

# SKRIPSI

## **PENURUNAN KANDUNGAN KROMIUM (Cr) DALAM LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYEPUHAN LOGAM (*ELECTROPLATING*) MENGGUNAKAN METODE ELEKTROLISIS**

DISUSUN OLEH :  
**PUTUT NOVRIASIHINTOKO**  
( 01.26.028 )



**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG  
2008**

3000  
ИЗДАНИЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИСТОРИЯ  
СОВЕТСКОЕ ДЕТСКОЕ СЛОВАРЬ ИЛИ СЛОВАРЬ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИСТОРИЯ

ИЗДАНИЕ  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
ИСТОРИЯ

( 01 3000 )  
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИСТОРИЯ  
СЛОВАРЬ ИЛИ СЛОВАРЬ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
(МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИСТОРИЯ) ИСТОРИЯ  
СЛОВАРЬ ИЛИ СЛОВАРЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
ИСТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИСТОРИЯ (01) ИСТОРИЯ

ИСТОРИЯ

**LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI**

**PENURUNAN KANDUNGAN KROMIUM (Cr) DALAM LIMBAH CAIR  
INDUSTRI PENYEPUHAN LOGAM (*ELECTROPLATING*)  
MENGUNAKAN METODE ELEKTROLISIS**

Oleh:


**PUTUT NOVRIASIHINTOKO**

**01.26.028**

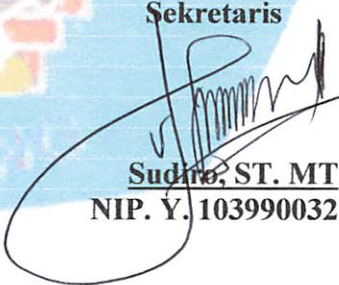
Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian Komprehensif Skripsi Jurusan/Program Studi Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S-1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 20 September 2008.

**Mengetahui  
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi**

**Ketua**


  
**Ir. Agustina Nurul H., MTP**  
NIP. Y. 103900214

**Sekretaris**

  
**Sudiro, ST, MT**  
NIP. Y. 1039900327

**Dewan Penguji**

**Dosen Penguji I**

  
**Hardianto, ST, MT**  
NIP. Y. 1030000350

**Dosen Penguji II**

  
**Evy Hendriarianti, ST, MMT**  
NIP.P. 1030300382

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENURUNAN KANDUNGAN KROMIUM (Cr) DALAM LIMBAH CAIR  
INDUSTRI PENYEPUHAN LOGAM (*ELECTROPLATING*)  
MENGUNAKAN METODE ELEKTROLISIS**

Oleh:

**PUTUT NOVRIASIHINTOKO**

**01.26.028**

**Menyetujui**

**Tim Pembimbing**

**Dosen Pembimbing I**

**Sudiro, ST, MT**  
**NIP. 103 990 0327**

**Dosen Pembimbing II**

**Candra Dwiratna, ST, MT**  
**NIP. P. 103 000 0349**

**Mengetahui**

**Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan**

**Sudiro, ST, MT**  
**NIP. Y. 1039900327**

---

---

**Penurunan Kandungan Kromium (Cr) Dalam Limbah Cair Industri  
Penyepuhan Logam (*Elektroplating*) Menggunakan Metode Elektrolisis.  
Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional  
Malang.  
Putut Novriasihintoko, 2008.**

---

---

**ABSTRAKSI**

Industri pelapisan logam (*elektroplating*), dapat menghasilkan air limbah yang mengandung unsur-unsur logam, salah satunya Cr. Apabila dibuang langsung ke badan air akan membahayakan hidup manusia, karena Cr bersifat toksik yang dapat menyebabkan kanker. Untuk itu, perlu dikembangkan suatu teknik pengolahan sederhana untuk menurunkan kadar logam berat yang bisa diterapkan pada industri-industri tersebut, yaitu dengan prinsip elektrolisa sebagai salah satu alternatif pemecahan dalam menangani permasalahan air buangan yang mengandung logam berat Cr.

Pada penelitian ini dilakukan penyisihan logam Cr dengan variasi yang dilakukan adalah jenis katoda dan jarak antar elektroda. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan efisiensi removal yang terbesar dalam penurunan logam berat Cr. Proses elektrolisa dilakukan dalam proses batch selama waktu 225 menit. Jarak antar elektroda yang digunakan adalah sebesar 2 cm, 4 cm, 8 cm dan 16 cm, sedangkan jenis katoda yang digunakan adalah aluminium dan besi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar logam berat Cr dapat diturunkan melalui proses elektrolisa dengan berbagai macam jarak antar elektroda yang berbeda. Efisiensi penghilang Cr terbesar terjadi pada katoda besi dengan jarak 2 cm yaitu 88,45 %. Sedangkan untuk katoda aluminium pada jarak 2 cm kenaikan efisiensi removal Cr sebesar 80,13 %.

Kata kunci : Elektrolisa, Cr (Kromium), jenis katoda, jarak antar elektroda.

---

---

**Decreasing Chromium (Cr) content on liquid waste at the electroplating industry uses electrolysis method.**

**Final assignment of environment engineering department of  
National Technology Institute of Malang.  
Putut Novriasihintoko, 2008.**

---

---

### **ABSTRACT**

Industries of metal veneering (electroplating) can produce chromatic waste water and contain metal elements. If the waste water is disposed into a river, it will endanger the human life. Because the Chromium has toxic that causes cancer. So, it is require to developed a simple method to degrade the content of heavy metal that can be applied to industrys that their waste water contains heavy metal. The method is called electrolysis. It can be used as an alternative to treat waste water that contains heavy metals such as Cr (Chromium).

The electrolysis is applied in a batch process for a duration of 225 minutes. The variables in this research are the variation distance between of cathodes and variation of cathode. These variable are used to identify the biggest removal efficiency of Cr. The distance between electrodes are 2 cm, 4 cm, 8 cm and 16 cm. The variation of its cathode are aluminium and ferrum.

The research result show that the concentration of Cr can be decreased by electrolysis process. As cathode variation, the using of ferrum cathode and 2 cms electrode distance can decrease the Cr removal efficiency up to 88,45 % bigger in result compare to the use of.

**Keywords :** Electrolysis, Cr (Chromium), distance of electrode, variation of cathode.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan atas kehadiran Alloh SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“Penurunan Kandungan Kromium (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Penyepuhan Logam (Electroplating) Menggunakan Metode Elektrolisis”*** tepat waktunya.

Skripsi ini disusun setelah melalui penelitian, analisa data dan pembahasan dari data yang telah diperoleh dari penelitian. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak, karena itu dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro, ST. MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
2. Ibu Chandra Dwiratna, ST. MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan laporan skripsi ini.
3. Temen-temenku Teknik Lingkungan khususnya Angkatan '01 dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan atas laporan ini, membuat penyusun berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang saya susun.

Dan akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang.

Malang, September 2008

***Penyusun***

## DAFTAR ISI

<b>Lembar Judul</b>	
<b>Lembar Persetujuan</b>	
<b>Abstraksi.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>i</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>ii</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Gambar.....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang lingkup.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Logam.....	4
2.1.1 Logam Berat.....	4
2.1.2 Sifat Toksisitas Logam Berat di Lingkungan Perairan....	7
2.1.2.1 Logam Berat Kromium (Cr).....	7
2.1.2.2 Sifat Kimia Kromium (Cr).....	8
2.1.2.3 Dampak Negatif Cr Terhadap Makhluk Hidup...9	
2.2 Elektrolisis.....	10
2.2.1 Sel Elektrokimia.....	10
2.2.2 Sel Elektrolisis.....	11
2.2.3 Prinsip Reaksi Redoks (Reduksi-Oksidasi).....	12
2.2.4 Hal-Hal Yang Mempengaruhi Reaksi Redoks Pada Proses Elektrolisa.....	12
2.2.4.1 Efek Konsentrasi Pada Potensial.....	12
2.2.4.2 Pengaruh Atmosfer Pada Reaksi Redoks.....	13
2.2.4.3 Pengaruh Jarak dan Luasan Elektroda.....	14



2.2.4.4 Pengaruh Kuat Arus Listrik, Beda Potensial dan Waktu.....	14
2.2.4.5 Pengaruh Suhu.....	14
2.3 Reaksi-Reaksi pada Elektroda.....	15
2.3.1 Reaksi-Reaksi pada Katoda.....	15
2.3.2 Reaksi-Reaksi pada Anoda.....	16
2.4 Proses Produksi Industri Elektroplating .....	17
2.5 Hubungan Elektrolisis Dengan Unsur Logam .....	18
2.6 Hubungan Elektrolisis Dengan Penurunan Limbah Industri..	19
2.6.1. Secara Umum.....	19
2.6.2. Secara Khusus.....	20
2.7 Analisa Data .....	20
2.7.1 Statistik Deskriptif dan Inferensi.....	20
2.7.2 Analisis Data Statistik dan Minitab.....	21
2.7.3 Keunggulan Minitab.....	21
2.7.4 Analisa Korelasi.....	22
2.7.5 Analisis Regresi.....	23
2.7.6 Analisis ANOVA.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
3.1 Variabel Penelitian .....	25
3.2 Alat dan Bahan .....	25
3.2.1 Alat-Alat Penelitian .....	25
3.2.2 Bahan Penelitian .....	27
3.3 Tahapan Penelitian.....	27
3.4 Analisa Parameter uji .....	28
3.5 Analisa Data .....	28
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Elektroplating.....	31
4.2 Hasil Penelitian .....	31
4.3 Analisa Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	32
4.3.1 Analisa Deskriptif.....	32
4.3.2 Analisa ANOVA.....	38

4.3.3 Analisa Korelasi.....	40
4.3.4. Analisa Regresi.....	41
4.3.5 Pembahasan.....	44
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran.....	48
<b>Daftar Pustaka</b>	
<b>Lampiran</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Densitas, Berat Atom dan Titik Cair dari Beberapa Logam Ringan dan Berat.....	5
Tabel 2.2. Pemakaian Unsur-Unsur Logam Berat dalam Berbagai Industri.....	5
Tabel 2.3. Daftar potensial reduksi logam pada keadaan standar (konsentrasi 1 M) pada suhu 25 °C.....	12
Tabel. 4.1. Hasil Analisa Awal Air Limbah Industri Elektroplating .....	31
Tabel. 4.2. Nilai Konsentrasi Kromium (Cr).....	32
Tabel 4.3 Nilai Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	35
Tabel 4.4 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Jarak Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	38
Tabel 4.5 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	39
Tabel 4.6 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Waktu (menit) Penelitian Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	39
Tabel 4.7 Korelasi Antara Variasi Jarak, Jenis Katoda Dan Waktu Penelitian Dengan Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	40
Tabel 4.8. Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr).....	41
Tabel 4.9 Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr) .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Listrik Pelapisan.....	17
Gambar 3.1 Peralatan Untuk Elektrolisis.....	28
Gambar 3.2 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	30
Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Akhir Cr Dengan Menggunakan Katoda Aluminium .....	33
Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Akhir Cr Dengan Menggunakan Katoda Besi .....	34
Gambar 4.3 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Cr Dengan Menggunakan Katoda Aluminium.....	36
Gambar 4.4 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Cr Dengan Menggunakan Katoda Besi .....	37
Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu terhadap efisiensi removal.....	45
Gambar 4.6 Grafik hubungan jarak terhadap efisiensi removal.....	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan dewasa ini semakin meningkat khususnya pembangunan di bidang industri seiring dengan bertambahnya kebutuhan masyarakat baik primer maupun sekunder. Pelaksanaan pembangunan sebagai kegiatan yang makin meningkat mengandung resiko pencemaran dan kerusakan lingkungan, sehingga struktur dan fungsi dasar ekosistem yang menjadi penunjang kehidupan dapat rusak pula.

Salah satu dari hasil pembangunan yang menimbulkan dampak negatif dan patut diminimalisasi adalah keberadaan logam berat. Logam berat biasanya dihasilkan dari limbah industri penyepuhan logam, mobil, motor, gelas, semen, penyamakan kulit, dan industri baja. Pembuangan limbah langsung ke badan air penerima tanpa adanya proses pengolahan terlebih dahulu merupakan cara penyebaran logam berat ke lingkungan. Tersebarinya logam berat masuk ke dalam lingkungan hidup dewasa ini seharusnya meningkatkan kepedulian kita terhadap pencemaran tersebut, sebab akumulasinya pada lingkungan akan menimbulkan efek toksik yang sangat berbahaya tidak saja bagi ekosistem badan air penerima tetapi juga pada hewan dan manusia yang memakai air tersebut.

Penanganan pengurangan kandungan logam dalam air dapat dilakukan dengan proses pemisahan sebagai berikut :

1. Pengendapan dan penambahan bahan kimia

2. Pemakaian bahan *exchanger*

Pada proses pemisahan yang pertama banyak memerlukan bahan kimia (koagulan) dan waktu pengendapan yang lama, sedangkan kandungan logam yang terendapkan relatif tidak banyak mengalami perubahan. Sedangkan pada proses pemisahan yang kedua memerlukan waktu yang relatif cepat dan hasilnya baik akan tetapi proses ini memerlukan peralatan kation *exchanger* yang mahal.

Cara-cara pengolahan logam berat banyak memerlukan proses yang rumit dengan penambahan bahan-bahan kimia tertentu. Hal ini membuat pengolahan logam berat selain membutuhkan biaya yang tinggi, juga dapat menimbulkan

limbah baru akibat penambahan bahan-bahan kimia tertentu didalam pengolahan tersebut.

Berdasarkan pemikiran tersebut maka perlu dikembangkan suatu teknik pengolahan sederhana untuk menurunkan kadar logam berat yang bisa diterapkan pada industri-industri yang limbahnya mengandung logam berat, salah satunya adalah dengan prinsip elektrolisis. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan manfaat metode elektrolisis misalnya Antonius (2002) menyatakan bahwa metode elektrolisis dapat menurunkan kandungan perak pada limbah industri cuci cetak foto, Farid dan Citra (2005) telah meneliti kemampuan metode elektrolisis dalam menurunkan tembaga (Cu). Serta Syamsi (2005) telah meneliti kemampuan metode elektrolisis dalam menurunkan nitrat pada air baku.

Berdasarkan hasil beberapa penelitian tersebut, maka akan dilakukan penelitian untuk menurunkan konsentrasi Cr pada air limbah industri penyepuhan logam menggunakan metode elektrolisis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh jenis katoda apabila dibuat bervariasi dengan menggunakan proses elektrolisis untuk limbah Cr pada industri penyepuhan logam.
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak antar elektroda apabila dibuat berbeda dengan menggunakan proses elektrolisis untuk limbah Cr pada industri penyepuhan logam.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan jenis katoda yang mempunyai efisiensi removal terbesar dengan menggunakan proses elektrolisis untuk limbah Cr dari industri penyepuhan logam
2. Menentukan jarak antar elektroda yang mempunyai efisiensi removal terbesar dengan menggunakan proses elektrolisis untuk limbah Cr dari industri penyepuhan logam

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Jika metode elektrolisis memiliki kemampuan memisahkan dan mereduksi Cr, maka metode ini dapat dijadikan sebagai pertimbangan alternatif unit pengolahan air limbah.
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai pertimbangan bagi penelitian-penelitian selanjutnya pada khususnya dan ilmu pengetahuan pada umumnya.

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah industri pelapisan logam yang mengandung logam Cr.
3. Parameter yang diukur adalah kadar Cr, pH (derajat keasaman), suhu (T)
4. Perlakuan pada penelitian dilakukan dengan variasi jenis katoda dan jarak antar katoda. Untuk variasi jenis katoda menggunakan bahan aluminium dan besi. Sedangkan untuk variasi jarak antar elektroda adalah 2 cm, 4 cm, 8 cm, 16 cm. Dan dilakukan pengambilan sampel setiap 45 menit selama proses elektrolisis (225 menit).
5. Uji elektrolisis menggunakan reaktor batch.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Logam**

Berdasarkan daya hantar panas dan listriknya, semua unsur-unsur kimia yang terdapat dalam Susunan Berkala dapat dibagi atas dua golongan yaitu golongan logam dan non logam.

Istilah logam biasanya diberikan kepada semua unsur-unsur kimia dengan ketentuan-ketentuan tertentu. Unsur ini dalam kondisi suhu kamar, tidak selalu berbentuk padat (misalnya Fe, Cu dan Zn) melainkan ada yang berbentuk cair (misalnya Hg, Ce dan Ga).

Ciri-ciri setiap logam adalah sebagai berikut (Palar, 1994) :

1. Memiliki kemampuan yang baik sebagai penghantar listrik/konduktor.
2. Memiliki kemampuan sebagai penghantar panas yang baik.
3. Dapat membentuk alloy dengan logam yang lainnya.
4. Untuk logam padat dapat ditempa dan dibentuk.

Disamping itu setiap unsur logam baik yang padat maupun yang berbentuk cair, akan memberikan ion positif apabila senyawanya dilarutkan dalam air. Sedangkan bentuk oksidasinya akan membentuk hidroksida bila bereaksi dengan air.

Unsur logam yang terdapat dalam tabel periodik ditemukan hampir pada setiap golongan kecuali pada golongan VII-A dan golongan VIII-A.

#### **2.1.1 Logam Berat**

Menurut Connel dan Miller, definisi logam berat adalah suatu unsur yang merupakan konduktor listrik yang baik, dan mempunyai konduktivitas panas, rapatan, kemudahan ditempa, kekerasan dan keelektropositifan yang tinggi.

Berdasarkan densitasnya unsur-unsur logam dapat pula dibagi atas dua golongan, yaitu golongan logam ringan dan logam berat. Menurut Oseana, 1984 unsur-unsur logam ringan mempunyai densitas lebih kecil dari 5, sedangkan unsur-unsur logam berat mempunyai densitas lebih besar dari 5 (Tabel 2.1).



**Tabel 2.1 Densitas, berat atom dan titik cair dari beberapa logam ringan dan berat**

Unsur	Berat Atom	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	Titik Leleh (°C)
<b>Logam Ringan</b>			
Litium, Li	6.94	0.53	186
Kalium, K	39.1	0.86	63
Natrium, Na	22.99	0.97	97.7
Kalsium, Ca	40.08	1.54	851
Sesium, Ce	132.91	1.9	28
Aluminium, Al	26.98	2.7	660.1
Barium, Ba	137.36	3.5	704
<b>Logam Berat</b>			
Kromium, Cr	52.01	7.14	1800
Seng, Zn	65.38	7.14	419.5
Timah, Sn	118.7	7.3	231.9
Mangan, Mn	54.94	7.4	1250
Besi, Fe	55.85	7.87	1539
Kadmium, Cd	112.41	8.65	320.9
Nikel, Ni	58.69	8.9	1453
Tembaga, Cu	63.54	8.9	1083.20
Bismut, Bi	209	9.8	271.3
Perak, Ag	107.88	10.49	960.8
Timbal, Pb	207.21	11.34	327.4
Raksa, Hg	200.61	13.55	-38.87
Wolffram, W	183.92	19.3	3380
Emas, Au	197.23	19.3	1063
Platinum, Pt	195.23	21.45	1769
Osium, Os	190.2	22.6	2700

(Sumber : Maron & Landon, 1974)

Jenis limbah yang paling banyak mengandung logam berat adalah limbah industri. Hal ini disebabkan senyawa atau unsur logam berat yang banyak dimanfaatkan dalam industri, baik sebagai bahan baku, katalisator, fungisida maupun sebagai aditif (Tabel 2.2). Limbah industri yang banyak mengandung logam berat ini akan terbawa melalui sungai dan udara menuju laut.

**Tabel 2.2 Pemakaian unsur-unsur logam berat dalam berbagai industri**

Unsur	Jenis Pemakaian
Ag	Fotografi, konduktor listrik, perhiasan mata uang, batere, mata uang logam, elektroplating.
Cd	Elektroplating, pigment (bahan cat warna), penahan panas dalam

	alat-alat pabrik.
Co	Campuran logam, katalis, pigment, lapisan email, <i>glazer</i> , elektroplating.
Cr	Campuran logam, <i>refractory bricks</i> , elektroplating, cat, pengawet kayu, tanning
Cu	Alat-alat listrik, campuran logam, katalis, algisida, pengawet kayu, <i>anti fouling paint</i> .
Fe	Industri besi dan baja.
Hg	Produksi alkali-klor, alat-alat listrik, <i>anti mildew paint</i> , obat-obatan, biosida (fungisida, herbisida, insektisida), kertas.
Mn	Campuran logam, batere kering, industri kimia, gelas pewarna keramik.
Ni	Campuran logam, elektroplating, katalis.
Pb	Batere, bahan baker mobil, pigment, bahan peledak, pateri, <i>cable covering</i> , <i>anti fouling paint</i> .
Sn	Plat timah, pateri, reduktor kimia, fungisida, campuran logam, <i>anti fouling paint</i> .
Zn	Lapisan campuran logam, galvanisir, cat, karet.

(Sumber : Hutagalung, 1994)

Secara umum, karakteristik dan sifat-sifat yang dimiliki logam berat sama dengan logam-logam lainnya. Hal ini yang membedakan logam berat dengan logam-logam lainnya adalah efek yang ditimbulkan pada kadar atau konsentrasi yang masuk ke dalam organisme hidup dengan jumlah yang berlebih. Tidak seperti logam-logam lainnya, jika berada dalam konsentrasi yang berlebih, logam berat akan berdampak negatif bagi fungsi fisiologis dalam tubuh. Adapun karakteristik dari kelompok logam berat pada umumnya adalah sebagai berikut (Palar, 1994):

1. Memiliki berat jenis yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22 - 34 dan 40 – 50.
3. Mempunyai respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup.

Masuknya logam berat ke lingkungan dalam jumlah yang berlebihan hal ini disebabkan karena dua hal, yaitu (Suhendrayatna, 2001) :

1. Proses alam seperti perubahan siklus alamiah mengakibatkan batu-batuan dan gunung berapi memberikan kontribusi yang sangat besar bagi lingkungan.
2. Aktivitas manusia, diantaranya berasal dari industri dan pertambangan, dimana pada proses ini dihasilkan buangan yang apabila tidak dikelola dengan benar, dapat mengakibatkan pencemaran. Peningkatan konsentrasi logam berat ini dapat meningkat secara terus menerus sejalan dengan aktifitas eksplorasi berbagai sumber alam dimana logam berat tersebut berada sedangkan kemampuan alam untuk mereduksi sangat terbatas.

### **2.1.2 Sifat Toksisitas Logam Berat di Lingkungan Perairan**

Lingkungan perairan (akuatik) merupakan lingkungan yang amat rentan terhadap kehadiran logam berat. Secara alami logam berat selalu ditemukan dalam air permukaan dengan konsentrasi yang sedikit. Namun dalam kasus terjadinya pencemaran, konsentrasi logam ini dapat meningkat secara drastis, sehingga dapat bersifat toksik bagi organisme perairan. Kadar logam berat yang tinggi dapat merusak jaringan ikan, sehingga hal ini dapat menyebabkan kematian. Tapi pada sebagian besar kasus yang terjadi adalah justru pada tingkat kontaminasi logam berat yang rendah. Diantaranya jenis logam berat yang bersifat toksik bagi organisme akuatik tersebut diantaranya yaitu merkuri, tembaga, seng, nikel, timbal, cadmium dan kromium. Urutan tingkat racun berbagai logam berat pada organisme perairan, dengan larva sebagai indikator (karena periode larva adalah yang paling sensitif) adalah  $Hg^{2+} > Ag^+ > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > As^{3+} > Cr^{3+} > Sn^{2+} > Fe^{3+} > Mn^{2+} > Al^{3+} > Be^{2+} > Li^+$  (Hutagalung, 1984).

#### **2.1.2.1 Logam Berat Kromium (Cr)**

Logam Cr pertama kali ditemukan oleh Vagueline pada tahun 1797, sedangkan cara untuk mendapatkan logam Cr baru didapatkan satu tahun kemudian. Kromium berasal dari bahasa Yunani yaitu Chroma yang berarti warna. Logam yang dilambangkan Cr mempunyai karakter fisik sebagai berikut (Fahidy, 1985) :

- Nomor atom (NA) : 24
- Berat atom (BA) : 51.996

- Golongan : VI B
- Valensi : 1 - 6
- Jari-jari atom : 1.17 Å
- Titik leleh : 1800°C
- Titik didih : 2199°C
- Densitas : 7.14 g/cm<sup>3</sup>

Logam Cr murni yang merupakan logam transisi tidak pernah ditemukan di alam. Kromium merupakan logam kristalin yang berwarna putih, tidak begitu liat dan keras, mengkilap, mudah pecah dan tahan korosi. Di alam kromium ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan mineral, Cr paling banyak ditemukan dalam bentuk khromit (FeOCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Dalam batuan mineral khromit sering ditemukan bersama logam-logam Mn dan Al juga senyawa SiO yang merupakan pengotor (*Impurities*) mineral tersebut. Krom banyak digunakan dalam industri otomotif, kerajinan, pelapis anti korosi, tekstil, penyamakan, pencelupan, fotografi, zat warna dan bahan campuran dalam pembuatan produk stainless steel.

### 2.1.2.2 Sifat Kimia Kromium (Cr)

Sifat kimia dari Kromium adalah sebagai berikut :

1. Kromium termasuk dalam bahan berbahaya karena merupakan logam yang sangat mudah bereaksi. Logam ini bereaksi secara langsung dengan nitrogen, karbon, silika dan baron.
2. Logam Kromium tidak dapat teroksidasi oleh udara lembab dan pada proses pemanasan, cairan logam Cr teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit. Tetapi dalam udara yang mengandung CO<sub>2</sub> dengan konsentrasi tinggi, logam Cr akan teroksidasi dan membentuk logam Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sedangkan dengan larutan HCl akan membentuk logam CrCl<sub>2</sub>.
3. Logam Cr dalam persenyawaan mempunyai bilangan oksidasi 2+, 3+ dan 6+. Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya maka sifat senyawa kromium mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat ioniknya. Senyawa yang dibentuk oleh Cr<sup>2+</sup> bersifat basa amfoter, senyawa yang dibentuk oleh Cr<sup>3+</sup> bersifat amfoter sedangkan senyawa dari Cr<sup>6+</sup> bersifat asam.

Walaupun kromium bersifat karsinogenik, dalam tubuh manusia krom masih diperlukan rata-rata 0,05 mg/hari, jumlah tersebut diperoleh dari makanan dan minuman sehari-hari. Persenyawaan krom dalam konsentrasi besar yang bersifat toksik. Krom disimpan dalam tubuh yaitu kulit, otot dan jaringan lemak dan sisanya akan dikeluarkan melalui system ekskresi.

Reaksi-reaksi yang terjadi di dalam air terutama reaksi pengkomplekan dapat mengakibatkan terjadinya pengendapan dan sedimentasi logam Cr di perairan. Selain pengkomplekan juga terjadi proses reduksi dari senyawa  $\text{Cr}^{6+}$  yang sangat beracun menjadi  $\text{Cr}^{3+}$  yang kurang beracun. Peristiwa reduksi yang terjadi atas senyawa  $\text{Cr}^{6+}$  menjadi  $\text{Cr}^{3+}$  dapat berlangsung bila perairan mempunyai lingkungan yang bersifat asam (Connel, 1995).

### 2.1.2.3 Dampak Negatif Cr Terhadap Makhluk Hidup

Limbah yang mengandung kromium dan tembaga digolongkan sebagai Bahan Buangan Berbahaya (B3). Sifatnya beracun dan tidak dapat dicerna maupun disekresikan sehingga akan menumpuk dalam tubuh makhluk hidup (bioakumulasi). Daya racun (toksisitas) dari setiap senyawa berbeda pada krom tersebut ditentukan oleh valensi ionnya.  $\text{Cr}^{6+}$  merupakan bentuk logam Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya karena  $\text{Cr}^{6+}$  dapat mengakibatkan terjadinya keracunan.

Mekanisme keracunan ada 3 tahap (Palar, 1994) :

1. Menahan gugus fungsi biologis yang esensial dalam biomolekul.
2. Menggantikan ion esensial di dalam tubuh.
3. Mengubah konfirmasi aktif biomolekul.

Keracunan oleh krom, yaitu :

1. Toksisitas akut

Toksisitas akut adalah keracunan yang terjadi dalam waktu-waktu yang singkat atau seketika, hal ini karena keracunan dalam dosis yang tinggi atau akibat daya tahan tubuh yang rendah. Paparan akut dari Cr(VI) dapat menyebabkan gangguan diare, liver dan ginjal *hemorge dermatitis* dan problem pernafasan, hal ini sering terjadi hanya oleh Cr(VI) jarang akibat Cr(III).

## 2. Toksisitas kronis

Toksisitas kronis berlangsung sangat lama, akibat penumpukan bahan beracun dalam jangka waktu yang lama dimana tubuh tidak lagi dapat menetralkan racun yang masuk. Paparan Cr(III) dalam waktu lama dapat menyebabkan alergi, dermatitis, gatal kulit, iritasi membran hidung dan gangguan paru-paru.

## 3. Karsinogen

Karsinogen adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu senyawa kimia untuk merangsang pertumbuhan sel-sel secara liar sehingga menimbulkan kanker. Walaupun senyawa-senyawa dari Cr(VI) belum terbukti efek karsinogeniknya terhadap manusia tetapi pada percobaan terhadap mamalia sudah menunjukkan gejala-gejala tersebut.

Ion-ion  $\text{Cr}^{6+}$  ini dalam proses metabolisme tubuh akan menghalangi atau dapat menghambat kerja enzim *benzopiren hidrosilase*. Sehingga mengakibatkan perubahan dalam kemampuan pertumbuhan sel, sehingga sel-sel tumbuh secara liar dan tidak terkontrol, atau lebih dikenal dengan istilah kanker. Karena itu Cr termasuk dalam kelompok logam yang bersifat karsinogenik.

Pada mamalia, urutan toksisitas logam dalam tubuhnya adalah : Ag, Hg, Ti, Cd > Cu, Pb, Co, Sn, Be, In, Ba, Zn, Ni, Fe, Cr > Y, La > Sr, Sc > Cs, Li, Al (Connel, 1995). Senyawa-senyawa yang mempunyai berat molekul rendah, seperti dalam sel darah dapat melarutkan Cr dan seterusnya ikut terbawa keseluruh tubuh bersama peredaran darah. Sedangkan asam kromat dan garamnya mempunyai sifat korosif terhadap kulit jika waktu kontak cukup lama dapat mengakibatkan karsinogen pada saluran pernafasan, perut dan laring.

## 2.2 Elektrolisis

### 2.2.1 Sel Elektrokimia

Sel elektrokimia adalah sel yang menghasilkan transfer bentuk energi dimana energi listrik diubah menjadi energi kimia dan sebaliknya, melalui saling interaksi antara arus listrik dan reaksi redoks. Terdapat dua macam sel elektrokimia, yaitu (Petrucci, 1985) :

### 1. Sel Volta atau Sel Galvani

Nama sel ini diambil dari dua orang ahli kimia Italia yang menjadi perintis penggunaan sel tersebut, yaitu Alessandro Guiuseppe Volta (1745 – 1827) dan Luigi Galvani (1737 – 1798). Dalam sel volta, reaksi redoks akan menimbulkan arus listrik. Atau dengan kata lain pada sel volta terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Contoh sel volta yang dikenal dalam kehidupan sehari-hari adalah batu baterai dan aki.

### 2. Sel Elektrolisa

Sel elektrolisa merupakan kebalikan dari sel volta, dimana pada sel elektrolisa ini arus listrik digunakan untuk membangkitkan reaksi redoks. Sehingga terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia. Contoh dari sel elektrolisa adalah penyepuhan logam.

#### 2.2.2 Sel Elektrolisis

Pada pertengahan abad 19 Michael Faraday mempelajari percobaan tentang elektrolisis. Sel ini terdiri dari media elektrolit dan elektroda yang dihubungkan dengan sumber arus listrik searah seperti baterai atau aki. Jika arus listrik searah dialirkan maka akan terjadi reaksi kimia pada elektrodanya, dalam hal ini ion positif akan berpindah ke arah elektroda negatif (katoda) dan ion negatif akan pindah ke arah elektroda positif (anoda). Pada anoda terjadi reaksi oksidasi sedang pada katoda terjadi reaksi reduksi.

Proses elektrolisa dalam pengertian khusus, merupakan proses perpindahan elektron yang sifatnya ekuivalen bila arus listrik dari sumber eksternal dialirkan pada elektroda dari sel elektrolitik, baik terhadap anoda maupun katoda. Elektroda akan berpindah secara kontinyu selama arus listrik masih disuplai.

Ada banyak tipe reaksi elektroda, tetapi gambaran umumnya diringkas sebagai berikut :

1. Arus listrik membawa ion akan dibebaskan pada elektroda.
2. Ion negatif yang sulit untuk dibebaskan pada anoda menyebabkan penguraian  $\text{H}_2\text{O}$  dan pembentukan  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}^+$ , dan elektron.
3. Ion positif yang sulit untuk dibebaskan pada katoda menyebabkan penguraian  $\text{H}_2\text{O}$  dan pembentukan  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}^-$  dan adsorpsi elektron.

Jumlah zat-zat yang terkumpul pada elektroda atau melarutkan elektroda diberikan oleh hukum Faraday, yaitu “jika 96543 coulomb (satu Faraday) muatan dilewatkan melalui suatu elektrolit, satu ekuivalen produk diendapkan pada elektroda, atau satu ekuivalen reaksi kimia yang terjadi pada elektroda” (Dogra, SK, 1990).

### 2.2.3 Prinsip Reaksi Redoks (Reduksi-Oksidasi)

Konsep oksidasi dan reduksi tidaklah terbatas pada reaksi yang menyangkut oksigen saja. Semua reaksi pelepasan elektron disebut reaksi oksidasi dan semua reaksi penangkapan elektron disebut reaksi reduksi. Yang dimaksudkan dengan melepaskan elektron adalah memberikan elektron kepada atom yang lain, serta menangkap elektron artinya menerima elektron dari atom lain. Oleh karena itu pelepasan elektron oleh suatu atom selalu disertai dengan peristiwa penangkapan elektron oleh atom lain. Jadi peristiwa oksidasi selalu disertai peristiwa reduksi (Heitz, 1985).

### 2.2.4 Hal-Hal Yang Mempengaruhi Reaksi Redoks Pada Proses Elektrolisa

#### 2.2.4.1 Efek Konsentrasi Pada Potensial

Semua daftar potensial redoks yang tercantum pada Tabel 2.3 hanyalah harga potensial untuk sel yang bekerja pada kondisi standar (1 M), sedangkan untuk sebuah sel pada konsentrasi dan kondisi bukan standar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Nerst.

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa voltase suatu sel akan diperbesar baik oleh kenaikan pereaksi maupun berkurangnya redoks. Sedangkan konsentrasi larutan sendiri dipengaruhi oleh suhu.

**Tabel 2.3 Daftar potensial reduksi logam pada keadaan standar (konsentrasi 1 M) pada suhu 25 °C**

Reduksi Logam		E (volt)
K	+ e → K	-2,92
Ba <sup>2+</sup>	+ 2e → Ba	-2,90
Ca <sup>2+</sup>	+ 2e → Ca	-2,87
Na <sup>+</sup>	+ e → Na	-2,71



$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	-2,37
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mn}$	-1,05
$2\text{H}^2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}^2 + 2\text{OH}^-$	-0,83
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	-0,76
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	-0,44
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	-0,25
$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Cr}$	-0,71
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	-0,40
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sn}$	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	-0,13
$2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$	+0,00
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	+0,34
$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	+0,80
$\text{Bi}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Bi}$	+0,30
$\text{Sb}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Sb}$	+0,10
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	+0,62
$\text{Pt}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pt}$	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Au}$	+1,70

(Sumber : Day, Underwood, 1996)

#### 2.2.4.2 Pengaruh Atmosfer Pada Reaksi Redoks

Pada suatu penelitian dalam skala laboratorium, suatu larutan akan bersifat terbuka terhadap atmosfer. Pada udara terdapat tiga komponen yang dapat mempengaruhi debu, karbondioksida dan oksigen. Debu kemungkinan mengandung bahan-bahan organik yang dapat dioksidasikan oleh zat pengoksidasi kuat. Karbondioksida terlarut dapat mempengaruhi pH dari larutan yang mendekati netral, karena karbondioksida dan air membentuk asam karbonat serta oksigen terlarut adalah zat pengoksidasi yang cukup kuat untuk bereaksi dengan banyak zat yang tereduksi.

#### 2.2.4.3 Pengaruh Jarak dan Luasan Elektroda

Jarak dan luasan elektroda sangat berpengaruh terhadap terjadinya pembentukan reaksi kimiawi dari sel elektrolisis, hal ini berkaitan dengan fakta bahwa arus listrik yang ditransfer dari GGL sumber akan dipindahkan oleh ion-ion di dalam larutan elektrolit sehingga reaksi kimiawi dapat berjalan.

#### 2.2.4.4 Pengaruh Kuat Arus Listrik, Beda Potensial dan Waktu

Dalam setiap proses elektrolisa juga terjadi pelepasan energi. Mengingat persamaan yang berlaku adalah pada arus listrik (Maron & Landon, 1974) :

$$W = v i t \quad (2.1)$$

Dimana :

W = energi (joule)

i = kuat arus (ampere)

t = waktu (detik)

Oleh sebab itu kecepatan dari elektrolisa sangat dipengaruhi oleh kuat arus listrik. Semakin besar kuat arus listrik semakin besar laju elektrolisa. Demikian pula hubungan dengan beda potensial.

Untuk waktu semakin lama waktu, maka akan semakin besar jumlah ion yang akan disisihkan (Maron & Landon, 1974).

Sedangkan untuk setiap arus yang mengalir pada suatu konduktor berlaku rumus :

$$V \text{ drop} = i R \quad (2.2)$$

Dimana :

V drop = jumlah beda potensial yang turun karena dipengaruhi konduktor (volt)

i = Kuat arus yang digunakan (ampere)

R = Hambatan konduktor (ohm)

#### 2.2.4.5 Pengaruh Suhu

Suhu sangat berpengaruh pada proses penghantaran arus listrik, karena nilai hambatan sangat dipengaruhi oleh temperatur yang ada. Hal ini terjadi mengingat kecepatan reaksi akan meningkatkan seiring dengan kenaikan suhu. Hubungan nilai hambatan dengan suhu itu dijelaskan dengan persamaan berikut :

$$R_x = R_1 [ 1 + \alpha ( T_x - T_1 ) ] \quad (2.3)$$

Dimana :

$R_x$  = nilai hambatan pada kondisi suhu  $x$  ( $\Omega$ )

$R_o$  = nilai hambatan yang telah diketahui pada kondisi suhu 1 ( $\Omega$ )

$\alpha$  = koefisien hambatan ( $1/C$ )

$T_x$  = nilai temperatur  $x$  ( $^{\circ}C$ )

$T_1$  = nilai temperatur 1 ( $^{\circ}C$ )

(Sumber: Maron & Landon, 1974)

## 2.3 Reaksi-reaksi Pada Elektroda

### 2.3.1 Reaksi-reaksi Pada Katoda

Bila larutan garam logam dielektrolisis, dapat terjadi :

1. Pengendapan (penempelan) logam pada katoda.
2. Timbulnya gas  $H_2$

Kedua proses tersebut dipengaruhi oleh besarnya potensial yang diperlukan untuk dekomposisi logam atau timbulnya gas  $H_2$ .

- Potensial pelucutan logam lebih besar daripada potensial pelucutan  $H_2$  maka logam mengendap lebih dahulu.
- Potensial pelucutan logam lebih kecil daripada potensial pelucutan  $H_2$  maka gas  $H_2$  akan timbul lebih dahulu.

Ketentuan-ketentuan lain reaksi reduksi pada katoda (Maron & Landon, 1974):

1. Larutan yang mengandung ion-ion logam alkali, ion-ion logam alkali tanah, ion  $Al^{3+}$  dan  $Mn^{2+}$ , maka ion-ion ini tidak mengalami reaksi reduksi,  $H_2O$  mengalami reduksi.



2. Larutan asam, yang mengalami reduksi adalah kation ( $H^+$ )



3. Larutan yang mengandung ion-ion logam selain ketentuan nomor satu, maka yang mengalami reduksi adalah ion-ion logam tersebut.



L adalah logam-logam berat

Contoh :





Prinsip ini yang menjadi dasar dari penelitian yang dilakukan dimana logam berat yang berada dalam larutan akan menempel pada katoda, sehingga kandungan logam dalam air berkurang.

### 2.3.2 Reaksi-reaksi pada anoda

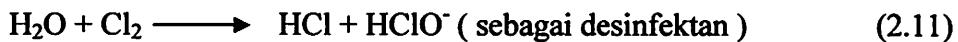
Jika anoda terbuat dari platina, emas dan karbon, maka anoda tidak akan mengalami perubahan, tetapi ion negatif yang akan teroksidasi dengan ketentuan sebagai berikut (Maron & Landon, 1974):

1. Larutan yang mengandung ion halida ( $\text{F}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$ ,  $\text{Br}^{-1}$ ,  $\text{I}^{-1}$ ) akan teroksidasi menjadi molekul dalam bentuk gas.

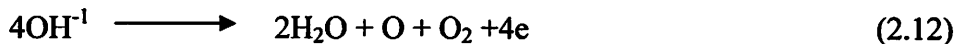
Contoh :



Jika  $\text{Cl}_2$  dalam air maka akan bereaksi



2. Larutan yang mengandung basa ( $\text{OH}^{-1}$ ), maka akan dioksidasi :



3. Larutan yang mengandung anion lainnya ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-4}$ , dll )

Tidak mengalami oksidasi, yang mengalami oksidasi adalah air :



Oksigen yang dihasilkan pada reaksi di atas menambah kandungan oksigen dalam air, sehingga air lebih segar.

4. Peristiwa yang terjadi tidak selalu seperti hal-hal diatas, tetapi kemungkinan akan terjadi reaksi sebagai berikut ;



Jika anoda terbuat dari logam lain seperti Cu, Ni, maka anoda akan bereaksi sebagai berikut :



## 2.4 Proses Produksi Industri Elektroplating

Industri elektroplating pada umumnya, dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Pelapisan tembaga (*copper plating*)
2. Pelapisan nikel (*nickel plating*)
3. Pelapisan krom (*chrome plating*)
4. Pelapisan seng (*zinc plating*)

Berikut dibawah ini merupakan keterangan dari proses produksi industri elektroplating (Fahidy, 1985):

### 1. *Pre treatment*

Penanganan awal dari benda kerja yang akan dilapisi dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, yaitu *electro cleaner* (katodik), *pickling* (penghilangan karat pada suasana asam), *degreasing* (penghilangan lemak) dan proses penghalusan atau pemolesan benda.

### 2. *Rinsing*

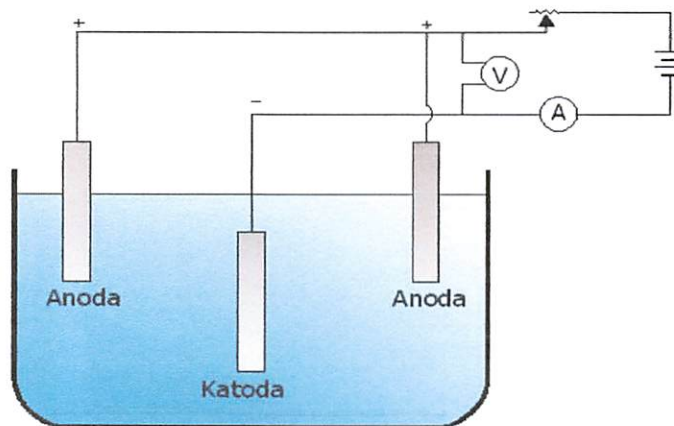
Pembilasan dilakukan pada setiap tahapan proses dapat dilakukan dengan cara perendaman secara *counter flow* atau dengan cara *mist spray rinsing*.

### 3. *Plating*

Proses pelapisan benda kerja secara elektrolisis.

### 4. *Finishing*

Terdiri dari proses pengeringan dengan sinar matahari atau dengan oven. Secara spesifik proses elektroplating di Indonesia, untuk pelapisan Cu dan Cr dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Sumber : Heitz, 1985).



Gambar 2.1 Rangkaian listrik pelapisan

## 2.5 Hubungan Elektrolisis Dengan Unsur Logam

Dilihat dari daftar potensial redoks, disana akan terlihat bahwa tiap-tiap unsur logam mempunyai beda potensial ( $E^\circ$ ) itu diperoleh dengan membandingkan elektroda standart. Standar yang dipakai adalah elektroda hidrogen dengan reaksi sebagai berikut :



Menurut perjanjian internasional hidrogen ditetapkan pada tepat nol volt pada semua suhu jika tekanan gas hidrogen adalah 1 atm dan aktivitas ion hidrogen adalah satu.

Gas Hidrogen murni dialirkan pada elektroda platina yang bersentuhan dengan larutan asam ( $H^+$ ), pada permukaan platina terjadi kesetimbangan reaksi sebagai berikut :



Harga  $E^\circ$  pada reaksi ini ditetapkan nol volt. Kemudian harga  $E^\circ$  dari semua reaksi reduksi adalah harga yang dibandingkan terhadap harga  $E^\circ$  hidrogen.

Dengan melihat daftar potensial redoks tersebut kita dapat mengambil beberapa kesimpulan :

1. Logam-logam yang terletak disebelah atas H mempunyai potensial negatif dan logam yang berada di bawah memiliki potensial positif.
2. Makin ke bawah letak suatu logam dalam deret volta (potensial redoks), harga potensialnya makin besar yang berarti logam-logam disebelah bawah mudah mengalami reduksi (menerima elektron) serta sukar mengalami oksidasi (melepaskan elektron).
3. Semakin ke atas letak suatu logam dalam deret volta harga potensialnya makin kecil yang berarti logam-logam disebelah atas sulit mengalami reduksi (menerima elektron) tetapi mudah mengalami oksidasi (melepaskan elektron).
4. Karena unsur logam cenderung melepaskan elektron (mengalami oksidasi), maka logam-logam disebelah atas merupakan logam yang aktif (mudah melepaskan elektron), sedangkan logam-logam disebelah bawah merupakan logam-logam mulia. Emas terletak di ujung yang paling bawah sebab emas paling sukar teroksidasi.

5. Makin ke bawah sifat reduktor makin lemah (karena sukar teroksidasi), sedangkan makin ke atas sifat reduktornya makin kuat (karena mudah teroksidasi). Sehingga unsur-unsur dalam deret volta hanya mampu mereduksi unsur-unsur disebelah bawahnya tetapi tidak mampu mereduksi unsur-unsur disebelah atasnya.



Artinya : Mg mampu mereduksi Zn tetapi Mg tidak mampu mereduksi Na

## 2.6 Hubungan Elektrolisis Dengan Penurunan Limbah Industri

### 2.6.1 Secara Umum

Jika suatu industri menghasilkan limbah yang mengandung ion logam, maka ada dua komponen utama dalam limbah tersebut yaitu logam dan pelarutnya air. Jika arus listrik searah (DC) dari sumber ggl luar dialirkan pada kedua elektroda dengan beda potensial tertentu yang melebihi ggl galvani sel maka akan terjadi suatu reaksi kimia pada kedua elektroda tersebut.

GGL luar berfungsi untuk memompa elektron ke elektroda negatif, logam yang bermuatan positif (kation) akan menuju elektroda negatif dan menjadi reduksi dimana logam menerima elektron dari elektroda negatif tersebut dan menempel atau melapisi elektroda tersebut. Hal ini dapat terjadi dengan satu syarat khusus yaitu tegangan potensial logam harus lebih besar dibandingkan tegangan potensial air sebagai pelarutnya.

Sedangkan air sebagai anion (yang bermuatan negatif) akan menuju elektroda positif dan mengalami oksidasi (melepaskan elektron) dengan mengeluarkan gas oksigen. Karena reduksi terjadi pada elektroda negatif pada proses elektrolisis maka elektroda negatif tersebut dinamakan katoda. Sedangkan peristiwa oksidasi terjadi pada elektroda positif sehingga elektroda positif tadi disebut anoda. Prinsip inilah yang menjadi dasar dari penelitian yang dilakukan dimana logam yang berada dalam larutan akan menempel pada katoda sehingga kadar logam dalam air akan berkurang.

### **2.6.2 Secara Khusus**

Dari uraian secara umum di atas, maka jika air limbah yang banyak mengandung ion logam berat Cr akan dilakukan proses elektrolisis, dapat diduga akan terjadi dua proses kimia yang penting yaitu :

1. Proses redoks yang terjadi pada kedua elektroda
2. Proses oksidasi Cr oleh oksigen yang ditimbulkan akibat oksidasi pada anodanya.

### **2.7 Analisis Data**

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi analisa deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi) (Soleh, 2005).

#### **2.7.1. Statistika Deskriptif dan Inferensi**

Secara garis besar, statistik dibedakan menjadi 2, yaitu statistika deskriptif dan statistika inferensi. Metode statistika yang meringkas, menyajikan, dan mendeskripsikan data dalam bentuk yang mudah dibaca sehingga memberikan kemudahan dalam memberikan informasi disebutkan statistika deskriptif. Statistika deskriptif menyajikan data dalam tabel, grafik, ukuran pemusatan data, dan penyebaran data.

Agar mendapatkan informasi lebih terperinci, kita memerlukan analisis data dengan metode statistika tertentu. Hasil analisis data akan memberikan informasi lebih rinci sehingga kita memperoleh suatu kesimpulan mengenai suatu fenomena berdasarkan sampel yang diambil. Analisis tersebut dinamakan statistika inferensi. Statistika inferensi sering disebut statistika induktif. Statistika inferensi memerlukan pengetahuan lebih mengenai konsep probabilitas yang biasa dikenal sebagai ilmu peluang. Ilmu peluang tidak lepas dari statistika karena membantu pengambilan keputusan statistik suatu data (Iriawan dan Astuti, 2006 ).



### 2.7.2 Analisis Data Statistik dalam Minitab

Minitab merupakan salah satu program aplikasi statistika yang banyak digunakan untuk mempermudah pengolahan data statistik. Minitab menyediakan program – program untuk mengolah data statistik secara lengkap. Anda dapat mencari *software*-nya dalam *website* [www.minitab.com](http://www.minitab.com). Seperti yang telah dijelaskan, komputer berperan sebagai alat Bantu untuk melakukan analisa data, sedangkan manusia berperan besar dalam mendesain dan menafsirkan output yang dihasilkan Minitab (Iriawan dan Astuti, 2006 ).

### 2.7.3 Keunggulan Minitab

Keunggulan minitab adalah dapat digunakan dalam pengolahan data statistik untuk tujuan sosial maupun teknik. Minitab telah diakui sebagai program statistika yang sangat kuat dengan tingkat akurasi taksiran statistik yang tinggi.

Adapaun keunggulan Minitab (terutama Minitab 14) dibandingkan program statistika lainnya (Iriawan dan Astuti, 2006 ) adalah :

- Pada Minitab 14, tampilan menu yang lebih lengkap dan disertai toolbar – toolbar akan memudahkan pengguna dalam menjalankan perintah.
- Minitab menyediakan StatGuide yang menjelaskan cara melakukan interpretasi table dan grafik statistika yang dihasilkan oleh Minitab dengan cara yang mudah dipahami.
- Ukuran worksheet dinamis dan memuat kolom sampai 4.000.
- Bahasa pemrograman macro lebih mudah. Minitab memiliki bahasa pemrograman macro yang sudah tersedia dalam Minitab versi sebelumnya. Bahasa pemrograman macro hampir mirip dengan bahasa pemrograman basic.

- Minitab 13 dan 14 mempunyai file Minitab Worksheet (MTW) dan Minitab Project (MPJ) yang digunakan untuk membedakan file worksheet dan file project. Minitab versi sebelumnya hanya memiliki file Minitab Worksheet (WTW). File Minitab Project (MPJ) mempermudah penyimpanan semua pekerjaan dalam 1 project.
- Minitab 13 dan 14 menyediakan ReportPad agar mudah membuat laporan project yang telah dibuat.
- Dalam Minitab, pengguna bias membuat nama yang panjang pada file tanpa harus menyingkat nama file.
- Minitab 14 memiliki beberapa tambahan, khususnya dalam melakukan analisis pengendalian kualitas statistik, desain eksperimen, analisis regresi, analisis reliabilitas, dan beberapa tambahan dalam analisis data kategori.
- Minitab 13 dan 14 menyediakan metode Taguchi untuk desain robust yang banyak digunakan dalam desain eksperimen.

#### **2.7.4. Analisis Korelasi**

Koefisien korelasi Pearson berguna untuk mengukur tingkat keeratan hubungan linear antara 2 variabel. Nilai korelasi berkisaran antara -1 sampai +1. Nilai korelasi negatif berarti hubungan antara 2 variabel adalah negatif. Artinya, apabila salah satu variabel menurun, maka variabel lainnya akan meningkat. Sebaliknya, nilai korelasi positif berarti hubungan antara kedua variabel adalah positif. Artinya, apabila salah satu variabel meningkat, maka variabel dikatakan berkorelasi kuat apabila makin mendekati 1 atau -1. Sebaliknya, suatu hubungan antara 2 variabel dikatakan lemah apabila semakin mendekati 0 (nol).

#### **Hipotesis**

Hipotesis untuk uji korelasi adalah :

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

Di mana  $\rho$  adalah korelasi antara 2 variabel.

## **Daerah Penolakan**

$P\text{-Value} < \alpha$ .

Untuk membuat interpretasi analisis korelasi, ada beberapa hal yang harus diingat, yaitu :

1. Koefisien korelasi hanya mengukur hubungan linear. Jika ada hubungan nonlinear, maka koefisien korelasi akan bernilai 0.
2. Koefisien korelasi sangat sensitif terhadap nilai ekstrem.
3. Kita bisa membuat korelasi hanya jika variabel memiliki hubungan sebab akibat.

### **2.7.5. Analisis Regresi**

Analisis regresi sangat berguna dalam berbagai penelitian antara lain :

- Model regresi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel respons dan variabel predictor.
- Model regresi dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu atau beberapa variabel predictor terhadap variabel respons.
- Model regresi berguna untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel predictor terhadap variabel respons.

Model regresi memiliki variabel respons ( $y$ ) dan variabel predictor ( $x$ ). Variabel respons adalah variabel yang dipengaruhi suatu variabel predictor. Variabel respons sering dikenal variabel dependen karena peneliti tidak bisa bebas mengendalikannya. Kemudian, variabel predictor digunakan untuk memprediksi nilai variabel respons dan sering disebut variabel independent karena penelitian bebas mengendalikannya.

### **2.7.6. Analisis ANOVA**

Output analisis dalam Sub-subbab ditampilkan dalam window Session. Output memiliki 2 bagian utama, yaitu ANOVA dan output hasil uji perbandingan berpasangan. Output bagian pertama adalah ANOVA. Adapun hipotesis masalah adalah :

**Hipotesis**

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

(rata-rata sample tiap perlakuan sama )

$$H_1 : \tau_i \neq 0$$

(ada perlakuan yang tidak rata-ratanya tidak sama )

**Daerah penolakan**

Hipotesis awal akan ditolak apabila nilai F melebihi  $F_{\alpha, a-1, N-a}$ , dimana  $\alpha$  adalah banyak replikasi ditiap level faktor dan N adalah banyaknya seluruh pengamatan. Untuk mendapatkan nilai  $F_{\alpha, a-1, N-a}$ . Selain menggunakan nilai F, kita bisa pula menggunakan p – value. Hipotesis awal akan ditolak apabila p – value kurang dari  $\alpha$  .

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Variabel Penelitian**

Beberapa variabel yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel terikat : konsentrasi logam berat Cr
2. Variabel bebas :
  - a) Jenis katoda : aluminium dan besi  
(untuk jenis katoda digunakan aluminium dan besi karena aluminium dan besi adalah elektroda inert)
  - b) Jarak antar elektroda : 2 cm, 4 cm, 8 cm dan 16 cm  
(untuk jarak dipakai range dua kali lipatnya agar mempunyai beda nyata antar variabel)
  - c) Waktu pemakaian metoda elektrolisis selama 225 menit dengan pengambilan sampel setiap 45 menit, dilakukan pengambilan ke-1 sampai pengambilan ke-5  
(Untuk waktu detensi ditetapkan mempunyai selisih 45 menit agar mempunyai beda nyata antar variabel, dan dilakukan proses elektrolisis selama 225 menit dikarenakan pada 225 menit permukaan katoda telah tertutup oleh Cr sehingga reduksi Cr pada larutan sampel oleh proses elektrolisis berhenti)
3. Variabel tetap :
  - a) Anoda : karbon
  - b) Arus Listrik : 3A
  - c) Tegangan : 9V

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat-Alat Penelitian**

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan sederhana yang mempunyai ukuran untuk skala laboratorium, yaitu :

➤ Kotak Uji

Kotak uji berfungsi sebagai tempat terjadinya proses elektrolisa pada sampel.

Kotak uji ini berupa kotak tembus pandang yang terbuat dari kaca.

Ukuran kotak uji yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Panjang : 20 cm
- Lebar : 15 cm
- Tinggi : 20 cm

➤ Adaptor Regulator

Adaptor regulator berfungsi sebagai pensuplai arus listrik pada kedua elektroda, yang memungkinkan terjadinya proses elektrolisa di dalam kotak uji. Arus listrik yang terjadi berupa arus searah, yang pada outputnya mengalir arus listrik dengan muatan yang berbeda, yaitu :

- Arus listrik bermuatan positif (+), yang kemudian dialirkan menuju anoda.
- Arus listrik bermuatan negatif (-), yang kemudian dialirkan menuju katoda.

➤ Reostat

Reostat berfungsi sebagai penstabil arus listrik yang terjadi pada waktu proses elektrolisis.

➤ Elektroda

Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari adaptor menuju larutan sampel, sehingga dapat terjadi proses elektrolisa. Elektroda ini mempunyai ukuran 15 cm × 5 cm × 1 cm.

Alat ini terdiri atas dua macam elektroda, yaitu :

- Elektroda negatif (katoda)

Katoda merupakan elektroda yang diberi arus listrik bermuatan negatif oleh adaptor. Variasi katoda yang digunakan aluminium dan besi.

- Elektroda positif (anoda)

Anoda merupakan elektroda yang diberi arus listrik bermuatan positif oleh adaptor. Anoda yang digunakan adalah karbon.

➤ pH meter

Pengukuran pH diukur karena besar laju arus listrik dalam larutan sangat dipengaruhi oleh pH.

➤ **Thermometer**

Digunakan thermometer pengukur suhu dari raksa dengan kapasitas maksimum 110°C. Penggunaan thermometer ini untuk mencatat perubahan suhu yang terjadi selama proses elektrolisis berlangsung.

➤ **Peralatan AAS ( Atomic Absorption Spectrofotometer )**

Berfungsi sebagai alat untuk pembacaan dalam mengetahui kadar logam yang terkandung dalam sampel air limbah.

➤ **Stopwatch**

Digunakan stopwatch digital untuk mencatat waktu pengambilan sampel.

Selain beberapa peralatan diatas, juga digunakan peralatan-peralatan tambahan lainnya, antara lain :

➤ **Kabel penghantar listrik**

➤ **Jepit buaya sebagai penjepit elektroda**

➤ **Penyangga elektroda**

### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel industri pelapisan logam yang mengandung logam Cr di kawasan Karang Ploso, Malang.

### **3.3 Tahapan Penelitian**

Pada awal tahap penelitian dilakukan analisa pendahuluan untuk mengetahui kondisi awal sampel yang akan diolah. Parameter yang dianalisa adalah konsentrasi Cr, pH dan suhu.

Setelah dilakukan uji kualitas sampel awal, kemudian dilakukan proses elektrolisis dengan menggunakan variasi jenis katoda dan variasi jarak antar elektroda dengan tahapan proses sebagai berikut :

➤ **Pasang alat seperti pada Gambar 3.1.**

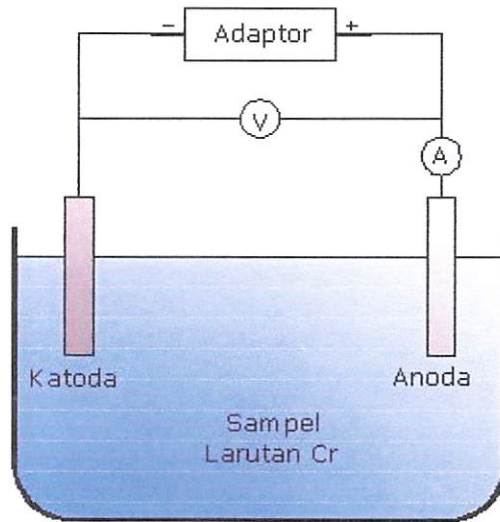
➤ **Pasang katoda dan anoda.**

➤ **Masukkan sampel logam berat Cr dalam wadah atau kotak elektrolisis.**

➤ **Nyalakan suplai listrik dari adaptor dengan arus listrik 3A dan tegangan 9V.**

➤ **Setiap 45 menit ambil sampel untuk dianalisa meliputi parameter konsentrasi Cr, pH dan suhu.**

- Melakukan pergantian variasi katoda dan pengaturan variasi jarak antar elektroda.



**Gambar 3.1 Peralatan Untuk Elektrolisis**

### 3.4 Analisa Parameter Uji

Dari percobaan yang dilakukan, parameter utama yang diukur adalah konsentrasi dan parameter tambahan yaitu pH dan suhu.

Adapun analisa parameter uji dilakukan berdasarkan standar prosedur analisa (Alaerts dan Santika, 1987), yaitu :

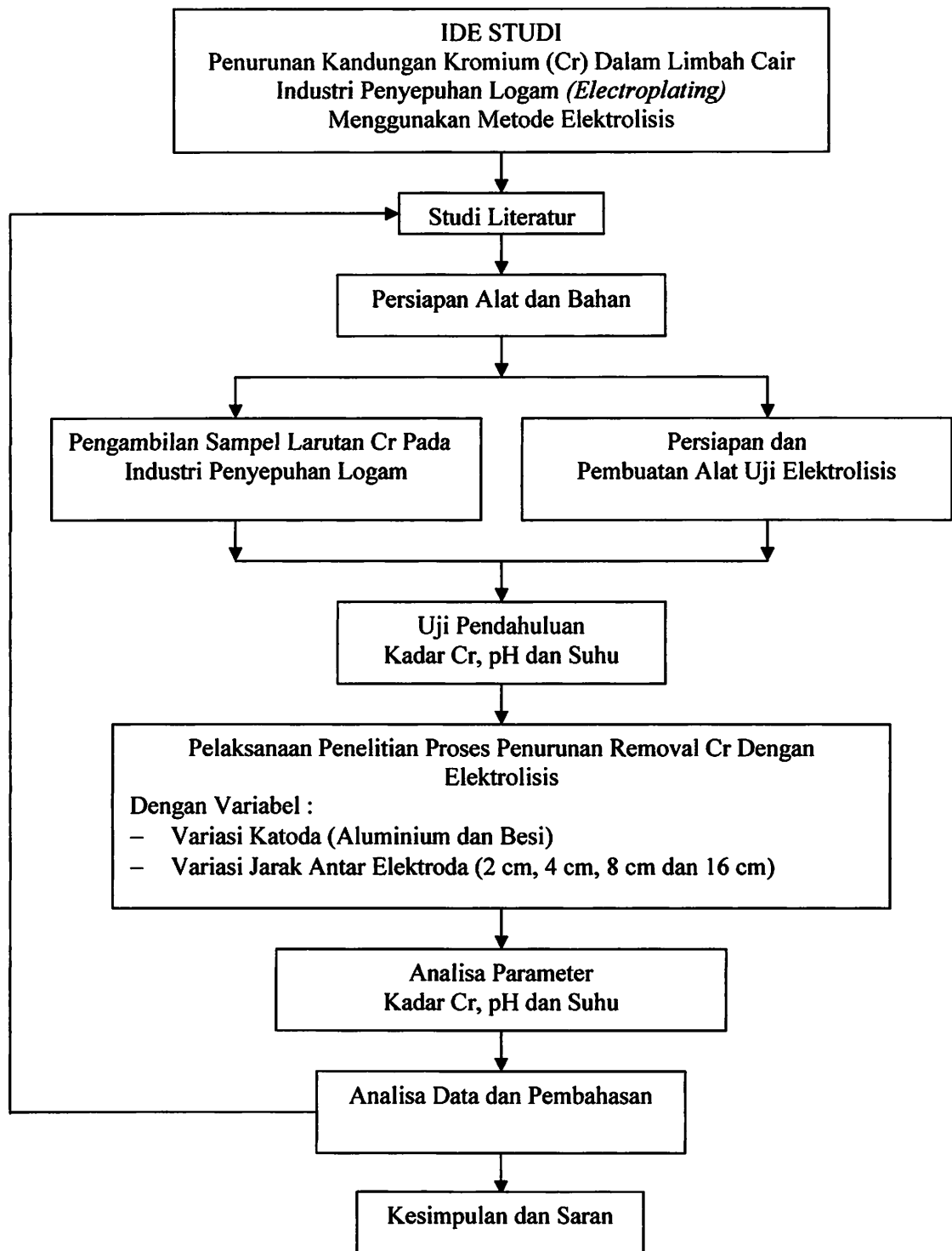
- Konsentrasi dengan metode Atomic Absorption Spectrofotometri (AAS).
- pH dengan metode elektrometri.
- Suhu dengan metode termometrik.

### 3.5 Analisa Data

Data hasil percobaan yang didapat, dilakukan analisa data dengan metode analisa deskriptif, uji anova, uji korelasi dan uji regresi. Analisa deskriptif ditunjukkan untuk mendapatkan gambaran berdasarkan gejala dan fakta yang diperoleh dari sampel penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Analisa varian (Anova) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan nyata atau tidak secara statistik antara dua variasi yang dilakukan (variasi jenis katoda dan variasi jarak antar elektroda) terhadap penurunan konsentrasi Cr pada limbah penyepuhan



logam. Analisa korelasi bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel jenis katoda, jarak antar elektroda terhadap penurunan konsentrasi Cr. Analisa regresi bertujuan untuk mengetahui apakah variabel jenis katoda dan jarak antar elektroda dapat memprediksi penurunan konsentrasi Cr.



**Gambar 3.2 Diagram Alir Kerangka Penelitian**

## DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Santika, S.S, 1987. **Metode Penelitian Air**. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya.
- Antonius Nanang, A.P. 2002. **Studi Penurunan Logam Berat Perak pada Limbah Industri Cuci Cetak Foto dengan Menggunakan Prinsip Elektrolisa**. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP. ITS. Surabaya.
- Citra Puspitasari Anggraeni. 2005. **Pengaruh Konsentrasi dan Jarak Antar Elektroda pada Proses Elektrolisis untuk Menurunkan Kadar Logam Berat Cu**. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP. ITS. Surabaya.
- Connel, W and Miller G.J. 1995. **Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran**. UI-Press.
- Day, RA, Underwood AC. 1996. **Analisis Kimia Kuantitatif**. Edisi 4. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Droga, SK. 1990. **Kimia Fisik dan Soal Soal**. Edisi I. Penerbit UI perss. Jakarta.
- Fahidy, T.Z. 1985. **Principle of Electrochemichal Reactor Analysis**. New York.
- Farid Triandarto. 2005. **Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan pada Proses Elektrolisis untuk Menurunkan Logam Berat Cu**. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP. ITS. Surabaya.
- Heitz, E. 1985. **Principes Of Electrochemichal Engineering**. New York.
- Hutagalung, Horas.D. 1984. Logam Berat dalam Lingkungan Perairan. **Majalah Oseana**. Volume IX Halaman 1.
- Iriawan, Nur dan Astuti, Puji Septi. 2006. **Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Andi. Yogyakarta.
- Maron, Samuel H and Landon, Jerome B. 1974. **Fundamentals of Physical Chemistry**. First edition. Macmillan Publishing Co. Inc, USA.
- Palar, H. 1994. **Pencemaran dan Toksikologa Logam Berat**. Penerbit PT. Rineka Cipta. Jakarta.

- Petrucci, Ralph H – Suminar. 1985. **Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern**. Edisi Keempat. Jilid 3. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Soleh, A.Z. 2005. **Ilmu Statistika**. Rekayasa Sains. Bandung.
- Supriadi Syamsi. 2005. **Studi Separasi Nitrat (NO<sub>3</sub>) pada Air Baku Menggunakan Metode Elektrolisis**. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan-FTSP. ITN. Malang.
- Vogel. 1990. **Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro**. Edisi V. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakteristik Limbah Cair Industri Elektroplating

Penelitian ini menggunakan sampel limbah kromium (Cr) dari industri penyepuhan logam di kawasan Karang Ploso, Malang. Dalam penelitian ini dilakukan analisa pendahuluan untuk memperoleh data karakteristik air limbah awal. Berdasarkan analisa laboratorium yang dilakukan, diperoleh data karakteristik air limbah awal Industri Elektroplating sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Hasil Analisa Awal Air Limbah Industri Elektroplating**

<b>Parameter</b>	<b>Hasil</b>	<b>Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri Atau Kegiatan Usaha Lainnya Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002</b>
Kromium (Cr)	214,583 mg/l	0,5 mg/l (Kadar Maksimum)
Temperatur	28 <sup>0</sup> C	–
pH	3	6 – 9

(Sumber: Hasil Penelitian, 2008)

### 4.2 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam waktu 225 menit secara *batch* dengan menggunakan reaktor yang terbuat dari bahan kaca berbentuk persegi panjang. Pada penelitian ini menggunakan metode elektrolisis dengan arus listrik sebesar 3 ampere dan tegangan listrik 9 volt. Untuk metode pengambilan sample dilakukan setiap 45 menit. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis katoda dan jarak antar elektroda. Pada jenis katoda digunakan aluminium dan besi. Sedangkan untuk variasi jarak antar elektroda menggunakan jarak 2 cm, 4 cm, 8 cm, dan 16 cm.

Setelah 225 menit proses elektrolisis dapat diketahui hasil penelitian adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.2 Nilai Konsentrasi Kromium (Cr)**

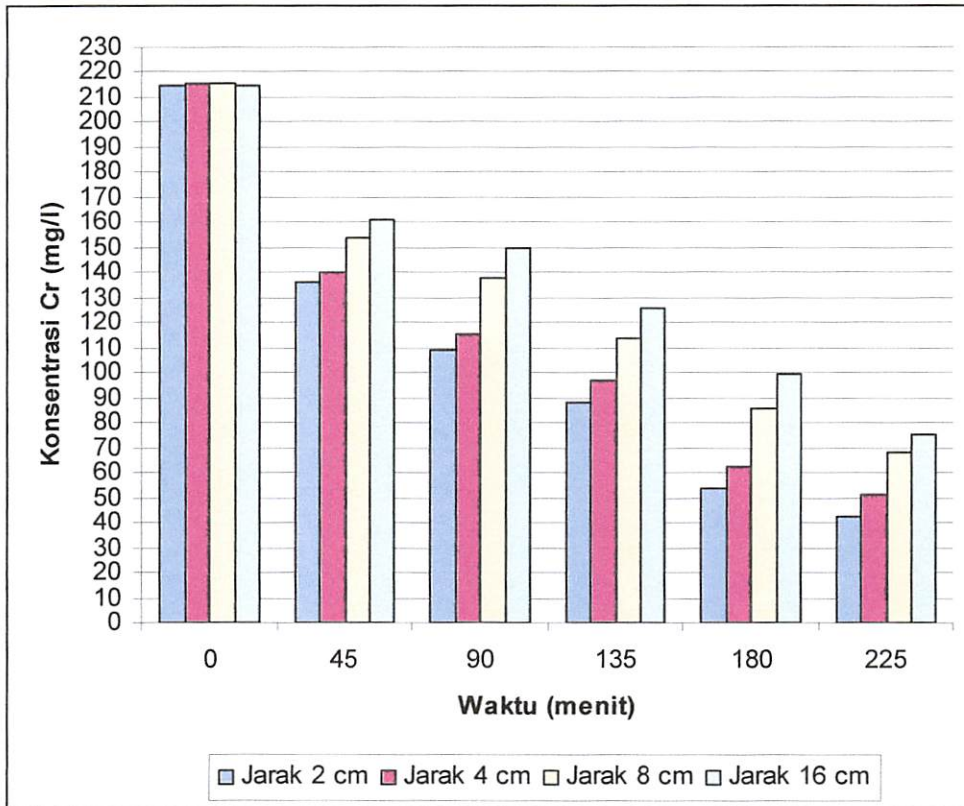
No.	Variabel	Waktu (menit)	Konsentrasi Cr pada variasi jarak elektroda (mg/l)			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	214,583	215,450	215,393	215,003
		45	136,496	140,086	153,661	161,166
		90	108,901	115,352	137,464	149,836
		135	88,492	97,276	114,072	125,819
		180	53,453	62,114	85,576	99,396
		225	42,638	51,148	67,763	74,993
2	Besi	0	215,760	215,256	215,109	214,960
		45	117,546	123,256	130,637	133,512
		90	72,970	79,107	96,025	101,009
		135	46,734	55,342	65,221	82,910
		180	34,888	39,801	46,399	48,968
		225	24,920	28,737	34,224	37,102

*(Sumber: Hasil Penelitian, 2008)*

### **4.3 Analisa Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

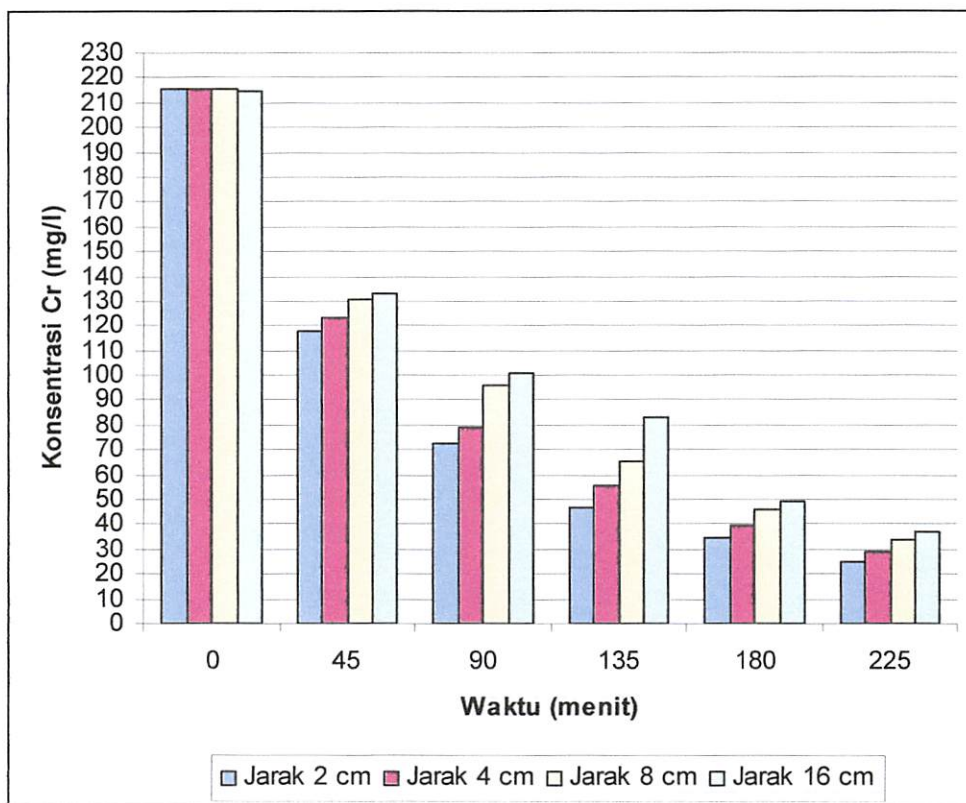
#### **4.3.1 Analisa Deskriptif**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi kromium (Cr) pada setiap perlakuan variasi jarak antar elektroda seiring pertambahan waktu. Konsentrasi akhir Cr dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang diplotkan pada Gambar 4.1, dan 4.2 berikut ini:



**Gambar 4.1 Grafik Konsentrasi Akhir Cr Dengan Menggunakan Katoda Aluminium**

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi Cr seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini membuktikan bahwa proses elektrolisis dengan menggunakan katoda aluminium mampu menurunkan konsentrasi Cr dengan sempurna. Pada menit ke-45 penurunan konsentrasi Cr sudah terjadi, untuk katoda aluminium dengan variasi jarak 2 cm terjadi penurunan konsentrasi sebesar 136,496 mg/l, pada variasi jarak 4 cm sebesar 140,086 mg/l, pada variasi jarak 8 cm sebesar 153,661 mg/l, dan pada variasi jarak 16 cm sebesar 161,166 mg/l. Begitu juga pada menit ke-90, ke-135, ke-180 sampai menit ke-225 tetap terjadi penurunan konsentrasi Cr pada semua variasi jarak antar elektroda. Pada menit ke-225 terjadi penurunan konsentrasi Cr yang terbesar untuk semua variasi jarak antar elektroda, yaitu pada variasi jarak 4 cm sebesar 51,148 mg/l, pada variasi jarak 8 cm sebesar 67,763 mg/l, pada variasi jarak 16 cm sebesar 74,993 mg/l, dan pada variasi jarak 2 cm terjadi penurunan konsentrasi Cr terbesar yaitu sebesar 42,638 mg/l.



**Gambar 4.2 Grafik Konsentrasi Akhir Cr Dengan Menggunakan Katoda Besi**

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi Cr seiring dengan penambahan waktu. Hal ini membuktikan bahwa proses elektrolisis dengan menggunakan katoda besi mampu menurunkan konsentrasi Cr dengan sempurna. Pada menit ke-45 penurunan konsentrasi Cr sudah terjadi, untuk katoda besi dengan variasi jarak 2 cm terjadi penurunan konsentrasi sebesar 117,546 mg/l, pada variasi jarak 4 cm sebesar 123,256 mg/l, pada variasi jarak 8 cm sebesar 130,637 mg/l, dan pada variasi jarak 16 cm sebesar 133,512 mg/l. Begitu juga pada menit ke-90, ke-135, ke-180 sampai menit ke-225 tetap terjadi penurunan konsentrasi Cr pada semua variasi jarak antar elektroda. Pada menit ke-225 terjadi penurunan konsentrasi Cr yang terbesar untuk semua variasi jarak antar elektroda, yaitu pada variasi jarak 4 cm sebesar 28,737 mg/l, pada variasi jarak 8 cm sebesar 34,224 mg/l, dan pada variasi jarak 16 cm sebesar 37,102 mg/l, dan pada variasi jarak 2 cm terjadi penurunan konsentrasi Cr terbesar yaitu sebesar 24,920 mg/l.



Setelah mengetahui penurunan konsentrasi Cr kemudian dihitung persentase efisiensi removal konsentrasi Cr. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui persentase penurunan konsentrasi Cr yang terjadi pada proses elektrolisa, dengan menggunakan variasi katoda dan jarak antar elektroda. Dari perhitungan, dapat diketahui persentase penurunan terbesar dari proses elektrolisis berdasarkan variasi katoda dan jarak antar elektroda.

Rumus perhitungan efisiensi (persentase penurunan) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{S_o - S_i}{S_o} \times 100 \quad (4.1)$$

Dimana :  $\eta$  = Efisiensi proses (%)

$S_o$  = Konsentrasi Cr awal sebelum proses (mg/l)

$S_i$  = Konsentrasi Cr akhir setelah proses (mg/l)

Contoh perhitungan:

Untuk jenis katoda aluminium (jarak 2 cm):

Konsentrasi Cr awal ( $S_o$ ) = 214,583 mg/l

Konsentrasi Cr akhir ( $S_i$ ) = 136,496 mg/l

Maka: Efisiensi proses ( $\hat{\eta}$ ) =  $\frac{S_o - S_i}{S_o} \times 100 \quad (4.2)$

$$= \frac{214,583 - 136,496}{214,583} \times 100 \quad (4.3)$$

$$(\hat{\eta}) = 36,39\%$$

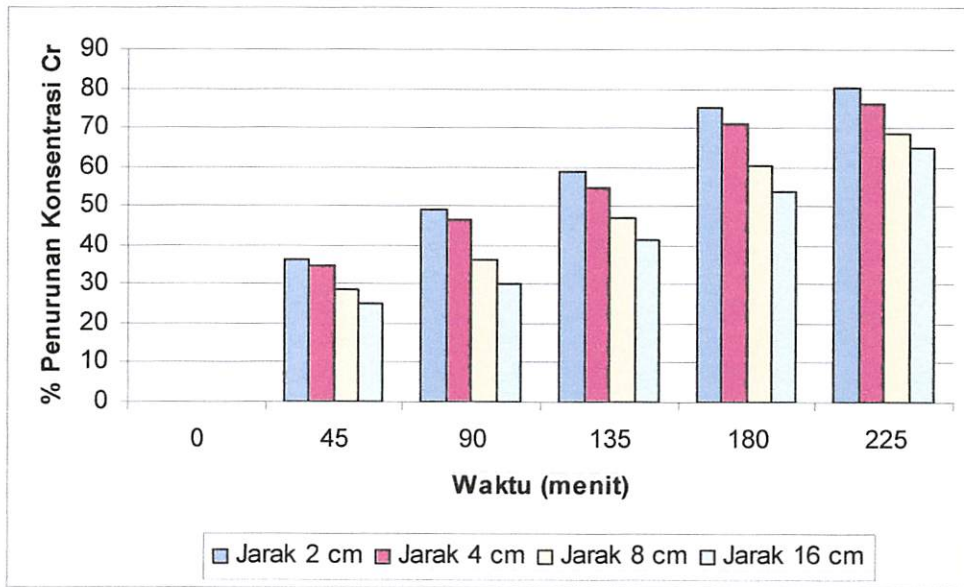
Hasil perhitungan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) dapat dilihat pada Tabel 4.3 yang diplotkan pada Gambar 4.3, dan 4.4 berikut ini:

**Tabel 4.3 Nilai Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

No.	Variabel	Waktu (menit)	% Penurunan Cr pada setiap variasi jarak			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	0	0	0	0
		45	36,39	34,98	28,66	25,04
		90	49,25	46,46	36,18	30,31
		135	58,79	54,85	47,04	41,48
		180	75,09	71,17	60,27	53,77

		225	80,13	76,26	68,54	65,12
2	Besi	0	0	0	0	0
		45	45,52	42,74	39,27	37,89
		90	66,18	63,25	55,36	53,01
		135	78,34	74,29	69,68	61,43
		180	83,83	81,51	78,43	77,22
		225	88,45	86,65	84,09	82,74

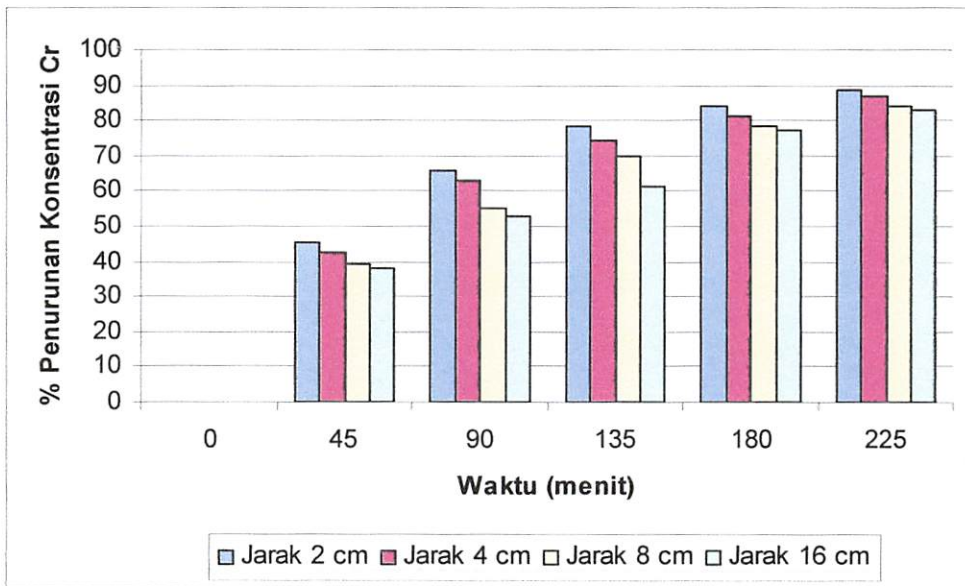
(Sumber: Hasil Perhitungan)



**Gambar 4.3 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Cr Dengan Menggunakan Katoda Aluminium**

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 didapatkan persentase penurunan konsentrasi Cr dengan menggunakan katoda aluminium, yaitu pada menit ke-45 dengan variasi jarak antar elektroda 2 cm memberikan hasil yang terbesar didalam penurunan Cr dengan menurunkan konsentrasi Cr sebesar 36,39 %, sedangkan pada variasi jarak antar elektroda 4 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 34,98 %, pada variasi jarak antar elektroda 8 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 28,66 % dan pada variasi jarak antar elektroda 16 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 25,04 %. Sedangkan pada menit ke-90, ke-135, ke-180 sampai menit ke-225 tetap variasi jarak antar elektroda 2 cm memberikan hasil yang terbesar didalam penurunan Cr. Pada saat menit ke-225 persentase

penurunan konsentrasi Cr dengan menggunakan katoda aluminium dengan variasi jarak antar elektroda 2 cm menurunkan konsentrasi Cr sebesar 80,13 %, sedangkan pada variasi jarak antar elektroda 4 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 76,26 %, pada variasi jarak antar elektroda 8 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 68,54 % dan pada variasi jarak antar elektroda 16 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 65,12 %.



**Gambar 4.4 Grafik Persentase Penurunan Konsentrasi Cr Dengan Menggunakan Katoda Besi**

Berdasarkan Tabel 4.3 dan Gambar 4.4 didapatkan persentase penurunan konsentrasi Cr dengan menggunakan katoda besi, yaitu pada menit ke-45 dengan variasi jarak antar elektroda 2 cm memberikan hasil yang terbesar didalam penurunan Cr dengan menurunkan konsentrasi Cr sebesar 45,52 %, sedangkan pada variasi jarak antar elektroda 4 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 42,74 %, pada variasi jarak antar elektroda 8 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 39,27 % dan pada variasi jarak antar elektroda 16 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 37,89 %. Sedangkan pada menit ke-90, ke-135, ke-180 sampai menit ke-225 tetap variasi jarak antar elektroda 2 cm memberikan hasil yang terbesar didalam penurunan Cr. Pada saat menit ke-225 persentase penurunan konsentrasi Cr dengan menggunakan katoda besi dengan variasi jarak antar elektroda 2 cm menurunkan konsentrasi Cr sebesar 88,45 %, sedangkan

pada variasi jarak antar elektroda 4 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 86,65 %, pada variasi jarak antar elektroda 8 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 84,09 % dan pada variasi jarak antar elektroda 16 cm terjadi persentase penurunan Cr sebesar 82,74 %.

#### 4.3.2 Analisa Anova

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh perbedaan antara variasi jarak antar elektroda, jenis katoda dan waktu penelitian terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr), maka dilakukan analisis dengan menggunakan uji ANOVA.

- a) Uji ANOVA untuk pengaruh variasi jarak antar elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.4 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Variasi Jarak Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi Jarak	3	0,0986	0,0493	0,53	0,591
Error	87	8,1039	0,0931		
Total	90	8,2024			

Hipotesa yang diberikan adalah :

- $H_0$  = Keempat variasi jarak adalah tidak berbeda nyata
- $H_1$  = Keempat variasi jarak adalah berbeda nyata

Pengambilan keputusan berdasarkan :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_1$  ditolak

Keputusan :

- $P = 0,591 > \alpha (\alpha) 0,05$ . Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara ke-4 variasi jarak antar elektroda (2 cm, 4 cm, 8 cm dan 16 cm) terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr).

- b) Uji ANOVA untuk pengaruh jenis katoda terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.5 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Source	DF	SS	MS	F	P
Jenis Katoda	1	0,1090	0,1090	1,19	0,279
Error	88	8,0935	0,0920		
Total	89	8,2024			

Hipotesa yang diberikan adalah :

- $H_0$  = Kedua jenis katoda adalah tidak berbeda nyata
- $H_1$  = Kedua jenis katoda adalah berbeda nyata

Pengambilan keputusan berdasarkan :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_1$  ditolak

Keputusan :

- $P = 0,279 > \alpha (\alpha) 0,05$ . Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan antara ke-2 jenis katoda (Alumunium dan Besi) terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr).

- c) Uji ANOVA untuk pengaruh waktu (menit) penelitian terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Hasil uji tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.6 Hasil uji ANOVA Untuk Pengaruh Waktu (menit) Penelitian Terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Source	DF	SS	MS	F	P
Waktu Penelitian	4	7,88155	1,97039	521,92	0,000
Error	85	0,32090	0,00378		
Total	89	8,20245			

Hipotesa yang diberikan adalah :

- $H_0$  = Kelima waktu penelitian adalah tidak berbeda nyata
- $H_1$  = Kelima waktu penelitian adalah berbeda nyata

Pengambilan keputusan berdasarkan :

- Jika probabilitas  $\geq 0,05$ ,  $H_0$  diterima.
- Jika probabilitas  $< 0,05$ ,  $H_1$  ditolak

Keputusan :

- $P = 0,000 < \alpha (0,05)$ . Artinya ada perbedaan yang signifikan (besar) antara ke- 5 waktu penelitian (menit ke-45, ke-90, ke-135, ke-180 dan menit ke-225) terhadap persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr).

### 4.3.3 Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variasi jarak antar elektroda, jenis katoda dan waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) dapat digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Hipotesa yang diberikan :

- $H_0$  : Tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel
- $H_1$  : Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas:

- Jika Probabilitas  $\geq 0,05$ , maka  $H_0$  diterima.
- Jika Probabilitas  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak.

**Tabel 4.7 Korelasi Antara Variasi Jarak, Jenis Katoda Dan Waktu Penelitian Dengan Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Item		Uji Korelasi		Keputusan	Kesimpulan
		Korelasi	P		
Konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr	Waktu Penelitian	0,979	0,000	Tolak $H_0$	Ada hubungan yang signifikan antara waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr)
	Jenis Katoda	0,115	0,279	Terima $H_0$	Tidak ada hubungan yang signifikan antara jenis katoda dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr)
	Variasi Jarak	-0,109	0,305	Terima $H_0$	Tidak ada hubungan yang signifikan antara variasi jarak dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr)

Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) hanya berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan waktu penelitian. Namun persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) tidak berhubungan erat secara signifikan (besar) dengan jenis katoda dan variasi jarak antar elektroda.

Karena nilai korelasinya 0,979 (waktu penelitian), 0,115 (jenis katoda) dan -0,109 (variasi jarak), maka hubungan antara jenis katoda dan waktu penelitian dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) adalah positif sedangkan hubungan antara variasi jarak dengan persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) adalah negatif. Artinya, apabila jenis katoda dan waktu penelitian meningkat, maka persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) akan meningkat sedangkan apabila variasi jarak meningkat, maka persentase konsentrasi kromium (Cr) akan menurun.

#### 4.3.4 Analisa Regresi

Analisa regresi digunakan untuk memprediksi pengaruh suatu variabel atau beberapa variabel variasi jarak antar elektroda, jenis katoda dan waktu penelitian terhadap variabel persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9, berikut ini.

**Tabel 4.8 Koefisien Persamaan Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,36648	0,01937	70,55	0,000
Variasi Jarak	-0,040417	0,005239	-7,71	0,000
Jenis Katoda	-0,069600	0,008556	-8,14	0,000
Waktu Penelitian	-0,208883	0,003025	-69,06	0,000

S = 0,0405828

R-Sq = 98,3%

R-Sq(adj) = 98,2%

**Tabel 4.9 Hasil Uji Kelinearan Analisa Regresi Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)**

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	8,0608	2,6869	1631,45	0,000
Residual Error	86	0,1416	0,0016		
Total	89	8,2024			

Hipotesa yang diberikan :

- $H_0 =$  Konstanta  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  bernilai nol
- $H_1 =$  Konstanta  $X_1$ ,  $X_2$ , dan  $X_3$  tidak bernilai nol

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas:

- Jika Probabilitas  $\geq 0,05$ , maka  $H_0$  diterima.
- Jika Probabilitas  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak.

A. Hasil uji kelinearan pada Tabel 4.9 terlihat bahwa nilai probabilitas 0,000 lebih kecil dari  $\alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka  $H_0$  di tolak dan menerima hipotesis alternatif ( $H_1$ ). Oleh karena itu, kesimpulannya adalah model regresi yang dibuat telah mewakili data.

B. Dari analisa regresi yang dilakukan, model regresi yang didapat yaitu :

$$Y = 1,36648 - 0,040417X_1 - 0,069600X_2 - 0,208883X_3$$

Dimana:

$Y$  = persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) (%)

$X_1$  = variasi jarak antar elektroda (cm)

$X_2$  = jenis katoda

$X_3$  = waktu penelitian (menit)

Adapun interpretasi dari persamaan diatas adalah:

1)  $Y = 1,37$

Nilai konstan ini menunjukkan bahwa apabila tidak ada pengaruh dari waktu penelitian, jenis tumbuhan dan variasi kerapatan ( $X_1$ ,  $X_2$  dan  $X_3 = 0$ ), maka pada penelitian ini tidak akan terjadi persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr).



2)  $X_1 = -0,0404$

Nilai parameter atau koefisien regresi  $X_1$  ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 satuan variasi jarak, maka konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr akan menurun sebesar 0,0404 % atau dengan kata lain adanya peningkatan variasi jarak, dapat menyebabkan konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr cenderung semakin menurun dengan asumsi variabel yang lain jenis katoda dan waktu penelitian ( $X_2$  dan  $X_3 = 0$ ) tetap.

3)  $X_2 = -0,0696$

Nilai parameter atau koefisien regresi  $X_2$  ini menunjukkan bahwa setiap perubahan penggunaan jenis katoda dari Aluminium menjadi Besi, maka konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr akan menurun sebesar 0,0696 % atau dengan kata lain adanya perubahan penggunaan jenis katoda dari Aluminium menjadi Besi, dapat menyebabkan konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr cenderung semakin menurun dengan asumsi variabel yang lain waktu penelitian dan variasi jarak ( $X_1$  dan  $X_3 = 0$ ) tetap.

4)  $X_3 = -0,209$

Nilai parameter atau koefisien regresi  $X_3$  ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1 satuan waktu penelitian, maka konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr akan menurun sebesar 0,209 % atau dengan kata lain adanya peningkatan waktu penelitian, dapat menyebabkan konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr cenderung semakin menurun dengan asumsi variabel yang lain jenis katoda dan variasi jarak ( $X_2$  dan  $X_1 = 0$ ) tetap.

C. Dari hasil analisa regresi juga didapatkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 98,3% dengan koefisien determinasi yang terkoreksi dari faktor kesalahan (bias) sebesar 98,2%, menyatakan besarnya pengaruh waktu penelitian, jenis katoda dan variasi jarak terhadap presentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Artinya sebesar 98,3% penurunan konsentrasi kromium (Cr) dipengaruhi oleh adanya waktu penelitian, jenis katoda dan variasi jarak.

D. Dari uji kelinieran untuk analisa regresi atau F test, didapat nilai F hitung (Tabel 4.9) 1631,45. Dari tabel distribusi F didapatkan F tabel 2,711.

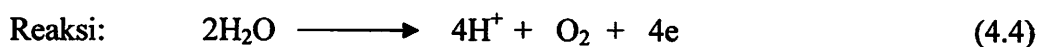
Karena F hitung lebih besar dari F tabel, maka kesimpulannya adalah variabel Y dengan variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $X_3$  mempunyai hubungan linier atau persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) dengan variasi jarak, jenis katoda dan waktu penelitian mempunyai hubungan linier. Untuk nilai probabilitas 0,000 lebih kecil dari 0,05; maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr).

E. Uji t untuk menguji signifikan konstanta dan variabel independen (bebas).

- 1) Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai t tabel adalah 1,663; sedangkan nilai t hitung berdasarkan Tabel 4.8 adalah -7,71 (variasi jarak), -8,41 (jenis katoda), dan -69,06 (waktu penelitian). Karena t hitung < t tabel maka koefisien regresi tidak signifikan.
- 2) Nilai t hitung dari konstanta regresi pada Tabel 4.8 sebesar 70,55, karena t hitung > t tabel maka konstanta regresi tersebut signifikan.

#### 4.3.5 Pembahasan

Pada penelitian elektrolisis ini anoda yang digunakan berbahan karbon, sedangkan katoda menggunakan aluminium dan besi. Karena aluminium dan besi adalah elektroda inert, maka kedua katoda tersebut tidak akan teroksidasi sehingga yang teroksidasi adalah air. Air sebagai anion yang bermuatan negatif akan menuju elektroda positif dan mengalami oksidasi (melepaskan elektron) dengan mengeluarkan gas oksigen.

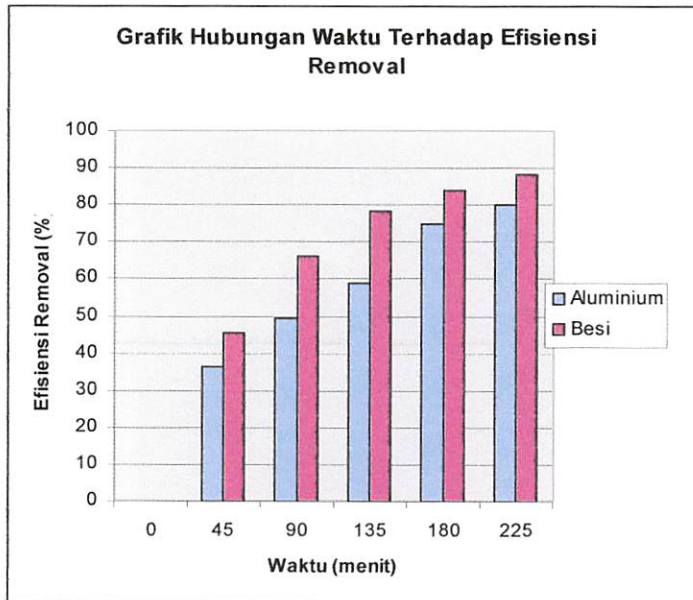


Hal ini ditandai dengan adanya gelembung  $\text{O}_2$  pada larutan, sewaktu proses elektrolisa berjalan.

Pada katoda digunakan elektroda aluminium dan besi. Logam yang di reduksi adalah ion  $\text{Cr}^{3+}$  yang berwarna hijau muda, menjadi Cr berwarna putih yang melekat pada katoda.



(Sumber: Day, Underwood, 1996)

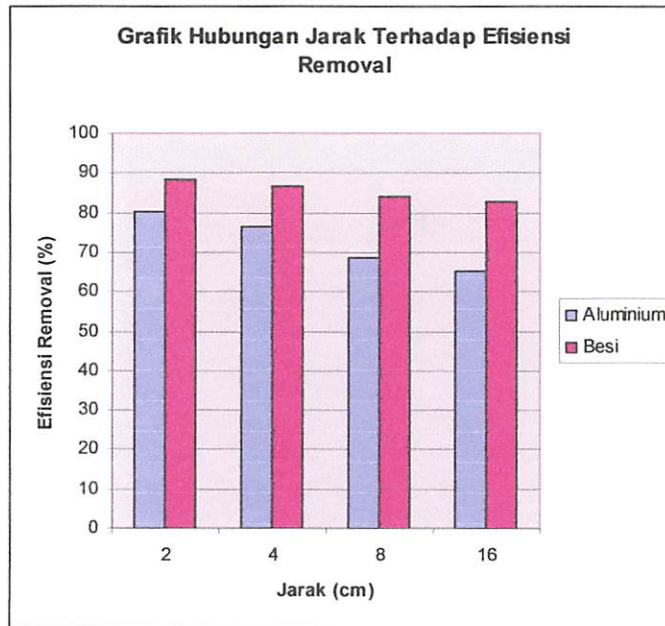


**Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu terhadap efisiensi removal**

Berdasarkan grafik hubungan waktu terhadap efisiensi removal pada Gambar 4.5 diatas menunjukkan semakin besarnya efisiensi removal seiring semakin lamanya variasi waktu pengambilan sampel. Pada sampel, juga terjadi perubahan warna. Sampel limbah yang berwarna hijau menunjukkan bahwa dalam sampel terkandung ion  $\text{Cr}^{3+}$ . Setelah proses elektrolisis selesai, warna larutan sampel berubah menjadi bening dan ion  $\text{Cr}^{3+}$  yang membentuk warna hijau pada larutan sudah menempel pada katoda serta sebagian jatuh di dasar reaktor menjadi Cr (Sumber: Day, Underwood, 1996). Dari analisa korelasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hubungan waktu detensi dengan persentase penurunan konsentrasi Cr pada proses elektrolisis adalah tinggi.

Berdasarkan grafik hubungan jarak terhadap efisiensi removal pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa jarak yang lebih dekat maka penurunan konsentrasi Cr akan lebih besar. Pada variabel jarak 2 cm penurunan efisiensi removal lebih besar dibandingkan jarak antar elektroda 4 cm, 8 cm, dan 16 cm, tetapi dari uji korelasi dapat disimpulkan bahwa tidak ada hubungan yang signifikan antara variasi jarak dengan prosentase penurunan Cr. Hal ini dikarenakan pemakaian range jarak antar elektroda yang berdekatan. Semakin jauh jarak antar elektroda maka lintasan perputaran arus listrik akan semakin jauh

pula, sehingga membuat terjadinya pelepasan dan penerimaan ion semakin lambat (Sumber: Day, Underwood, 1996).



**Gambar 4.6 Grafik hubungan jarak terhadap efisiensi removal**

Dari Gambar 4.5 dan 4.6 terlihat bahwa setelah proses penelitian berlangsung selama 225 menit dan pada jarak 2 cm efisiensi removal untuk katoda aluminium sebesar 80,13%, sedangkan untuk katoda besi sebesar 88,45%. Dari data efisiensi ini didapatkan bahwa jenis katoda besi lebih besar penurunan efisiensi removal dibandingkan katoda aluminium, tetapi tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara ke-2 jenis katoda (aluminium dan besi) terhadap persentase penurunan konsentrasi Cr apabila dilihat dari uji anova. Hal ini dikarenakan aluminium dan besi memiliki selisih yang kecil dari besaran harga potensial reduksinya, sebab aluminium memiliki harga potensial reduksi sebesar -1,66 volt, sedangkan besi memiliki harga potensial reduksi sebesar -0,44 volt (Day, Underwood, 1996).

Menurut Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002 tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya di Jawa Timur, besarnya konsentrasi akhir Cr limbah cair industri penyepuhan logam yang telah melalui pengolahan dengan proses elektrolisis pada penelitian belum memenuhi standar baku mutu limbah cair bagi industri yaitu jauh diatas 0,5 mg/L, sehingga

tidak aman dibuang ke badan air penerima. Hal ini terkait dengan pemakaian jenis katoda berbahan aluminium dan besi dan jarak antar elektroda sejauh 2 cm belum dapat mereduksi Cr hingga memenuhi standar baku mutu. Perlu pemakaian jarak antar elektroda kurang dari 2 cm agar lintasan perputaran arus listrik semakin dekat, sehingga membuat terjadinya pelepasan dan penerimaan ion semakin cepat dan perlu adanya pemakaian jenis katoda lain yang memiliki harga potensial reduksi yang lebih tinggi dari aluminium dan besi agar dapat mereduksi Cr lebih baik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Untuk jenis katoda yang digunakan pada penelitian ini didapatkan, katoda besi lebih besar persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr) dari katoda aluminium, tetapi perbedaan penurunan Cr-nya tidak signifikan. Pada katoda aluminium persentase penurunan sebesar 80,13 % dan katoda besi sebesar 88,45 %.
2. Dari variasi jarak antar elektroda yang digunakan didapatkan jarak 2 cm yang paling besar tingkat persentase penurunan konsentrasi kromium (Cr). Selama penelitian elektrolisis yang dilakukan didapatkan persentase penurunan sebesar 80,13 % pada katoda aluminium dan 88,45 % pada katoda besi, tetapi hubungan antara variasi jarak antar elektroda dengan persentase penurunan Cr tidak signifikan.

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diusulkan sehubungan dengan penelitian lebih lanjut adalah :

1. Dengan penelitian yang sama, perlu dilakukan variasi jenis katoda yang memiliki harga potensial reduksi yang lebih tinggi dan pemakaian jarak antar elektroda kurang dari 2 cm agar diperoleh reduksi Cr lebih baik.
2. Perlu dilakukan penelitian lain yang mengukur kadar logam berat lain selain Cr. Sehingga diharapkan metode elektrolisis dapat diterapkan untuk penurunan konsentrasi pada semua logam berat.

# LAMPIRAN

### Hasil Analisa Awal Air Limbah Industri Elektroplating

Parameter	Hasil	Baku Mutu Limbah Cair Bagi Industri Atau Kegiatan Usaha Lainnya Berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No. 45 Tahun 2002
Kromium (Cr)	214,583 mg/l	0,5 mg/l (Kadar Maksimum)
Temperatur	28 °C	--
pH	3	6 - 9

(Sumber: Hasil Penelitian, 2008)

### Nilai Konsentrasi Kromium (Cr) Rata-Rata

No.	Variabel	Waktu (menit)	Konsentrasi Cr (mg/l)			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	214,583	215,450	215,393	215,003
		45	136,496	140,086	153,661	161,166
		90	108,901	115,352	137,464	149,836
		135	88,492	97,276	114,072	125,819
		180	53,453	62,114	85,576	99,396
		225	42,638	51,148	67,763	74,993
2	Besi	0	215,760	215,256	215,109	214,960
		45	117,546	123,256	130,637	133,512
		90	72,970	79,107	96,025	101,009
		135	46,734	55,342	65,221	82,910
		180	34,888	39,801	46,399	48,968
		225	24,920	28,737	34,224	37,102

(Sumber: Hasil Penelitian, 2008)



Perubahan Suhu

No.	Variabel	Waktu (ment)	Suhu (°C)			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	28	28	28	28
		45	28,6	28,4	28,3	28,1
		90	28,7	28,5	28,4	28,3
		135	29,2	29	28,5	28,4
		180	29,4	29,2	28,7	28,6
		225	29,9	29,3	29	28,9
2	Besi	0	28	28	28	28
		45	29	28,9	28,4	28,3
		90	30	29,5	28,9	28,7
		135	30,8	30	29,9	29,1
		180	31,3	31	30	29,4
		225	32	31,5	30,1	30

Sumber: Hasil Penelitian

Perubahan pH

No.	Variabel	Waktu (ment)	Perubahan pH			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	3	3	3	3
		45	3	3	3	3
		90	3	3	3	2
		135	2	2	2	2
		180	2	2	2	2
		225	2	2	2	2
2	Besi	0	3	3	3	3
		45	2	2	2	2
		90	2	2	2	2
		135	2	2	2	2
		180	2	2	2	2
		225	2	2	2	2

Sumber: Hasil Penelitian

30/07/2008 23:15:17

Welcome to Minitab, press F1 for help.

**Uji korelasi untuk "konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr"**  
**Correlations: variasi jarak, jenis katoda, waktu, penurunan Cr**

	variasi	katoda	waktu
katoda	0,000 1,000		
Waktu	0,000 1,000	-0,000 1,000	
Penurunan Cr	0,109 0,305	0,115 0,279	0,979 0,000

Cell Contents: Pearson correlation  
P-Value

**Uji Regresi untuk "konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr"**  
**Regression Analysis: penurunan Cr versus variasi jarak, jenis katoda, waktu**

The regression equation is  
Penurunan Cr = 1,37 - 0,0404 variasi - 0,0696 katoda - 0,209 Waktu

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,36648	0,01937	70,55	0,000
Variasi	-0,040417	0,005239	-7,71	0,000
katoda	-0,069600	0,008556	-8,14	0,000
Waktu	-0,208883	0,003025	-69,06	0,000

S = 0,0405828 R-Sq = 98,3% R-Sq(adj) = 98,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	8,0608	2,6869	1631,45	0,000
Residual Error	86	0,1416	0,0016		
Total	89	8,2024			

Source	DF	Seq SS
Variasi	1	0,0980
Katoda	1	0,1090
Waktu	1	7,8538

Unusual Observations

Obs	variasi	penurunan Cr	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
34	1,00	0,89300	0,76910	0,00856	0,12390	3,12R

R denotes an observation with a large standardized residual.

## ANOVA untuk "konsentrasi akhir kromium atau penurunan Cr"

### a. variasi jarak

#### One-way ANOVA: penurunan Cr versus variasi jarak

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi	3	0,0986	0,0493	0,53	0,591
Error	87	8,1039	0,0931		
Total	90	8,2024			

S = 0,3052    R-Sq = 1,20%    R-Sq(adj) = 0,00%

### b. jenis katoda

#### One-way ANOVA: penurunan Cr versus jenis katoda

Source	DF	SS	MS	F	P
katoda	1	0,1090	0,1090	1,19	0,279
Error	88	8,0935	0,0920		
Total	89	8,2024			

S = 0,3033    R-Sq = 1,33%    R-Sq(adj) = 0,21%

### c. waktu pengamatan

#### One-way ANOVA: penurunan Cr versus waktu

Source	DF	SS	MS	F	P
waktu	4	7,88155	1,97039	521,92	0,000
Error	85	0,32090	0,00378		
Total	89	8,20245			

S = 0,06144    R-Sq = 96,09%    R-Sq(adj) = 95,90%

Nomor : 231 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 - 95 / PC / VII / 2008 / 66 - 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 - 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 0 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	214,583	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,450	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,393	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,003	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,760	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,256	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	215,109	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	214,960	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 232 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 - 95 / PC / VII / 2008 / 66 - 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji :  
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 - 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 45 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	136,496	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	140,086	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	153,661	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	161,166	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	117,546	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	123,256	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	130,637	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	133,512	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 233 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 - 95 / PC / VII / 2008 / 66 - 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 - 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 90 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	108,901	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	115,352	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	137,464	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	149,836	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	72,970	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	79,107	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	96,025	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	101,009	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari  
 Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I  
 Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I  
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from  
 Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation  
 This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 234 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 - 95 / PC / VII / 2008 / 66 - 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 - 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 135 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	88,492	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	97,276	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	114,072	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	125,819	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	46,734	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	55,342	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	65,221	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	82,910	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



*Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I*

*Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I  
 This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation*

*This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation*

Nomor : 235 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 – 95 / PC / VII / 2008 / 66 – 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
 Sampling Method

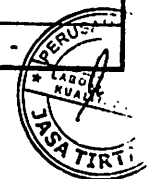
Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 – 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 180 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	53,453	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	62,114	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	85,576	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	99,396	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	34,888	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	39,801	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	46,399	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	48,968	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta I Public Corporation



Nomor : 236 S / LKA MLG / VII / 08

Halaman 2 dari 2  
 Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 47 – 95 / PC / VII / 2008 / 66 – 114  
 Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -  
 Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang  
 Place of Analysis

Tanggal Analisa : 04 – 11 Juli 2008  
 Testing Date(s)

### HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
<b>Air Limbah Kromium 225 menit</b>					
1	Aluminium 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	42,638	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Aluminium 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	51,148	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
3	Aluminium 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	67,763	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
4	Aluminium 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	74,993	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
5	Besi 2 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	24,920	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
6	Besi 4 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	28,737	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
7	Besi 8 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	34,224	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
8	Besi 16 cm				
	Kromium (Cr)	mg/L	37,102	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta 1 Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory Of Jasa Tirta 1 Public Corporation

Rumus perhitungan efisiensi (persentase penurunan) sebagai berikut:

$$\eta = \frac{S_o - S_i}{S_o} \times 100 \quad (4.1)$$

Dimana :  $\eta$  = Efisiensi proses (%)

$S_o$  = Konsentrasi Cr awal sebelum proses (mg/l)

$S_i$  = Konsentrasi Cr akhir setelah proses (mg/l)

Contoh perhitungan:

Untuk jenis katoda aluminium (jarak 2 cm):

Konsentrasi Cr awal ( $S_o$ ) = 214,583 mg/l

Konsentrasi Cr akhir ( $S_i$ ) = 136,496 mg/l

Maka: Efisiensi proses ( $\hat{\eta}$ ) =  $\frac{S_o - S_i}{S_o} \times 100$  (4.2)

$$= \frac{214,583 - 136,496}{214,583} \times 100 \quad (4.3)$$

$$(\hat{\eta}) = 36,39\%$$

#### Nilai Persentase Penurunan Konsentrasi Kromium (Cr)

No.	Variabel	Waktu (menit)	% Penurunan Konsentrasi Cr			
			2 cm	4 cm	8 cm	16 cm
1	Aluminium	0	0	0	0	0
		45	36,39	34,98	28,66	25,04
		90	49,25	46,46	36,18	30,31
		135	58,79	54,85	47,04	41,48
		180	75,09	71,17	60,27	53,77
		225	80,13	76,26	68,54	65,12
2	Besi	0	0	0	0	0
		45	45,52	42,74	39,27	37,89
		90	66,18	63,25	55,36	53,01
		135	78,34	74,29	69,68	61,43
		180	83,83	81,51	78,43	77,22
		225	88,45	86,65	84,09	82,74

(Sumber: Hasil Perhitungan)

## Prosedur Analisa Jasa Tirta

### **Alat analisa AAS**

### **Analisa Kromium (Cr)**

#### **3.9. Persiapan contoh uji :**

##### **a. Untuk logam terlarut**

1. Kocok contoh uji, kemudian saring contoh uji.
2. Asamkan sampai pH dibawah 2 dengan HNO<sub>3</sub> (pa) pekat.

##### **b. Untuk logam total**

1. Kocok contoh uji, ukur 100 ml dan masukkan ke dalam gelas piala.
2. Tambahkan 5 ml HNO<sub>3</sub> pekat, panaskan perlahan-lahan sampai volumenya ± 10-20 ml.
3. Tambahkan lagi 5 ml HNO<sub>3</sub> pekat dan tutup gelas piala dengan gelas arloji, kemudian panaskan lagi.
4. Lanjutkan penambahan asam dan pemanasan sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih. Pada waktu pemanasan jangan sampai contoh uji habis.
5. Tuang dalam labu ukur 100 ml, bilas erlenmeyer dengan air suling, dan masukkan bilasannya ke dalam labu ukur tersebut, tepatkan sampai tanda.

#### **3.10. Pelaksanaan :**

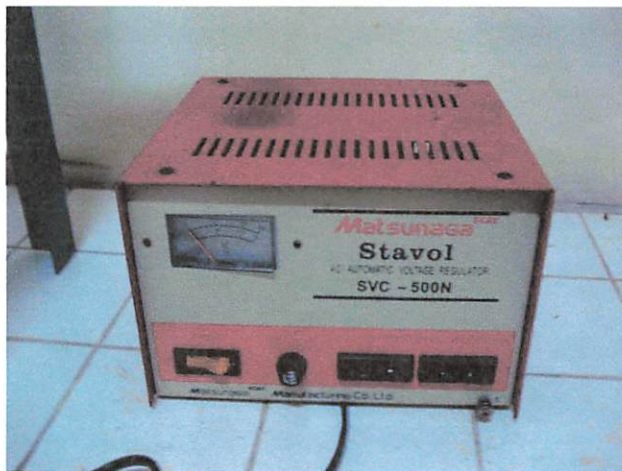
Pembuatan kurva kalibrasi dan prosedur kerja :

1. Pipet larutan standar sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan, masukkan ke dalam labu ukur 100 ml.
2. Tambahkan air suling sampai tepat tanda tera.
3. Optimalkan spektrofotometer serapan atom sesuai dengan petunjuk penggunaan alat (Q/LKA/37).
4. Ukur serapan dari masing-masing larutan standar pada panjang gelombang yang sesuai.
5. Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.

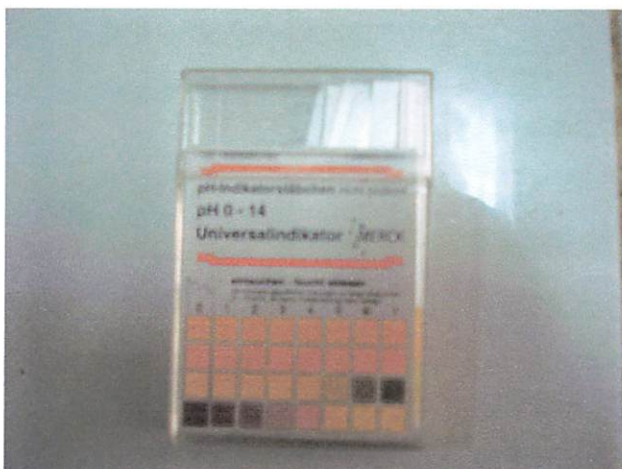
6. Lanjutkan dengan pengukuran contoh uji yang sudah dipersiapkan.
7. Catat dan simpan hasil pengukuran.
8. Hasil pengukuran pada spektrofotometer serapan atom langsung dinyatakan sebagai hasil logam, kecuali contoh uji yang diencerkan dihitung dengan rumus :  
$$\text{mg/l} = \text{Hasil pengukuran (mg/l)} \times \text{Pengenceran}$$



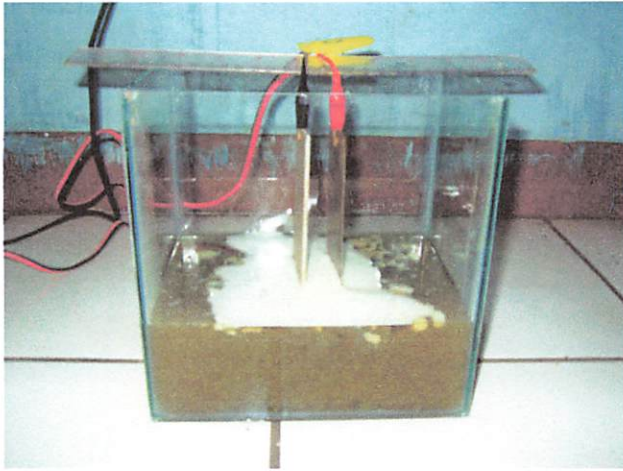
Gambar 1. Adaptor



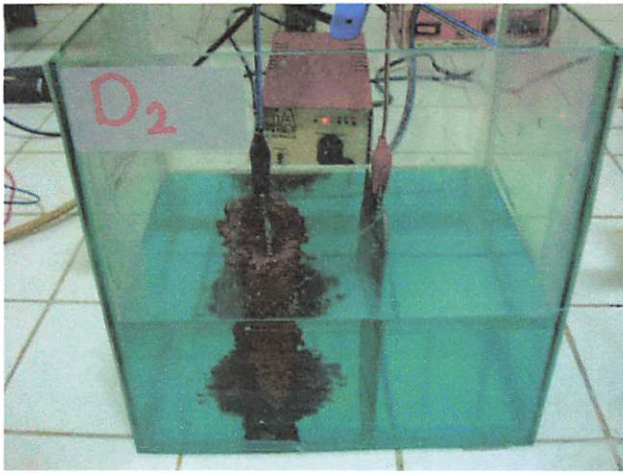
Gambar 2. Alat penstabil arus listrik



Gambar 3. Kertas pH



Gambar 4. Proses elektrolisis awal



Gambar 5. Proses elektrolisis akhir



Gambar 6. Hasil elektrolisis