

NO : TA/TL/2006/0140

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	2 Mei 2007
NO. JUDUL :	60 24 14
NO. INV. :	5720002417001
NO. INDUK. :	

## TUGAS AKHIR

# REMEDIASI ELEKTROKINETIK *TAILING* EMAS (Cu) MENGUNAKAN ELEKTRODA 2-D *HEXAGONAL* DARI KOKAP KULON PROGO YOGYAKARTA

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian  
persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Lingkungan



Oleh :

Nama : NUR EVI OKTAVIANI

No. Mhs. : 01513095

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

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

REMEDIASI ELEKTROKINETIK *TAILING* EMAS (Cu)  
MENGUNAKAN ELEKTRODA 2 – D *HEXAGONAL* DARI KOKAP  
KULON PROGO YOGYAKARTA

Nama : NUR EVI OKTAVIANI  
No. Mahasiswa : 01 513 095  
Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

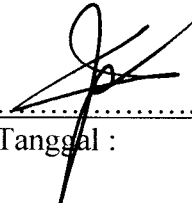
Dosen Pembimbing I

Luqman Hakim, ST, Msi

.....  
Tanggal :

Dosen Pembimbing II

DR. Ir. Sismanto, MSC

  
.....  
Tanggal :

## MOTTO

*If we just worry about the big picture, we are powerless so my secret is to  
start right away doing whatever little work if I can do  
I try to give joy to one person in the morning and remove the suffering of  
one person in the afternoon  
That's the secret! Start right now...*

*- Sister Chan Khong-*



## *Halaman Persembahan*

*Dengan segenap keagungan dan penghormatan yang ku miliki,  
Dengan segala tetes keringat yang ku perjuangkan,  
Dan dengan seluruh pikiran dan jiwa yang ku punya,  
Kukan melangkah meraba hari esok..*

*Ayah...*

*Tiada henti beliau mencurahkan segala kemampuan hingga ku dewasa  
Tak kenal malam engkau habiskan seluruh hari mu tuk memikul beban  
Dan kini ku berdiri untuk membantumu  
You are the greatest one that i ever had...*

*Ibu...*

*Setiap hari kau dengarkan ku berkeluh  
Setiap detik ataupun menit kaupun slalu meletakkan diri untukku  
Dan saat ini ku kan telusuri segala mimpiku  
I dont wanna lost you..Keep beside me Mom...*

*Maz Gendutku...*

*Slalu terdengar ditelingamu sgala rengekanku  
Dan saat itu pula kau coba bantu ade chantique mu ini  
I can be what i want and you always support me...*

*Ade Gembul...*

*Hidup kadang ga seperti yang kita inginkan  
Tapi percayalah  
Selera yang bagus tidak membutuhkan banyak uang  
Always be my luvly little brother...*

*Terima kasih karena kalian adalah hidupku...  
Rawatlah selalu rumput dihalaman kita...  
Dengan segenap cinta dan kasih sayang yang kita miliki...  
Thank you for doing anything in this world to me...*

## **My sister 'mba dewi' wanna be**

*Banyak cintamu merangkul hidupku*

*Kadang kau pun tak sengan sisakan waktu tuk temani hariku*

*Terima kasih mba*

*Tetaplah menjadi k2 ku tersayang...*

*Sahabat-sahabat tercintaku*

*Kadang ku membuat hari-hari kalian dipenuhi kekesalan*

*Tapi sungguh,*

*Tak ada maksudku tuk lukai*

*Bayak canda tawa kita habiskan bersama*

*Dan ga sedikit kita tangisi hari-hari kita*

## **K2 twety, k2 tiger, dan Serly..**

*5 tahun kita habiskan waktu bersama*

*Beriringan menelusuri kampus*

*Dan belajar mengerti arti dari pengetahuan..*

*"Harapan adalah benda bersayap yang bertengger di dalam jiwa..."*

*Terima kasih sobat*

*Kalian telah menjadi bagian yang terbaik dalam hidupku...*

*Kalian telah menjadi apa yang tak semestinya...*

*Kahadiran kalian akan terus mewarnai hidupku...*

*Kemaren, sekarang dan esok..*

*Crita tentang kita akan selalu terkenang...*

# KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan berkahNya, sehingga penulis telah berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Remediasi Elektrokinetik Menggunakan Elektroda 2-D Hexagonal Pada Tanah Pertambangan Emas Yang Mengandung Tembaga (Cu) di Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo Yogyakarta.

Adapun maksud dan tujuan tugas akhir ini adalah untuk diajukan guna memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Atas tersusunnya tugas akhir ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Drs. Edy Suandi Hamid, MEd** selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. **Bapak Dr. Ir. H. Ruzardi, MS** selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. **Bapak Luqman Hakim, ST.Msi** selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan sekaligus dosen Pembimbing I Tugas Akhir.

4. **Bapak Dr. Sismanto** selaku dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
5. **Bapak Eko Siswoyo, ST** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan dan Penanggung Jawab Tugas Akhir.
6. **Ir. H. Kasam, MT, Bapak Hudori, ST, Bapak Andik Yulianto, ST,** selaku dosen pengajar Jurusan Teknik Lingkungan.
7. **Mas Agus Adi Prananto, SP** selaku staf Jurusan Teknik Lingkungan.  
(Matur nuwun ya Mas...)
8. **Mas Iwan,** selaku pembimbing di laboratorium selama penelitian.
9. **Mba Yanti,** selaku penguji laboratorium di BLK
10. **Gendut, dita dan rahma,** makasih ya udah temani ak sejak kita sma dulu Perpisahan bukan akhir dari segalanya sayang. Keep contact ya honey...
11. Teman-teman aku seangkatan (**Nial, Rince, Mail, Jatu, Cenung, Doel, Indras, Fikar, Pipit, Kalvi, Penny, dede, dan yang lainnya**) Thanks for being my friends...
12. **Gogong dan krucil,** maksih udah jadi teman baik aku dari sma dulu
13. **Maz Aik dan maz Kus,** banyak kita sharing sama-sama dan banyak juga aku temukan sesuatu yang berharga, jangan pernah letih ya maz jadi kakak aku. I need you to be my closed friend.
14. **K2,** Take Care y huney..walaupun kita jauh tapi kita selalu jadi saudara ya
15. **Mama ve, Papa kim-kim, mb met-met, maz mwuah-mwuah, maz kentir** dulu kita saling mengisi, sekarang kita saling mengingat. Epot ga akan lupain kalian. You are the mesmerize thing.

16. **Lia, Rani,** ternyata kita masih jodoh ya..dari smp dulu sampai sekarang masih sobatan. Luv you all..
17. **Teman-teman aku yang sudah lulus,** kalo pada kerja jangan lupa ya..Hope your day full of Success.
18. **Seseorang yang pernah mengisi hidupku,** kadang keinginan tak sejalan dengan kenyataan dan sering kali kita terpisah karena takdir. Thanks for everything that we have done..
19. **Dede,** makasih ya udah bantuin aku dalam segala hal.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan bermanfaat untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca tugas akhir ini.

***Wassalamu'alaikum Wr.Wb***

Yogyakarta, Desember 2006

Penyusun

Nur Evi Oktavianti



# **The Electrokinetic Remediation used Electroda 2-D Hexagonal of Cooper (Cu) contaminated mining soil at Kokap Kulonprogo**

**Yogyakarta**

Luqman Hakim<sup>1)</sup>, Sismanto<sup>2)</sup>, Nur Evi Oktavianti<sup>3)</sup>

## **ABSTRACT**

*Public mining area at Sangon Kokap Kulonprogo is still done traditionally by amalgamation. The process mining produced an environment pollution. The equipment consists of a drum or a barrel that is locally named gelundung or tromol by adding mercury (Hg) of dissociation amalgamation. To get the pure gold, gold contents of Cu and other metals are burning that called bullion. Cu is dissolved by water in purification process of gold, so that the tailing contain high Cu<sup>2+</sup> concentration. The handle of the tailing was done simply by flowing to a river.*

*To handle pollution of Cu pollution, we used electrokinetic remediation process. Electrokinetic remediation is done by using 40 Volt and 0,2A Direct Current electricity for 15 hours. In order the Cu metal can migrate to electrode. The electrodes are 7 carbons with length 6 cm and diameter of 0,8 cm. The configuration of the electrodes is 2D hexagonal one electrode (cathode) is located in the center and the others (anode) located in surrounding of cathode by spacing of 15 cm in glass box (1 x 1 x 1)m that filled by contaminated soil 312,5 kg.*

*The Result research shows, there isn't pH changes (pH = 3,5 , constant) due to high buffer and the efficiency of concentration are 97,45 % at 15 cm, 98,02% at 10 cm and 60,68 % at 5 cm from cathode.*

**Keywords :** Cooper (Cu), remediasi elektrokinetik, migration

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>2</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

**REMEDIASI ELEKTROKINETIK TAILING EMAS (Cu) MENGGUNAKAN  
ELEKTRODA 2-D HEXAGONAL DARI KOKAP KULONPROGO  
YOGYAKARTA**

Luqman Hakim<sup>1)</sup>, Sismanto<sup>2)</sup>, Nur Evi Oktavianti<sup>3)</sup>

**INTI SARI**

*Penambangan emas rakyat di Sangon Kokap Kulonprogo dilakukan masih sangat tradisional yaitu dengan cara amalgamasi. Proses pengolahan emas memungkinkan terjadinya pencemaran terhadap lingkungan hidup. Alat yang sering digunakan untuk proses amalgamasi ini umumnya berbentuk drum atau barrel dan sering dinamakan gelundung atau tromol dengan penambahan merkuri (Hg) (Amalgam). Untuk mendapatkan Au yang murni Au dipisahkan dari kandungan Cu dan logam-logam lainnya dengan cara dibakar, inilah yang disebut bullion. Kandungan Cu tersebut larut bersama air pada proses pemurnian emas, sehingga limbahnya mengandung Cu<sup>2+</sup> yang tinggi. Penangan tailing dilakukan secara sederhana dengan kolam penampungan tanpa dilakukan pengolahan yang baik, dimana limbah cairnya dialirkan ke sungai.*

*Untuk menangani pencemaran Cu, peneliti menggunakan proses remediasi elektrokinetik. Remediasi elektrokinetik merupakan salah satu upaya yang dilakukan dengan menggunakan tegangan 40 Volt dan 0,2A DC selama 15 jam agar Cu dapat bermigrasi ke elektroda.. Selain itu digunakan 7 batang karbon dengan panjang 6 cm dan diameter 0,8 cm sebagai elektroda yang disusun dengan konfigurasi 2D hexagonal dengan jarak antar elektroda 15cm dengan 1 batang karbon sebagai katoda yang diletakan ditengah dan yang lainnya sebagai anoda mengelilingi katoda tersebut yang ditempatkan pada bak dari kaca berukuran (1 x 1 x 1)m. Bak tersebut diisi dengan tanah sebanyak 312,5 kg.*

*Hasil penelitian menunjukkan tidak terjadi perubahan pH (pH = 3,5, konstant) yang dikarenakan banyaknya buffer yang berlebih, dan efisiensi konsentrasi adalah 97,45 % pada jarak 15 cm, 98,02 % pada jarak 10 cm dan 60,68 % pada jarak 5 cm dari katoda.*

**Kata kunci :** Cooper (Cu), remediasi elektrokinetik, bermigrasi.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>2</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

<sup>3</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>INTI SARI</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Manfaat Penelitian.....	6
1.5. Batasan Masalah.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
2.1. Logam-Logam Dalam Batuan dan Tanah.....	8
2.2. Usaha Pertambangan Bahan Galian.....	15
2.3. Penggolongan Bahan Galian.....	17
2.4. Pengolahan Bijih Emas Pada Daerah Kokap Kulonprogo.....	18
2.5. Proses Pemurnian Emas.....	22
2.6. Prakiraan Dampak Lingkungan Tambang Emas Rakyat di Kokap Kulonprogo.....	24
2.7. Buangan Penambangan Emas Rakyat di Kokap Kulonprogo.....	25
2.8. Sumber Pencemaran Industri Penambangan Emas Rakyat di Kokap Kulonprogo.....	25
2.9. Kondisi Geografis.....	26

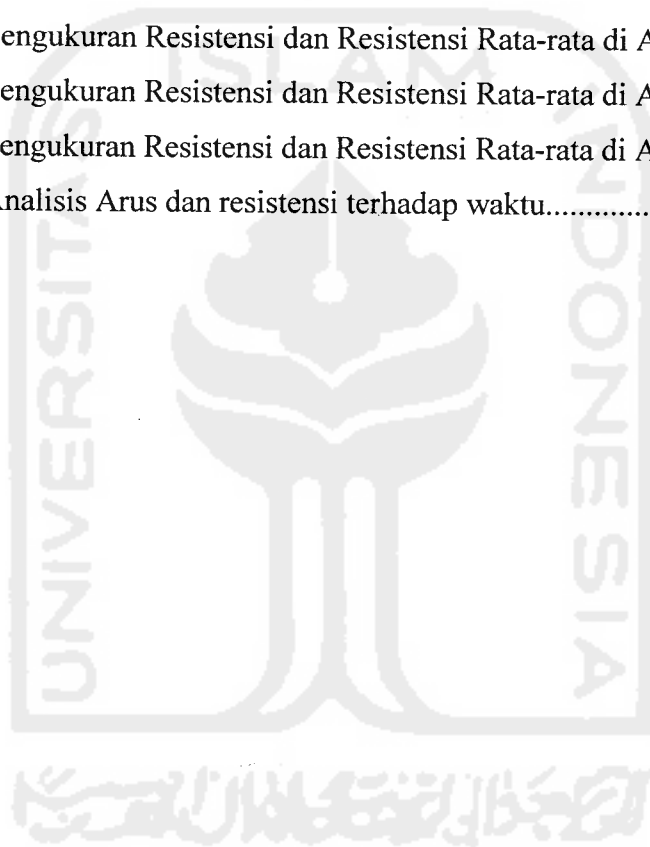
2.10.	Geologi Daerah Kokap Kulonprogo.....	27
2.11.	Tembaga (Cu).....	29
2.11.1.	Tembaga (Cu) pada lingkungan pertambangan.....	30
2.11.2.	Dampak tembaga (Cu) terhadap lingkungan dan kesehatan.....	31
2.12.	Deskripsi Elektrokinetik.....	32
2.12.1.	Cara kerja elektrokinetik.....	34
2.12.2.	Pertimbangan khusus dari elektrokinetik.....	36
2.12.3.	Keunggulan elektrokinetik.....	36
2.12.4.	Kelemahan elektrokinetik.....	37
2.13.	Remediasi Tanah.....	38
2.14.	Remediasi Elektrokinetik.....	39
2.15.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Remediasi Elektrokinetik.....	43
2.15.1.	Tipe kontaminan dan konsentrasi.....	43
2.15.2.	Tingkatan voltase dan arus.....	43
2.15.3.	Kimia effluen.....	43
2.16.	Elektroda-elektroda.....	44
2.16.1.	Jenis-jenis elektroda.....	44
2.16.2.	Reaksi-reaksi pada elektroda.....	45
2.16.3.	Sifat-sifat elektroda.....	47
2.16.4.	Potensial elektroda.....	48
2.17.	Landasan Teori.....	49
2.18.	Hipotesis.....	51

<b>BAB III</b>	<b>METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>52</b>
3.1.	Lokasi Penelitian.....	52
3.2.	Waktu Penelitian.....	52
3.3.	Metode Pengumpulan Data.....	52
3.4.	Metode Penelitian.....	53
3.4.1.	Pra Penelitian.....	53
3.4.2.	Tahap Penelitian.....	55

3.4.3	Analisa Data.....	57
3.5.	Desain.....	57
3.5.1.	Kebutuhan elektroda.....	57
3.5.2.	Desain titik sampling.....	60
3.5.3.	Desain reaktor.....	61
3.5.4.	Desain wadah dan berat tanah.....	62
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN.....</b>		<b>63</b>
4.1.	pH pada area efektif.....	63
4.2.	Konsentrasi Cu pada area efektif.....	66
4.3.	Konsentrasi Cu pada area inefektif.....	72
4.4.	Nilai efisiensi konsentrasi Cu.....	73
4.5.	Arus dan Resistensi.....	76
4.5.1.	Resistensi terhadap waktu.....	76
4.5.2.	Arus dan resistensi terhadap waktu.....	77
4.6.	Fenomena Yang Terjadi.....	80
<b>BAB V KESIMPULAN dan SARAN.....</b>		<b>82</b>
5.1.	Kesimpulan.....	82
5.2.	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....		85
LAMPIRAN.....		91

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b>	Perbandingan kebutuhan Elektroda Tiap-tiap Konfigurasi.....	59
<b>Tabel 4.1.</b>	Hasil analisis pH.....	lampiran 5
<b>Tabel 4.2.</b>	Hasil Analisis Konsentrasi Cu dalam Tanah pada Area Efektif.....	lampiran 6
<b>Tabel 4.3.</b>	Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 1.....	lampiran 6
<b>Tabel 4.4.</b>	Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 2.....	lampiran 6
<b>Tabel 4.5.</b>	Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 3.....	lampiran 6
<b>Tabel 4.6.</b>	Hasil Analisis Konsentrasi Cu pada Area Inefektif.....	lampiran 8
<b>Tabel 4.7.</b>	Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata di Area 1..	lampiran 10
<b>Tabel 4.8.</b>	Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata di Area 2..	lampiran 10
<b>Tabel 4.9.</b>	Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata di Area 3..	lampiran 10
<b>Tabel 4.10.</b>	Hasil Analisis Arus dan resistensi terhadap waktu.....	lampiran 11



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Diagram Alir Proses Pengolahan Bijih Emas.....	20
<b>Gambar 2.2.</b>	Bagan Proses Pemurnian Emas.....	23
<b>Gambar 2.3.</b>	Skematik Elektrokinetik.....	33
<b>Gambar 2.4</b>	Proses Migrasi yang Berlangsung.....	35
<b>Gambar 2.5.</b>	Prinsip Dasar Remediasi Elektrokinetik.....	39
<b>Gambar 2.6.</b>	Electrolyse cell.....	41
<b>Gambar 2.7.</b>	Skema Perpindahan molekul yang disebabkan oleh arus listrik.....	43
<b>Gambar 3.1.</b>	Diagram Alur pikir penelitian.....	56
<b>Gambar 3.2.</b>	Konfigurasi elektroda hexagonal.....	58
<b>Gambar 3.3.</b>	Desain Titik Sampling.....	60
<b>Gambar 3.4.</b>	Desain Reaktor.....	61
<b>Gambar 3.5.</b>	Desain Wadah.....	62
<b>Gambar 4.1.</b>	Konsentrasi Cu terhadap waktu.....	67
<b>Gambar 4.2.</b>	Konsentrasi Cu setiap interval waktu terhadap jarak.....	69
<b>Gambar 4.3.</b>	Konsentrasi Cu pada waktu ke-3 jam.....	lampiran 7
<b>Gambar 4.4.</b>	Konsentrasi Cu pada waktu ke-6 jam.....	lampiran 7
<b>Gambar 4.5.</b>	Konsentrasi Cu pada waktu ke-9 jam.....	lampiran 7
<b>Gambar 4.6.</b>	Konsentrasi Cu pada waktu ke-12 jam.....	lampiran 7
<b>Gambar 4.7.</b>	Konsentrasi Cu pada waktu ke-15 jam.....	lampiran 7
<b>Gambar 4.8.</b>	Dimensi perbandingan konsentrasi Cu terhadap waktu dan jarak pada area efektif.....	71
<b>Gambar 4.9.</b>	Nilai efisiensi konsentrasi Cu setiap area.....	74
<b>Gambar 4.10.</b>	Hubungan resistensi terhadap waktu.....	76
<b>Gambar 4.11.</b>	3 Dimensi hubungan antara arus, resistensi dan waktu.....	78

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Usaha pertambangan emas oleh sebagian masyarakat sering dianggap sebagai penyebab kerusakan dan pencemaran lingkungan. Sebagai contoh pada kegiatan usaha pertambangan emas skala kecil, pengolahan bijih dilakukan dengan proses amalgamasi dimana merkuri (Hg) digunakan sebagai media untuk mengikat emas dan menghasilkan limbah  $\text{Cu}^{2+}$  dari hasil pemurnian emas. Pemurnian emas adalah proses memurnikan emas dari kadar yang rendah dimurnikan menjadi emas murni 24 karat. Pada proses pemurnian emas dihasilkan limbah cair, limbah cair ini berasal dari proses peleburan dan pemasakan. Pada proses peleburan, emas perak dituang di air agar terbentuk emas berupa kristalan. Emas yang berupa kristalan dimasak dengan penambahan HCl yang akan menyebabkan emas mengendap, tembaga dan perak terpisah dan larut bersama air. Limbah cair yang dihasilkan dibuang pada bak penampungan 1 dan 2 yang kemudian dialirkan ke sungai sehingga berpotensi akan mencemari tanah dan air yang gambarnya dilampirkan pada lampiran 1.

Untuk menekan jumlah limbah yang berasal dari usaha pertambangan tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan sistem pengolahan yang dapat menekan jumlah limbah yang dihasilkan akibat pengolahan dan pemurnian emas. Untuk mencapai hal tersebut, maka



diperlukan upaya pendekatan melalui penanganan *tailing* atau limbah B3 yang berwawasan lingkungan dan sekaligus peningkatan efisiensi penggunaan merkuri untuk meningkatkan perolehan (*recovery*) logam emas.

Kegiatan penambangan emas tradisional di Indonesia dicirikan dengan penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan murah. Untuk pekerjaan penambangan digunakan peralatan cangkul, linggis, palu, pahat, tali, ember, lampu, senter, dan beberapa alat sederhana lainnya. Batuan dan urat kuarsa mengandung emas atau bijih ditumbuk sampai berukuran 1-2 cm, selanjutnya digiling dengan alat gelundung (trommol, berukuran panjang 55-60 cm dan diameter 32cm). Proses pengolahan emas biasanya menggunakan teknik amalgamasi, yaitu dengan mencampur bijih dengan 1-2 ons merkuri untuk membentuk amalgam (emas yang masih berikatan dengan air raksa) dengan media air.

Salah satunya dapat kita amati pada pertambangan emas yang berlangsung pada Kokap Kulon Progo. Kabupaten Kulon Progo terletak di bagian paling barat Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, secara geografis terletak antara  $7^{\circ} 38' 42''$  LS -  $7^{\circ} 59' 03''$  LS dan  $110^{\circ} 01' 37''$  BT -  $110^{\circ} 16' 26''$  BT. Kabupaten Kulon Progo berbatasan dengan Kabupaten Sleman dan Bantul di sebelah Timur, Kabupaten Magelang (Jawa Tengah) di sebelah utara, Kabupaten Purworejo (Jawa Tengah) di sebelah barat, serta Samudra Indonesia di sebelah selatan. Usaha pertambangan emas di wilayah Kokap telah berlangsung sejak  $\pm 10$  tahun

yang lalu, setelah penemuan urat-urat kuarsa mengandung emas di Daerah Sangon dan sekitarnya oleh penambang emas tradisional dari Tasikmalaya. Penambangan emas dilakukan dengan sistem tambang bawah tanah dengan cara membuat trowongan (*adit*) dan sumur (*vertical shaft*). Teknik penambangan dilakukan tanpa perencanaan yang baik dan dengan cara penggalian mengikuti arah urat kuarsa yang diperkirakan memiliki kadar emas yang tinggi. Dinas Perindustrian Perdagangan Koperasi dan Pertambangan (Diperindagkoptam) Kabupaten Kulonprogo menghadapi banyak kendala sehubungan dengan adanya penambangan emas di wilayah Kecamatan Kokap. Sejak diketahui ada potensi biji emas di wilayah tersebut, penambangan yang dilakukan oleh rakyat terus berlangsung. Namun Diperindagkoptam tidak bisa berbuat banyak karena Pemkab Kulonprogo belum mempunyai Perda yang mengatur penambangan Golongan B (emas). Sedangkan selama ini pertambangan yang telah memiliki Perda hanya Golongan C (tambang umum). Hal ini sangat menyulitkan Diperindagkoptam untuk menindak lanjuti, padahal penambangan emas di Kecamatan Kokap harus mendapat perhatian khusus karena resiko keselamatan dan keamanan yang harus ditanggung oleh para penambang cukup tinggi. Berbeda apabila untuk mendapatkan bijih emas cukup hanya dengan 'mendulang' di sungai. Penambangan emas di Kokap masih dikerjakan secara tradisional, dengan membuat terowongan yang cukup dalam untuk menemukan urat tanah yang diperkirakan ada biji emasnya. Dalam proses pembuatan emas,

penambang juga mengesampingkan keselamatan dan keamanan. Padahal selain resiko kesehatan dan keselamatan bagi para penambang, tidak menutup kemungkinan resiko yang harus ditanggung masyarakat sekitar juga sangat besar. Untuk pengetesan urat tanah ada biji emas atau tidak, penambang menggunakan air raksa dicampur air sehingga limbahnya membahayakan.

Pada awalnya, logam yang terpendam dalam perut bumi tidak berbahaya. Ketika kegiatan penambangan terjadi, logam-logam berat tersebut ikut terangkat bersama batu-batuan yang digali. Logam-logam itu berubah menjadi ancaman ketika terurai di alam bersama *tailing* yang dibuang. *Tailing* hasil penambangan emas biasanya mengandung mineral *inert* (tidak aktif). Mineral tersebut antara lain: kwarsa, kalsit dan berbagai jenis aluminosilikat. *Tailing* hasil penambangan emas mengandung salah satu atau lebih bahan berbahaya beracun seperti *Arsen* (As), *Kadmium* (Cd), *Tembaga* (Cu), *Timbal* (Pb), *Merkuri* (Hg), *Sianida* (CN) dan lainnya. Sebagian logam-logam yang berada dalam *tailing* adalah logam berat yang masuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3).

Penyebab utama logam berat menjadi bahan pencemar berbahaya adalah karena sifatnya yang tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup yang ada di lingkungan. Akibatnya, logam-logam tersebut terakumulasi ke lingkungan, terutama mengendap di dasar

perairan membentuk senyawa kompleks bersama bahan organik dan anorganik secara adsorpsi dan kombinasi.

Untuk itu, upaya penanganan yang harus dilakukan agar tidak mencemari badan air maupun tanah dengan melakukan remediasi elektrokinetik untuk menurunkan kadar Cu dari air buangan industri penambangan emas tersebut.

### 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah tanah terkontaminasi logam berat Cu dapat di remediasi dengan metode elektrokinetik.
2. Apakah pH berpengaruh terhadap kontaminan yang dilakukan proses remediasi elektrokinetik.
3. Mengetahui korelasi antara waktu kotak dengan jarak pada saat penelitian dilakukan.
4. Bagaimana fenomena remediasi elektrokinetik pada tanah penambangan emas yang terkontaminasi logam berat Cu.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efisiensi kenaikan konsentrasi logam berat Cu pada tanah pertambangan emas yang telah terkontaminasi logam berat Cu.

2. Mengetahui seberapa besar pengaruh waktu dan jarak terhadap penurunan kadar Cu dengan menggunakan proses remediasi elektrokinetik.
3. Mengetahui hubungan antara arus, hambatan terhadap waktu.
4. Mempelajari fenomena remediasi elektrokinetik pada tanah pertambangan emas yang terkontaminasi logam berat Cu dengan menggunakan teknik elektrokinetik konfigurasi 2D *hexagonal*.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

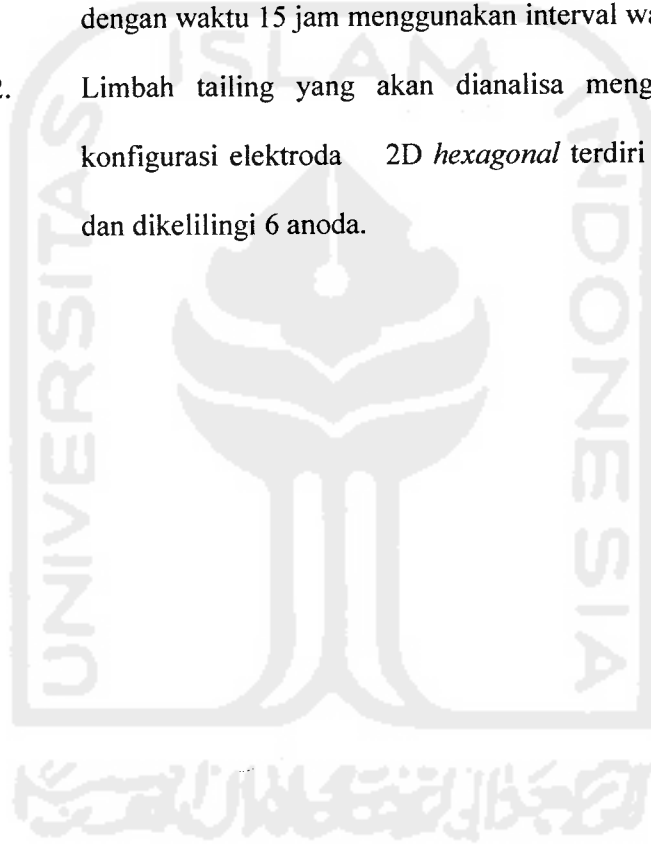
Manfaat yang didapat pada penelitian ini adalah :

1. Meminimalkan unsur logam berat Cu dari *tailing* hasil penambangan emas, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Memberikan informasi/masukan kepada pemerintah dan masyarakat khususnya para penambang, bahwa *tailing* dapat diolah dengan proses remediasi elektrokinetik.
3. Untuk menambah wawasan ilmu pengetahuan tentang remediasi tanah khususnya mengenai remediasi dengan teknik elektrokinetik.

### 1.5. Batasan Masalah

Sesuai dengan tujuan penelitian, agar penelitian ini lebih mudah perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

1. Analisa parameter logam berat Cu pada tanah terkontaminasi dengan menggunakan model konfigurasi elektroda 2D *hexagonal* dengan jarak elektroda 5 cm, 10 cm dan 15 cm dengan waktu 15 jam menggunakan interval waktu 3 jam.
2. Limbah tailing yang akan dianalisa menggunakan model konfigurasi elektroda 2D *hexagonal* terdiri dari satu katoda dan dikelilingi 6 anoda.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Logam-Logam Dalam Batuan dan Tanah

Pada tahun 1969, Skinner, salah seorang ahli kimia dunia mengusulkan untuk mengelompokkan bahan alam atau sumber daya yang berasal dari dalam lapisan bumi ke dalam beberapa kelompok/golongan besar. Pengelompokan yang diusulkan adalah sebagai berikut :

- a. bahan untuk menghasilkan logam dan teknologi,
- b. bahan untuk bangunan,
- c. bahan mineral untuk industri kimia,
- d. bahan mineral untuk pertanian,
- e. bahan bakar fosil (minyak bumi),
- f. bahan bakar nuklir,
- g. air.

Secara konvensional, sumber daya alam dibedakan atas sumber daya yang dapat diperbarui (*renewable*) dan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (*anrenewable*). Sumber daya yang dapat diperbarui adalah semua sumber daya alam yang mengalami siklus ulang atau dengan kata lain adalah sumber daya alam yang tidak akan pernah habis. Sebagai contoh adalah air. Adapun sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui adalah sumber daya alam yang habis terpakai. Sebagai contoh adalah bahan bakar, baik itu bahan bakar fosil maupun bahan bakar nuklir.

Logam-logam dari dalam bumi digolongkan sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Berdasarkan pada kelimpahannya di dalam bumi, logam-logam kemudian dapat digolongkan lagi atas kelompok logam yang berkelimpahan dan kelompok logam jarang. Kelompok logam berkelimpahan adalah logam-logam yang ditemukan dalam jumlah banyak pada lapisan tanah dan atau batuan bumi. Sebagai contoh dari kelompok logam ini adalah : Fe (besi, *ferrum*), Al (aluminium), Cr (kromium), Mn (mangan), Ti (titanium), dan Mg (magnesium). Adapun kelompok logam jarang adalah logam-logam yang ditemukan sedikit-sedikit dalam lapisan tanah dan batuan bumi. Sebagai contoh dari kelompok logam ini adalah : Cu (tembaga, *cuprum*), Pb (timbal, *plumbum*), Zn (seng, *zincum*), Sn (timah, *stannum*), W (*wolfarm*), Au (emas, *aurum*), Ag (perak, *argentum*), Pt (platina, *platinum*), U (uranium), Hg (air raksa, *hydragyrum*), Mo (molibdenum), dan lain-lain.

Selanjutnya, logam-logam jarang dapat pula dibedakan berdasarkan pada kelimpahan deposit atau penumpukannya dalam lapisan tanah dan batuan, yaitu :

1. Logam jarang yang umumnya ditemukan dalam bentuk sulfida seperti Cu, Pb, Zn, Ni (nikel), Mo, Ag, As (arsenikum), Sb (stibium), Bi (bismut), Cd (cadmium), Co (cobalt) dan Hg.
2. Logam jarang umumnya ditemukan dalam bentuk elemen seperti Pt, Pd (palladium), Rh (rhodium), Ir (iridium), Ru (ruthenium), Os (osmium) dan Au.



3. Logam jarang umumnya ditemukan dalam bentuk oksida dan silikat, seperti W, Ti, V (vanadium), Nb (niobium), Sn dan Be (beryllium).

Logam-logam jarang dalam lapisan bumi, lebih banyak ditemukan dalam batuan. Keberadaan kelompok logam ini biasanya dalam bentuk persenyawaan dengan logam-logam mineral yang melimpah. Pada persenyawaan tersebut, biasanya ion-ion logam jarang akan mensubstitusi kation-kation dari logam mineral yang memiliki ukuran yang nyaris serupa dan muatan ion sama. Contohnya Ni, biasanya mensubstitusi Mg dalam mineral olivin ( $Mg_2SiO_4$ ) menjadi  $MgNiSiO_4$  atau  $Ni_2SiO_4$ . Contoh lainnya adalah unsur Ag. Logam Ag akan mensubstitusi Cu dalam tetrahedrit ( $Cu_{12}Sb_4S_3$ ) sampai menjadi  $Ag_{12}Sb_4S_3$ .

Pada suatu peristiwa substitusi, apabila ion yang mensubstitusi lebih kecil ukurannya dari ion yang disubstitusi, maka bentuk kristal yang dihasilkannya menjadi lebih kompak dan batuananya lebih stabil. Sebaliknya apabila ion yang mensubstitusi lebih besar dari ion yang disubstitusi, maka kristal yang dibentuknya menjadi tidak stabil.

Untuk mendapatkan logam-logam jarang dari lapisan tanah dan batuan adalah melalui proses-proses pertambangan dan pengolahan seperti penggalian, pengerukan, pencucian, pembakaran, pemurnian, dan lain-lain. Proses-proses yang berlangsung untuk mendapatkan sumber dari pencemaran lingkungan. Sebagai contoh adalah pemurnian dari penambangan emas. Untuk mendapatkan emas murni dari bentuk

persenyawaannya adalah melalui pencucian dengan menggunakan air raksa. Sisa dari pencucian ini berupa buangan air raksa akan jatuh ke lingkungan dan menjadi penyebab terjadinya perubahan dari tatanan lingkungan. Selain pada batuan, dalam lapisan tanah permukaan, logam-logam dapat ditemukan pada daerah pembuangan sampah padat, baik itu berupa sampah dari buangan industri, ataupun sampah yang berasal dari buangan rumah tangga.

Dalam lapisan tanah terdapat dua fraksi besar yaitu fraksi organik dan fraksi mineral. Fraksi organik merupakan lapisan yang berasal dari penumpukan dan pelapukan dari bangkai-bangkai makhluk hidup yang telah mati. Fraksi mineral terutama sekali terdiri atas lapisan silikat dan hidroksida-hidroksida logam. Lapisan silikat terbentuk dari dua lapisan dasar yaitu :

- 1) Suatu tetrahedron dengan atom oksigen di sekeliling kation pusat, biasanya  $\text{Si}^{4+}$ , tetapi kadang-kadang berupa  $\text{Al}^{3+}$ .
- 2) Suatu oktahedron dengan 6 oksigen atau hidroksil di sekitar kation pusat yang biasanya  $\text{Al}^{3+}$ . Lapisan tetrahedron dari silikat dan oktahedron dari aluminium ini berinteraksi sesamanya dengan bermacam-macam bentuk kombinasi, dimana kombinasi tersebut menghasilkan karakteristik struktur lapisan lempung (*clay*).  $\text{Al}^{3+}$  dan  $\text{Si}^{4+}$  dapat disubstitusi oleh ion-ion yang mempunyai ukuran dan muatan yang hampir sama. Ion-ion yang mempunyai tingkatan valensi

kecil yang berasal dari residu bermuatan negatif harus diimbangi oleh kation yang terdapat di luar struktur lapisan silikat.

Lapisan tetrahedron dari silikat mempunyai bentuk geometris planar, dengan luas permukaan yang besar dan dapat pula menghasilkan residu dengan muatan negatif yang besar. Untuk membentuk suatu keseimbangan atau stabilitasnya, ion-ion negatif yang dihasilkan oleh residu lapisan silikat ini harus diimbangi oleh kation-kation yang bermuatan positif yang banyak terdapat di luar struktur lapisan.

Pada lapisan tanah ada 3 (tiga) macam bahan organik yaitu :

- 1) Bahan atau fraksi yang tidak dapat diekstrak oleh alkali, atau disebut juga *humin*.
- 2) Bahan atau fraksi yang dapat diekstrak oleh alkali dan dapat mengendap pada peristiwa pengasaman, atau disebut juga *asam humat (humic acid)*.
- 3) Bahan atau fraksi yang tetap tinggal dalam larutan, disebut juga *asam fulvat (fulvic acid)*.

Semua bahan organik itu membentuk suatu kesatuan yang utuh pada lapisan tanah. Buangan organik yang tidak terkendali dapat mempengaruhi kondisi organik tanah yang ada. Pada tingkat lanjutnya akan mencemari lapisan tanah, sehingga tanah berubah menjadi kritis. Namun demikian tanah juga berfungsi dalam pengangkutan bahan pencemar (*pollutan*).

Peranan tanah terhadap pengangkutan dan menghilangkan bahan-bahan pencemar sangatlah besar. Proses pengangkutan tersebut ada bermacam-macam, diantaranya adalah pengaliran (*flow on*), peresapan (*absorption*) dan pelumeran (*leaching*). Dua cara terakhir merupakan proses pengangkutan bahan-bahan pencemar yang paling dominan.

Proses peresapan dari bahan-bahan pencemar yang terjadi pada lapisan tanah dipengaruhi banyak hal, diantaranya adalah :

- 1) Karakteristik atau ciri khas dari struktur bahan pencemar, karena bahan pencemar akan mengalami pertukaran ion ketika melewati lapisan lempung dan organik.
- 2) Kandungan bahan organik terdapat dalam lapisan tanah. Hal ini menjadi penentu, apakah bahan pencemar yang ada akan ditahan atau diteruskan oleh lapisan tanah.
- 3) pH tanah, yang sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kadar lapisan lempung yang ada pada tanah. Bila lapisan lempung ini sangat besar jumlahnya, maka proses peresapan akan menjadi sangat rendah atau tidak terjadi peresapan sama sekali. Hal itu disebabkan partikel tanah lempung sangat halus dan tersusun sangat rapat, sehingga sulit untuk dilalui.
- 4) Ukuran lapisan tanah. Besar kecilnya ukuran partikel lapisan tanah akan sangat menentukan besar kecilnya pori-pori tanah. Semakin besar partikel tanah akan semakin besar pula pori-pori tanah, dan keadaan itu akan semakin mempermudah proses peresapan oleh lapisan tanah.

Sebaliknya, semakin kecil partikel tanah, maka pori-pori tanah akan semakin kecil pula sehingga peresapan akan semakin sulit terjadi.

- 5) Kemampuan pertukaran ion. Hal ini bergantung pada jumlah residu bermuatan dari bahan pencemar dan struktur lapisan lempung pada badan tanah.
- 6) Temperatur. Pada setiap peristiwa peresapan temperatur mempunyai pengaruh sangat besar terhadap laju peresapan, karena umumnya semakin tinggi temperatur maka daya serap tanah terhadap bahan pencemar akan semakin besar.

Umumnya peresapan memerlukan waktu yang relatif singkat untuk mencapai titik kesetimbangan. Sebaliknya, untuk peristiwa pelepasan (*desorption*) membutuhkan waktu yang lebih lama.

Pelumeran (*leaching*) bahan-bahan pencemar banyak dipengaruhi oleh faktor kandungan air dalam lapisan tanah dan dalam bahan pencemar itu sendiri. Hal ini disebabkan besar kecilnya kandungan air sangat menentukan tingkat kestabilan bahan pencemar yang sekaligus menjadi penentu dari proses pelumeran. Karenanya dalam bahan pencemar padat yang kadar airnya relatif rendah, sangat sulit terjadi pelumeran. Karena itu studi tentang pelumeran bahan-bahan pencemar cenderung mengarah pada bahan-bahan pencemar organik.

Untuk bahan-bahan pencemar organik, proses pelumeran ini disamping pengaruh dari faktor air, juga ditentukan oleh kemampuan dari

bahan-bahan tersebut berinteraksi dengan air tanah. Secara alami, dari interaksi yang terjadi itu akan terbentuk ion-ion. Ion-ion tersebut kemudian akan terangkut sesuai dengan aliran lumeran dalam badan tanah, dan sebagian dari padanya akan berpindah dengan aliran lumeran dalam badan tanah, dan sebagian dari padanya akan berpindah mengikuti aliran permukaan (*flow on*).

Perpindahan lumeran pada umumnya akan memperkecil konsentrasi bahan pencemar di dalam badan tanah. Sebagian akibat dari perpindahan ini, akan terjadi gangguan berupa masukan bahan pencemar ke dalam badan perairan. Disamping itu, perpindahan lumeran juga akan mencemari air tanah (*ground water*). Sebagai contoh adalah peristiwa pelumeran ion-ion dan bahan-bahan organik dari tempat pembuangan sampah. Secara umum bagian-bagian dari bahan kimia yang berikatan polar memiliki kecenderungan untuk lebih leluasa bergerak dalam tanah.

## **2.2. Usaha Pertambangan Bahan Galian**

Usaha Pertambangan adalah semua usaha yang dilakukan oleh seseorang atau badan hukum/badan usaha untuk mengambil bahan galian dengan tujuan untuk dimanfaatkan lebih lanjut bagi kepentingan manusia. Usaha pertambangan bahan galian yang dimaksud dalam Undang-Undang meliputi kegiatan :

- Penyelidikan Umum
- Eksplorasi
- Eksploitasi Pengolahan dan Pemurnian
- Pengangkutan
- Penjualan

Di dalam Undang-Undang Pokok Pertambangan usaha-usaha tersebut dirumuskan sebagai berikut :

- a) Usaha Pertambangan Penyelidikan Umum ialah penyelidikan geologi ataupun geofisika secara umum, baik didaratan, perairan ataupun dari udara dengan maksud untuk membuat peta geologi umum dalam usaha untuk menetapkan tanda-tanda adanya bahan galian.
- b) Usaha Pertambangan Eksplorasi ialah segala usaha penyelidikan geologi pertambangan untuk menetapkan lebih teliti/lebih seksama adanya, sifat dan letak bahan galian.
- c) Usaha Pertambangan Eksploitasi ialah usaha pertambangan dengan maksud untuk menghasilkan bahan galian dan memanfaatkannya.
- d) Usaha Pertambangan Pengolahan dan Pemurnian ialah pengerjaan untuk mempertinggi mutu bahan galian serta untuk memanfaatkannya dan memperoleh unsur-unsur yang terdapat dalam bahan galian tersebut.
- e) Usaha Pertambangan Pengangkutan ialah segala usaha pemindahan bahan galian dari daerah eksplorasi, eksploitasi atau dari tempat pengolahan/pemurnian ketempat lain.

- f) Usaha Pertambangan Penjualan ialah segala usaha penjualan dari hasil pengolahan ataupun pemurnian bahan galian.

### 2.3. Penggolongan Bahan Galian

Didalam Undang-Undang Pertambangan no. 37 Tahun 1960 dan Undang-Undang Pokok Pertambangan no. 11 Tahun 1967 pasal 3, bahan galian di Indonesia dibagi menjadi 3 golongan sebagai berikut :

1. Bahan galian golongan A (bahan galian strategis) adalah bahan galian yang mempunyai peranan penting untuk kelangsungan kehidupan negara, misalnya : minyak bumi, gas alam, batu bara, timah putih, besi, nikel dll. Bahan galian ini sepenuhnya dikuasai oleh negara.
2. Bahan galian golongan B (bahan galian vital) adalah bahan galian yang mempunyai peranan penting untuk kelangsungan kegiatan perekonomian negara dan dikuasai oleh negara dengan menyertakan rakyat, misalnya emas, perak, intan, timah hitam, belerang, air raksa dll. Bahan galian ini dapat diusahakan oleh Badan Usaha Milik Negara ataupun bersama-sama dengan rakyat.
3. Bahan galian golongan C (tidak termasuk strategis dan tidak vital) adalah bahan galian yang dapat diusahakan oleh rakyat ataupun badan usaha milik rakyat, misalnya batugamping, marmer, batusabak, pasir dll.

Di dalam perkembangannya penguasaan dan pengelolaan telah banyak dikeluarkan aturan-aturan yang pada prinsipnya memberi keluasan



usaha masyarakat. Disamping itu apabila dicermati lebih lanjut penggolongan bahan galian seperti tersebut didalam Undang-Undang didasarkan atas:

1. Memiliki peranan yang tinggi dalam pertahanan, pembangunan dan perekonomian negara.
2. Memiliki peranan penting bagi hajat hidup orang banyak.
3. Banyak tidaknya bahan galian tersebut didapatkan.
4. Teknik pengolahan bahan galian tersebut.
5. Penggunaan bahan galian tersebut dalam industri.

#### **2.4. Pengolahan Bijih Emas Pada Daerah Kokap Kulonprogo**

Pengolahan bijih emas pada daerah Kokap dilakukan dengan cara amalgamasi. Proses amalgamasi yaitu proses pengikatan emas menggunakan merkuri selain sianidasi, peleburan dan lain sebagainya dengan cara yang sangat sederhana menggunakan alat pengolah (tromol) dan penambahan merkuri serta penambahan air, dapat dilihat pada lampiran 1. Untuk mendapatkan batu-batuan yang mengandung emas, batu-batuan tersebut dikeruk dalam tanah dengan kedalaman antara 30-60 meter kemudian batu-batuan tersebut dikumpulkan di tempat penghancuran untuk mendapatkan serbuk seragam. Serbuk seragam tersebut dimasukkan ke dalam tong bijih halus dan pengolahan bijih emas di dalam tong bijih halus (gelundung putar) menggunakan merkuri (Hg) sebagai pemisah bijih-bijihan emas dengan logam-logam atau pengotor-

pengotor lainnya yang dikenal dengan proses Amalgamasi selama 4-6 jam proses pengolahan (Anonim, 2003)

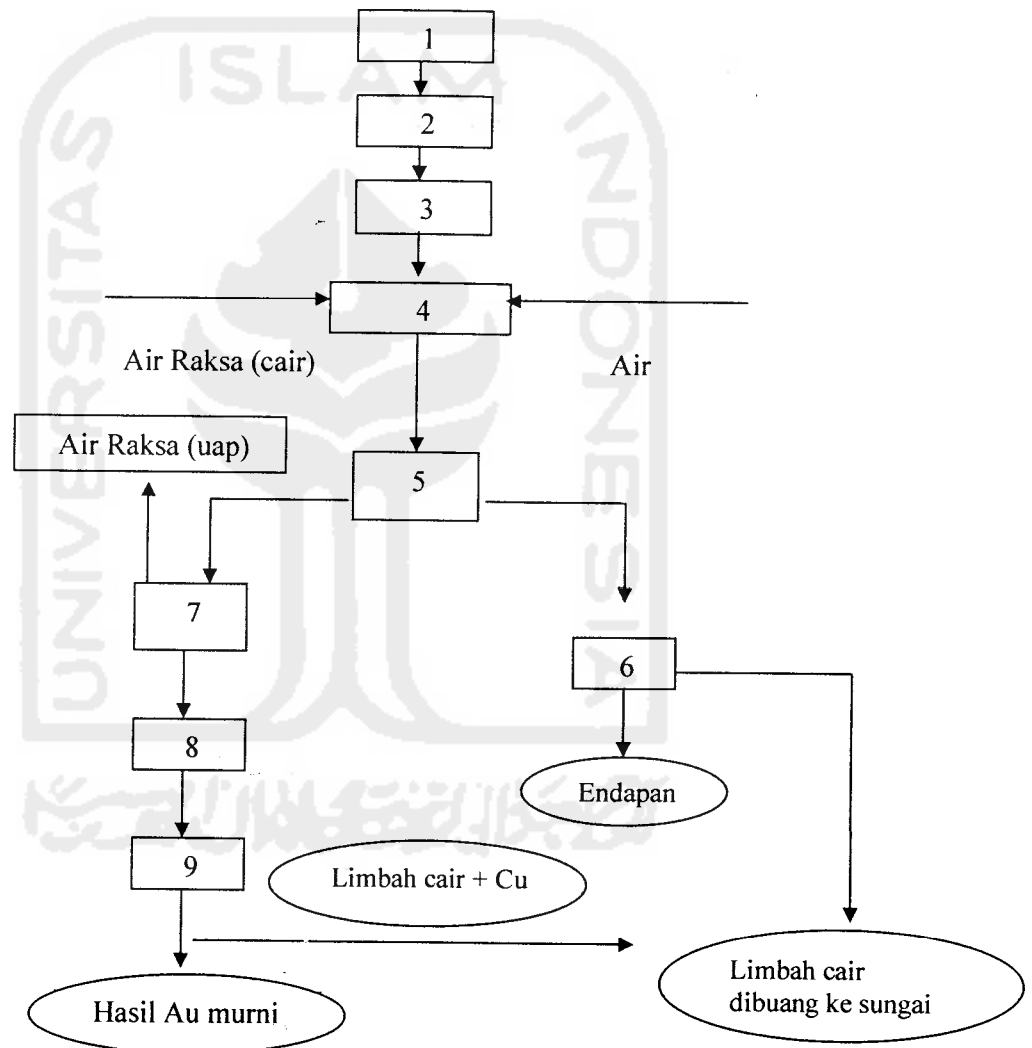
Pengolahan bijih emas dilakukan dengan cara langsung dan tidak langsung. Secara tidak langsung pengolahan bijih emas terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pengecilan ukuran dan tahap amalgamasi. Adapun pengolahan secara langsung, yaitu tahap pengecilan ukuran batuan menjadi satu dengan amalgamasi. Akibatnya merkuri yang dipakai cepat rusak menjadi butir-butir kecil sehingga dapat mengurangi daya ikat (Widodo, 1998).

Secara garis besar pengolahan bijih emas dilakukan sebagai berikut :

1. Bijih pertambangan emas
2. Bijih yang diduga mengandung emas dihancurkan hingga berukuran  $\pm$  1-5 cm.
3. Pecahan batu tersebut setelah diperiksa kemudian ditumbuk menggunakan palu hingga halus.
4. Batuan yang telah halus tersebut dimasukkan ke dalam gelundung, selanjutnya ditambahkan air, merkuri (1-2 ons) dan batuan pengerus. Gelundung kemudian diputar selama 4-6 jam. Peristiwa ini dikenal dengan proses amalgamasi.
5. Amalgam dipisahkan dari Au-Ag dalam kain parasit yang ditekan
6. Penampungan limbah lumpur (dalam kubangan).
7. Pemisahan sisa amalgam dari Au-Ag dengan pemanasan.

8. Amalgam (Hg dan Au) kemudian dipanasi dalam air keras untuk mendapatkan Au yang masih mengandung logam-logam ikutannya, inilah yang disebut *bullion*.
9. Au dan Cu dipisahkan atau dimurnikan

Tahapan pengolahan bijih emas pada pertambangan emas rakyat Kulon Progo secara skematis ditunjukkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram Alir Proses Pengolahan Bijih Emas

(Sumber : Anonim, 2003)

Material yang ditambang baik dari lubang vertikal maupun horizontal masih berupa bongkahan batu atau tanah lempung. Bijih emas yang terkandung dalam tanah lempung tidak perlu dilakukan proses penumbukan tetapi dapat langsung dimasukkan ke dalam gelundung atau tromol (*roodmill*). Kegiatan penambangan emas tradisional ini pada dasarnya dilakukan 3 tahapan proses pengolahan yaitu :

1. Proses penumbukan.

Material hasil penggalian baik vertikal maupun horizontal rata-rata mempunyai ukuran sebesar 10 cm. Selanjutnya dilakukan penumbukan hingga didapatkan ukuran sebesar 0,5-1 cm, agar mudah dihancurkan atau dihaluskan di dalam mesin gelundung tersebut. Bahan yang digunakan untuk menghancurkan material tersebut adalah besi yang dimasukkan kedalam mesin gelundung atau tromol.

2. Proses pencucian.

Untuk mendapatkan butiran-butiran emas yang terikat dalam air raksa (Hg), dilakukan dengan menggunakan air untuk memisahkan lumpur dengan butiran-butiran emas yang terikat oleh air raksa tersebut. Air raksa yang tertinggal itu kemudian diproses dengan saringan untuk mendapatkan amalgam.

3. Proses pembakaran atau pemanasan.

Pada proses ini dilakukan penghilangan sisa air raksa (Hg) yang masih tertinggal atau terkandung di dalamnya dilakukan dengan cara

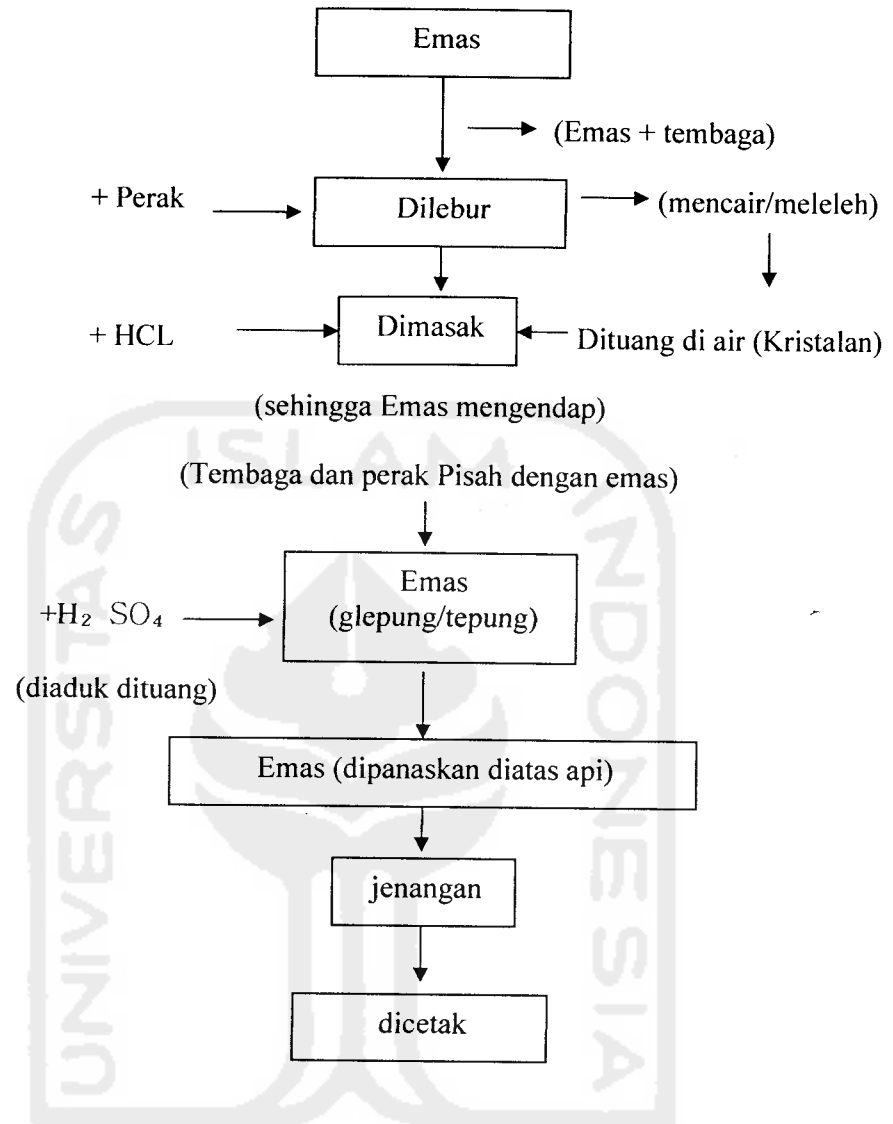
membakar atau memanaskan amalgam dalam tabung besi tersebut agar sisa merkuri yang tertinggal di dalam amalgam menguap.

## 2.5. Proses Pemurnian Emas

Pemurnian emas adalah suatu proses untuk meningkatkan kadar emas dari kadar rendah menjadi emas murni 24 karat (Anonim, 2002).

Secara alamiah emas mengandung tembaga (Cu) dan perak. Pada proses peleburan ditambah dengan perak agar cepat meleleh atau mencair. Kemudian dituang di air, emas menjadi kristalan. Emas kemudian dimasak dengan penambahan HCL, emas akan mengendap sehingga tembaga dan perak akan larut bersama menjadi gelempungan/tepung dan ditambah  $H_2 SO_4$ , emas dipanaskan hingga menjadi jenangan atau berkerak lalu dicetak menurut pesanan. Berdasarkan proses tersebut air limbah dihasilkan pada waktu peleburan dan pemasakan. Pada proses peleburan emas yang sudah ditambah perak dituang di air dan emas akan menjadi kristalan. Emas yang sudah berbentuk kristalan dimasak dengan penambahan HCL dan  $H_2 SO_4$  pada saat pemurnian emas yang menyebabkan emas mengendap, tembaga dan perak terpisah dan larut bersama dengan air, sehingga limbahnya mengandung  $Cu^{2+}$  yang tinggi.

Tahapan pemurnian emas dapat dilihat secara skematik pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bagan proses pemurnian emas

Sumber : Maulana, 2002

## **2.6. Prakiraan Dampak Lingkungan Pertambang Emas Rakyat di Kokap Kulon Progo**

Dampak lingkungan yang perlu mendapat perhatian adalah tanah atau batuan hasil galian atau penambangan yang tidak digunakan atau tidak diolah dan ditimbun di sekitar lubang galian secara tidak teratur yang umumnya tidak menghiraukan kesuburan tanah sekelilingnya. Adanya lubang bukaan yang bertebaran dengan arah lubang tak menentu dan sangat sempit berakibat kepada tanah longsor dan membahayakan keselamatan penggalnya.

Pada musim kemarau, dimana banyak sungai yang sifatnya intermiten memiliki debit air yang sangat kecil atau bahkan tidak berair. Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa sedimentasi logam berat dalam endapan sungai berlangsung lambat dan penyebarannya bersifat lokal. Meskipun demikian pada musim hujan, sebagian sungai mengalami banjir dan dalam keadaan demikian menyebabkan tembaga dan unsur logam lainnya lebih luas sehingga kontaminasi tembaga dan unsur logam lainnya dalam air dan sedimen sungai akan membawa dampak lebih besar terutama jika unsur-unsur berbahaya tersebut diserap oleh makhluk hidup sebagai bagian rantai makanan yang akhirnya menjadi konsumsi masyarakat.

### **2.7. Buangan Penambangan Emas Rakyat di Kokap Kulon Progo**

Buangan pertambangan emas rakyat di Kulon Progo umumnya dari pemecahan dan pemisahan bijih emas yang menggunakan merkuri (Hg). Dari kegiatan penghancuran batuan-batuan emas dan pengolahan sehingga mendapatkan emas yang dapat diambil kesimpulan bahwa buangan industri penambangan emas rakyat digolongkan menjadi 2 (dua) kelompok yaitu:

- 1) Limbah cair yang berasal dari pengolahan bijih emas yang menggunakan merkuri (Hg) sebagai pemisah.
- 2) Limbah padat atau lumpur yang dihasilkan dari pengolahan atau pemisahan secara amalgamasi.

### **2.8. Sumber Pencemaran Industri Pertambangan Emas Rakyat di Kokap Kulon Progo**

Dari proses pengolahan emas terlihat adanya keterlibatan bahan kimia seperti merkuri (Hg) sebagai bahan untuk proses pemisahan bijih-bijihan emas dengan pengotor-pengotor yang terdapat dalam batuan-batuan emas. Air raksa yang digunakan untuk mengolah emas merupakan salah satu bahan berbahaya dan beracun (B3). Zat ini jika masuk ke pusat saraf mengakibatkan kelumpuhan total seperti adanya penyakit *minamata* di Jepang yang disebabkan masuknya air raksa tersebut ke dalam tubuh.

Kemungkinan merkuri (Hg) yang terdapat dalam air limbah sebagai hasil pelarutan merkuri (Hg) yang berada dalam lumpur yang



karena adanya oksigen maka terjadi reaksi oksidasi HgO menjadi Hg<sup>++</sup> yang larut dalam air. Sesuai dengan SK Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. KEP-02/MENKLH/I/1988, nilai ambang batas air yang dapat diminum tidak boleh mengandung air raksa lebih dari 0,001 mg/l, sedangkan standar baku mutu udara emisi tidak boleh mengandung uap air raksa lebih dari 0,02 gm/Nm<sup>3</sup>.

Hasil sampingan atau limbah dari proses pengolahan emas mengandung bahan buangan berbahaya (B3) yaitu merkuri (Hg) dibuang ke dalam sungai yang dapat menurunkan kualitas lingkungan yang merupakan sumber pencemar.

## 2.9. Kondisi Geografis

Kabupaten Kulon Progo merupakan wilayah bagian Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang terletak paling barat dengan batas sebelah barat dan utara adalah Propinsi Jawa Tengah dan sebelah Selatan adalah Samudera Indonesia. Secara geografis terletak antara 7°38'42" – 7°59'3" Lintang Selatan dan 110°1'37"–110°16'26" Bujur Timur.

Luas area adalah 58.627,5 km<sup>2</sup> yang meliputi 12 kecamatan dan 88 desa. Dari luas tersebut 24,89 % berada di wilayah Selatan yang meliputi kecamatan Temon, Wates, Panjatan dan Galur, 38,16 % di wilayah tengah yang meliputi kecamatan Lendah, Pengasih, Sentolo, Kokap, dan 36,97 % di wilayah utara yang meliputi kecamatan Girimulyo, Nanggulan, Kalibawang dan Samigaluh. Luas kecamatan antara 3.000 – 7.500 km<sup>2</sup>

dan yang wilayahnya paling luas adalah kecamatan Kokap seluas 7.379,95 km<sup>2</sup> sedangkan yang wilayahnya paling sempit adalah kecamatan Wates seluas 3.291,23 km<sup>2</sup>. Secara fisiografis kondisi Kabupaten Kulon Progo wilayahnya adalah daerah datar, meskipun dikelilingi pegunungan yang sebagian besar terletak pada wilayah utara, luas wilayahnya 17,58 % berada pada ketinggian < 7 m di atas permukaan laut, 15,20 % berada pada ketinggian 8 – 25 m di atas permukaan laut, 22,85 % berada pada ketinggian 26 – 100 m di atas permukaan laut, 33,00 % berada pada ketinggian 101 – 500 m di atas permukaan laut dan 11,37 % berada pada ketinggian > 500 m di atas permukaan laut. Jika dilihat letak kemiringannya, luas wilayahnya 58,81 % kemiringannya < 15° , 18,73 % kemiringannya antara 16° - 40° dan 22,46 % kemiringannya > 40° (lampiran 2).

#### **2.10. Geologi Daerah Kokap Kulon Progo**

Daerah Kulon Progo dibentuk oleh batuan berumur Tersier sampai Kuartar, diantaranya Formasi Namggulan, Formasi Kebobutak, Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo, serta batuan intrusi intermediet-felsik. Formasi Nanggulan (Eosen-Oligosen) disusun oleh batu pasir bersisipan lignit, napal pasiran, batu lempung limonitik, sisipan napaldan batu gamping, batupasir dan tuf. Formasi Kebobutak (Oligosen-Miosen) berupa breksi andesit, tuf, tuf lapili, aglomerat dan lava andesit. Formasi jonggrangan (Miosen) disusun oleh konglomerat, napal tufan, batupasir

gampingan bersisipan lignit, batu gamping berlapis dan batu gamping koral. Formasi Sentolo (Miosen-Pliosen) disusun oleh batu gamping dan batu pasir napalan. Sedangkan batuan instrusi, yang menerobos Formasi Kebobutak (Miosen), berkomposisi andesit hipersten, andesit sugit, trakiandesit sampai dasit (Raharjo, dkk., 1995).

Daerah Kokap didominasi oleh batuan andesit porfiri dan sedikit endapan aluvial kuartar. Sebagian andesit mengalami breksiasi, silisifikasi dan ubahan propilitik sampai filik. Beberapa urat kuarsa yang mengisi bidang rekahan dan zona geser menunjukkan mineralisasi emas berasosiasi dengan pirit dan sulfida logam dasar. Struktur geologi lokal dijumpai berupa kekar dan breksiasi pada batuan andesit. Sesar normal minor berarah Barat Laut-Tenggara dan Timur Laut-Barat Daya juga dijumpai didaerah Kokap dan sekitarnya.

Mineralisasi emas di daerah Kokap tersebar tidak merata dalam urat kuarsa mengandung sulfida, dan kadang-kadang berasosiasi dengan lempung ubahan filik-argilik yang penyebarannya dikontrol oleh bidang-bidang rekahan membentuk stockwork veins. Urat kuarsa dengan tebal bervariasi <math>1\text{cm} - 50\text{cm}</math>, membentuk jalur mineralisasi yang umumnya berarah  $N60^{\circ}E - N110^{\circ}E$  dengan kemiringan  $70^{\circ} - 80^{\circ}$ . Di beberapa lokasi, mineralisasi emas terdapat dalam urat kuarsa halus (1-50mm) membentuk stockwork veinlets pada batuan andesit terubah. Emas dan perak terdistribusi secara acak dalam urat kuarsa dengan kadar 1-13,8 ppm Au dan 5,4-63,2 ppm Ag (Gunawan, dkk., 2001). Urat-urat kuarsa

mengandung emas berkadar tinggi dijumpai di Dusun Sangon, Plampangan, Gabus dan Gunung Kukusan.

### 2.11. Tembaga (Cu)

Tembaga dengan nama kimia *cooper* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna orange menyala. Dalam tabel periodik unsur-unsur kimia, tembaga menempati posisi dengan nomer atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 63.546 g/mol.

Unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Selain dari bentuk-bentuk mineral tersebut, logam tembaga banyak ditemukan dalam bentuk terosidasi seperti bijih (Palar, 1994). Secara alamiah Cu dapat masuk kedalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat dari peristiwa alam. Unsur ini dapat bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi) dan batuan mineral. Sumber lain adalah debu-debu atau partikulat-partikulat Cu yang ada dalam lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan.

Tembaga mempunyai sifat yang elektropositif (mulia), tembaga mudah diendapkan oleh logam yang daya gerak listriknya lebih tinggi. Tembaga murni berwarna merah dan bersifat ulet, karena itu dapat dikerjakan dengan baik secara penempaan, pengelasan dan sebagainya. Berat jenis tembaga murni adalah 8,95. Tembaga dalam perdagangan

umumnya kurang murni dan kurang padat, karena berat jenisnya rata-rata hanya 8,2 .

Sebagai logam berat, Tembaga (Cu) berbeda dengan logam-logam berat lainnya seperti Hg, Cd, Cr. Logam berat Cu digolongkan kedalam logam berat dipentingkan atau logam berat esensial artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun unsur logam ini sangat dibutuhkan tubuh meski dalam jumlah yang sedikit. Karena itu Cu juga termasuk kedalam logam-logam esensial bagi manusia seperti besi (Fe). Toksisitas yang dimiliki oleh Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk kedalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi toleransi organisme terkait. (Palar, 1994)

Adsorpsi Tembaga (Cu) terlarut partikel-partikel tersuspensi mungkin terhambat pada jumlah besar dengan membentuk kompleks Cu organik. Logam tembaga mudah larut dalam asam nitrat dan dalam asam sulfat dengan adanya oksigen juga larut dalam larutan KCN/amonia dengan adanya oksigen sebagaimana yang dicirikan oleh potensialnya (Cotton, 1989).

#### **2.11.1. Tembaga (Cu) pada lingkungan pertambangan**

Tembaga merupakan zat yang sering terdapat pada lingkungan yang alami dan bagian-bagian pada lingkungan serta kejadian/fenomena alam. Manusia banyak menggunakan tembaga (Cu), produksi dari

tembaga yang berlebih akan meninggalkan bekas dan kualitas dari tembaga pada lingkungan akan meluas.

Produksi tembaga masih meningkat. Ini berarti bahwa masih banyak tembaga yang terdapat pada lingkungan. Sungai-sungai yang menghasilkan lumpur pada pinggirnya berasal dari kontaminasi dari tembaga, dan pembuangan dari limbah yang mengandung tembaga. Tembaga dalam udara akan terjadi dalam suatu periode waktu, sebelum hal ini menetap ketika terjadi hujan. Ini akan terjadi juga pada tanah. Selama penelitian pada tanah biasanya terdapat jumlah kontaminasi yang besar dari tembaga setelah tembaga dari udara telah menetap.

Tembaga terdapat pada lingkungan dengan sumber alami dan kegiatan manusia. Secara alami, Cu masuk ke dalam badan perairan sebagai akibat dari peristiwa erosi atau pengikisan batuan mineral, debu yang tertiup angin dan melalui persenyawaan Cu di atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Sedangkan contoh dari kegiatan manusia berasal dari penambangan, produksi logam, produksi kayu, produksi fosfat yang larut pada badan perairan. Karena tembaga berasal dari sumber alami dan kegiatan manusia, hal ini akan tersebar pada lingkungan. Tembaga sering menetap dan ditemukan pada proses sedimentasi atau partikel tanah.

#### **2.11.2. Dampak tembaga (Cu) terhadap lingkungan dan kesehatan**

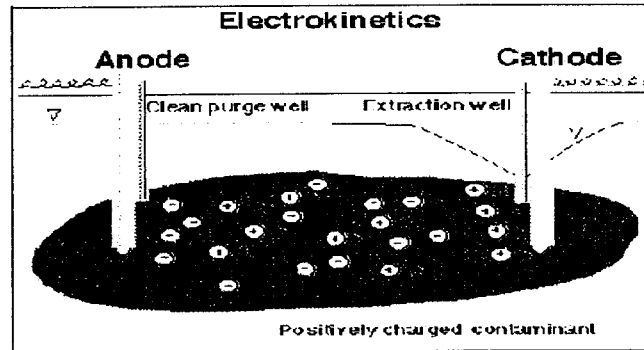
Tembaga (Cu) merupakan salah satu zat pencemar. Senyawa Cu yang larut dalam air dapat mencemari air tersebut dan mengganggu

tanaman karena Cu teradsorpsi oleh tanaman, sehingga ketika dikonsumsi akan timbul rasa tidak enak di lidah serta kerusakan hati (Palar, 1994). Sedangkan pada dosis yang rendah dapat menimbulkan rasa kesat warna dan korosi pada pipa, sambungan dan peralatan dapur (Soemirat, 1997). Dan jika masuk ke dalam sungai dapat menimbulkan dampak negatif berupa penurunan kualitas air (pH, DO, COD) yang melampaui batas syarat, yang pada akhirnya akan mengganggu proses *self purification* dan konsentrasi Cu yang berada dalam kisaran 2,5-3,0 ppm dalam badan perairan akan membunuh ikan-ikan (Palar, 1994). Bahkan dengan kadar tembaga 0,25-1 mg/l dalam perairan sudah dapat membunuh ikan karena keracunan.

Sesuai dengan sifat sebagai logam beracun, Cu dapat mengakibatkan keracunan secara akut dan kronis. Keracunan akut dan kronis ini terjadinya ditentukan oleh besarnya dosis yang masuk dan kemampuan organisme untuk menetralkan dosis tersebut.

#### **2.12. Deskripsi Elektrokinetik**

Elektrokinetik merupakan suatu proses yang sangat sederhana. Dua elektroda diletakkan didalam tanah dengan kuat arus searah (*Direct Current*) yang dilewatkan diantara keduanya sehingga elektroda tersebut dibedakan menjadi katoda dan anoda. Arus searah ini melewati tanah yang menghasilkan area kecil dimana ion-ion dapat berpindah (gambar 2.3.)



Gambar 2.3. Skematik elektrokinetik

Pada gambar 2.3. menunjukkan bagaimana sebuah medan elektrokinetik yang dapat dirancang. Pada gambar tersebut, pembersihan atau penginjeksian diletakkan dekat dengan anoda dan sumber ekstraksi diletakkan pada katoda. Pada permasalahan tersebut, kontaminan berbeban positif dan akan cenderung untuk bergerak ke katoda. Sumber injeksi membantu dalam pergerakan ion-ion dan sumber ekstraksi ditempatkan untuk menghilangkan kontaminan bila mencapai elektroda. Sistem ini disebut elektrokinetik karena menghasilkan gerakan yang ditimbulkan oleh arus listrik.

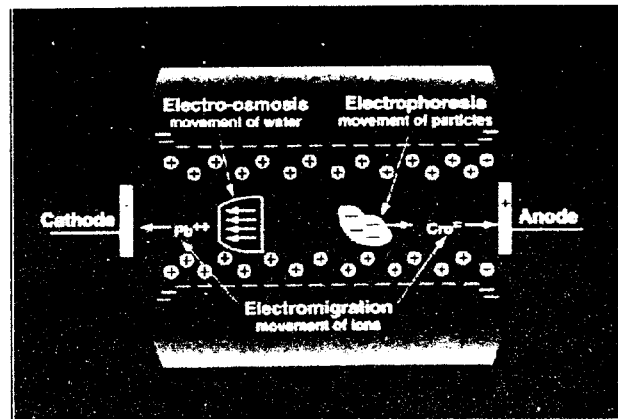
Sistem ini harus dirancang dengan tepat. Voltase yang tinggi dan densitas arus akan mengkorosi beberapa bahan. Di Sandia National Laboratorium ditemukan bahwa iridium yang dilapisi dengan titanium adalah bahan yang paling cocok untuk tujuan ini karena tidak rentan terhadap korosi. Hal ini akan mengganggu ekonomi pada proses tersebut



jika elektroda harus melemah setiap waktu ketika digunakan (Lindgren, 1994)

### 2.12.1. Cara kerja elektrokinetik

Karena medan listrik yang dihasilkan antara anoda dan katoda melalui tanah, maka ion-ion dalam tanah akan tertarik menuju elektroda dari beban yang berlawanan. Gerakan ion menuju satu elektroda atau yang lainnya disebut elektromigrasi. Elektromigrasi adalah pergerakan ion-ion kontaminan sebuah pori-pori air menuju elektroda di bawah medan listrik tanpa perpindahan secara konveksi, permeabilitas tanah dan mampu menghilangkan kontaminan dari segala macam tipe tanah, akan tetapi elektromigrasi hanya menghilangkan kontaminan ionik seperti ion-ion logam, asam organik terlarut dan basa elektromigrasi adalah kunci dari mekanisme dalam menghilangkan kontaminan ion organik terutama ion-ion logam (Kim, 1998). Sedangkan gerakan air yang terjadi dalam tanah yang merupakan gerakan umum air terhadap katoda disebut dengan elektroosmosis. Gerakan umum dari air tanah ini membawa ion-ion yang selanjutnya mengurangi kontaminan. Pada gambar 2.4. menunjukkan peristiwa yang terjadi pada elektrokinetik. Gambar 2.4. juga mencakup elektroforosis, yaitu gerakan partikel terbeban atau koloid dalam medan listrik.



Gambar 2.4. Proses migrasi yang berlangsung

Bersamaan dengan terjadinya elektromigrasi dan elektroosmosis untuk memindahkan kontaminan pada salah satu elektroda, hal ini ditemukan berkaitan dengan kation pada anoda atau anion pada katoda sehingga dapat mengurangi kontaminan menuju elektroda dari beban yang berlawanan. Ini merupakan cara yang sempurna untuk menimbulkan bioremediasi atau menyebabkan terjadinya reaksi kimia yang akan mendetoksifikasi kontaminan. Bioremediasi menggambarkan bahwa adanya mikroorganisme dalam tanah dapat merusak kontaminan. Bersamaan dengan mikroorganisme, harus ada keseimbangan pH yang cocok untuk organisme itu selain nutrisi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup mikroorganisme tersebut. Dengan menggunakan elektrokinetik, memungkinkan menambahnya nutrisi pada elektroda dan membuat organisme bekerja dalam proses bioremediasi.

### **2.12.2. Pertimbangan khusus dari elektrokinetik**

Tanah berbutir halus menjadi pertimbangan khusus dalam remediasi kontaminasi air tanah. Kejenuhan pada tanah juga dapat menjadi faktor dalam banyaknya teknik remediasi. Sulitnya mengurangi kontaminan pada tanah berbutir halus mengakibatkan dapat terjadinya bioremediasi. Menurut sifat dari kontaminan yang dapat berpindah dari satu area ke area yang lain, elektrokinetik merupakan solusi yang baik untuk menangani masalah tersebut. Tetapi disamping itu, elektrokinetik memiliki dampak negatif dari proses pembersihan kontaminan. Jika terlalu banyak ion lain dalam tanah, maka dapat mengurangi target kontaminan yang akan di removal.

Salah satu keunggulan dari elektrokinetik bukan hanya kemampuan untuk memindahkan kontaminan, larutan dan ion yang ada dalam tanah tetapi juga dapat menambah ion dan larutan pada tanah untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

### **2.12.3. Keunggulan elektrokinetik**

Elektrokinetik menggunakan metode in-situ untuk menghilangkan kontaminan dapat dirancang untuk area kontaminan spesifik. Elektroda sangat membantu sekali penggunaannya dalam meremediasi tanah yang terkontaminan. Hal ini dapat menghemat biaya dan waktu. Elektrokinetik adalah metode penghilangan kontaminan yang baik. Tidak perlu menambahkan bahan lain pada elektroda untuk meremediasi tanah selain

elektroda itu sendiri dan sumber elektrik yang digunakan. Selain itu, tidak diperlukan pembersihan lahan untuk area yang akan diremediasi. Elektrokinetik juga dapat diaplikasikan pada berbagai kontaminan, logam dan media.

#### **2.12.4. Kelemahan elektrokinetik**

Karena elektrokinetik menggunakan penggunaan listrik dan logam sebagai konduktor listrik, hal ini sangat memungkinkan bahwa kontaminan yang terkandung didalam tanah akan mendistorsi medan listrik yang dihasilkan. Kontaminan tidak akan bergerak melalui jalur yang diperkirakan dan tidak akan mudah dihilangkan.

Kelemahan lain dari metode remediasi elektrokinetik ini adalah bahwa jika kontaminan yang ditargetkan berada pada proporsi sangat kecil dibandingkan dengan ion lain dalam tanah, arus bisa melewati ion lain dan membawa kontaminan menjauh bukannya menuju elektroda yang telah diletakkan (anoda dan katoda).

Selain itu, ada bahaya kesehatan yang ditimbulkan oleh elektrokinetik. Ada bahaya kesehatan nyata bagi pekerja yang dekat dengan voltase tinggi. Ada kemungkinan ledakan dari gas hidrogen yang dihasilkan melalui hidrolisa. Penghilangan kontaminan yang mengandung logam berbahaya menyebabkan lebih banyak orang yang berkontak dengan tanah tersebut dibandingkan dengan dibiarkan. Secara umum, ada banyak kehati-hatian untuk menghilangkan sebagian besar bahaya dari

tempat kerja. Sehingga mereka lebih baik mempertimbangkan dahulu sebelum kegiatan operasional dimulai.

### 2.13. Remediasi Tanah

Secara bahasa, remediasi berasal dari bahasa Inggris *remediation* dengan kata dasar remedial yang artinya dalam bahasa Indonesia adalah pemulihan (Echols, 1990). Jadi *soil remediation* adalah pemulihan tanah yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar seperti logam berat dan senyawa organik agar fungsi tanah dapat dimanfaatkan kembali dan tidak menimbulkan masalah bagi kesehatan lingkungan.

Pendekatan teknologi remediasi secara umum dilakukan dengan :

a. Isolasi

Teknologi isolasi ini bisa dilakukan dengan *capping* dan *subsurface barriers*.

b. Immmobilisasi yaitu dengan *Solidification/Stabilization* dan *Vitrification*.

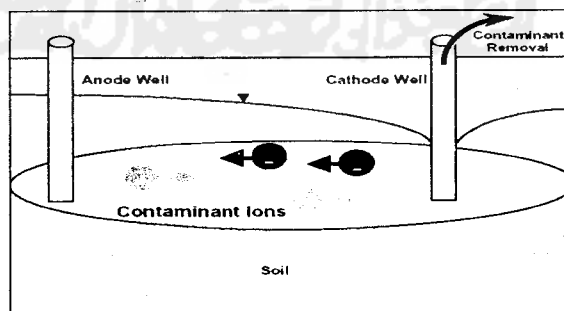
c. Reduksi toksisitas dengan *Chemical Treatment*, *Permeable treatment Walls*, dan *Biological Treatment*.

d. Pemisahan fisik, dan

e. Ekstraksi antara lain : *Soil Washing*, *Pyrometallurgical Extraction*, *In Situ Soil Flushing*, dan *Electrokinetic Treatment*. (Cynthia R.Evangko, 1997)

#### 2.14. Remediasi Elektrokinetik

Remediasi elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan tanah terkontaminasi logam berat dan senyawa-senyawa organik melalui proses secara in-situ dengan menggunakan tegangan listrik rendah dan arus DC (*Direct Current*) pada potongan melintang area antara elektroda yang diletakkan pada tanah dengan susunan aliran terbuka. Akibat arus DC dalam perubahan fisik-kimia dan hidrologi dalam tanah menunjukkan bermacam-macam transport dengan fenomena konduksi berpasangan dan tidak berpasangan dalam media berpori. Transport ini berpasangan dengan sorption, precipitation dan dissolution reactions (reaksi terputus), merupakan mekanisme dasar yang mempengaruhi remediasi elektrokinetik (Pamukcu, 1997). Tekanan aliran pada umumnya digolongkan dalam miliampere per sentimeter kuadrat ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) atau beda potensial tegangan listrik volt persentimeter. Dengan penerapan teknologi tersebut diharapkan kontaminan logam berat dalam tanah dapat dipindahkan/digerakkan, dipadatkan/dipekatkan oleh elektroda serta diekstraksikan dari tanah, yang secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2.5.



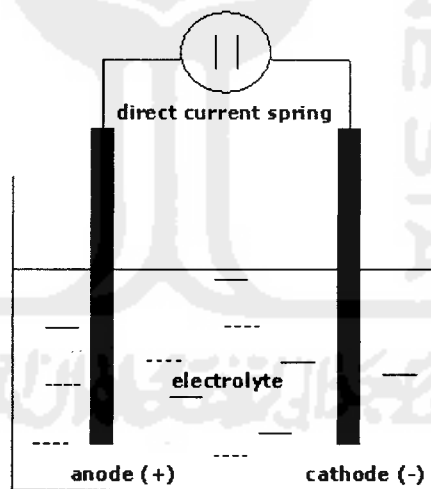
Gambar 2.5. Prinsip dasar remediasi elektrokinetik  
Sumber : Alshwabkeh, 2001

Elektrokinetik merupakan penggunaan medan listrik pada media tanah agar air, ion-ion, molekul-molekul polar serta zat-zat pencemar di dalamnya dapat digerakkan/ berpindah.(Pamukcu, 1994).

Pada teknologi ini, elektroda-elektroda ditempatkan pada tanah secara vertikal maupun horizontal. Ketika arus DC digunakan pada elektroda, dihasilkan tanah yang terpengaruh medan listrik oleh katoda dan anoda. Penggunaan sistem tersebut pada tanah mempunyai beberapa efek/akibat yaitu : elektromigrasi, elektroosmosis, elektrolisis, dan elektrophoresis (Probstein, 1994). Elektromigrasi, yaitu terjadinya perpindahan ion-ion pada logam. Mekanisme ini tergantung dari rapat arus (*Current Density*) dan elektromigrasi pada ion-ion hidrogen ( $H^+$ ) dan ion-ion hidroksyl ( $OH^-$ ) pada elektroda. Selain rapat arus menyebabkan elektromigrasi, rapat arus juga menyebabkan terjadinya aliran elektroosmotik yang disebabkan oleh perpindahan ion-ion secara paralel ke permukaan partikel termasuk ke elektroda dan selama terjadinya perpindahan, ion-ion tersebut berpindah kesekitar aliran secara melekat (Eykholt, 1992). Elektromigrasi dapat lebih efektif ketika ion hidrogen ( $H^+$ ) memiliki mobilitas yang baik dari pada ion hidroksyl ( $OH^-$ ), sehingga ion hidrogen lebih mudah bergerak cepat ditanah (Acar dan Alshwabkeh, 1993). Electroosmosis adalah proses transport air dalam jumlah besar yang terus mengalir pada tanah dibawah pengaruh gradien listrik. Elektrophoresis merupakan pergerakan partikel-partikel karena pengaruh medan listrik (Acar and Alshwabkeh, 1993). Elektroosmosis tergantung

pada jumlah perpindahan ion ke arah elektroda dan ke media (tanah) yang dapat meresap. Perpindahan ion sangat tinggi (memberikan efek yang sangat penting) pada proses pembersihan tanah terhadap kontaminan (Eykholt dan Daniel, 1994).

Elektrolisis merupakan proses dimana medan listrik akan merubah reaksi kimia. Proses ini terjadi didalam elektrolite, yang mana memberikan solusi bagi ion-ion untuk berpindah diantara elektroda. Elektrolisis menyebabkan perpindahan ion-ion positif (kation) ke katoda dan ion-ion negatif (anion) akan berpindah ke arah anoda. Elektrolite merupakan hubungan antara elektroda-elektroda yang dialiri arus DC, yang secara sistematis dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Electrolyse cell

Perubahan pH terjadi karena reaksi elektrolisis pada elektroda yang dialiri arus (Dzenitis, 1997). Reaksi elektrolisis memberikan efek yang



baik karena terjadinya oksidasi air pada anoda dan menghasilkan ion-ion hidrogen ( $H^+$ ). Ion-ion  $H^+$  tersebut membangkitkan asam untuk berpindah menuju katoda. Sebaliknya, penurunan air terjadi pada katoda dan menghasilkan ion-ion hidroksil ( $OH^-$ ) yang kemudian berpindah sebagai dasar ke arah anoda (Acar dkk, 1990). Transport pada ion-ion  $H^+$  diperkirakan 2 kali lebih cepat daripada ion-ion  $OH^-$ . Dengan demikian, gerakan asam rata-rata lebih besar daripada basa. Tetapi dengan adanya reaksi elektrolisis juga dapat memberikan efek negatif yaitu terhadap arus, karena dapat menurunkan Zeta Potensial dan dapat membentuk difusi lapisan ganda (*double layer*) (Mitchell, 1993). Elektrophoresis adalah perpindahan muatan koloid-koloid (bermuatan negatif) bergerak ke anoda dan koloid-koloid (bermuatan positif) bergerak ke arah katoda. Elektrophoresis tergantung pada ukuran partikel, jika partikel memiliki ukuran yang besar maka akan sulit untuk berpindah. Hal ini dikarenakan partikel koloid yang besar tersebut akan menahan terjadinya perpindahan (misalnya pada lempung yang padat).

## **2.15. Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Proses Remediasi Elektrokinetik**

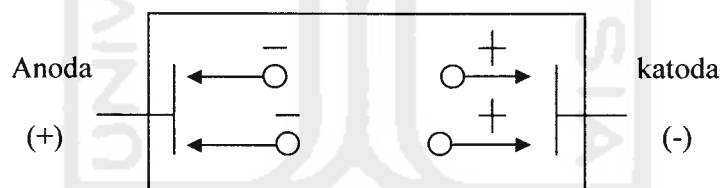
### **2.15.1. Tipe kontaminan dan konsentrasi**

Tingginya konsentrasi ion dalam pori-pori akan menambah konduktivitas listrik tanah dan mengurangi efisiensi aliran elektroosmotik.

Kuatnya aplikasi medan listrik harus dikurangi untuk mencegah konsumsi energi berlebih dan berlangsungnya pemanasan selama proses.

### 2.15.2. Tingkatan voltase dan arus

Intensitas arus tinggi dapat menjadikan lebih asam dan menambah laju transport untuk memfasilitasi proses removal kontaminan. Rapat arus (*Current Density*) berada pada kisaran antara 1-10 A/m<sup>2</sup> telah didemonstrasikan lebih efisien pada proses. Bagaimanapun, pemilihan rapat arus dan kuat medan listrik tergantung pada elektrokimia dari tanah yang akan diolah. Tingginya konduktivitas listrik tanah menunjukkan tingginya rapat arus yang dibutuhkan untuk menghantarkan kekuatan medan listrik yang dibutuhkan (Alshawabkeh, 1999)



Gambar 2.7. Skema perpindahan molekul yang disebabkan oleh arus listrik

### 2.15.3. Kimia effluen

Kontaminan berada dalam bentuk kimia yang berbeda dalam subsurface tergantung pada kondisi lingkungan. Mereka dapat berupa presipitasi padatan terlarut dalam pori-pori/air tanah, kompleks sorbed pada

permukaan partikel tanah atau jenis ikatan zat organik dalam tanah. Dalam perbedaan bentuk ini, hanya padatan terlarut dapat bergerak dan dihilangkan dengan ekstraksi elektrokinetik dan beberapa teknologi remediasi yang lain. Untuk meningkatkan kinerja proses dapat ditambahkan zat kimia spesifik untuk tanah yang spesifik pula. Penambahan ini akan merubah karakteristik sorption, penambahan ini harus melalui uji laboratorium karena penambahan yang salah akan mempersulit proses remediasi (Alshawabkeh, 1999)

## **2.16. Elektroda-Elektroda**

### **2.16.1 Jenis-jenis elektroda**

Ada dua jenis elektroda, yaitu :

#### **a. Anoda**

Pada sel galvanik atau sel elektrokimia (sel di mana energi bebas dari reaksi kimia diubah menjadi energi listrik), anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif yang disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan, elektron akan dilepaskan pada elektroda ini.

Pada sel elektrolisis (sel dimana energi listrik digunakan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia), sumber eksternal tegangan didapat dari luar, sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Dengan demikian ion-ion bermuatan negatif mengalir ke anoda untuk di oksidasi.

b. Katoda

Adalah elektroda-elektroda tempat terjadinya reduksi berbagai kimia. Pada sel galvanik, katoda bermuatan positif bila dihubungkan dengan anoda. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda ini untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda.

Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda ini untuk direduksi. Dengan demikian, di sel galvanik, elektron bergerak dari anoda ke katoda dalam sirkuit eksternal. Sedangkan di sel elektrolisis, elektron didapat dari aki/baterai eksternal yang masuk melalui katoda keluar lewat anoda.

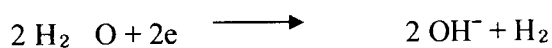
### 2.16.2. Reaksi-reaksi pada elektroda

Reaksi pada elektroda terjadi pada katoda dan anoda, yaitu :

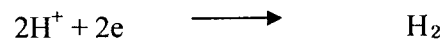
1. Katoda

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

- a. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, ion-ion logam alkali tanah, ion  $\text{Al}^{3+}$  dan ion  $\text{Mn}^{2+}$ , maka ion-ion logam ini tidak dapat direduksikan dari larutan. Yang mengalami reduksi adalah pelarut, dan terbentuklah gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) pada katoda



- b. Jika mengandung asam, maka ion H dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen (H) pada katoda



- c. Jika larutan mengandung ion-ion logam yang lain, maka ion-ion logam ini akan direduksi menjadi masing-masing logamnya dan logam yang terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda.



## 2. Anoda

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

- a. Ion-ion halida ( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ) akan dioksidasi menjadi halogen-halogen.
- b. Ion  $\text{OH}^-$  dari basa akan dioksidasi menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ).



- c. Anion-anion yang lain ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dsb) tidak dapat dioksidasi dari larutan. Yang akan mengalami oksidasi adalah pelarut (air) dan terbentuklah gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) pada anoda.



### 2.16.3. Sifat elektoda-elektroda

Pada berbagai sel, umumnya elektroda-elektroda tercelup langsung dalam larutan atau dihubungkan lewat jembatan garam yang merupakan jalan aliran elektron. Jembatan garam umumnya digunakan apabila elektroda-elektroda harus dicelupkan dalam larutan yang berbeda dan tidak tercampur. Berbagai jenis elektroda yang digunakan dan reaksi-reaksi kimia yang terjadi adalah :

#### a. Elektroda-elektroda Gas

Di sini elektroda inert yang berhubungan dengan gas pada tekanan 1 atm (kecuali ditentukan) dan ion-ionnya dalam larutan, misalnya elektroda gas hidrogen dan lain-lain. Ditulis sebagai  $H | H (1 \text{ atm}) | Pt$  dan reaksi kimianya



Sifat elektroda inert akan sedemikian rupa sehingga bila tegangan eksternal diubah sedikit saja dari nilai kesetimbangan, reaksi akan terjadi satu arah atau sebaliknya. Elektroda yang paling sesuai adalah platina dengan lapisan tipis bubuk platina atau platina hitam.

#### b. Elektroda Oksidasi-reduksi

Disini elektroda inert (umumnya platina) dicelupkan dalam larutan yang mengandung ion-ion yang mempunyai 2 tingkatan oksidasi, misalnya elektroda platina dicelupkan dalam larutan yang mengandung *stannous* dan *stannic*.

### c. Elektroda logam-Ion Logam

Disini elektroda logam dicelupkan dalam suatu larutan yang mengandung ion-ion logam tersebut, dan elektroda logam ikut berperan pada reaksi kimia. Reaktivitas logam akan menjadi perantara, kalau tidak, logam-logam reaktif akan bereaksi dengan air dan tidak bekerja sebagai elektroda. Sebagai contoh ialah elektroda tembaga yang dicelupkan dalam larutan sulfat tembaga.

### d. Elektroda Logam-Garam Tidak Larut

Di sini elektroda logam berhubungan dengan garamnya yang tidak larut, yang selanjutnya berhubungan dengan ion-ionnya (umumnya anion). Yang paling utama adalah elektroda model kalomel yang terdiri dari merkuri, merkuro klorida ( $\text{HgCl}$ ) dan larutan jenuh KCL. Tetapi konsentrasi ion Cl dapat berbeda.

#### 2.16.4. Potensial elektroda

Potensial elektroda itu sendiri adalah selisih potensial yang terbentuk antara elektoda (fase padat) dan elektrolit (fase cair) (Vogel, 1994). Elektroda hidrogen dipakai sebagai standar dalam menentukan harga  $E^\circ$  sebesar 0 Volt. Deret potensial logam atau dikenal juga sebagai deret volta dapat diurutkan dari yang kecil sampai yang besar :

K-Ba-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-(H)-Sb-Bi-Cu-Hg-  
Ag-Pt-Au

Dengan melalui deret volta, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Logam-logam yang terletak disebelah kiri H memiliki  $E^\circ$  negatif.

Logam-logam yang terletak disebelah kanan H memiliki  $E^\circ$  positif.

2. Makin kekanan letak suatu logam dalam deret volta, harga  $E^\circ$  makin besar. Hal ini berarti bahwa logam-logam disebelah kanan mudah mengalami reduksi serta sukar mengalami oksidasi.
3. Makin kekiri letak suatu unsur dalam deret volta, harga  $E^\circ$  makin kecil. Hal ini berarti bahwa logam-logam disebelah kiri sukar mengalami reduksi serta mudah mengalami oksidasi.
4. Oleh karena unsur-unsur logam cenderung melepaskan elektron (mengalami oksidasi), maka logam-logam disebelah kiri merupakan logam-logam aktif (mudah melepaskan elektron). Sedangkan logam-logam disebelah kanan merupakan logam-logam mulia (sangat sukar melepaskan elektron).
5. Makin kekanan, sifat reduktor makin lemah (sukar teroksidasi). Makin kekiri, sifat reduktor makin kuat (mudah teroksidasi). Itu sebabnya, unsur-unsur dalam deret volta hanya mampu mereduksi unsur-unsur dikanannya, tetapi tidak mampu mereduksi unsur-unsur dikirinya.

### 2.17. Landasan Teori

Pertambangan emas pada umumnya mempunyai air buangan selain bersifat asam juga mengandung ion logam, bersifat toksik dan terutama mengandung bahan-bahan anorganik (Tjokrokusumo, 1995). Air buangan



dari tailing tersebut umumnya mengandung asam mineral dalam jumlah tinggi sehingga keasamannya juga tinggi/pH rendah. Air buangan ini dapat berasal dari limbah cair pemurnian emas yang mengandung  $\text{Cu}^{2+}$  yang tinggi karena pada bahan baku emas tersebut juga mengandung tembaga pada tahap pemurnian emas, tembaga ini larut bersama air.

Dalam proses penurunan kadar Cu dalam limbah cair, banyak teknologi yang dapat digunakan. Namun efektivitas dan nilai ekonomis suatu pengolahan oleh masing-masing teknologi tergantung dari sifat fisika dan konsentrasi awal dari kadar Cu dalam limbah tersebut. Perubahan tingkat penurunan kadar Cu perlu mendapat perhatian untuk menentukan jenis pengolahannya.

Pengolahan limbah tailing pada penambangan emas pada penelitian ini menggunakan remediasi elektrokinetik dimana tanah yang terkontaminasi dialiri dengan aliran listrik berintensitas rendah menggunakan aplikasi arus DC dengan menggunakan karbon sebagai adsorban. Pemilihan karbon sebagai adsorban karena memiliki nilai ekonomis yang tidak terlalu mahal dibandingkan dengan platinum dan kekuatan penyerapannya lebih besar dibandingkan dengan aluminium (telah dilakukan pra penelitian dengan waktu yang tidak maksimal, sehingga kurangnya penurunan kontaminan) (lampiran 3).

### 2.18. Hipotesa

Berdasarkan perumusan masalah dan landasan teori maka dapat disusun hipotesis sebagai berikut :

- a. Elektrokinetik konfigurasi 2D dapat digunakan untuk remediasi tanah terkontaminasi Cu.
- b. Konfigurasi elektroda 2D *Hexagonal* lebih efisien untuk meremediasi tanah terkontaminasi Cu.



## **BAB III**

### **METODELOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Penelitian lapangan dilakukan di Dusun Sangon, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.

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

Pengujian hasil penelitian dilakukan di BLK (Balai Laboratorium Kesehatan) Yogyakarta.

#### **3.2. Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada dua tahap, yaitu :

1. Tahap pra penelitian : pemilihan tanah, analisis karakteristik dan jenis tanah, persiapan elektroda dan *power supply* yang dilaksanakan mulai Agustus 2006.
2. Tahap penelitian dilaksanakan mulai September 2006.

#### **3.3. Metode Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data primer
  - a. Analisis karakteristik tanah.

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

2. Data sekunder

Data sekunder diambil dari studi kepustakaan dengan cara mengumpulkan data dan membaca buku / literature di perpustakaan dan internet.

### 3.4. Metode Penelitian

#### 3.4.1. Pra penelitian

Langkah-langkah pra penelitian meliputi :

##### 1. Persiapan alat dan bahan

1. Alat yang digunakan :

- a. Wadah tanah dari kaca
- b. Timbangan
- c. *Spray*/semprotan
- d. Pengaduk
- e. *power supply*
- f. Kabel
- g. Elektroda Karbon sebanyak 7 batang
- h. Digital Meter
- i. pH meter
- j. Metode AAS

## 2. Bahan yang digunakan

- a. Limbah penambangan emas (*tailing*) Kokap Kulonprogo
- b. Aquadest

## 2. Tahap perencanaan

### 1. Pengambilan limbah penambangan emas

Tanah penambangan ditumbuk sehingga menghasilkan tanah yang halus dan karena tanah telah kering maka diberi aquades untuk menghasilkan tanah sesuai dengan pH semula (3,5).

### 2. Penyiapan wadah dan tanah.

Tempat yang digunakan merupakan tempat dari penelitian terdahulu yang terbuat dari kaca dengan berukuran (1 x 1 x 1)m dan berisi tanah yang telah ditimbang sebanyak 312,5 kg.

### 3. Persiapan elektroda

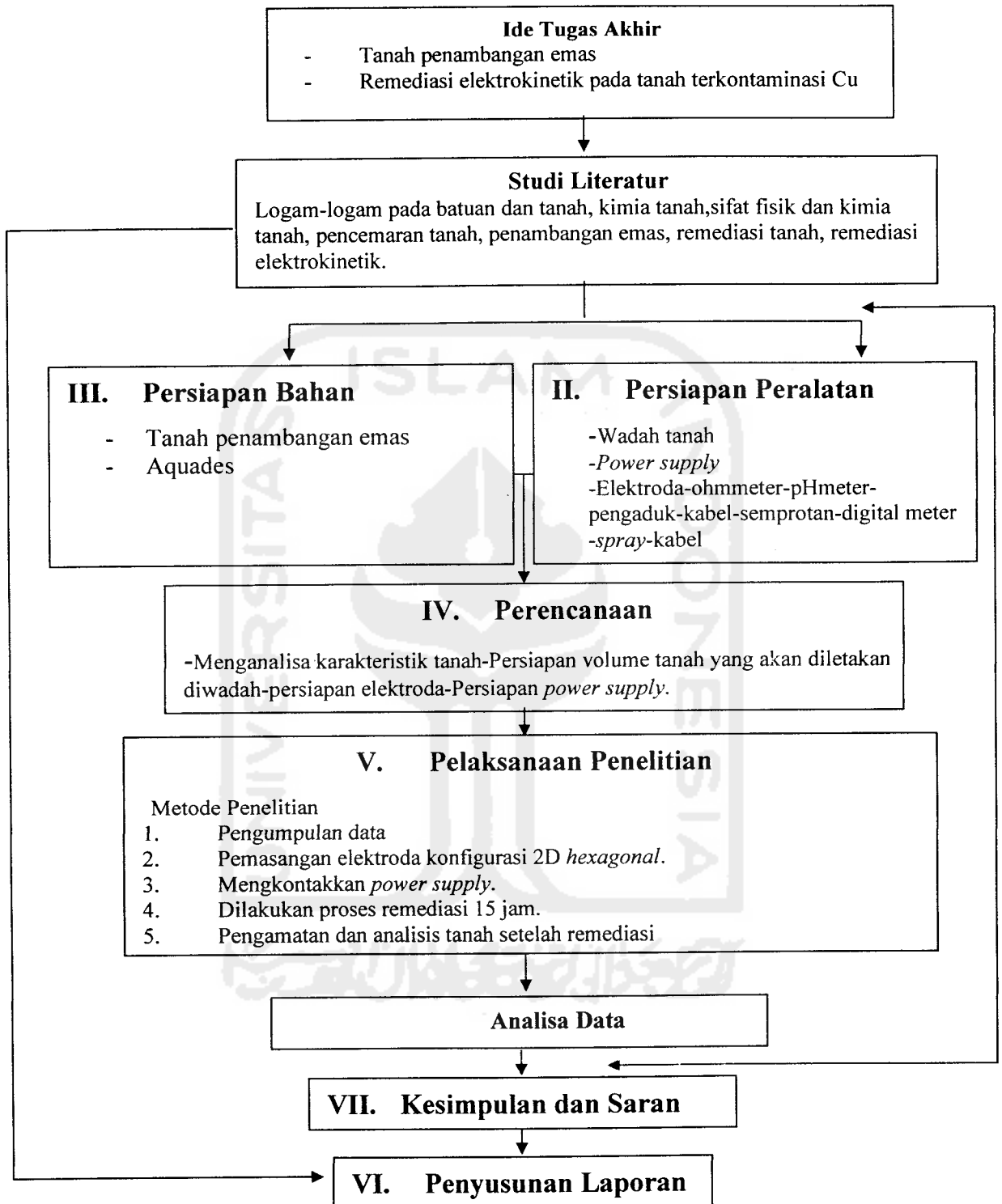
Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda karbon, berbentuk silinder dengan ukuran panjang 6 cm dan diameter 0,8 cm. Seluruh permukaan elektroda ditancapkan kedalam sampel tanah secara vertikal dengan jarak elektroda adalah 15 cm dengan konfigurasi *hexagonal*.

### 3.4.2. Tahap penelitian

1. Pemasangan elektroda (7 batang karbon) pada tanah (berbentuk *hexagonal*) pada tanah *tailing* yang telah disiapkan
2. Pemasangan kabel-kabel secara paralel pada tiap-tiap elektroda yang dihubungkan pada *power supply*.
3. Mengkontakkan adaptor dengan sumber arus listrik 220 Volt agar arus DC 0.2 Ampere 40 Volt dapat mengalir pada permukaan elektroda dan tanah.
4. Proses dilakukan selama 15 jam.
5. Pada tiap-tiap sampel dilakukan pengamatan dengan interval waktu setiap 3 jam selama 15 jam dengan pengambilan sampel tanah yang telah diremediasi kemudian dianalisa terhadap kandungan konsentrasi Cu, *resitivity*, pH dan perubahan warna tanah.. (untuk pengamatan ini arus listrik dimatikan).

Secara lebih sederhana, alur pikir penelitian ini dapat dilihat pada

Gambar 3.1. berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

### 3.4.3. Analisa data

Analisa data yang digunakan untuk membuktikan kebenaran hipotesa yaitu :

#### I. Pembuktian hipotesis 1

Menghitung efisiensi kenaikan kadar kontaminan Cu setelah dilakukan remediasi tanah secara elektrokinetik. Untuk menghitung efisiensi tersebut digunakan persamaan sebagai berikut : (Metcalf dan Eddy, 1991).

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$E$  = Efisiensi (%)

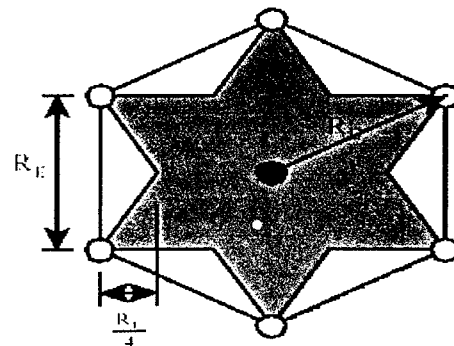
$C$  = Konsentrasi

### 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 3.2.





$$\text{Area of Cell} = \frac{\sqrt{3}R_1}{2}$$

$$\text{Ineffective Area} = \frac{3R_1}{4}$$



Gambar 3.2. Konfigurasi elektroda *hexagonal*

Sumber : Alshawabkeh, 1999

Kebutuhan elektroda maksimum untuk konfigurasi 2D dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$N = \left[ \frac{F_1}{\pi R_e^2} \right] \dots \dots \dots (2)$$

Dengan,

$N$  = banyaknya elektroda per satuan permukaan ( $L^{-2}$ )

$R_e$  = jarak anoda-katoda ( $L$ )

$F_1$  = faktor bentuk yang tergantung pada bentuk konfigurasi, tidak berdimensi, tertera pada Tabel 3.1. (Alshawabkeh, 1999).

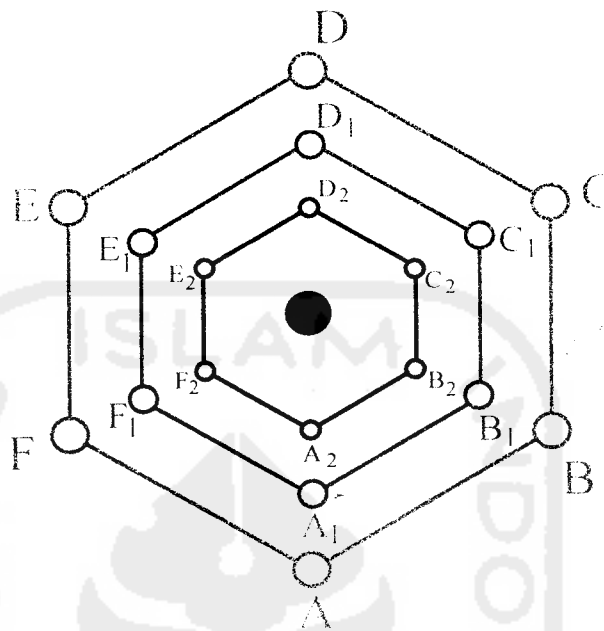
Tabel 3.1. Perbandingan kebutuhan elektroda tiap-tiap konfigurasi

Sumber : Alshawabkeh, 1999

Config.	Electrode spacing		No. of Electrodes per cell ( $F_c$ )	Area of cell ( $A_{cell}$ )	No. of electrodes per unit area		Effective Area	
	Opp. Charge	Same charge			$N$	% increase	$A_{ineff}$	% of $A_{cell}$
1-D	$l_E$	$l_E$	1	$l_E^2$	$1/l_E^2$	0	$l_E^2/2$	50%
1-D	$l_E$	$l_E/2$	2	$l_E^2$	$2/l_E^2$	100%	$l_E^2/4$	25%
1-D	$l_E$	$l_E/3$	3	$l_E^2$	$3/l_E^2$	200%	$l_E^2/6$	17%
Square	$R_E$	$\sqrt{2} R_E$	2	$2 R_E^2$	$1/R_E^2$	0	$R_E^2$	50%
Hex.	$R_E$	$R_E$	3	$3(\sqrt{3})R_E^2/2$	$\sqrt{(4/3)}/R_E^2$	15.5%	$3R_E^2/4$	29%

Dari persamaan (2), maka pada penelitian ini diperkirakan untuk konfigurasi elektroda *hexagonal* dengan jumlah elektroda 7 batang, jarak maksimum antar elektroda adalah 30 cm.

## 3.5.2. Desain titik sampling



Gambar 3.3. Desain Titik Sampling

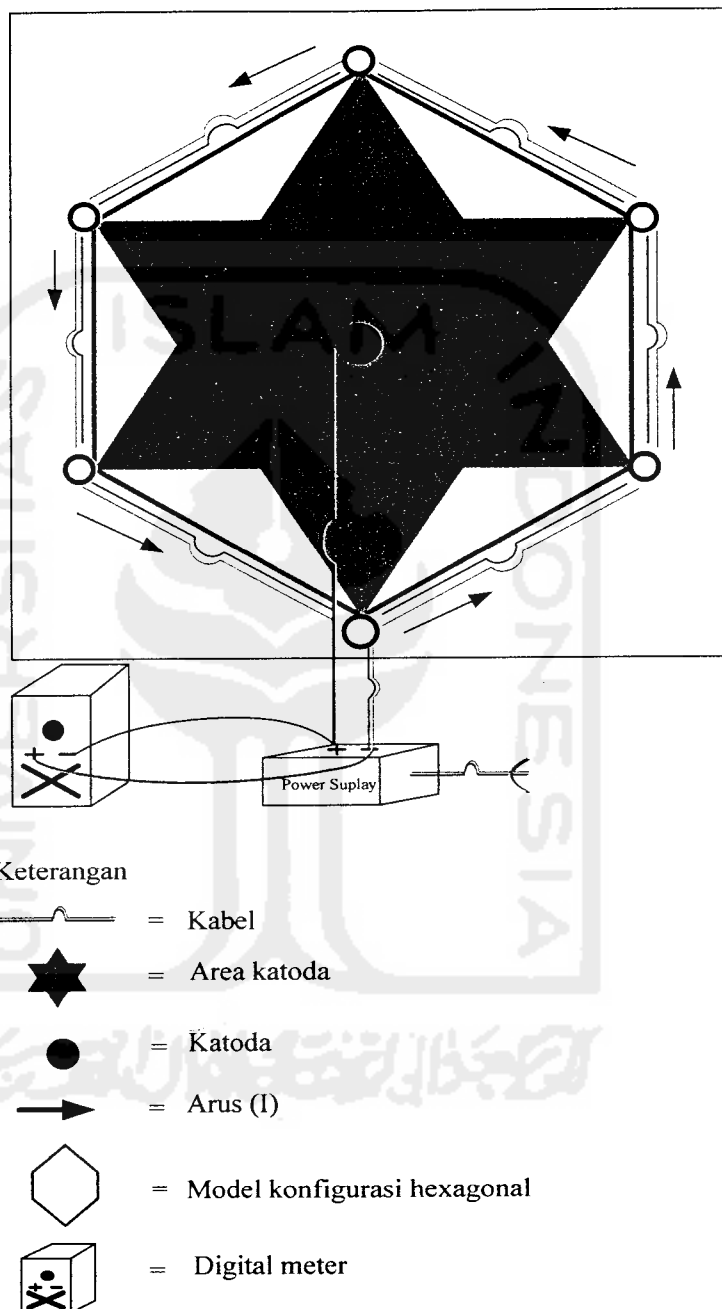
Dengan :

\_\_\_\_\_ Hingga \_\_\_\_\_ = Area 1

\_\_\_\_\_ Hingga \_\_\_\_\_ = Area 2

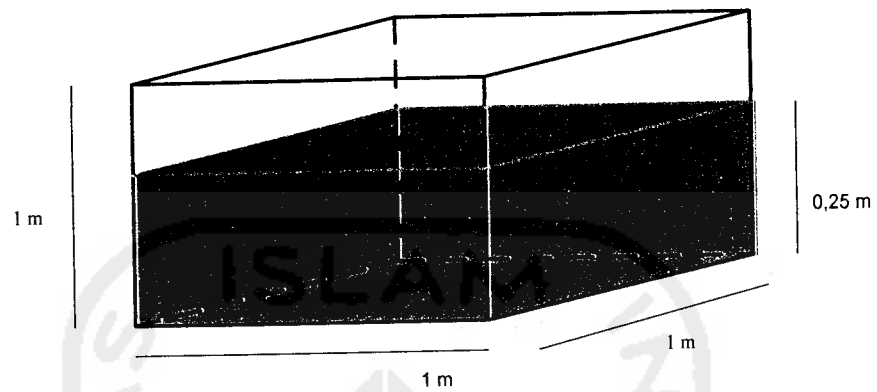
\_\_\_\_\_ Hingga ○ = Area 3

## 3.5.3. Desain reaktor



Gambar 3.4. Desain reaktor

### 3.5.4. Desain wadah dan berat tanah



Gambar 3.5. Desain wadah

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tanah} &= p \times l \times t \\
 &= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \\
 &= 0,25 \text{ m}^3 = 250 \text{ l}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tanah} &= B_j \text{ tanah} \times \text{volume tanah} \\
 &= 1,25 \text{ kg/l} \times 250 \text{ l} \\
 &= 312,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan limbah *tailing* penambangan emas tradisional di daerah Kokap Kulonprogo. Berdasarkan hasil uji awal terhadap limbah *tailing* tersebut, diketahui konsentrasi Cu sebesar 6,0246 mg/l (Lampiran 4). Konsentrasi Cu tersebut, melebihi ambang batas konsentrasi Cu pada tanah yaitu sebesar 1 mg/kg (National Environmental Protection Council, 1999) sehingga dapat menyebabkan gangguan pada pernafasan bagian atas yang mana bersumber dari keberadaan debu dan uap Cu serta tidak adanya tanaman yang tumbuh.

#### 4.1. pH pada Area Efektif

Analisis terhadap pH dilakukan pada semua titik sampel selama 15 jam dengan interval waktu 3 jam dengan pH awal sebesar 3,5 yang merupakan kondisi asam pada tanah.

Pada penelitian ini tidak terjadi peningkatan pH pada area efektif (Tabel 4.1. lampiran 5). Hal ini disebabkan karena penambahan aquadest yang berlebihan, sehingga dalam waktu 15 jam penelitian kandungan air pada tanah masih banyak. pH pada tanah tidak akan berubah tergantung penambahan kapasitas buffer pada *tailing* yang mana akan menurunkan kekuatan adsorb pada tanah (Kim, 2001). Sebagaimana juga dinyatakan oleh Alshwabkeh (1999) bahwa perubahan pH pada tanah yang

terkontaminasi tergantung pada jenis bahan kimia, kadar air dalam tanah, proses elektrolisis, waktu *treatment* dan potensial elektrokimia. Limbah *tailing* yang mengandung  $\text{Cu}^{2+}$  merupakan kondisi asam pada tanah. Perpindahan Cu akan menurun dengan berlangsungnya proses sorption pada permukaan *tailing* yang kemudian akan terjadi penyerapan yang kuat pada  $\text{Cu}^{2+}$  sehingga akan melebihi dari ukuran pH (Dzombak dan Morel, 1990). Sehingga secara kimiawi, logam bereaksi menuju tingkat stabil (biasanya dengan cara membentuk garam atau bentuk unsur stabil). Arah untuk mencapai kestabilan tersebut pada penelitian ini adalah menuju katoda. Sehingga semakin mendekati area katoda seharusnya tanah mengalami keadaan basa yang mana akan menyebabkan meningkatnya pH. Tetapi pada penelitian ini, nilai pH tidak terjadi perubahan. Hal ini juga disebabkan karena proses elektrolisis. Seperti yang diungkapkan Dzontis (1997) bahwa perubahan pH tergantung pada reaksi elektrolisis. Proses elektrolisis pada tanah tidak berlangsung maksimum yang mana penurunan air pada katoda yang menghasilkan ion-ion hidroksyl tidak maksimum juga dan oksidasi air pada anoda yang terjadi juga tidak berlangsung maksimum sehingga ion-ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) yang dihasilkan juga tidak maksimum. Padahal ion-ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) tersebut membangkitkan asam untuk berpindah ke katoda. Sehingga hal ini yang mengakibatkan tanah masih dalam keadaan asam (Acar dkk, 1990). Tidak berubahnya pH dapat terjadi karena proses sorption dan desorption kurang berlangsung. Sorption termasuk adsorpsi dan perpindahan ion yang

tergantung pada tipe kontaminan, tipe tanah dan banyaknya kandungan air pada tanah sedangkan desorption mengakibatkan kontaminan terkumpul ke permukaan tanah (Acar dan Alshawabkeh, 1993). Remediasi elektrokinetik pada penelitian ini berlangsung selama 15 jam. Karena kadar air dalam tanah masih terus keluar pada katoda pada saat remediasi berlangsung. Hal ini memungkinkan waktu untuk proses remediasi tidak optimum sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama lagi untuk terjadinya kenaikan pH. Karena tidak hanya area katoda saja yang berpengaruh terhadap perubahan pH, faktor waktu juga berpengaruh terhadap kenaikan pH. Jangan meremehkan lamanya waktu pada proses pengurangan kontaminan dari tanah. Jika waktu yang digunakan sedikit, maka akan sulit untuk mengurangi kontaminan dengan tanah pada keadaan asam, terlebih lagi ketika kutub dari katoda tidak digunakan. Ketentuan dari proses waktu sangat kompleks dan berpengaruh kepada penyerapan dan pengurangan kontaminan, DC, pengklasifikasian kontaminan dari jarak yang berbeda (Alshawabkeh dan Acar, 1996).

Larutnya logam-logam pada tanah dan air tanah berlangsung secara kimiawi (Sposito, 1989) dengan faktor-faktor pertimbangan seperti pH, perpindahan ion dan bercampurnya dengan unsur organik. Unsur organik dan kelembaban dapat memberikan solusi untuk meremoval logam-logam (Ali dan Dzombak, 1996). Secara kimia, senyawa-senyawa dibentuk oleh logam Cu (tembaga) mempunyai bilangan valensi +1 dan +2. Berdasarkan pada bilangan valensi yang dibawanya, logam Cu



dinamakan juga cuppro untuk yang brevalensi +1 dan cuppry untuk yang bervalensi +2. Kedua jenis ion Cu tersebut dapat membentuk kompleks-kompleks yang stabil. Logam Cu dan beberapa bentuk persenyawaannya, seperti CuO, CuCO, Cu(OH) dan Cu(CN), tidak dapat larut dalam air dingin atau panas, tetapi mereka dapat dilarutkan dalam asam. Hal ini juga yang memungkinkan sehingga kondisi tanah masih dalam keadaan asam sehingga logam tembaga tersebut dapat terurai secara remediasi elektrokinetik. Penyerapan Cu terjadi pada pH yang rendah dan pada pH yang tinggi menahan penyerapan Cu (Tipping et al, 1983 ; Davis, 1984).

#### 4.2. Konsentrasi Cu pada Area Efektif

Analisis penelitian konsentrasi Cu dilakukan pada titik sampel A, B, C (area 1), A1, C1, E1 (area 2) dan A2, C2, E2 (area 3) selama 15 jam dengan interval waktu 3 jam. Analisis ini dilakukan per area dengan :

a. Area efektif yaitu :

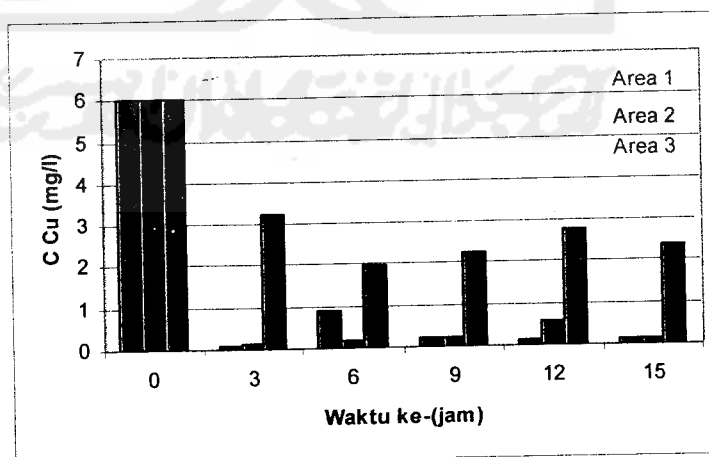
1. Area 1 berada pada 15 cm dari katoda
2. Area 2 berada pada 10 cm dari katoda
3. Area 3 berada pada 5 cm dari katoda

b. Dan pada waktu 0 jam

Setelah sampel tanah *tailing* mengalami proses remediasi elektrokinetik dengan variasi konfigurasi elektroda 2D *hexagonal*, sampel

tanah tailing ini kemudian dianalisa dengan metode AAS. Proses elektrokinetik merupakan penggunaan medan listrik pada media tanah agar air, ion-ion, molekul-molekul polar serta zat-zat pencemar di dalamnya dapat digerakkan/berpindah (Pamukcu, 1994). Hasil analisis dengan metode AAS tersebut menunjukkan kandungan konsentrasi Cu awal (titik Ao) sebesar 6,0246 mg/l dan konsentrasi akhir 0,1535 mg/l (lampiran 4). Pada proses remediasi ini, diharapkan memperoleh konsentrasi yang semakin menurun pada masing-masing area setiap 3 jam selama 15 jam. Tetapi hasil yang didapat berfluktuasi. Hal ini disebabkan karena pengadukan ketika di dalam reaktor tidak merata sehingga kondisi tanah tidak homogen.

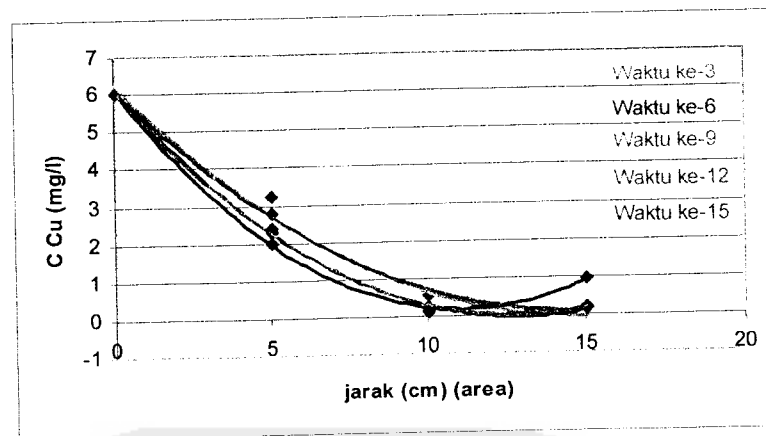
Tabel 4.2. merupakan data hasil analisis konsentrasi Cu berdasarkan waktu pada area efektif dan Tabel 4.3. sampai Tabel 4.5. adalah hasil analisis konsentrasi Cu rata-rata yang disusun berdasarkan titik sampling tiap area (lampiran 6) sehingga dapat dibuat grafik hubungan konsentrasi Cu tiap area terhadap waktu Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Konsentrasi Cu terhadap waktu

Pada Gambar 4.1. terlihat peningkatan konsentrasi pada area 3 yang merupakan area terdekat dengan katoda. Pada daerah sekitar katoda terjadi proses reduksi sehingga ion-ion logam tertarik pada katoda. Logam yang terbentuk itu kemudian diendapkan pada permukaan batang katoda. Batang katoda ini terselimuti oleh logam Cu serta logam-logam lain yang terdapat pada tailing sehingga mengakibatkan konsentrasi yang terkandung semakin besar. Selain itu, area sekitar katoda juga terjadi aliran elektroosmotik dan proses elektroosmosis. Aliran elektroosmotik disebabkan oleh perpindahan ion-ion secara paralel ke permukaan partikel termasuk ke elektroda dan selama terjadinya perpindahan, ion-ion tersebut berpindah kesekitar aliran secara melekat (Eykholt, 1992). Sedangkan proses elektroosmosis yang terjadi sangat besar, karena jumlah perpindahan ion ke arah elektroda dan ke media (tanah) sangat tinggi. Hal ini memberikan efek yang sangat penting pada proses pembersihan tanah terhadap kontaminan (Eykholt dan Daniel, 1994).

Selain dapat dibuat grafik hubungan konsentrasi Cu terhadap waktu Gambar 4.1, dapat juga dibuat grafik hubungan penurunan konsentrasi Cu setiap interval waktu terhadap jarak Gambar 4.2. dan grafik-grafik terhadap masing-masing waktu Gambar 4.3. sampai 4.7. (lampiran 7)



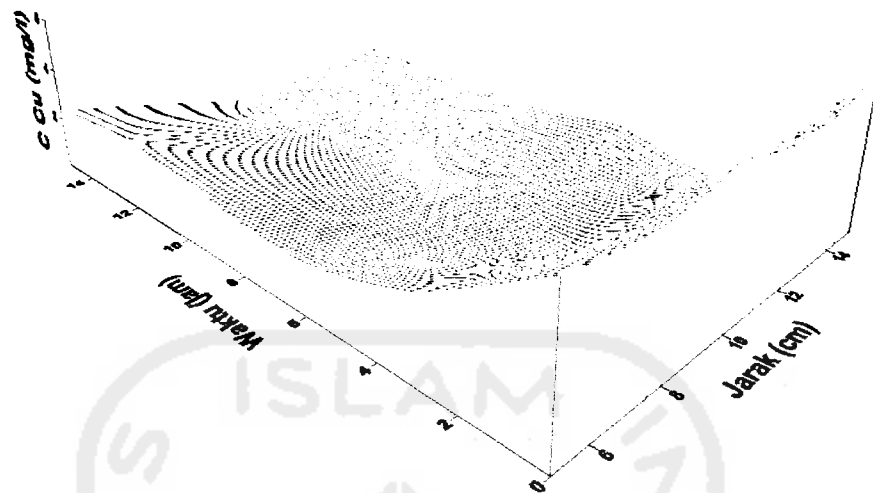
Gambar 4.2. Konsentrasi Cu setiap interval waktu terhadap jarak

Gambar 4.2. menerangkan penurunan konsentrasi yang tidak merata. Pada waktu ke-9 dan waktu ke-12 terjadi proses penurunan konsentrasi yang sangat bagus. Penurunan konsentrasi disebabkan karena terjadinya proses elektromigrasi yang merupakan terjadinya perpindahan ion-ion pada logam. Ion-ion yang berpindah adalah ion yang bermuatan negatif akan bergerak ke ion-ion positif (kation) sedangkan ion-ion yang bermuatan positif akan bergerak ke ion-ion negatif (anion). Elektromigrasi dapat lebih efektif ketika ion hidrogen memiliki mobilitas yang baik dari pada ion hidroxy, sehingga ion hidrogen lebih mudah bergerak cepat di tanah (Acar dan Alshawabkeh, 1993). Selain itu, secara fisika logam Cu (tembaga) digolongkan ke dalam kelompok logam-logam penghantar listrik yang baik. Hal ini berarti dari logam Cu itu sendiri merupakan konduktor yang baik, sehingga pada waktu ke-9 dan ke-12 dimungkinkan kandungan tembaga (Cu) terkumpul secara merata pada semua area. Proses kimia dan fisika pada tanah akan mempengaruhi hadirnya

kontaminan logam, perpindahannya dan pemilihan teknologi untuk meremediasi (Gerber et al, 1991).

Pada waktu ke-6, terjadi peningkatan kembali pada area 1 setelah terjadi penurunan konsentrasi pada area 2. Meningkatnya kembali konsentrasi pada area 1 disebabkan karena pada jam ke-6 di area 1 proses elektromigrasi dan elektrosmosis tidak berlangsung dengan baik. Karena untuk memindahkan kontaminan pada salah satu elektroda, berkaitan dengan kation pada anoda atau anion pada katoda. Sehingga dapat mengurangi kontaminan menuju elektroda dari beban yang berlawanan. Terjadinya penurunan yang berfluktuasi ini juga disebabkan karena kondisi tanah yang tidak homogen sehingga penurunan konsentrasi tidak stabil. Padahal semakin menjauhi area katoda, konsentrasi seharusnya semakin menurun. Akibat dari pengadukan yang tidak merata serta kandungan air yang masih banyak ini adalah ion tidak dapat bermigrasi secara efektif sehingga mobilitas yang terjadi tidak berlangsung baik sehingga ion  $H^+$  tidak bergerak cepat ditanah. Pernyataan ini didasarkan pada pernyataan Alshwabkeh, 1993 yang berpendapat bahwa ukuran dari elektromigrasi dapat efektif ketika ion dan ion hidrogen mengecil sehingga memiliki mobilitas yang baik dari pada ion hydroxil, sehingga  $H^+$  lebih mudah bergerak ditanah.

Selain itu, untuk membandingkan penurunan konsentrasi secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3 Dimensi Gambar 4.8.



Gambar 4.8. 3 Dimensi perbandingan konsentrasi Cu terhadap waktu dan jarak pada area efektif

Pada Gambar 4.8. menggambarkan korelasi penurunan konsentrasi yang dilakukan terhadap jarak 5 cm dari katoda yang merupakan area 1, jarak 10 cm dari katoda yang merupakan area 2 dan jarak 15 cm dari katoda yang merupakan area 3 sebagai titik x dan interval waktu 3, 6, 9, 12, 15 jam sebagai titik y dengan memasukkan konsentrasi rata-rata sebagai titik z. Ketidakstabilan penurunan konsentrasi Cu terjadi karena banyaknya kandungan air pada tanah yang dianalisis serta proses migrasi terhadap mobilitas ion-ion Cu kearah katoda tidak maksimum sehingga dimungkinkan membutuhkan waktu yang lebih lama lagi dalam proses remediasi. Hal ini didasarkan pada *Metode Hittorf* yang memiliki dasar bahwa perubahan jumlah elektrolit di dalam ujung ruangan tergantung pada reaksi elektrolisis (terjadinya reduksi pada katoda

dan oksidasi pada anoda) dan pada jumlah ion yang telah bermigrasi ke dalam atau ke luar dalam proses membawa arus listrik, yaitu kecepatan ion-ion. Jadi hal ini membutuhkan penentuan konsentrasi larutan dalam tiap tabung serta jumlah produk yang diendapkan pada katoda dari coulometer (disini penelitian terhadap arus menggunakan digital meter). Sehingga ion negatif dan ion positif sulit dibebaskan dan menyebabkan penguraian HO serta pembentukan  $O_2$ ,  $H^+$  dan elektron dari ion negatif dan penguraian HO serta pembentukan  $H_2$ ,  $OH^-$  dan absorpsi elektron dari ion positif.

#### 4.3. Cu Pada Area Inefektif

Area inefektif merupakan area yang ada diluar skema remediasi elektrokinetik dengan jarak 15 cm dari anoda. Sampel tanah diambil setelah proses remediasi berlangsung. Pengambilan sampel ini berfungsi untuk membandingkan penurunan konsentasi dengan area efektif sehingga mengetahui seberapa besar keberhasilan proses remediasi tetapi pada penelitian ini hanya diambil 2 area inefektif saja. Sehingga, untuk mengetahui perbandingan penurunan antara area efektif dengan area inefektif sangat sulit untuk dibandingkan. Disini seharusnya peneliti melakukan pengambilan sampel pada setiap interval waktu tetapi hanya mengambil 2 titik sampel sebagai perbandingan. Tabel 4.6. merupakan hasil pengambilan sampel pada area inefektif sejauh 15 cm dari anoda.(lampiran 8)

Aliran lambat pada pembersihan dan teknik sampling terjadi untuk meminimalisasikan gangguan pengambilan sampel yang dapat berpengaruh pada analisis (Puls, 1994 ; Puls dan Paul, 1995). Hasil analisis area inefektif pada penelitian ini hanya memakai satu titik sampel saja. Hal ini dikarenakan pada titik sampel yang ke-2 konsentrasi yang terkandung sangat kecil. Konsentrasi ke-2 lebih rendah dari konsentrasi yang pertama karena ketika anoda dicabut setelah proses remediasi selesai, kandungan logam yang ada pada sampel ke-2 tertarik ke area anoda. Alasan lain mengapa area inefektif cenderung memiliki konsentrasi yang tinggi karena area inefektif tidak merupakan area efektif yang mana berada di luar skema 2D *hexagonal* sehingga area ini tidak teraliri listrik. Padahal elektrokinetik merupakan pengamatan medan listrik pada media tanah agar air, ion-ion, molekul-molekul polar serta zat-zat pencemar di dalamnya berpindah (Pamukcu, 1994).

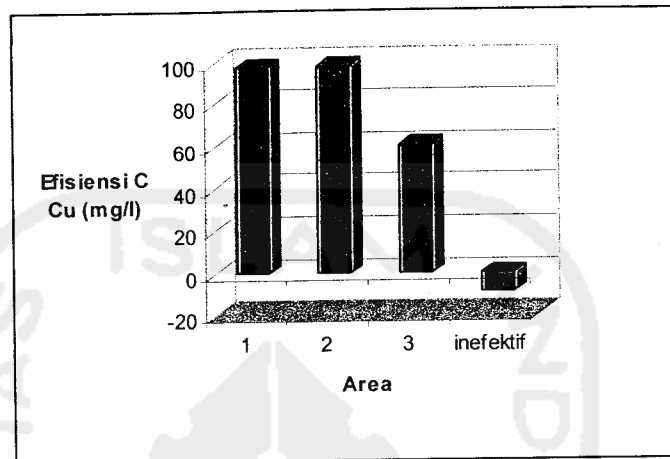
#### 4.4. Nilai Efisiensi Konsentrasi Cu

Hasil analisis nilai efisiensi konsentrasi dihitung dengan menggunakan persamaan (Metcalf dan Eddy, 1991) pada setiap area baik area efektif maupun inefektif. Dengan menggunakan rumus dapat terlihat kenaikan efisiensi pada setiap area.(lampiran 9).

Pada Area efektif, Area 2 memiliki nilai efisiensi yang tertinggi di area efektif yaitu sebesar 98,02 % sedangkan area 3 memiliki efisiensi terendah sebesar 60,68 %. Pada area inefektif memiliki nilai efisiensi yang



sangat tinggi dibanding dengan nilai efisiensi pada area efektif yaitu -8,80 %. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.9. berikut :



Gambar 4.9. Nilai efisiensi konsentrasi Cu setiap area

Kombinasi pH pada tanah dengan efisiensi removal pada lokasi yang berbeda-beda, berpengaruh terhadap perpindahan asam dari anoda ke katoda yang merupakan efek dari solusi dan desorption pada ion-ion logam berat (Putman, 1988 ; Acar et al, 1989 ; Acar dan Alshwabkeh, 1993). Pada Gambar 4.9. dapat terlihat bahwa nilai efisiensi terbesar terjadi pada area 2 efektif sebesar 98,02 %. Sedangkan efisiensi terendah terjadi pada area inefektif yaitu sebesar -8,80 %. Nilai efisiensi tertinggi pada area 2 efektif disebabkan karena area 2 merupakan area yang mengalami proses remediasi. Dimana pada area ini merupakan area yang teraliri aliran listrik dan mengalami proses elektrolisis dan elektromigrasi. Elektrolisis merupakan proses dimana medan listrik akan merubah reaksi kimia. Proses ini terjadi di dalam elektrolite yang mana memberikan solusi

bagi ion-ion untuk berpindah diantara elektroda yang dialiri arus DC. Area 2 juga dalam lingkungan *hexagonal*. Sedangkan terjadinya elektromigrasi karena perpindahan ion-ion hidrogen dan ion-ion hidroxy.

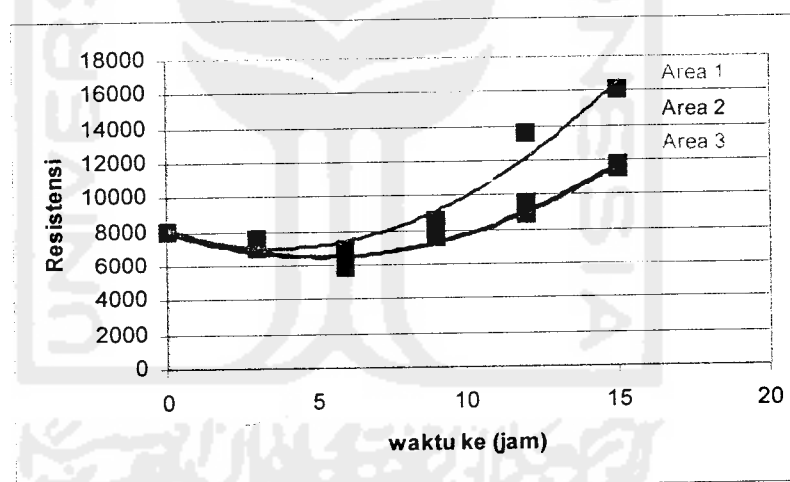
Penyebab area inefektif terjadi peningkatan konsentrasi karena area inefektif merupakan area yang terletak diluar area *hexagonal* dimana pengaruh medan listrik sangat kecil, sehingga area inefektif jauh dari katoda dan mengakibatkan terjadinya migrasi ion-ion secara elektroosmosis tidak maksimum. Pergerakan elektroosmosis dalam pori-pori medium tanah biasanya dari anoda ke katoda, saat migrasi ion efektif memisahkan anion dan kation transport mereka ke anoda dan katoda berturut-turut. Arus listrik dialirkan melalui elektroda yang dimasukkan dalam tanah untuk membangun medan listrik, dimana menyebabkan transport kontaminan dengan elektroosmosis (Reuss, 1809 ; Acar et al, 1995) dan migrasi ion (Acar dan Alshwabkeh, 1993). Konsentrasi Cu yang meningkat pada area inefektif juga disebabkan karena adanya elektrophoresis. Terjadinya elektrophoresis disebabkan karena pada *tailing* dimungkinkan memiliki partikel dengan ukuran yang besar sehingga ion akan sulit untuk berpindah. Karena secara fisik komposisi *tailing* terdiri dari 50% fraksi pasir halus dengan diameter 0,075 – 0,4 mm dan sisanya berupa fraksi lempung dengan diameter 0,075 mm. Gerakan perpindahan molekul ke arah katoda atau anoda pada elektrophoresis disebut dengan kecepatan migrasi.

## 4.5. Arus dan Resistensi

### 4.5.1. Resistensi terhadap waktu

Analisis pada resistensi dilakukan tiap area. Untuk membaca arus dan resistensi disetiap interval waktu (3jam, 6jam, 9jam, 12jam, dan 15jam), *Power Supply* dimatikan terlebih dahulu. Untuk mengetahui dan resistensi, digunakan digital meter dengan cara memutar putaran yang ada pada digital meter pada angka 10A. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.7. sampai tabel 4.9.(lampiran 10)

Hasil pada pengukuran tersebut dapat dibuat grafik hubungan antara resistensi terhadap waktu sebagai berikut gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hubungan resistensi terhadap waktu

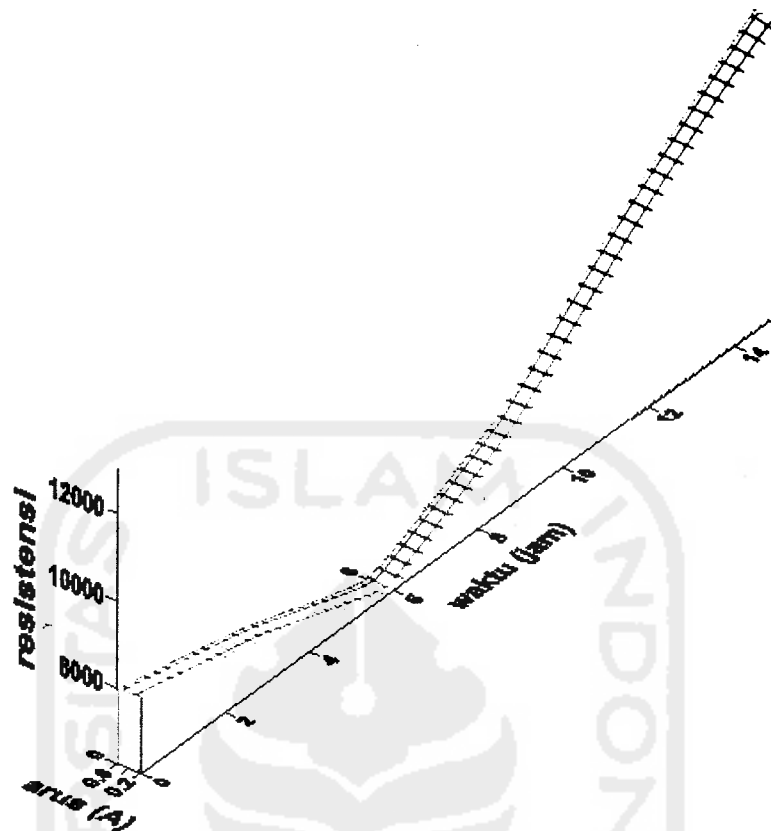
Resistensi merupakan perbandingan antara intensitas medan listrik di suatu titik dengan kerapatan arus di titik tersebut. Pada Gambar 4.10. menunjukkan terjadinya kenaikan resistensi. Semakin lamanya waktu berlangsung, resistensi akan semakin tinggi. Kenaikan resistensi yang

terjadi disebabkan karena adanya penurunan konsentrasi ion-ion logam Cu bermuatan positif sehingga proses migrasi yang terjadi berkurang. Penumpukan kation pada katoda menyebabkan luas penampang katoda menjadi kecil, hal ini juga menyebabkan kenaikan pada resistensi (Buece, 1989).

#### 4.5.2. Arus dan resistensi terhadap waktu

Menurut Georg Simon Ohm (1978) adanya hubungan antara kuat arus yang mengalir dalam penghantar dengan selisih potensial kedua ujung penghantar itu, dinyatakan sebagai resistensi/hambatan ( $R$ ) yang dilambangkan dengan  $\Omega$ . Makin tinggi hambatan yang ada maka suhunya akan rendah.

Dalam berbagai penggunaan listrik, sering dijumpai sumber arus (tegangan) yang dirangkai dengan berbagai komponen antara lain resistor, induktor, kapasitor dan komponen lainnya. Arus listrik merupakan gerakan kecil partikel bermuatan listrik dalam arah tanah sehingga sistem ini disebut elektrokinetik. Arus listrik dikatakan mengalir apabila muatan listrik dalam keadaan bergerak. Hasil analisis arus dapat dilihat pada tabel 4.10. (lampiran 11) sehingga dapat dibuat grafik 3 dimensi terhadap waktu, arus, dan resistensi gambar 4.11.



Gambar 4.11. 3 Dimensi hubungan antara arus, resistensi dan waktu

Arus disetting dengan kuat arus yang rendah yaitu 0,2 mA. Disini arus yang digunakan adalah arus DC yaitu arus searah. Arus DC adalah arus listrik yang nilainya hanya positif atau hanya negatif saja (tidak terjadi perubahan dari positif ke negatif/sebaliknya). Fungsi dari arus yang rendah pada DC karena dalam proses remediasi memerlukan waktu untuk terjadinya perpindahan kontaminan ke elektroda (Mitchell, 1993) sehingga kontaminan yang tertarik ke katoda langsung menuju ke katoda (arah migrasi searah). Untuk itu, dalam percobaan ini kabel dirangkai secara paralel.. Pada tabel 4.10. terjadi kenaikan arus terus menerus, padahal arus yang mengalir harus proposional. Arus yang proposional mempengaruhi

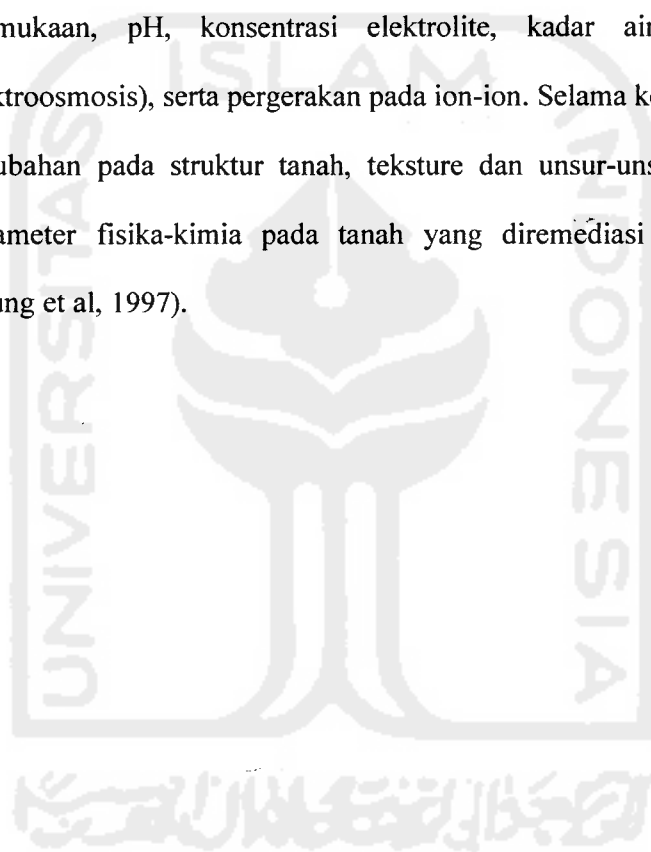
konsentrasi logam (Mitchell, 1993). Hukum *kirchoff* I mengatakan jumlah arus menuju suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang meninggalkannya ( $I_{in} = I_{out}$ ) atau dikenal dengan *junction rule*. Kenaikan arus disebabkan karena buffer sebagai konduktor dalam media tanah ini sangat konduksif sekali. Hal ini berakibat penarikan ion-ion positif pada tanah tertarik kekatoda (kation) sehingga katoda tertutup oleh logam-logam yang ada di tanah serta unsur-unsur lain sehingga menyebabkan arus yang ada meningkat. Alasan lain mengapa arus terjadi peningkatan karena pada penelitian ini menggunakan karbon yang mana pada karbon mengandung unsur CuO sehingga logam Cu semakin banyak terdapat pada tanah. Perpindahan logam pada tanah tergantung dari pentingnya unsur kimia dan spesifik pada logam (Allen et al, 1991). Selain itu, pada katoda terjadi reaksi reduksi. Pada reaksi reduksi, jenis logam tidak diperhatikan kecuali logam alkali (IA) dan Alkali tanah (II A), Al dan Mn. Reaksi yang berlangsung adalah  $Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu$ . Arus yang naik juga disebabkan karena adanya proses elektrokimia dimana katoda sebagai tempat reduksi dan anoda sebagai tempat oksidasi. Proses elektrokimia pada penelitian ini yang terjadi adalah proses elektrolisis yang merupakan penguraian elektrolit apabila arus elektrik mengalir melaluinya. Proses elektrolisis merubah energi listrik menjadi energi kimia. Hubungan antara arus dan elektrolisis adalah dalam proses elektrolisis membutuhkan arus listrik untuk berlangsungnya arus redoks.

#### 4.6. Fenomena Yang Terjadi

Hasil pengamatan terhadap fenomena yang terjadi selama proses remediasi bertujuan untuk mengetahui gejala-gejala yang ditimbulkan oleh arus serta hambatan pada tanah yang dihubungkan dengan elektroda-elektroda. Kurang lebih 5 menit setelah *power supply* dinyalakan, keluar gelembung-gelembung air dari katoda yang lama kelamaan berwarna putih susu. Fenomena ini terus berlangsung selama proses remediasi (lampiran 12). Keluarnya gelembung-gelembung dari katoda disebabkan karena adanya proses elektroosmosis. Gerakan air yang terjadi dalam tanah yang merupakan gerakan umum air terhadap katoda disebut dengan elektroosmosis (Kim, 1998). Gerakan umum dari air tanah ini membawa ion-ion yang selanjutnya mengurangi kontaminan. Fenomena lain yang terjadi setelah 1 jam kurang 10 menit adalah adanya warna yang timbul seperti karatan pada anoda dengan titik sampel B dan C yang kemudian disusun oleh elektroda-elektroda yang lain dan pada samping reaktor terlihat warna abu-abu serta sedikit bintik orange pada permukaan tanah setelah kira-kira 2 jam 10 menit percobaan dimulai (lampiran 12). Terlihatnya bintik orange pada permukaan adalah warna tembaga itu sendiri yaitu orange menyala (Bentor, 1996). Hal ini berarti bahwa dalam kandungan tanah banyak mengandung unsur tembaga. Karena selain pada tanah itu sendiri yang mengandung tembaga, karbon yang digunakan sebagai elektroda memiliki kandungan CuO (Cooper Oxide). Sedangkan warna abu-abu yang nampak pada samping reaktor merupakan warna dari

merkuri (Hg) dan cadmium (Cd) serta dimungkinkan ada logam-logam lain yang terkandung yang memiliki warna asli abu-abu.

Terjadi perubahan kestabilan dan dispersion pada tanah disebabkan oleh reaksi yang ditimbulkan oleh elektroda (elektroosmosis dan elektromigrasi) yang dialiri arus DC dimana disebabkan karena karbonat, reaksi penyerapan hydroxide, perubahan partikel-partikel tanah pada permukaan, pH, konsentrasi elektrolite, kadar air (untuk reaksi elektroosmosis), serta pergerakan pada ion-ion. Selama keadaan ini, terjadi perubahan pada struktur tanah, teksture dan unsur-unsur mineral serta parameter fisika-kimia pada tanah yang diremediasi (Mitchell 1993, Yeung et al, 1997).





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan teori dan analisa data yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanah penambangan emas yang terkontaminasi logam berat Cu dapat di removal dengan menggunakan remediasi elektrokinetik konfigurasi 2D *hexagonal* dengan konsentrasi awal 6,0246 mg/l menjadi 0,1535 mg/l dan memiliki nilai efisiensi sebesar 97,45 % pada jarak 15 cm, 98,02 % pada jarak 10 cm dan 60,68 % pada jarak 5 cm dari katoda serta -8,80 % pada area inefektif.
2. Untuk keadaan tanah yang masih dalam keadaan basah, dibutuhkan waktu yang lebih banyak untuk meremediasi. Hal ini dikarenakan proses elektrolisis yang terjadi akan berkurang sehingga tidak dapat menaikkan nilai pH. Dan semakin jauh jarak terhadap katoda, maka kontaminan logam Cu akan sulit untuk di remediasi yang disebabkan karena arus yang mengalir akan menyebabkan kontaminan tersebut melekat pada katoda.
3. Semakin turun konsentrasi pada Cu, semakin dibutuhkan resistensi yang besar. Sedangkan untuk arus, seharusnya tidak terjadi peningkatan. Tetapi dalam penelitian ini terjadi kenaikan arus yang

disebabkan karena dalam kandungan tanah terdapat konduktor yang sangat kuat.

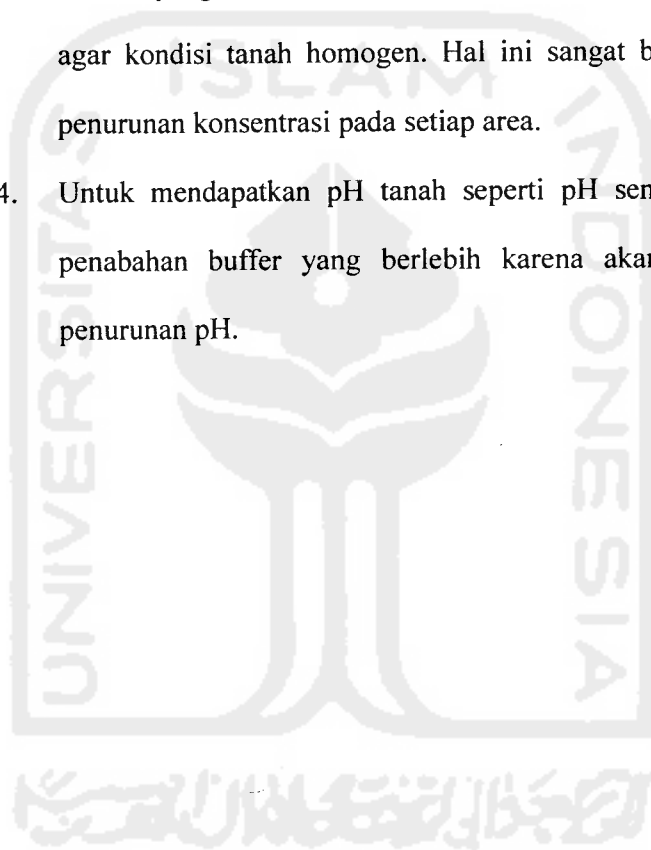
4. Fenomena yang terjadi adalah gelembung-gelembung air pada daerah katoda. Air yang keluar disebabkan karena tanah dialiri aliran listrik sehingga terjadi proses elektroosmosis.
5. Fenomena lain yang terjadi adalah adanya warna orange menyala pada permukaan tanah yang merupakan warna asli dari Cu dan warna abu-abu pada samping reaktor yang merupakan warna asli dari Hg, Cd dan logam-logam berat lain yang memiliki warna asli abu-abu.
6. Konsentrasi Cu dalam tanah setelah proses remediasi pada area katoda lebih banyak dibanding pada area anoda dikarenakan terjadinya electromigrasi yaitu migrasi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dari setiap area yang bergerak menuju katoda. Katoda bermuatan positif sehingga menarik ion-ion yang terdapat pada tanah yang bermuatan negatif dimana ion  $\text{Cu}^{2+}$  sebagai ion negatif.
7. Pada area inefektif, konsentrasi Cu sedikit berkurang karena masih dipengaruhi medan listrik dari sistem elektroda area efektif.

## 5.2. Saran

1. Penambangan emas di daerah kokap Kulonprogo perlu mendapatkan perhatian ekstra baik itu penanggulangannya maupun sistem pengolahan, hal ini dikarenakan penggunaan

merkuri yang sangat berbahaya serta limbah dari Cu berupa  $\text{Cu}^{2+}$  dari hasil pemurnian emas.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan waktu yang semaksimal mungkin sehingga konsentrasi Cu lebih banyak turun.
3. Tanah yang akan diremediasi sebaiknya diaduk dengan mixer agar kondisi tanah homogen. Hal ini sangat berpengaruh pada penurunan konsentrasi pada setiap area.
4. Untuk mendapatkan pH tanah seperti pH semula, tidak perlu penambahan buffer yang berlebih karena akan mempengaruhi penurunan pH.



## DAFTAR PUSTAKA

Acar, Y. B., Gale, R. J., Putnam, G. and Hamed, J.: 1989, *Electrochemical Processing of Soils: Its Potential Use in Environmental Geotechnology and Significance of pH Gradients*, 2nd Int. Symp. on Envir. Geotech. Shanghai, China, Envo Publishing, Bethlehem, PA, 25 pp.

Acar, Y. B., Gale, R. J., Hamed, J. and Putnam, G. (1990) "Electrochemical Processing of Soils: Theory of pH Gradient Development by Diffusion and Linear Convection," *Journal of Environmental Science and Health*, Part (a); Environmental Science and Engineering, Vol. 25, No. 6, pp. 687-714.

Acar, Y.B. and Alshwabkeh, A.N. (1993) : "Principles of Electrokinetic Remediation", *Environmental Science and Technology*, Vol.27, No.13, pp.2638- 2647.

Acar, Y.B., and Alshwabkeh, A. (1996)."Electrokinetic Remediation. I : Pilot-scale test with lead-spiked kaolinit." *J.Geotech.Engrg.*,122(3), 173-185

Ali, M.A. and Dzombak, D.A. (1996), "Interactions of Copper, Organic Acids, and Sulfate in Goethite Suspensions," *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 5045-5053.

Allen, J.P and Torres, I.G. (1991), "Physical Separation Techniques for Contaminated Sediment," in *Recent Developments in Separation Science*, N.N. Li, Ed., CRC Press, West Palm Beach, FL, Vol V.

Alshawabkeh Akram N, 1999, *Optimization of 2D Electrode Configuration for Electrokinetic Remediation*, Journal of Soil Contamination, USA.

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

Bentor, Yinon. [www.Chemicalelements.com](http://www.Chemicalelements.com).

Buece, F.J., 1989, *Theory and Problem of College Physics*, Mac Graw Hill, Inc.

Cynthia R, Evanko, 1997, *Remediasi of Metals Contaminated soil and Groundwater*, Groundwater Technolgies Analysis Center, USA.  
<http://gwrtac.com>

Davis, J.A. (1984), "Complexation of trace metals by adsorbed natural organic matter," *Geochim. Cosmochim. Acta* 48: 679-691.

Dogra, S.K., 1990, *Kimia fisika dan soal-soal*, Institute Teknologi Indian, Kapur., Universitas Indonesia Press

Dzenitis, J.M. (1997) : "Steady State and Limiting Current in Electroremediation of Soil", *Journal of the Electrochemical Society*, Vol.144, No.4, pp.1317-1322.

Dzombak, D.A. and Morel F.M.M. (1990), *Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide*, John Wiley & Sons, New York.

Echols, J. M., Shandily. H., 1990. *Kamus Inggris Indonesia* PT.Gramedia Jakarta

Eykholt, G.R. (1992) : “*Driving and Complicating Features of the Electrokinetic Treatment of Contaminated Soils*”, *Ph.D. Dissertation*, Dept. of Civil Engineering, University of Texas at Austin, p.269.

Eykholt, G.R. and Daniel, D.E. (1994) : “Impact of System Chemistry on Electroosmosis in Contaminated Soil”, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.120, No.5, pp.797-815.

Gerber, M.A., Freeman, H.D., Baker, E.G. and Riemath, W.F. (1991) Soil Washing: A Preliminary Assessment of Its Applicability to Hanford, Prepared for U.S. Department of

Energy by Battelle Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington. Report No. PNL-7787;UC 902.

Gunawan, Kuswandani, Fauzan, Sofyan, A., Setiawan, L., Subarna, Juju, Ariyadi, W. dan Suhendi, E., 2001. Percontohan Penambangan Emas di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Puslitbang Tekmira, Bandung.

Harian Kedaulatan Rakyat, 2004, Penambangan Emas di Kokap Tanpa Izin belum diatur Perda, Yogyakarta.

Kim, H. T., 1998, *Dasar-Dasar Kimia Tanah*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Kim, H. T., 2001, “Monitoring of Elektrokinetic removal of heavy metals in tailing soils using sequential extraction analisis”, *Journal of hazardous material*

Lindgren, Eric, "*Demonstration of Electrokinetic of Chromium from Unsaturated soil*", <http://www.pnl.gov/WEBTECH/mwldid/electkin.html>, 1994.

Maulana Indrawan, 2003, "Penurunan Kadar Cu pada Industri pemurnian Emas dengan Kimia Fisika daerah Wirobrajan Yogyakarta", STTL "YLH", Yogyakarta.

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

Mitchell J. K., 1993. *Fundamentals of Soil Behaviour. Series in Soils Engineering*. Wiley, New York, NY, 437 pp.

National Environmental Protection Council, 1999, *Assessment of Site Contamination Schedule B (1)*, New Zealand

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

Palar, H., 2004, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta, Jakarta

Pamucku and Wittle, J, 1993, *Principle of Electrokinetic*, <http://www.Electrokinetic>

Pamucku. S., 1994, *Electro-Chemical Technologies for in-situ Restoration of Contaminated Subsurface Soils*, Departement of Civil dan Environmental Engineering, Lehigh University, Betlehem, USA.

Probstain, R.F. (1994): *Physicochemical Hydrodynamics – An Introduction*.- 2 nd Ed., New York (Wiley & Sons).

Putnam, G.: 1988, '*Development of pH Gradients in Electrochemical Processing of Kaolinite*', M.S.thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, U.S.A.

Puls, R.W. and Paul, C.J. (1995), "*Low-Flow Purging and Sampling of Ground Water Monitoring Wells With Dedicated Systems*," *Ground Water Monit. Remediat.*, 15: 116-123.

Rahardjo, W., Sukandarrumidi dan Rosidi, H.M.D., 1995 Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Skala 1: 100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Reuss, F. F.: 1809, *Memoires de la Societe Imperiale des Naturalistes de Moscou* 2, 327.

Sandia National Laboratories, "*Electrokinetics (Electromigration)*," <http://www.nttc.edu/env/tmp/009.html>

Sposito, G. (1989), *The Chemistry of Soils*, Oxford University Press, New York.

Susilo, Y.E.B., 2003, *Menuju Keselarasan Lingkungan*. Averroes Press, Malang, 156 hal.

Sukandarrumidi, 1999, *Bahan Galian Industri*, Gajah Mada University Press



Tipping, E., Griffith, J. R. and Hilton, J. (1983), "*The effect of adsorbed humic substances on the uptake of copper (II) by goethite,*" *Croatia Chemica Acta*, 56 (4): 613-621.

Tjokrokusumo, 1995, *Pengantar Engineering Lingkungan*, STTL "YLH", Yogyakarta

Tobing, D.L., *Fisika Dasar*, 1996., PT Gramedia Pustaka Umum

Vogel, 1994, *Kimia Anorganik*

Widodo, M, Ulum, A.G, 1998, *Peran Kimia Analitik Menuju Kemandirian dan Keunggulan Industri Kimia Nasional*, *Prosiding seminar Nasional Kimia II.*, Jurusan Kimia FMIPA, UGM, Yogyakarta.

Yeung, A.T., HSU, C, -N. and Menson, R.M., (1997) : *physicochemical soil-contaminant interactions during electrikinetik extraction.* -J. Hazard. Mater., 55-. 221-237

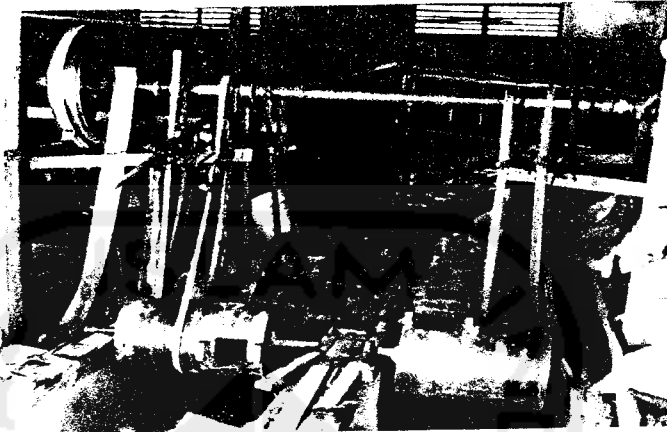
Zuhal, 1991., *Dasar Tenaga Listrik*, ITB Bandung



# LAMPIRAN - LAMPIRAN



LAMPIRAN 1



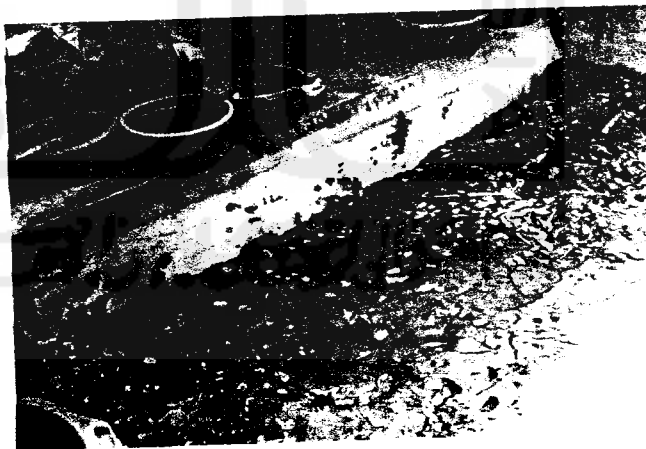
Gelundung atau tromol



Penambahan merkuri (Hg)



Bak penampungan pertama



Bak penampungan kedua



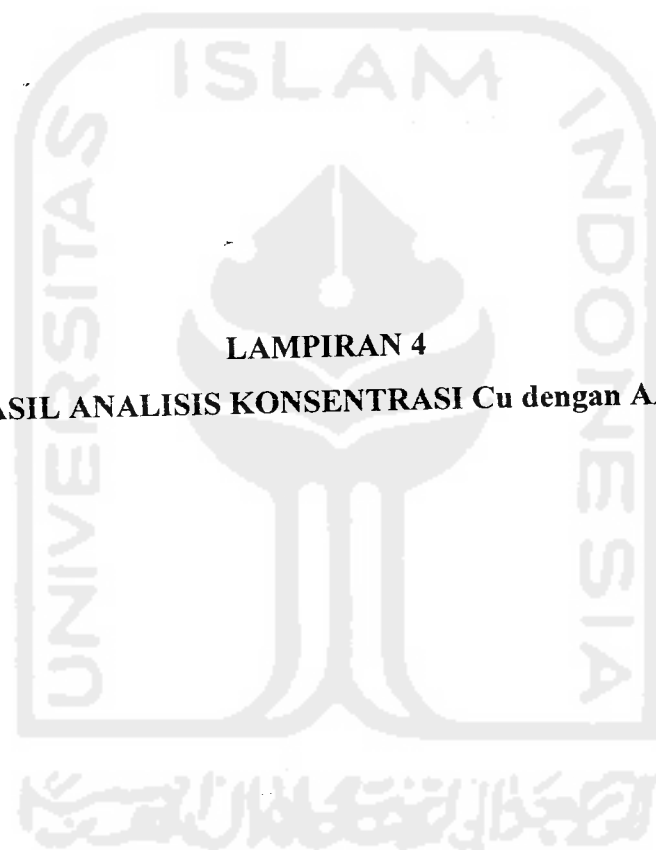
### LAMPIRAN 3

Pra penelitian ini menggunakan sampel dari tanah tailing dengan menggunakan 7 batang stainless dengan konfigurasi 2D *Hexagonal* dan besar reaktor 0,3 m x 0,3 m x 0,3 m. Tujuan dilakukannya pra penelitian ini, untuk mengetahui perbandingan kekuatan absorban stainless dengan karbon sebagai elektroda.

$$\begin{aligned}\text{Volume tanah} &= p \times l \times t \\ &= 0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \\ &= 0,0045 \text{ m}^3 = 4,5 \text{ l}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah} &= B_j \text{ tanah} \times \text{volume tanah} \\ &= 1,25 \text{ kg/l} \times 4,5 \text{ l} \\ &= 5,625 \text{ kg}\end{aligned}$$

Hasil dari analisis ini adalah stainless sebagai absorban tidak bagus, karena pada waktu penelitian kurang lebih 3 jam tegangan tidak berjalan lain. Hal ini berarti, kekuatan stainless untuk meremediasi telah habis.



**LAMPIRAN 4**

**HASIL ANALISIS KONSENTRASI Cu dengan AAS**



**DINAS KESEHATAN PROPINSI DIY**  
**BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA**  
Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

**SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN**

Nama pengirim : Evi Oktavianti  
Alamat : UII, Jl. Kaliurang Km 14,4. Yogyakarta  
Jenis contoh uji : Tanah hasil remediasi  
Diambil/diterima tanggal : 20 September 2006 / 20 September 2006  
Parameter yang diuji : Tembaga (Cu)  
Tanggal pengujian : 20 September 2006 s/d 13 November 2006

NO	KODE	Kadar Cu mg/L
1.	A ( 3 JAM)	9.3303
	A ( 6 JAM)	5.7661
	A ( 9 JAM)	6.4811
	A ( 12 JAM )	8.1222
	A ( 15 JAM)	6.865
2.	A1( 3 JAM)	0.2054
	A1(6 JAM)	0.2730
	A1(9 JAM)	0.2510
	A1 ( 12 JAM)	0.1993
	A1(15 JAM)	0.1802
3	A2 ( 3 JAM)	0.0447
	A2 ( 6 JAM)	0.2283
	A2 ( 9 JAM)	0.3636
	A2 ( 12 JAM)	0.2235
	A2 ( 15 JAM)	0.2360
4	C ( 3 JAM)	0.2500
	C ( 6 JAM)	0.0591
	C ( 9 JAM)	0.1834
	C ( 12 JAM)	0.1761
	C ( 15 JAM)	0.1024
5	C1 ( 3 JAM)	0.0903
	C1( 6 JAM)	0.1414
	C1( 9 JAM)	0.360
	C1(12 JAM)	1.0937
	C1(15 JAM)	0.0557

	KODE	Kadar Cu mg/L
6	C2( 3 JAM)	0.0921
	C2( 6 JAM)	2.417
	C2( 9 JAM)	0.1277
	C2( 12 JAM)	0.1260
	C2( 15 JAM)	0.1172
7	E ( 3 JAM) -	0.1316
	E ( 6 JAM)	0.109
	E ( 9 JAM)	0.1290
	E ( 12 JAM)	0.1001
	E ( 15 JAM)	0.1376
8	E1 ( 3 JAM)	0.1233
	E1 ( 6 JAM)	0.1197
	E1 ( 9 JAM)	0.1218
	E1 ( 12 JAM)	0.399
	E1 ( 15 JAM)	0.1213
9	E2 ( 3 JAM)	0.1192
	E2 ( 6 JAM)	0.1099
	E2 ( 9 JAM)	0.1162
	E2 ( 12 JAM)	0.1063
	E2 ( 15 JAM)	0.1073
	0 JAM	6.0246
	0 JAM	0.1072
	IN EFEKTIF	6.5549
	IN EFEKTIF	0.1024

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji  
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 27 Nov. 2006

Mengetahui :  
Kepala,

Yogyakarta, 20 November 2006  
Penanggung jawab pemeriksaan,

  
Fachmiyarti



## LAMPIRAN 5

Tabel 4.1. Analisis pH

Waktu ke (jam)	titik sampling	pH
0	Ao	3,5
3	A	3,5
	A1	3,5
	A2	3,5
	C	3,5
	C1	3,5
	C2	3,5
	E	3,5
	E1	3,5
	E2	3,5
6	A	3,5
	A1	3,5
	A2	3,5
	C	3,5
	C1	3,5
	C2	3,5
	E	3,5
	E1	3,5
	E2	3,5
9	A	3,5
	A1	3,5
	A2	3,5
	C	3,5
	C1	3,5
	C2	3,5
	E	3,5
	E1	3,5
	E2	3,5
12	A	3,5
	A1	3,5
	A2	3,5
	C	3,5
	C1	3,5
	C2	3,5

	E1	3,5
	E2	3,5
15	A	3,5
	A1	3,5
	A2	3,5
	C	3,5
	C1	3,5
	C2	3,5
	E	3,5
	E1	3,5
	E2	3,5



**LAMPIRAN 6**

**Tabel 4.2.** Hasil Analisis Konsentrasi Cu dalam Tanah pada Area Efektif

Waktu ke- (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/l)
0	Ao	6,0246
3	A	9,3303
	A1	0,2054
	A2	0,0447
	C	0,2500
	C1	0,0903
	C2	0,0921
	E	0,1316
	E1	0,1233
	E2	0,1192
6	A	5,7661
	A1	0,2730
	A2	0,2283
	C	0,0591
	C1	0,1414
	C2	2,4170
	E	0,1090
	E1	0,1197
	E2	0,1099
9	A	6,4811
	A1	0,2510
	A2	0,3636
	C	0,1834
	C1	0,3600
	C2	0,1277
	E	0,1290
	E1	0,1218
	E2	0,1162
12	A	8,1222

	A1	0,1993
	A2	0,2235
	C	0,1761
	C1	1,0937
	C2	0,1260
	E	0,1001
	E1	0,3990
	E2	0,1063
15	A	6,8650
	A1	0,1802
	A2	0,2360
	C	0,1024
	C1	0,0557
	C2	0,1172
	E	0,1376
	E1	0,1213
	E2	0,1073

**Tabel 4.3.** Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 1 (15cm dari katoda)

Waktu ke (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/l)	Konsentrasi Rata- rata (mg/l)
0	0	6,0246	6,0246
3	A2	0.0447	0,0853
	C2	0.0921	
	E2	0.1192	
6	A2	0.2283	0,9184
	C2	2.4170	
	E2	0.1099	
9	A2	0.3636	0.2025
	C2	0.1277	
	E2	0.1162	
12	A2	0.2235	0,1519
	C2	0.1260	
	E2	0.1063	
15	A2	0.2360	0,1535
	C2	0.1172	
	E2	0.1073	

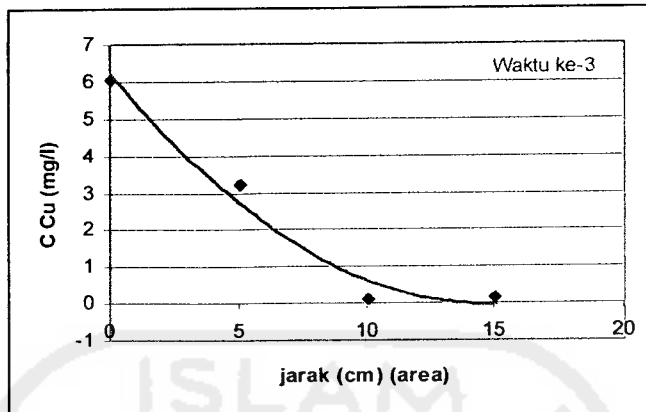
**Tabel 4.4.** Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 2 (10cm dari katoda)

Waktu ke (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/g)	Konsentrasi Rata- rata (mg/g)
0	0	6,0246	6,0246
3	A1	0,2054	0,1396
	C1	0,0903	
	E1	0,1233	
6	A1	0,2730	0,1780
	C1	0,1414	
	E1	0,1197	
9	A1	0,2510	0,2442
	C1	0,3600	
	E1	0,1218	
12	A1	0,1993	0,5640
	C1	1,0937	
	E1	0,3990	
15	A1	0,1802	0,1190
	C1	0,0557	
	E1	0,1213	

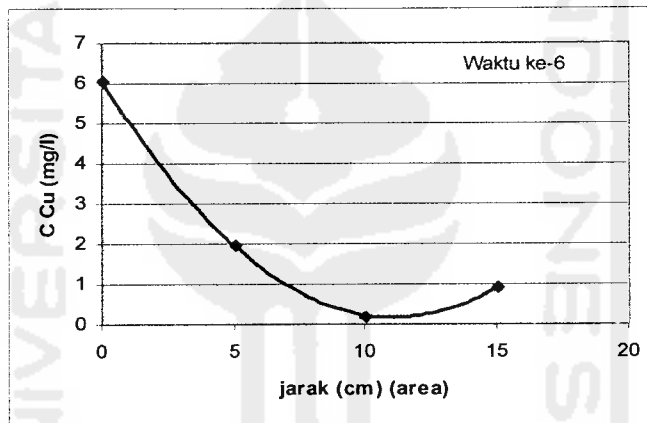
**Tabel 4.5.** Konsentrasi Cu Rata-rata pada Area 3 (5 cm dari katoda)

Waktu ke (jam)	Titik Sampling	Konsentrasi (mg/l)	Konsentrasi Rata- rata (mg/l)
0	0	6,0246	6,0246
3	A	9,3303	3,2373
	C	0,2500	
	E	0,1316	
6	A	5,7661	1,9780
	C	0,0591	
	E	0,1090	
9	A	6,4811	2,2645
	C	0,1834	
	E	0,1290	
12	A	8,1222	2,7994
	C	0,1761	
	E	0,1001	
15	A	6,8650	2,3683
	C	0,1024	
	E	0,1376	

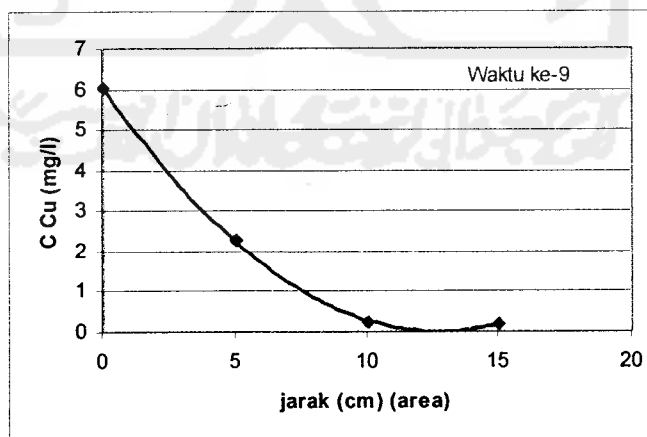
LAMPIRAN 7



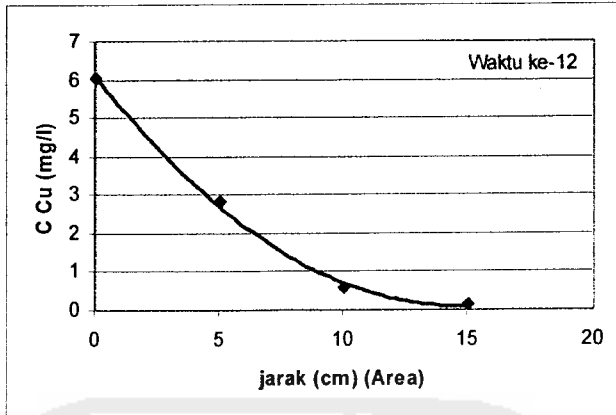
Gambar 4.3. Konsentrasi Cu pada waktu ke-3 jam



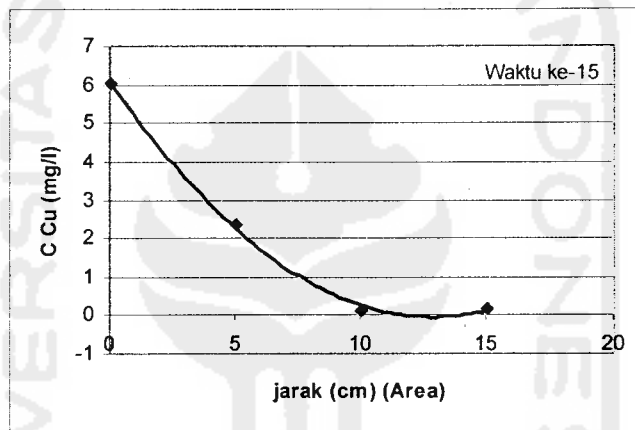
Gambar 4.4. Konsentrasi Cu pada waktu ke-6 jam



Gambar 4.5. Konsentrasi Cu pada waktu ke-9 jam



Gambar 4.6. Konsentrasi Cu pada waktu ke-12 jam



Gambar 4.7. Konsentrasi Cu pada waktu ke-15 jam

## LAMPIRAN 8

**Tabel 4.6.** Hasil Analisis Konsentrasi Cu pada Area Inefektif

Area Inefektif	Konsentrasi (mg/l)
1	6,5549
2	0,1024





## LAMPIRAN 9

### A. Nilai Efisiensi Konsentrasi Cu di Area 1

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

$$E = \frac{6,0246 \text{ mg/l} - 0,1535 \text{ mg/l}}{6,0246 \text{ mg/l}} \times 100\%$$
$$= 97,45 \%$$

### B. Nilai Efisiensi Konsentrasi Cu di Area 2

$$E = \frac{6,0246 \text{ mg/l} - 0,1190 \text{ mg/l}}{6,0246 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$E = 98,02 \%$$

### C. Nilai Efisiensi Konsentrasi Cu di Area 3

$$E = \frac{6,0246 \text{ mg/l} - 2,3683 \text{ mg/l}}{6,0246 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$E = 60,68 \%$$

### D. Nilai Efisiensi Konsentrasi Cu di Area In efektif

$$E = \frac{6,0246 \text{ mg/l} - 6,5549 \text{ mg/l}}{6,0246 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$E = - 8,80 \%$$

**LAMPIRAN 10**

**Tabel 4.7.** Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata di area 1

Waktu ke (jam)	Titik sampling	resistensi ( $\Omega$ )	Resistensi Rata-rata ( $\Omega$ )
0	0	8000	8000
3	A	7000	7333,3
	C	8500	
	E	6500	
6	A	5000	6000
	C	6000	
	E	7000	
9	A	5500	7500
	C	7000	
	E	10000	
12	A	8500	8833,3
	C	8500	
	E	9500	
15	A	8000	11666,67
	C	14000	
	E	13000	

**Tabel 4.8.** Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata Area ke 2

Waktu ke (jam)	Titik sampling	Resistensi ( $\Omega$ )	Resistensi Rata-rata ( $\Omega$ )
0	0	8000	8000
3	A1	7500	7000
	C1	6500	
	E1	7000	

6	A1	5000	5833,3
	C1	6000	
	E1	6500	
9	A1	7000	7500
	C1	7500	
	E1	8000	
12	A1	8500	9500
	C1	9000	
	E1	11000	
15	A1	9000	11500
	C1	12000	
	E1	13500	

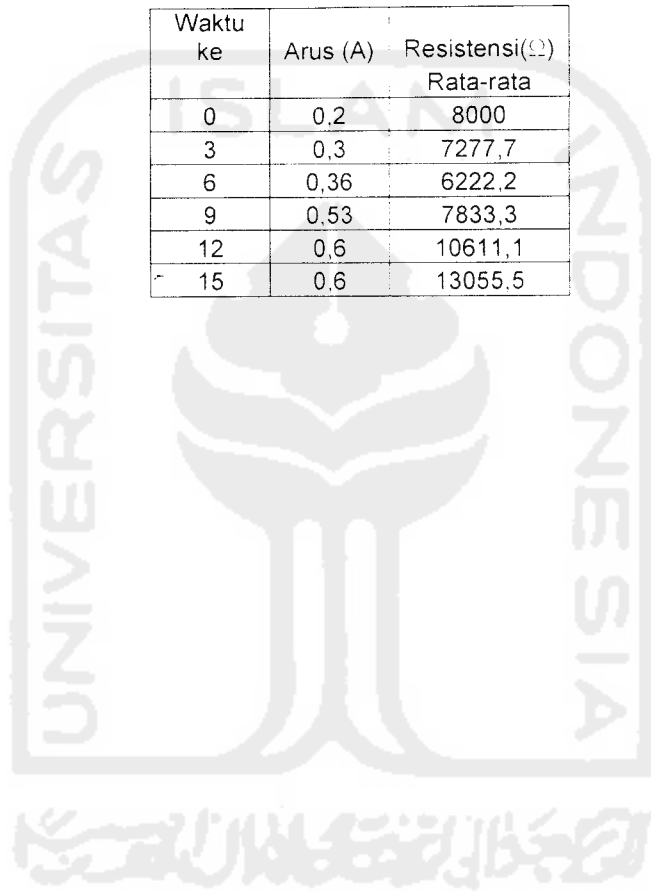
Tabel 4.9. Hasil Pengukuran Resistensi dan Resistensi Rata-rata area ke 3

waktu ke (jam)	Titik sampling	Resistensi ( $\Omega$ )	Resistensi Rata-rata ( $\Omega$ )
0	0	8000	8000
3	A2	8500	7500
	C2	7000	
	E2	7000	
6	A2	6000	6833,3
	C2	7000	
	E2	7500	
9	A2	8500	8500
	C2	8000	
	E2	9000	
12	A2	14000	13500
	C2	13000	
	E2	13500	
15	A2	13000	16000
	C2	15000	
	E2	20000	

LAMPIRAN 11

Tabel 4.10. Hasil analisis Arus dan Resistensi terhadap Waktu

Waktu ke	Arus (A)	Resistensi( $\Omega$ ) Rata-rata
0	0,2	8000
3	0,3	7277,7
6	0,36	6222,2
9	0,53	7833,3
12	0,6	10611,1
15	0,6	13055,5



LAMPIRAN 12



Gelembung air dan warna putih susu yang keluar dari katoda



Warna seperti karatan yang timbul dari titik B dan C



Warna yang timbul nampak samping dari reaktor



Warna orange yang timbul dipermukaan