Konsentrasi Zn rata-rata pada area III

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

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

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

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

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

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

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

Tabel 4.12. Konsentrasi seng awal dan yang menempel di katoda

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

Tabel 4.13. Konsentrasi Seng pada Area inefektif

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

Tabel 4.14. Hasil pengukuran resistensi pada masing-masing anoda

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

LAMPIRAN IV

Hasil Pengukuran Arus dan Resistensi pada Tanah yang Tercemar

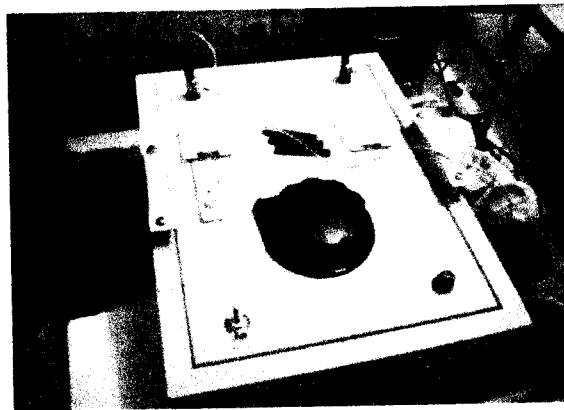
Logam Seng

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

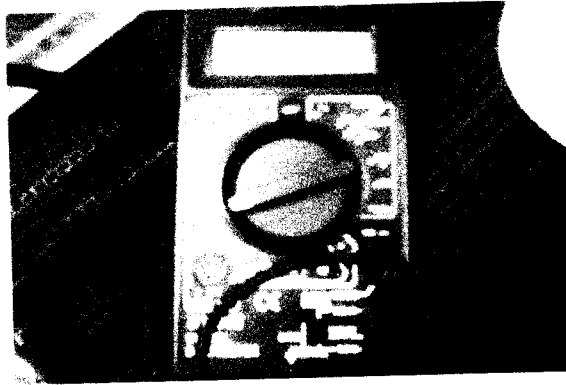
LAMPIRAN V
DOKUMENTASI PENELITIAN



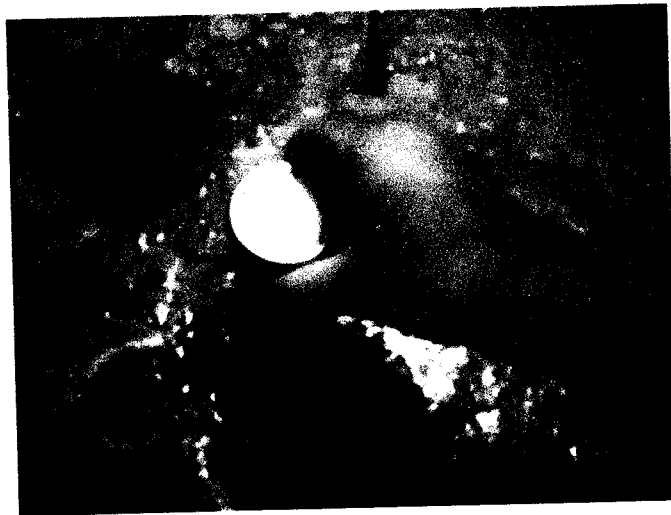
Gambar V.1. Peralatan remediasi elektrokinetik



Gambar 1. *Power supply*



Gambar 2. Multitester



Gambar V.2. Pengukuran pH remediasi elektrokinetik



Gambar 7. Perubahan warna yang terjadi selama proses remediasi berlangsung

LAMPIRAN VI

Ambang Batas Konsentrasi Logam Berat Yang Terdapat Di Dalam Tanah

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

Sumber : National Environment Protection Council, 1999

LAMPIRAN VII

Nilai efisiensi konsentrasi Zn pada area efektif dan area inefektif

↓ Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area I

$$\begin{aligned} E &= \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \\ &= \frac{415,20 \text{ ppm} - 446,20 \text{ ppm}}{415,20 \text{ ppm}} \times 100\% \\ &= -0,746\% \end{aligned}$$

↓ Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area II

$$\begin{aligned} &= \frac{415,20 \text{ ppm} - 458,20 \text{ ppm}}{415,20 \text{ ppm}} \times 100\% \\ &= -10,35\% \end{aligned}$$

↓ Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area III

$$\begin{aligned} &= \frac{415,20 \text{ ppm} - 418,80 \text{ ppm}}{415,20 \text{ ppm}} \times 100\% \\ &= 0,86\% \end{aligned}$$

↓ Nilai efisiensi konsentrasi Zn di area inefektif

$$\begin{aligned} &= \frac{415,20 \text{ ppm} - 395,96 \text{ ppm}}{415,20 \text{ ppm}} \times 100\% \\ &= 4,63\% \end{aligned}$$