

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 kesarjanaaan 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

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

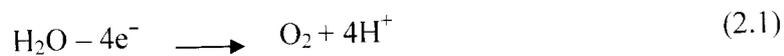
menggunakan biaya yang rendah dan sangat potensial digunakan untuk berbagai tipe kontaminan.

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 dipisahkan tersebut akan mendekati elektroda atau mengalami reaksi pada elektroda, dimana logam-logam pencemar naik ke arah elektroda atau melepaskan komponen yang berbentuk gas. Perubahan pH karena pengaruh arus merupakan reaksi elektrolisis pada elektroda. Terjadi oksidasi air pada anoda dan menghasilkan ion-ion hidrogen (H^+). Ion-ion H^+ (persamaan 1) tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion hidroksil (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* adalah proses transport air dalam jumlah besar yang terus

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

- 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:

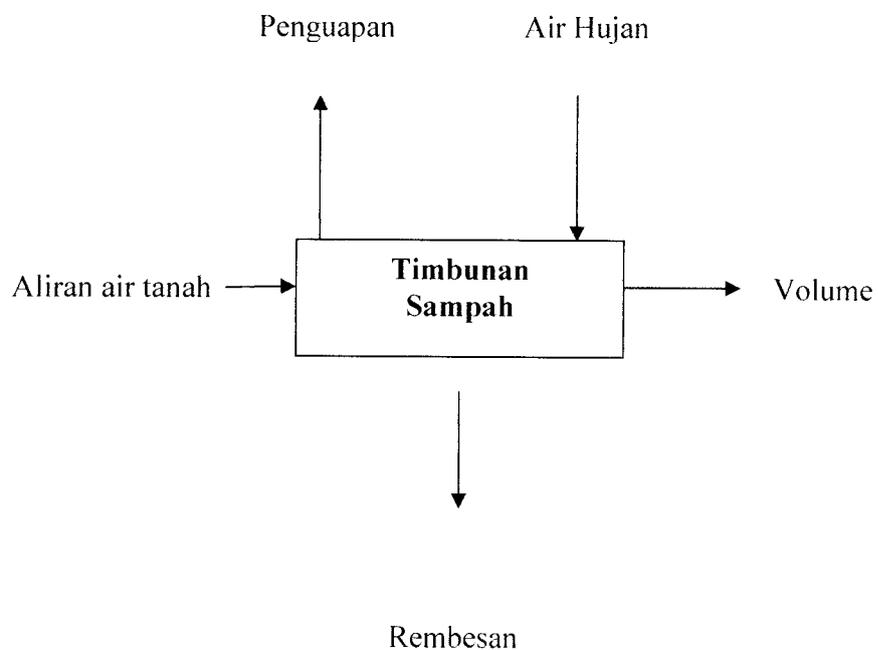
- a. Karakteristik sampah (organik/anorganik, mudah tidaknya terurai, mudah larut atau tidak)
- b. Hidrologeologi lokasi penimbunan sampah
- c. Klimatologi
- d. Kondisi TPA : umur timbunan sampah, kelembaban, temperatur
- e. Sifat air yang masuk ketimbunan sampah
- f. Jenis operasi yang dilakukan ditempat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

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

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

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

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.

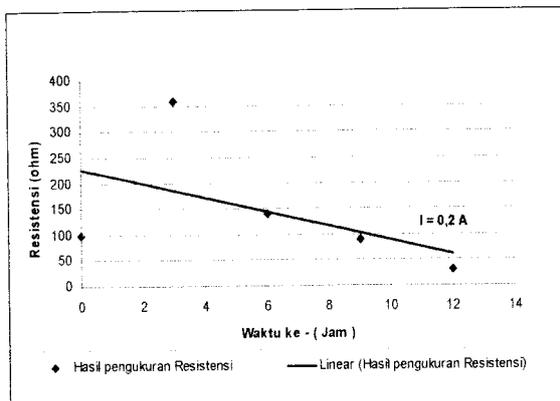
Menurut Will dan Cotton (1976), Zn mudah bereaksi dengan cara dipanaskan dalam O_2 menghasilkan oksida.

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



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

5.2. Saran

1. Penambahan larutan buffer pada tanah dalam proses remediasi elektrokinetik dapat membantu mempertahankan pH.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut menggunakan elektroda yang lebih besar, yaitu panjang elektroda sama dengan kedalaman tanah yang akan diremediasi.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai remediasi elektrokinetik dengan menggunakan pemanas dalam suhu tinggi.
4. Untuk penelitian berikutnya pemilihan voltase listrik harus dilakukan beberapa kali percobaan sehingga akan dihasilkan arus yang sesuai untuk menarik logam menuju katoda.
5. Untuk penelitian berikutnya jarak antara katoda dan anoda diperkecil menjadi 10 cm atau variasi jarak area, sehingga didapat penurunan konsentrasi logam berat yang optimal.

- 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