



**ELEKTROLISIS LOGAM Cr(VI) PADA LIMBAH
ELEKTROPLATING DALAM SISTEM
TERSIRKULASI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Eka Suwitasari

NIM 121810301069

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

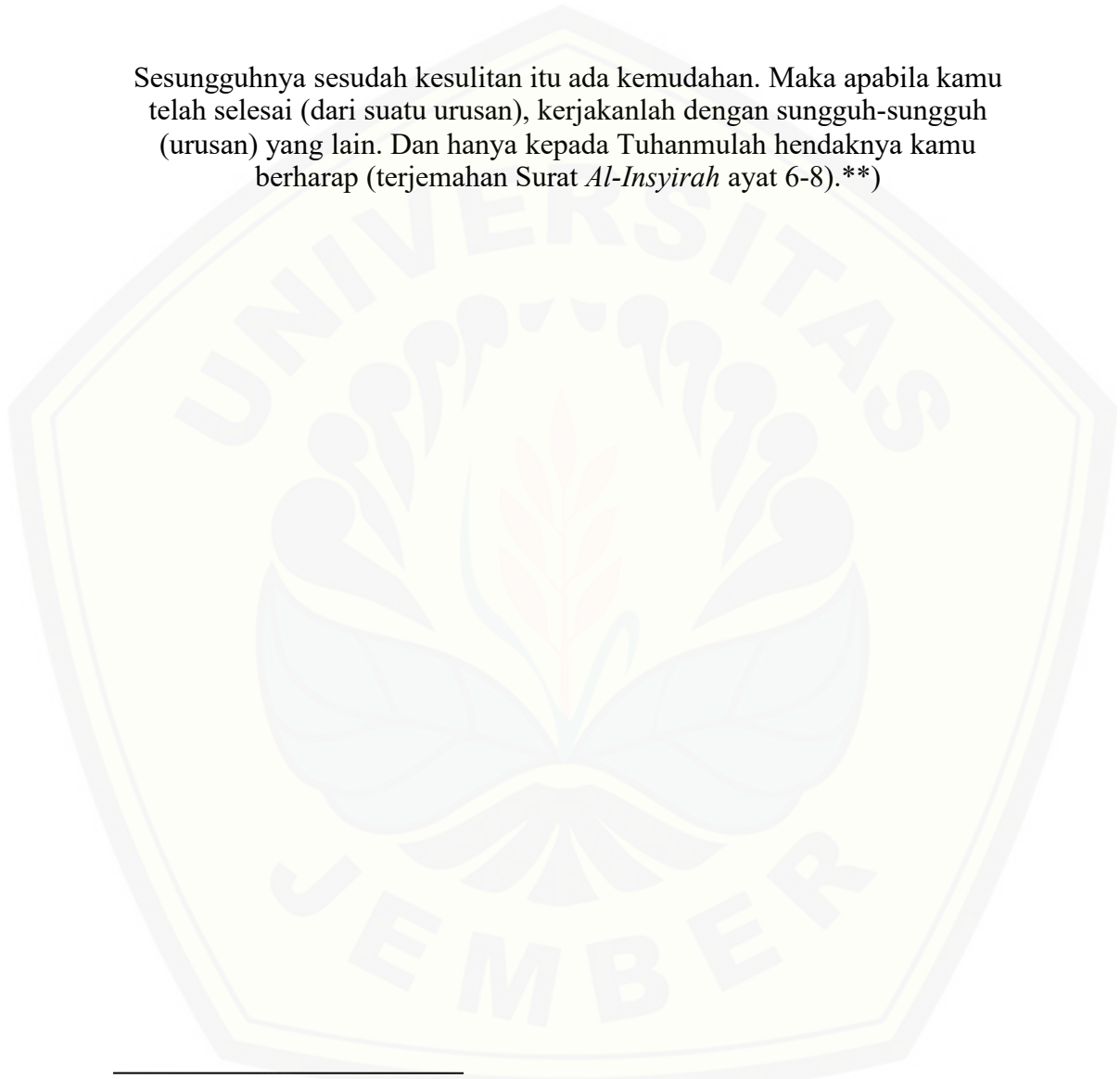
Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Keluarga tercinta, Ibunda Wiwik Andayani dan Kumaiyah, Ayahanda Supa'at, serta adikku Tedy Dwiky Ardiansyah, M. Adam Mukti dan Rahmat Saifullah;
2. Bapak/Ibu guru TK PGRI Pagak, SDN Pagak, SMPN 1 Bangil, SMAN 2 Probolinggo, bapak/ibu dosen kimia, teknisi jurusan Kimia, dan segenap karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu, serta pengalamannya;
3. Kawan seperjuangan KIMIA 2012 (LANTHANIDA), keluarga besar Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, serta almamater Universitas Jember.
4. Keluarga tercinta yang setia mendukung baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang dan pengorbanan yang tidak terhingga selama ini
5. Sahabat seperjuangan Ines Dhara M.P, Novin Mirotin, Wulan Islamintari, Ayu Fazriyah R, Lia Agustin H, Zulfaturrohmaniah, Dwi Purwita U, Luki Aprilliya S, Anita Rahman, Farinda Puji L, Ahmad Suhardiman, Luthfiyatul Hasanah, Dyah Ayu Ramadhani dan Diah Nurmalasari terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
6. Pihak yang terkait dalam menyelesaikan skripsi di PT. NPR *Manufacturing* Indonesia dan PT. IPAL SIER-PIER terima kasih atas saran, kerjasama dan bantuannya;
7. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah apa apa yang pada diri mereka ”
(terjemahan Surat Ar-Ra’d ayat 11). *)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap (terjemahan Surat *Al-Insyirah* ayat 6-8).**)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Pustaka Agung Harapan

***) Departemen Agama Republik Indonesia. 2008. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Bandung: CV. Diponegoro.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Eka Suwitasari

NIM : 121810301069

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Elektrolisis Logam Cr(VI) Pada Limbah Elektroplating Dalam Sistem Tersirkulasi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sika ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2017

Yang menyatakan,

Eka Suwitasari

NIM 121810301069

SKRIPSI

**ELEKTROLISIS LOGAM Cr(VI) PADA LIMBAH
ELEKTROPLATING DALAM SISTEM
TERSIRKULASI**

Oleh

Eka Suwitasari

NIM 121810301069

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Tri Mulyono, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Elektrolisis Logam Cr(VI) Pada Limbah Elektroplating Dalam Sistem Tersirkulasi” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Ketua,	Tim Penguji;
	Anggota I,
Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si.	Tri Mulyono, S.Si., M.Si.
NIP. 198809242014041001	NIP. 196810021998021001
Anggota II,	Anggota III,
Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.	Asnawati, S.Si., M.Si.
NIP. 196605291993031003	NIP. 196808141999032001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Elektrolisis Logam Cr(VI) Pada Limbah Elektroplating Dalam Sistem Tersirkulasi; Eka Suwitasari, 121810301069; 2017: 58 halaman; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Limbah kromium dihasilkan oleh beberapa industri seperti cat dan manufaktur pigmen, produksi baja stainless, kontrol korosi, penyamakan kulit, kromium plating, pengawetan kayu, pupuk, tekstil, dan fotografi (Gode *et al.*, 2005). Limbah krom dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Konsentrasi Cr(VI) dalam air limbah industri berkisar dari 0,5 mg/L sampai 270,0 mg/L, ambang batas untuk Cr(VI) adalah 0,1 mg/L dan dalam air konsumsi adalah 0,05 mg/L (Koby, 2004). Selain itu, menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 kadar maksimum kromium untuk keperluan air baku, air minum dan kegiatan perikanan adalah sebesar 0,05 mg/L. Terakumulasinya kromium dalam jumlah yang besar di tubuh manusia menyebabkan gangguan kesehatan, seperti merusak organ hati dan ginjal, bersifat racun bagi makhluk hidup, bersifat karsinogen (penyebab kanker), teratogen (menghambat pertumbuhan janin dan mutagen) (Schiavon *et al.*, 2008).

Penggunaan metode elektrolisis dapat menyelesaikan masalah pencemaran Cr(VI) dan hasil Cr(VI) yang dipisahkan dapat digunakan kembali (Hartono, 1992). Penelitian terhadap limbah industri percetakan telah dilakukan pada tahun 2005 dengan metoda elektrolisis yang mampu menurunkan kadar tembaga limbah industri percetakan hingga 96,88% (Riyanti *et al.*, 2005). Penggunaan sel elektrolisis dapat dilakukan dengan elektroda yang mempunyai stabilitas kimia maupun fisika yang tinggi, konduktivitas listrik yang tinggi dan *nonfouling* (Daryoko *et al.*, 2009). Elektroda karbon digunakan karena karbon mempunyai efektivitas yang baik dalam upaya mengurangi kandungan ion-ion logam, stabil, tidak bereaksi dengan larutan yang dielektrolisis, selain itu mudah didapat dan murah. Metode elektrolisis dengan elektroda karbon/karbon dapat

digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam Mn pada limbah cair percetakan sebesar 97,85% (Ridaningtyas *et al.*, 2013).

Metode elektrolisis yang berkembang pada saat ini yaitu elektrolisis dalam sistem *batch*. Elektrolisis sistem *batch* menurut hasil penelitian I Ketut Suarsana (2008), menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektrolisis maka semakin tebal lapisan yang terbentuk pada katoda. Menurut penelitian Wiharti (2013) waktu yang optimal untuk elektrolisis Cr(VI) dalam sistem *batch* yaitu 120 menit. Berdasarkan uraian di atas, maka diperlukan pengembangan metode elektrolisis dalam sistem sirkuler. Metode elektrolisis yang akan dikembangkan dengan cara memvariasi jumlah karbon (luas permukaan) dan menentukan laju alir (waktu) optimum. Penentuan laju alir maka diharapkan waktu elektrolisis dapat dipercepat.

Penelitian elektrolisis Cr(VI) dalam sistem tersirkulasi pada limbah elektroplating. Proses elektrolisis dilakukan dengan dengan penambahan HNO₃ 0,3 M pada tegangan 0,77 V. Elektrolisis dilakukan selama 30 menit dengan variasi jumlah batangan elektroda karbon dan laju alir. Jumlah batangan karbon yang digunakan adalah 3, 4 dan 9, sedangkan laju alir yang digunakan adalah 0,6; 0,8 dan 1 mL/s. Larutan elektrolisis yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 542 nm dengan massa awal Cr(VI) sebesar 15,24 mg.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi elektrolisis logam Cr(VI) pada limbah elektroplating dalam sistem sirkuler paling tinggi pada jumlah batangan karbon 3 dan laju alir 1 mL/s sama dengan 98,7% sedangkan untuk jumlah batangan karbon 4 dan laju alir 1 mL/s sama dengan 99,4% dan untuk jumlah batangan karbon 9 dan laju alir 1 mL/s sama dengan 99,6%

PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Elektrolisis Logam Cr(VI) Pada Limbah Elektroplating Dalam Sistem Tersirkulasi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Yudi Aris Sulistiyo, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Tri Mulyono, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji I, dan Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Drs. Mukh Mintadi, Yeni Maulidah M. S.Si., M.Si., dan Tanti Haryati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa.
6. segenap dosen pengajar Fakultas MIPA, terutama dosen-dosen Jurusan Kimia Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 2017

Penulis



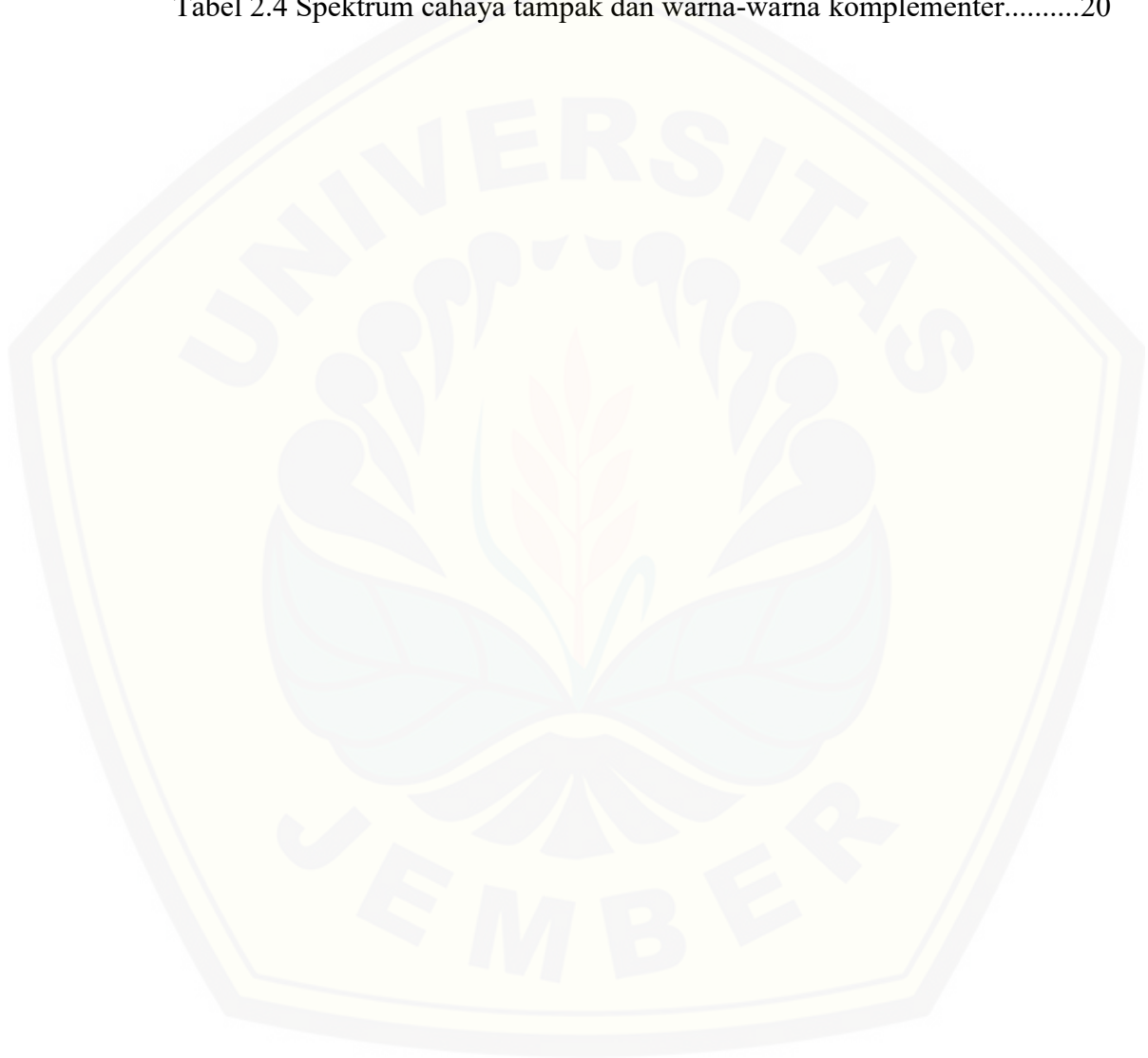
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Elektroplating	5
2.2 Kromium	6
2.2.1 Kromium (VI).....	7
2.3 Teknik Voltametri	7
2.3.1 Sel Voltametri.....	8
2.3.2 Voltametri Siklik.....	9
2.4 Elektrolisis	11
2.4.1 Elektrolit.....	11
2.4.2 Elektroda.....	12
2.4.3 Proses-proses Elektrolisis dalam Industri.....	13
2.5 Spektrofotometri	14
2.5.1 Pengertian Spektrofotometri.....	14
2.5.2 Prinsip Kerja Spektrofotometri.....	14
2.5.3 Hukum Lambert-Beer.....	18
2.5.4 Warna Komplementer.....	19
2.6 Spektrofotometri Visible (Spektro Vis)	20
2.6.1 Reaksi Cr(VI) dengan Pengompleks 1,5-diphenylcarbazine.....	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Metode Penelitian	22
3.2.1 Alat dan Bahan.....	22
3.3 Diagram Alir Penelitian	22

3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Preparasi Sampel.....	25
3.4.2 Penentuan Tegangan Kerja.....	26
3.4.3 Penentuan Jumlah Batangan Karbon Optimum yang digunakan sebagai elektroda.....	26
3.4.4 Penentuan Laju Alir Optimum.....	26
3.4.5 Isolasi Logam Cr (VI) Pada Air Limbah Elektroplating Menggunakan Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi.....	26
3.4.6 Perhitungan Nilai Efisiensi Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi.....	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Efisiensi Jumlah Batangan Karbon terhadap Pemisahan Cr(VI) menggunakan Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi	31
4.2 Efisiensi Laju Alir terhadap Pemisahan Cr(VI) menggunakan Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi	34
BAB 5. PENUTUP	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat fisika unsur kromium.....	6
Tabel 2.2 Sifat kimia unsur kromium.....	7
Tabel 2.3 Potensial standar beberapa unsur pada suhu 25°C.....	13
Tabel 2.4 Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer.....	20



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses elektroplating	5
Gambar 2.2 Tipe Sel Elektrokimia untuk Voltametri.....	8
Gambar 2.4 Voltamogram respon arus fungsi potensial	10
Gambar 2.5 Voltamogram Cr(VI).....	11
Gambar 2.6 Pembacaan Spektrofotometer.....	16
Gambar 2.7 Monokromator.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Instrumen Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi.....	27
Gambar 4.1 Rangkaian Instrumen Voltametri Siklik.....	29
Gambar 4.2 Voltamogram Larutan Standar dan Sampel Limbah Elektroplating dengan 3 Kali Pengulangan pada <i>Scan Rate</i> 75 mV/s.....	30
Gambar 4.3 (a) Massa Cr(VI) Terelektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi dengan Variasi Jumlah Batangan Karbon, (b) Nilai Efisiensi Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi dengan Variasi Jumlah Batangan Karbon.....	33
Gambar 4.4 (a) Massa Cr(VI) Terelektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi dengan Variasi Laju Alir, (b) Nilai Efisiensi Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi dengan Variasi Laju Alir.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 4.1 ANALISIS SAMPEL DENGAN VOLTAMETRI SIKLIK	43
4.1.1 Keterangan Penggunaan Potesniostat dalam Teknik Voltametri Siklik.....	43
4.1.2 Hasil Scaning Larutan Standar Cr(VI) pada +1500 sampai dengan 0 mV.....	43
4.1.3 Hasil Scaning Larutan Sampel pada +1500 sampai dengan 0 mV.....	43
4.1.4 Hasil Voltamogram Larutan Standar Cr(VI) dan Sampel Limbah Elektroplating.....	44
LAMPIRAN 4.2 PEMBUATAN LARUTAN STANDAR	44
4.2.1 Pembuatan Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$	44
4.2.2 Pembuatan Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$	44
4.2.3 Pembuatan larutan standar konsentrasi 0 ppm; 0,2 ppm ; 0,4 ppm; 0,6 ppm; 0,8 ppm dan 1 ppm.....	45
4.2.4 Pembuatan Larutan Elektrolit HNO_3 0,3 M.....	46
4.2.5 Scanning panjang gelombang interval 10 nm pada konsentrasi 0,6 ppm.....	46
4.2.6 Scanning panjang gelombang interval 2 nm pada konsentrasi 0,6 ppm.....	47
4.2.7 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$	48
LAMPIRAN 4.3 PERHITUNGAN KONSENTRASI Cr(VI) DAN NILAI EFISIENSI HASIL ELEKTROLISIS DALAM SISTEM ALIR	49
4.3.1 Perhitungan Konsentrasi Larutan Sampel Limbah Elektroplating Sampel.....	49
4.3.2 Konsentrasi Cr(VI) Hasil Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi.....	50
4.3.3 Perhitungan Nilai Efisiensi Elektrolisis dalam Sistem Alir.....	51
4.3.4 Grafik Konsentrasi Cr(VI) dan Nilai Efisiensi Hasil Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi.....	56
a. Variasi Jumlah Karbon.....	56
b. Variasi Laju Alir.....	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsentrasi kromium pada perairan merupakan salah satu parameter untuk menentukan kualitas air. Limbah kromium dihasilkan oleh beberapa industri seperti cat dan manufaktur pigmen, produksi baja stainless, kontrol korosi, penyamakan kulit, kromium plating, pengawetan kayu, pupuk, tekstil, dan fotografi (Gode *et al.*, 2005). Limbah krom dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Konsentrasi Cr(VI) dalam air limbah industri berkisar dari 0,5 mg/L sampai 270,0 mg/L, ambang batas untuk Cr(VI) adalah 0,1 mg/L dan dalam air konsumsi adalah 0,05 mg/L (Koby, 2004). Selain itu, menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 kadar maksimum kromium untuk keperluan air baku, air minum dan kegiatan perikanan adalah sebesar 0,05 mg/L. Terakumulasinya kromium dalam jumlah yang besar di tubuh manusia menyebabkan gangguan kesehatan, seperti merusak organ hati dan ginjal, bersifat racun bagi makhluk hidup, bersifat karsinogen (penyebab kanker), teratogen (menghambat pertumbuhan janin dan mutagen) (Schiavon *et al.*, 2008).

Berbagai macam metode yang telah dikembangkan untuk menangani permasalahan limbah kromium diantaranya: adsorpsi (Malkoc *et al.*, 2005), *ion exchange*, proses *vaporizer* (Casaveno, 1980) dan elektrolisis (Blowes *et al.*, 1999). Proses adsorpsi sangat mudah dilakukan dan biayanya murah, tetapi kapasitas optimum serapan kromium dengan konsentrasi 200 mg/L pada suhu 60°C hanya diperoleh 41,22 % atau 82,44 mg/L (Malkoc *et al.*, 2005). Menurut Casaveno (1980) Proses pertukaran ion (*Ion exchange*) dan Proses *Vaporizer* membutuhkan biaya yang cukup besar sehingga perlu diupayakan penggunaan metode lain yang dapat menyelesaikan permasalahan Cr(VI) dengan kemampuan yang tinggi.

Elektrolisis dianggap sebagai metode yang tepat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan Cr(VI) dari perairan. Penggunaan metode elektrolisis dapat menyelesaikan masalah pencemaran Cr(VI) dan hasil Cr(VI) yang dipisahkan dapat digunakan kembali (Hartono, 1992). Penelitian terhadap limbah industri percetakan telah dilakukan pada tahun 2005 dengan metoda elektrolisis yang mampu menurunkan kadar tembaga limbah industri percetakan hingga 96,88% (Riyanti *et al.*, 2005). Penggunaan sel elektrolisis dapat dilakukan dengan elektroda yang mempunyai stabilitas kimia maupun fisika yang tinggi, konduktivitas listrik yang tinggi dan *nonfouling* (Daryoko *et al.*, 2009).

Menurut Atkins (1993) elektroda yang umumnya digunakan pada proses elektrolisis merupakan elektroda inert, seperti Grafit (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda platina (Pt) dan emas (Au) sering digunakan dalam proses elektrolisis karena kestabilannya, tetapi elektroda ini sangat mahal, sedangkan elektroda karbon digunakan karena karbon mempunyai efektivitas yang baik dalam upaya mengurangi kandungan ion-ion logam, stabil, tidak bereaksi dengan larutan yang dielektrolisis, selain itu mudah didapat dan murah, metode elektrolisis dengan elektroda karbon/karbon dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam Mn pada limbah cair percetakan sebesar 97,85% (Ridaningtyas *et al.*, 2013). Selain pemilihan jenis elektroda metode elektrolisis dapat mencapai keadaan optimum dalam pengambilan Cr(VI) juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus listrik, lamanya elektrolisis, suhu elektrolisis, dan konsentrasi elektrolit (Sopiah, 2008) dan luas permukaan elektroda (Vebrina, 2009).

Luas permukaan elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis berpengaruh terhadap hasil elektrolisis. Pengaruh luas permukaan elektroda terhadap hasil elektrolisis menunjukkan semakin besar luas permukaan elektroda yang digunakan maka semakin besar hasil endapan elektrolisis pada katoda yang diperoleh (Susanto *et al.*, 2016). Selain itu, waktu elektrolisis dan tegangan berpengaruh terhadap hasil endapan pada elektroda. Menurut hasil penelitian Suarsana (2008), menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektrolisis maka semakin tebal lapisan yang terbentuk pada katoda. Berdasarkan penelitian

Wiharti (2013), ditunjukkan waktu yang optimal untuk elektrolisis Cr(VI) yaitu 120 menit. Berdasarkan uraian diatas, maka diperlukan pengembangan metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi. Metode elektrolisis yang akan dikembangkan dengan cara memvariasi jumlah karbon (luas permukaan) dan menentukan laju alir (waktu). Penentuan laju alir maka diharapkan waktu elektrolisis dapat dipercepat. Metode yang ditawarkan ini diharapkan bisa sebagai solusi untuk penanganan permasalahan limbah di lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jumlah karbon pensil sebagai elektroda dalam efisiensi pemisahan Cr(VI) menggunakan metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi?
2. Bagaimana pengaruh laju alir elektrolit dalam efisiensi pemisahan Cr(VI) menggunakan metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Sampel limbah yang digunakan merupakan limbah hasil *finishing* PT. NPR *Manufacturing* Indonesia
2. Proses elektrolisis dilakukan pada suhu kamar $29^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
3. Elektroda karbon yang digunakan diambil dari pensil HB Staedtler

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh jumlah karbon pensil sebagai elektroda dalam efisiensi pemisahan Cr(VI) menggunakan metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi?
2. Mengetahui pengaruh laju alir elektrolit dalam efisiensi pemisahan Cr(VI) menggunakan metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi?

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah di bidang kimia tentang pemisahan logam Cr(VI) dari limbah elektroplating PT.NPR *Manufacturing* Indonesia secara elektrolisis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan metode alternatif yang efisien, murah, mudah dan sederhana dalam mengendalikan pencemaran logam Cr(VI) di lingkungan.

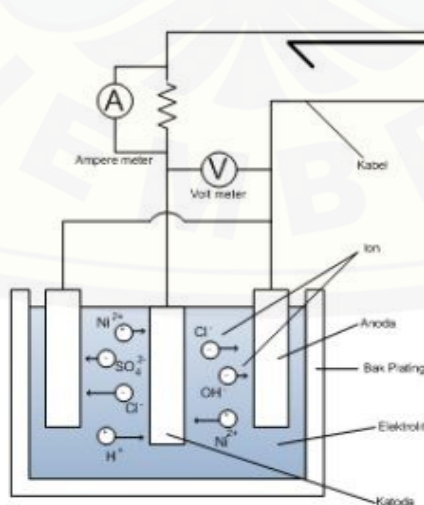


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Elektroplating

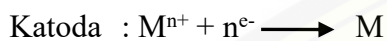
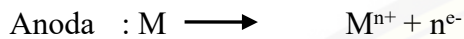
Elektroplating adalah salah satu proses melapisi logam dengan menggunakan prinsip arus listrik dan bantuan senyawa kimia sehingga menghasilkan partikel pelapis yang melapisi material. Proses elektroplating pada saat ini berkembang semakin pesat seiring dengan kebutuhan masyarakat. Elektroplating diaplikasikan antara lain dalam industri elektronika, konstruksi pabrik, peralatan rumah tangga, otomotif dan lain-lain. Proses elektroplating bertujuan untuk memberikan perlindungan dari karat dan memberikan efek mengkilap pada besi dan baja. Meningkatnya kebutuhan akan produk yang menggunakan proses elektroplating mendorong berkembangnya industri elektroplating yang berada di Indonesia. Perkembangan industri yang semakin pesat selain memberikan manfaat, juga menimbulkan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan. Limbah dari proses elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005).

Gambar berikut adalah gambar proses elektroplating.



Gambar 2.1 Proses elektroplating (Sumber: anton, 1992)

Konsep dasar dalam pelapisan logam ini dengan mengendapkan/deposisi logam yang dihendaki dengan cara elektrolisa. Pada cairan elektrolit ini tercelup dua elektroda. Masing - masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, terbagi menjadi kutub positif (+) dan negatif (-) dikenal sebagai anoda (+) dan katoda (-). Reaksi yang terjadi pada masing - masing elektroda :



Agar ion dapat terus mengalir dalam proses elektroplating maka digunakan arus listrik. Arus listrik tersebut menyebabkan elektron bermigrasi melalui anoda ke katoda (Anton 1992).

2.2 Kromium

Kromium tergolong salah satu limbah jenis bahan beracun berbahaya (B3) yang banyak ditemukan di lingkungan perairan. Ketertarikan dalam spesiasi kromium (Cr) dikarenakan penggunaannya yang tersebar luas dalam berbagai industri seperti industri plating logam, zat warna, penyamakan kulit, dan industri cat (Subramanian, 1988). Krom memiliki sifat kimia dan fisika spesifik yang membedakan unsur krom dengan unsur lain.

Sifat fisika dan kimia unsur krom sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat fisika unsur kromium

Massa Jenis	7,15 g/cm ³ (25 ⁰ C)
Titik Lebur	2180 K, 1907 ⁰ C, 3465 ° F
Titik Didih	2944 K, 2671 ⁰ C, 4840 ° F
Entalpi Peleburan	20,5 kJ mol ⁻¹
Panas Penguapan	339 kJ mol ⁻¹
Entalpi Atomisasi	397 kJ mol ⁻¹
Kapasitas Kalor (25 ⁰ C)	23,25 J/mol.K
Konduktivitas Termal	94 W m ⁻¹ K ⁻¹
Koefisien ekspansi termal linier	4,9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Kepadatan	7,140 kg m ⁻³
Volum Molar	7,23 cm ³
Sifat Resistivitas listrik	12,7 10 ⁻⁸ Ω m

Tabel 2.2 Sifat kimia unsur kromium

Nomor Atom	24
Massa Atom	51,9961 g/mol
Golongan, periode, blok	VI B, 4, d
Konfigurasi elektron	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8,13, 1
Afinitas electron	64,3 kJ / mol ⁻¹
Ikatan energi dalam gas	142,9 ± 5,4 kJ / mol ⁻¹ .
Panjang Ikatan Cr-Cr	249 pm
Senyawa beracun dan mudah terbakar	

(Sumber: Cotton dan Wilkinson, 1989).

2.2.1 Kromium (VI)

Kromium dalam perairan terdapat dalam dua keadaan oksidasi yang stabil yaitu Cr(III) dan Cr(VI). Cr(VI) dilaporkan sebagai spesies yang toksik dan karsinogenik bagi manusia meskipun dalam konsentrasi yang relatif rendah (Sun, *et al.*, 2003). Cr(VI) dalam kromat (CrO₄²⁻) dan dikromat (Cr₂O₇²⁻) menyebabkan penyakit ginjal necrosis tubulus dan kanker paru-paru (Crosby, 1998). Kromat pada industri dihasilkan oleh bijih kromit dengan kalsium atau natrium karbonat.

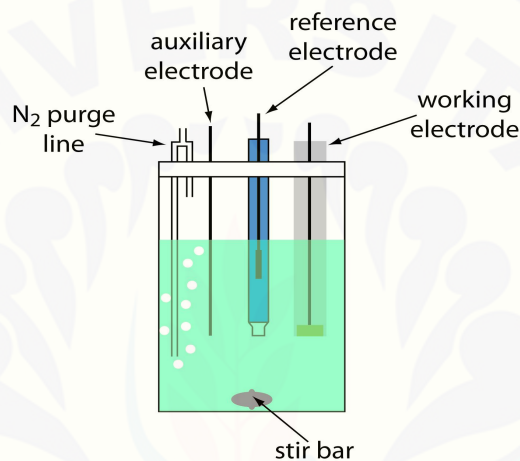
Richard dan Bourg (1991) melaporkan jika konsentrasi Cr(VI) dalam tubuh berlebih maka akan menyebabkan kematian. Cr(III) merupakan spesies yang penting dalam kehidupan organisme. Cr(III) dilaporkan berperan dalam menjaga agar metabolisme glukosa, lemak dan protein pada mamalia berjalan normal (Anderson, 1989). Konsentrasi Cr(VI) dalam air limbah industri berkisar dari 0,5 mg/L sampai 270,0 mg/L, ambang batas untuk Cr(VI) adalah 0,1 mg/L dan dalam air konsumsi adalah 0,05 mg/L (Koby, 2004).

2.3 Teknik Voltametri

Menurut Haryadi (1993), voltametri salah satu teknik dalam analisis elektrokimia dimana arus direkam sebagai suatu fungsi potensial elektroda kerja. Voltametri merupakan elektrolisis dalam ukuran mikroskala dengan menggunakan mikro elektroda kerja, disebut sebagai teknik arus voltase.

Potensial dari mikro elektroda kerja divariasikan dan arus yang dihasilkan dicetak sebagai fungsi dari potensial (voltamograf). Voltametri berkembang pesat karena memiliki kelebihan dalam sensitifitas, selektifitas, kesederhanaan, dan kemudahan penganalisisan. Beberapa aplikasi voltametri diantaranya untuk analisis di bidang lingkungan, farmasi, sintesis senyawa kompleks, dan sintesis senyawa organik (Skoog, *et al.*, 1998).

2.3.1 Sel Voltametri



Gambar 2.2 Tipe Sel Elektrokimia untuk Voltametri (Sumber: Harvey, 2001)

Sel voltametri terdiri dari 3 elektroda yaitu, elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*reference electrode*), dan elektroda pembantu (*counter/auxiliary electrode*). Pemilihan elektroda bergantung pada besarnya range potensial yang diinginkan untuk menguji sampel (Laidler, 1996). Gambar berikut adalah gambar sel elektrokimia untuk voltametri. Harvey (2001) mengatakan bahwa ketiga elektroda tersebut tercelup dalam sel voltametri yang berisi larutan sampel.

1. Elektroda Kerja (*Working Electrode*)

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi atau reduksi. Kualitas elektroda kerja bergantung pada reaksi redoks dari analit dan arus latar pada rentang potensial yang dibutuhkan dalam pengukuran. Syarat-syarat elektroda kerja harus memiliki respon arus dengan keberulangan yang baik,

rentang potensial yang lebar, konduktivitas listrik yang baik, dan permukaan elektroda yang reproduksibel.

2. Elektroda Pembanding (*Reference Electrode*)

Elektroda pembanding adalah elektroda dengan nilai potensial setengah sel yang diketahui, konstan, dan tidak bereaksi terhadap komposisi larutan sampel yang sedang dianalisis. Elektroda pembanding memberikan potensial yang stabil terhadap elektroda kerja yang dibandingkan. Elektroda yang biasa digunakan adalah elektroda kalomel jenuh dan elektroda perak/perak klorida.

3. Elektroda Pembantu (*Counter/Auxiliary Electrode*)

Elektroda pembantu dikendalikan oleh potensiostat untuk kesetimbangan arus difusi pada elektroda kerja dengan transfer elektron ke arah sebaliknya. Jika terjadi reduksi pada elektroda kerja maka oksidasi terjadi pada elektroda pembantu. Elektroda pembantu yang digunakan harus bersifat inert.

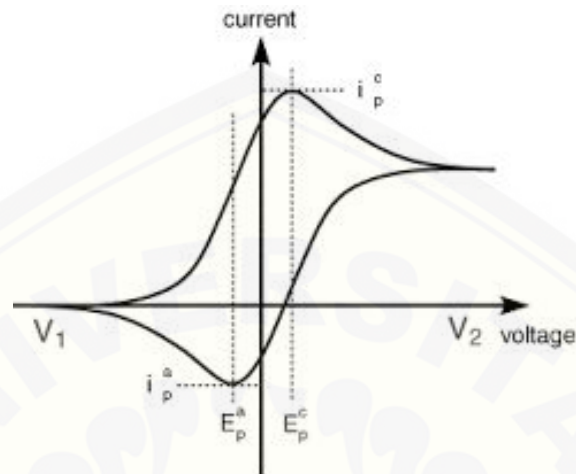
2.3.2 Voltametri Siklik

Teknik voltametri didasarkan pada metode elektroanalisis dimana informasi tentang analit diperoleh dari pengukuran arus fungsi potensial. Teknik pengukurannya dilakukan dengan cara mempolarisasikan elektroda kerja. Arus (ampere) yang mengalir melalui sel elektrokimia yang diukur sebagai fungsi potensial (volt) yang diterapkan pada elektroda dalam sel bervariasi. Timbulnya arus disebabkan oleh reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan elektroda. Perbedaan penting antara voltametri dengan teknik potensiodinamik lainnya adalah dalam voltametri elektroda dengan luas permukaan kecil digunakan untuk memantau arus yang dihasilkan oleh spesies dalam larutan bereaksi pada elektroda dan merespon dengan potensial yang diterapkan (Francis, 2001).

Analisis pengukuran pada voltametri dengan menerapkan suatu potensial ke dalam sel elektrokimia, kemudian respon arus yang dihasilkan dari proses reaksi redoks diukur. Respon arus diukur pada daerah potensial yang telah ditentukan, kemudian dibuat plot arus fungsi potensial yang disebut voltamogram siklik. Scan tegangan dengan metode voltametri siklik ini tentunya menghasilkan respon

arus yang spesifik (Puranto, 2010). Respon arus fungsi potensial ini digambarkan berbentuk kurva voltamogram.

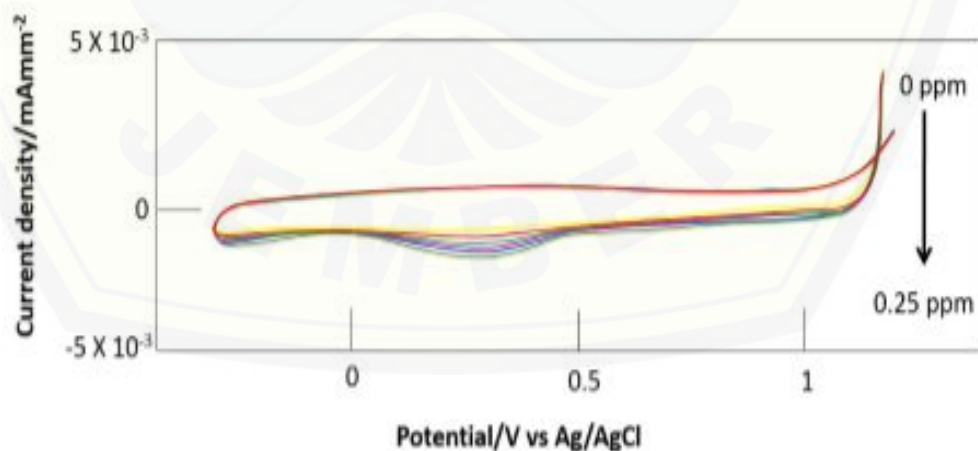
Gambar berikut adalah gambar voltamogram.



Gambar 2.4 Voltamogram respon arus fungsi potensial (Sumber: Puranto, 2010)

Pengukuran dengan menggunakan teknik voltametri siklik memerlukan instrumen yang tepat yaitu potensiostat. Potensiostat berfungsi untuk memberikan *scan* tegangan pada elektroda kerja sekaligus mengukur besarnya tegangan dan arus yang melewati elektroda kerja tersebut (Puranto, 2010).

Gambar dari voltamogram logam Cr(VI) yang dihasilkan pada *scanning* potensial reduksi ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Voltamogram Cr(VI) (Wyutanti *et al.*, 2015)

Gambar di atas menunjukkan hasil voltammogram Cr(VI) dengan larutan elektrolit HCl 0,1 M. Nilai potensial reduksi Cr(VI) sebesar 0,33 V.

2.4 Elektrolisis

Elektrolisis merupakan peristiwa dimana suatu larutan akan diuraikan menjadi ion-ionnya, yaitu ion positif (katoda) dan ion negatif (anoda). Arus listrik searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda, sehingga kation akan mengalami reduksi karena menangkap elektron dan anion akan mengalami oksidasi karena melepaskan elektron. Peristiwa reduksi terjadi di katoda dan oksidasi terjadi di anoda, dimana kation akan menuju katoda dan anion akan menuju anoda (Skoog, 1993).

Reaksi elektrolisis berlawanan dengan reaksi redoks spontan yang menghasilkan perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Elektrolisis adalah proses yang menggunakan energi listrik agar reaksi kimia nonspontan dapat terjadi. Sel elektrolitik adalah alat yang digunakan untuk melakukan proses elektrolisis dimana sebuah sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik dari luar untuk menjalankan suatu reaksi yang tidak spontan. Energi listrik berfungsi sebagai pompa elektron yang menggerakkan elektron ke katoda, dan menarik elektron dari anoda (Chang, 2003).

Menurut Peutro *et al.*, (2008), Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis yaitu kerapatan arus listrik, waktu tegangan, kadar keasaman (pH), ketebalan plat, dan jarak antar elektroda. Waktu elektrolisis, semakin lama waktu elektrolisis maka semakin tebal lapisan yang terbentuk pada katoda. Menurut hukum Faraday: seiring meningkatnya waktu maka berat yang didapat semakin besar (Suarsana, 2008). Sopiah (2008) menunjukkan dalam penelitiannya bahwa peningkatan arus listrik, lamanya elektrolisis, suhu elektrolisis, dan konsentrasi elektrolit dalam proses elektrolisis akan memperbesar jumlah endapan di katoda.

2.4.1 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion. Zat yang lebih sedikit di dalam larutan disebut (zat terlarut) atau solut, sedangkan zat yang jumlahnya lebih banyak dari zat-zat lain di dalam larutan disebut (pelarut) atau solven. Larutan terdiri dari larutan non elektrolit dan larutan

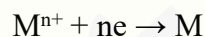
elektrolit. Larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak menghantarkan arus listrik, sedangkan larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan mudah. Ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit dapat berupa senyawa garam, asam, atau amfoter (Riyanto, 2013).

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan ion. Daya hantar listrik akan berbanding lurus dengan konsentrasi suatu larutan elektrolit. Daya hantar larutan elektrolit merupakan suatu besaran yang berbanding terbalik dengan tahanan suatu penghantar. Penghantar listrik pada larutan elektrolit adalah ion - ion dalam larutan elektrolit itu sendiri. Kualitas daya hantar listrik berbanding dengan banyaknya ion. Semakin banyak ion yang ada pada larutan elektrolit maka daya hantar listriknya akan semakin baik. Pemilihan kombinasi antara pelarut dengan elektrolit pendukung harus memberikan nilai hambatan sekecil mungkin (Sawyer *et al*, 1995)

2.4.2 Elektroda

Elektroda merupakan konduktor sistem dua fase yang terdiri atas sebuah penghantar elektronik (logam) dan sebuah penghantar ionik (larutan). Apabila logam dicelupkan kedalam larutan yang mengandung ionnya, maka akan terbentuk perbedaan potensial antara logam dan larutan itu.

Reaksi sebuah elektroda dapat ditulis persamaan berikut:



Besarnya potensial larutan dan logam dapat diketahui dengan membandingkan elektroda lain yang sudah diketahui besar beda potensialnya. Kombinasi kedua elektroda tersebut akan terbentuk suatu sel volta yang dapat diukur secara langsung besarnya harga emf (gerak gaya listrik) (Gandjar dan Rohman, 2012).

Elektroda yang digunakan harus bersifat stabil dan inert agar dapat menghantarkan arus dengan baik dan tidak boleh bereaksi dengan larutan elektrolit itu sendiri. Contoh elektroda yang inert adalah elektroda platina, elektroda emas, dan elektroda karbon (Brady, 1999).

Tabel 2.3 Potensial standar beberapa unsur pada suhu 25°C

Standard Potential (V)	Reduction Half-Reaction
+2.87	$F_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2F^-(aq)$
+1.51	$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$
+1.36	$Cl_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-(aq)$
+1.33	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$
+1.23	$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$
+1.06	$Br_2(l) + 2e^- \longrightarrow 2Br^-(aq)$
+0.96	$NO_3^-(aq) + 4H^+(aq) + 3e^- \longrightarrow NO(g) + H_2O(l)$
+0.80	$Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$
+0.77	$Fe^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$
+0.68	$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2O_2(aq)$
+0.59	$MnO_4^-(aq) + 2H_2O(l) + 3e^- \longrightarrow MnO_2(s) + 4OH^-(aq)$
+0.54	$I_2(s) + 2e^- \longrightarrow 2I^-(aq)$
+0.40	$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$
+0.34	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$
0	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$
-0.28	$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Ni(s)$
-0.44	$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Fe(s)$
-0.76	$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$
-0.83	$2H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$
-1.66	$Al^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow Al(s)$
-2.71	$Na^+(aq) + e^- \longrightarrow Na(s)$
-3.05	$Li^+(aq) + e^- \longrightarrow Li(s)$

(Sumber: Cow, 1994)

Luas permukaan elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis berpengaruh terhadap hasil elektrolisis. Pengaruh luas permukaan elektroda terhadap hasil elektrolisis menunjukkan semakin besar luas permukaan elektroda yang digunakan maka semakin besar hasil endapan elektrolisis pada katoda yang diperoleh (Susanto *et al.*, 2016).

2.4.3 Proses-proses Elektrolisis dalam Industri

Penggunaan penting dari elektrolisis adalah dalam pemurnian logam. Proses pemurnian logam-logam “*metallurgical smelting*” biasanya menghasilkan logam tembaga yang kurang murni untuk penggunaan secara lazim, maka dilakukan elektrolisis untuk mendapatkan logam tembaga yang lebih murni. Selain

digunakan untuk pemurnian logam, digunakan untuk pelapisan logam atau biasa disebut dengan elektroplating (Petrucci, 1987).

Elektroplating merupakan suatu proses elektrokimia terhadap permukaan permukaan suatu logam. Logam- logam yang biasa digunakan untuk pelapis yaitu cadmium, tembaga, emas, nikel, perak, krom dan logam-logam sejenis. Elektroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan bantuan arus listrik melalui suatu elektrolit. Benda yang dilakukan pelapisan harus merupakan konduktor atau dapat menghantarkan arus listrik. Proses ini melibatkan perlakuan pendahuluan (pencucian, pembersihan, dan langkah-langkah persiapan lain), pelapisan, pembilasan, dan pengeringan. Air yang berasal dari pencucian, pembersihan dan proses plating menjadi air limbah karena mengandung logam logam terlarut dan senyawa-senyawa berbahaya lainnya (Purwanto, 2005).

2.5 Spektrofotometri

2.5.1 Pengertian Spektrofotometri

Spektrofotometri sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dari spectrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi spektrofotometer digunakan untuk mengukur energy relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi panjang gelombang. Kelebihan spektrofotometer dengan fotometer adalah panjang gelombang dari sinar putih dapat lebih di deteksi dan cara ini diperoleh dengan alat pengurai seperti prisma, grating atau celah optis. Pada fotometer filter dari berbagai warna yang mempunyai spesifikasi melewatkan trayek pada panjang gelombang tertentu (Gandjar, 2007).

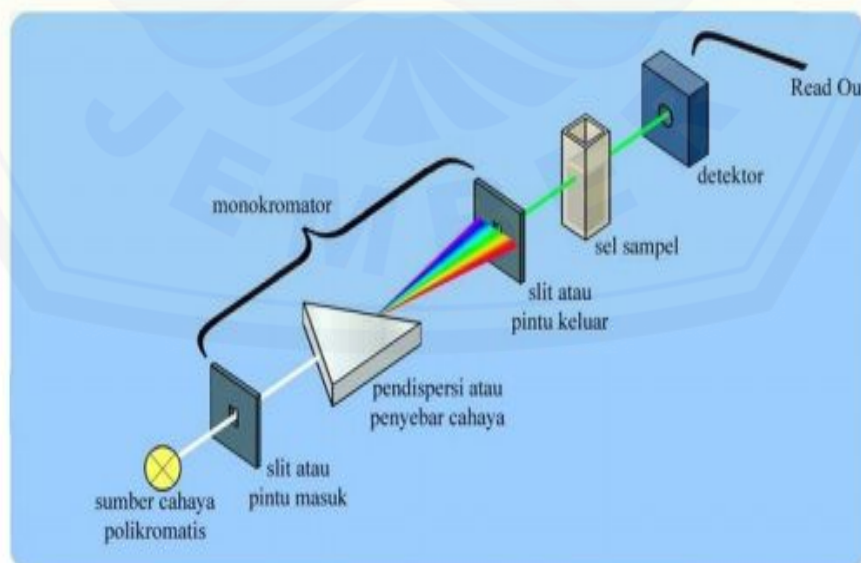
2.5.2 Prinsip Kerja Spektrofotometri

Spektrum elektromagnetik dibagi dalam beberapa daerah cahaya. Suatu daerah akan diabsorpsi oleh atom atau molekul dan panjang gelombang cahaya yang diabsorpsi dapat menunjukkan struktur senyawa yang diteliti. Spektrum

elektromagnetik meliputi suatu daerah panjang gelombang yang luas dari sinar gamma gelombang pendek berenergi tinggi sampai pada panjang gelombang mikro (Asnah, 2012).

Spektrum absorpsi dalam daerah-daerah ultra ungu dan sinar tampak umumnya terdiri dari satu atau beberapa pita absorpsi yang lebar, semua molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV-tampak. Oleh karena itu mereka mengandung electron, baik yang dipakai bersama atau tidak, yang dapat dieksitasi ke tingkat yang lebih tinggi. Panjang gelombang pada waktu absorpsi terjadi tergantung pada bagaimana erat elektron terikat di dalam molekul. Elektron dalam satu ikatan kovalen tunggal erat ikatannya dan radiasi dengan energy tinggi, atau panjang gelombang pendek, diperlukan eksitasinya (Wunas, 2011).

Keuntungan utama metode spektrofotometri adalah bahwa metode ini memberikan cara sederhana untuk menetapkan kuantitas zat yang sangat kecil. Selain itu, hasil yang diperoleh cukup akurat, dimana angka yang terbaca langsung dicatat oleh detector dan tercetak dalam bentuk angka digital ataupun grafik yang sudah diregresikan (Yahya, 2013). Secara sederhana instrumen spektrofotometri yang disebut spektrofotometer terdiri dari beberapa bagian.

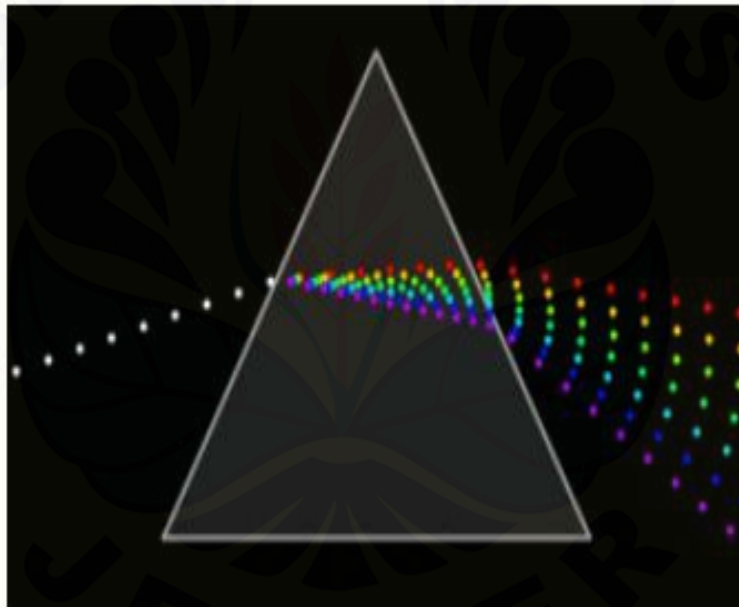


Gambar 2.6 Pembacaan Spektrofotometer (Sumber: Arsyad, 2013)

Fungsi masing-masing bagian :

1. Sumber sinar polikromatis berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang.
2. Monokromator berfungsi sebagai penyeleksi panjang gelombang yaitu mengubah cahaya yang berasal dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromatis. Pada gambar di atas disebut sebagai pendispersi atau penyebar cahaya. dengan adanya pendispersi hanya satu jenis cahaya atau cahaya dengan panjang gelombang tunggal yang mengenai sel sampel. Pada gambar di atas hanya cahaya hijau yang melewati pintu keluar. Proses dispersi atau penyebaran cahaya dilihat dari prisma.

Gambar berikut merupakan penyebaran cahaya pada monokromator.



Gambar 2.7 Monokromator (Sumber: Arsyad, 2013).

4. Sel sampel berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel.
5. UV, VIS dan UV-VIS menggunakan kuvet sebagai tempat sampel. Kuvet biasanya terbuat dari kuarsa atau gelas, namun kuvet dari kuarsa yang terbuat dari silika memiliki kualitas yang lebih baik. Hal ini disebabkan yang terbuat dari kaca dan plastik dapat menyerap UV sehingga penggunaannya hanya pada spektrofotometer sinar tampak (VIS). Kuvet biasanya berbentuk persegi panjang dengan lebar 1 cm.

6. IR, untuk sampel cair dan padat (dalam bentuk pasta) biasanya dioleskan pada dua lempeng natrium klorida. Untuk sampel dalam bentuk larutan dimasukan ke dalam sel natrium klorida. Sel ini akan dipecahkan untuk mengambil kembali larutan yang dianalisis, jika sampel yang dimiliki sangat sedikit dan harganya mahal.
7. Detektor berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Macam-macam detector yaitu Detektor foto (Photo detector), Photocell, misalnya CdS, Phototube, Hantaran foto, Dioda foto, Detektor panas
8. Read out merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detector. Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam spektrofotometri adalah :
 - a. Pada saat pengenceran alat alat pengenceran harus betul-betul bersih tanpa adanya zat pengotor
 - b. Dalam penggunaan alat-alat harus betul-betul steril
 - c. Jumlah zat yang dipakai harus sesuai dengan yang telah ditentukan
 - d. Dalam penggunaan spektrofotometri uv, sampel harus jernih dan tidak keruh
 - e. Dalam penggunaan spektrofotometri uv-vis, sampel harus berwarna.

Serapan dapat terjadi jika foton/radiasi yang mengenai cuplikan memiliki energi yang sama dengan energi yang dibutuhkan untuk menyebabkan terjadinya perubahan tenaga. Jika sinar monokromatik dilewatkan melalui suatu lapisan larutan dengan ketebalan (db), maka penurunan intensitas sinar (dI) karena melewati lapisan larutan tersebut berbanding langsung dengan intensitas radiasi (I), konsentrasi spesies yang menyerap (c), dan dengan ketebalan lapisan larutan (db). Secara matematis, pernyataan ini dapat dituliskan :

$$-dI = k \cdot I \cdot c \cdot db$$

bila diintergralkan maka diperoleh persamaan ini :

$$I = I_0 e^{-kbc}$$

dan bila persamaan di atas diubah menjadi logaritma basis 10, maka akan diperoleh persamaan :

$$I = I_0 10^{-kbc}$$

dimana : $k/2,303 = a$,

maka persamaan di atas dapat diubah menjadi persamaan :

$$\text{Log } I_0/I = abc \text{ atau } A = abc \text{ (Hukum Lambert-Beer)}$$

Dimana :

A= Absorban

a= absorptivitas

b = tebal kuvet (cm)

c = konsentrasi

Bila Absorbansi (A) dihubungkan dengan Transmittan (T) = I/I_0 maka dapat diperoleh $A = \log 1/T$. Absorptivitas (a) merupakan suatu konstanta yang tidak tergantung pada konsentrasi, tebal kuvet, dan intensitas radiasi yang mengenai larutan sampel. Tetapi tergantung pada suhu, pelarut, struktur molekul, dan panjang gelombang radiasi (Khopkar, 1990).

2.5.3 Hukum Lambert-Beer

Cahaya yang diserap diukur sebagai absorbansi (A) sedangkan cahaya yang hamburkan diukur sebagai transmittansi (T), dinyatakan dengan hukum Lambert-Beer atau Hukum Beer, berbunyi:

“Jumlah radiasi cahaya tampak (ultraviolet, inframerah dan sebagainya) yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal larutan”.

Berdasarkan hukum Lambert-Beer, rumus yang digunakan untuk menghitung banyaknya cahaya yang hamburkan:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \text{ atau } \%T = \frac{I_t}{I_0} \times 100\%$$

dan absorbansi dinyatakan dengan rumus:

$$A = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_0}$$

dimana I_0 merupakan intensitas cahaya datang dan I_t atau I_1 adalah intensitas cahaya setelah melewati sampel. Rumus yang diturunkan dari Hukum Beer dapat ditulis sebagai:

$$A = a \cdot b \cdot c \text{ atau } A = \varepsilon \cdot b \cdot c$$

dimana:

A = absorbansi

b / l = tebal larutan (tebal kuvet diperhitungkan juga umumnya 1 cm)

c = konsentrasi larutan yang diukur

ε = tetapan absorptivitas molar (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam molar)

a = tetapan absorptivitas (jika konsentrasi larutan yang diukur dalam ppm).

Faktor-faktor yang sering menyebabkan kesalahan dalam menggunakan spektrofotometer dalam mengukur konsentrasi suatu analit:

1. Adanya serapan oleh pelarut. Hal ini dapat diatasi dengan penggunaan blangko, yaitu larutan yang berisi selain komponen yang akan dianalisis termasuk zat pembentuk warna.
2. Serapan oleh kuvet. Kuvet yang ada biasanya dari bahan gelas atau kuarsa, namun kuvet dari kuarsa memiliki kualitas yang lebih baik.
3. Kesalahan fotometrik normal pada pengukuran dengan absorbansi sangat rendah atau sangat tinggi, hal ini dapat diatur dengan pengaturan konsentrasi, sesuai dengan kisaran sensitivitas dari alat yang digunakan (melalui pengenceran atau pemekatan) (Kopkar, 1990).

2.5.4 Warna Komplementer

Apabila radiasi atau cahaya putih dilewatkan melalui larutan yang berwarna maka radiasi dengan panjang gelombang tertentu akan diserap secara selektif dan radiasi sinar lainnya akan diteruskan. Absorbansi maksimum dari larutan berwarna terjadi pada daerah warna yang berlawanan dengan warna yang diamati, misalnya larutan berwarna merah akan menyerap radiasi maksimum pada daerah

warna hijau. Dengan kata lain warna yang diserap adalah warna komplementer dari warna yang diamati (Suharta, 2005).

Tabel 2.4 Spektrum cahaya tampak dan warna-warna komplementer

No.	Panjang Gelombang (nm)	Warna yang di serap
1	400-435	Violet Kuning-Hijau
2	435-480	Biru Kuning
3	480-490	Hijau-Biru Oranye
4	490-500	Biru-Hijau Merah
5	500-560	Hijau Ungu
6	560-580	Kuning - hijau Violet
7	580-595	Kuning Biru
8	595-610	Oranye Hijau - biru
9	610-750	Merah Biru-Hijau

(Sumber: Underwood, 2002).

2.6 Spektrofotometri Visible (Spektro Vis)

Pada spektrofotometri ini yang digunakan sebagai sumber sinar/energi adalah cahaya tampak (visible). Cahaya visible termasuk spektrum elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata manusia. Panjang gelombang sinar tampak adalah 380 sampai 750 nm. Sehingga semua sinar yang dapat dilihat oleh kita, entah itu putih, merah, biru, hijau, apapun.. selama ia dapat dilihat oleh mata, maka sinar tersebut termasuk ke dalam sinar tampak (visible). Sumber sinar tampak yang umumnya dipakai pada spektro visible adalah lampu Tungsten. Sample yang dapat dianalisa dengan metode ini hanya sample yang memiliki warna. Hal ini menjadi kelemahan tersendiri dari metode spektrofotometri visible. Oleh karena itu, untuk sample yang tidak memiliki warna harus terlebih dulu dibuat berwarna dengan menggunakan reagent spesifik (Underwood, 2002).

Pengukuran sample pada Spektrofotometer UV-VIS menggunakan kuvet sebagai tempat sampel. Kuvet biasanya terbuat dari kuarsa atau gelas, namun kuvet dari kuarsa yang terbuat dari silika memiliki kualitas yang lebih baik. Hal

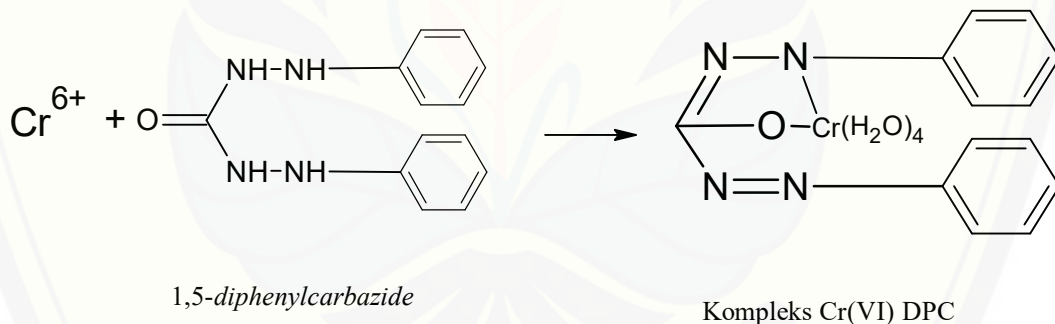
ini disebabkan yang terbuat dari kaca dan plastik dapat menyerap UV sehingga penggunaannya hanya pada spektrofotometer sinar tampak (VIS). Kuvet biasanya berbentuk persegi panjang dengan lebar 1 cm (Arsyad, 2013).

2.6.1 Reaksi Cr(VI) dengan Pengompleks 1,5-diphenylcarbazine

Cr(VI) dapat dianalisa harus direduksi terlebih dahulu. Limbah yang mengandung Cr(VI) direduksi menjadi Cr(III), karena pada kondisi basa akan terjadi kesetimbangan senyawa dikromat dan kromat seperti dibawah ini:



Pada kondisi asam reaksi akan bergerak ke kiri menjadi dikromat, sedangkan pada kondisi basa kesetimbangan akan bergerak ke kanan. Larutan ini kemudian dikomplekskan dengan reagen pengompeleks 1,5-diphenylcarbazine (DPC). Larutan ini kemudian akan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 542 nm. Reaksinya dapat dituliskan seperti dibawah ini :



Terbentuknya warna ungu pada kompleks ini disebabkan oleh transisi elektronik dari kompleks tersebut. Orbital d pada atom Cr tidak terisi elektron, maka transisi elektronik yang terjadi bukan transisi orbital d-d. Reaksi transfer muatan dalam molekul yang menyebabkan terbentuknya warna ungu (Ashley *et al.*, 2003).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, Laboratorium PT. NPR *Manufacturing* Indonesia dan Laboratorium IPAL SIER-PIER. Penelitian dilakukan mulai Mei 2017 sampai Juli 2017

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Alat dan Bahan

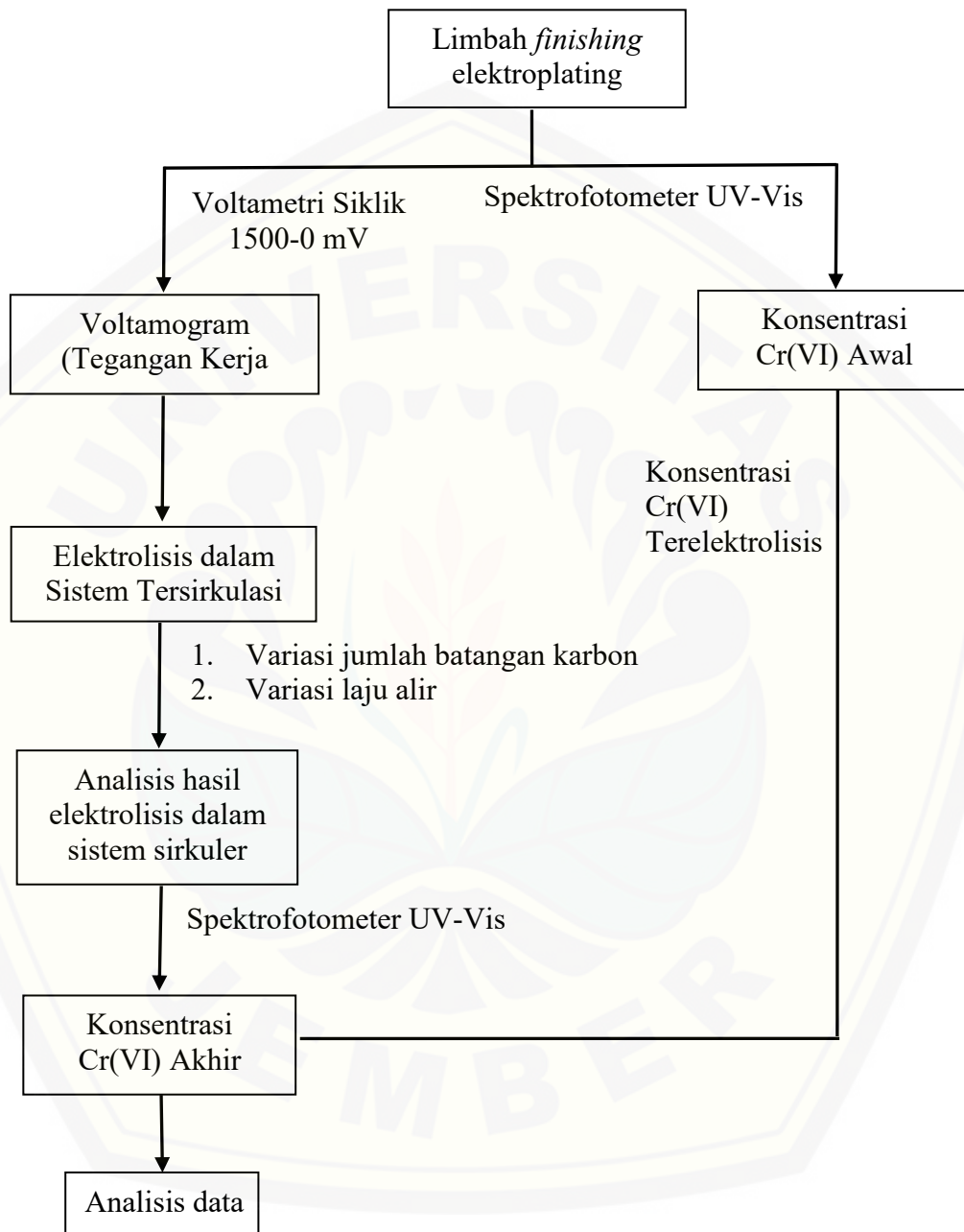
a. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas *beaker* 1000 mL, gelas *beaker* 50 mL, labu ukur 100 mL, labu ukur 50 mL, pipet mohr 10 mL, pipet volume 25 mL, pipet tetes, *micro pipet*, corong, *ball pipet*, kertas saring *Whatman* 42, botol semprot, neraca analitik (ES 2255M-DR), set alat Spektrofotometer (*Spectrophotometer Genesys* 10S UV-Vis), set alat elektrolisis dalam sistem tersirkulasi, elektroda karbon (C), potensiostat AMEL Model 433A dan spatula

b. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah hasil *Finishing*, akuades, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) (PA), bubuk 1,5-diphenylcarbaid (Bingo), H_2SO_4 (PA), HNO_3 (Merck) dan aseton (Merck).

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

Sampel air limbah *finishing* elektroplating mula-mula di ukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi awal logam Cr(VI). Sampel air limbah *finishing elektroplating* disaring dengan kertas saring kemudian dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer. Sebanyak 0,1 mL sampel yang telah disaring dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan 3 tetes larutan H₂SO₄ pekat dan 1 mL difenil karbazid 0,5%. Ditambahkan akuades sampai tanda batas dan digojog sampai tanda batas dan digojog hingga homogen. Dilakukan *scanning* panjang gelombang pada 530-560 nm (Mustanginah, 2011). Setelah diketahui absorbansi maksimumnya, dilakukan pengukuran sampel pada panjang gelombang dengan absorbansi maksimum. Setelah diperoleh konsentrasi logam Cr(VI) kemudian dibuat larutan standar yang memiliki konsentrasi mendekati larutan sampel. Larutan standar dan sampel kemudian dicari tegangan optimumnya dengan menggunakan metode voltametri siklik dengan potensial 1,5 V sampai 0 V.

Data voltamogram yang memiliki arus maksimum (tinggi) digunakan untuk proses elektrolisis dengan variasi jumlah karbon dan laju alir. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu HNO₃ 0,3 M (Marta, 2010). Larutan elektrolit ditambahkan bertujuan untuk mengontrol potensial untuk mengurangi efek migrasi elektron sehingga dapat mengontrol reduksi logam.

Proses elektrolisis menggunakan elektroda C/C. Pada proses elektrolisis dilakukan variasi jumlah karbon dan laju alir. Jumlah karbon dan laju alir divariasi untuk mengetahui pengaruh luas penampang elektroda dan kecepatan aliran terhadap logam yang berhasil di pisahkan. Setelah dilakukan proses elektrolisis menggunakan variasi jumlah karbon dan laju alir kemudian larutan hasil elektrolisis akan diukur kembali menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi sisa dari logam Cr(VI). Konsentrasi logam Cr(VI) dihitung dengan menggunakan kurva kalibrasi yang dibuat sebelumnya.

3.4.1 Preparasi Sampel

Air limbah *finishing* elektroplating yang dijadikan sampel diambil dari hasil proses akhir elektroplating di PT. NPR Manufacturing Indonesia sebanyak 1 liter kemudian disaring untuk menghilangkan pengotor.

a. Pembuatan Larutan induk 1500 ppm

Ditimbang sebanyak 0,42427 gam $K_2Cr_2O_7$ dan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL. Larutkan $K_2Cr_2O_7$ dengan akuades ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas kemudian dihomogenkan.

b. Pembuatan Larutan induk 100 ppm

Ditimbang sebanyak 0,02427 gam $K_2Cr_2O_7$ dan dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL. Larutkan $K_2Cr_2O_7$ dengan akuades ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan akuades hingga tanda batas kemudian dihomogenkan

c. Pembuatan Larutan Standar Logam Cr(VI) Untuk Kurva Kalibrasi

Sebanyak 0; 0,1; 0,2; 0,3;0,4 dan 0,5 mL larutan induk 100 ppm masing-masing ditambahkan 3 tetes H_2SO_4 pekat dan 1 mL difenilkarbazid 0,5% dan diencerkan pada labu ukur 50 mL sampai tanda batas sampai homogen, sehingga didapatkan larutan logam Cr(VI) dengan konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 ppm. Diukur absorbansinya pada λ maks dan dibuat grafik absorbansi vs konsentasi Cr(VI)

d. Pembuatan Larutan HNO_3 0,3 M

Sebanyak 2,3 mL HNO_3 65% dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades sedikit demi sedikit hingga mencapai tanda batas kemudian dihomogenkan.

e. Pembuatan 1,5-diphenylcarbazine 0,5 %

Sebanyak 0,25 gram 1,5-diphenylcarbazine dimasukkan ke dalam gelas beaker 50 mL, ditambahkan aseton sedikit demi sedikit hingga larut. Dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL, dilarutkan dengan aseton sampai tanda batas kemudian dihomogenkan.

f. Scanning panjang gelombang

Sebanyak 0,6 mL larutan induk Cr(VI) 100 ppm. Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL. Ditambahkan 3 tetes H_2SO_4 pekat dan dikomplekskan dengan 1 mL

1,5-diphenylcarbaid 0,5 %. Dikocok dan didiamkan selama 20 menit dan diukur panjang gelombangnya pada λ 530-560 nm.

3.4.2 Penentuan Tegangan Kerja

Sebanyak 10 mL larutan sampel dimasukkan ke dalam gelas *beaker* 50 mL. Larutan sampel ditambahkan larutan elektrolit HNO₃ sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 0,3 M. Elektroda Pembanding (*reference elektrode*) adalah Ag/AgCl, yang elektroda bantu (*counter elektrode*) adalah C dan elektroda kerja (*working elektrode*) adalah Pt. Potensial yang digunakan sebesar 1,5 V- 0 V.

3.4.3 Penentuan Jumlah Batangan Karbon Optimum yang digunakan sebagai elektroda

Sebanyak 10 mL larutan sampel dimasukkan ke dalam gelas *beaker* 50 mL. Larutan sampel ditambahkan larutan elektrolit HNO₃ sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 0,3 M. Larutan sampel dialirkan menuju elektroda yang divariasi jumlah karbon 3, 4 dan 9 batang. Larutan siap dielektrolisis dalam sistem tersirkulasi dengan tegangan kerja yang diperoleh pada prosedur 3.4.2

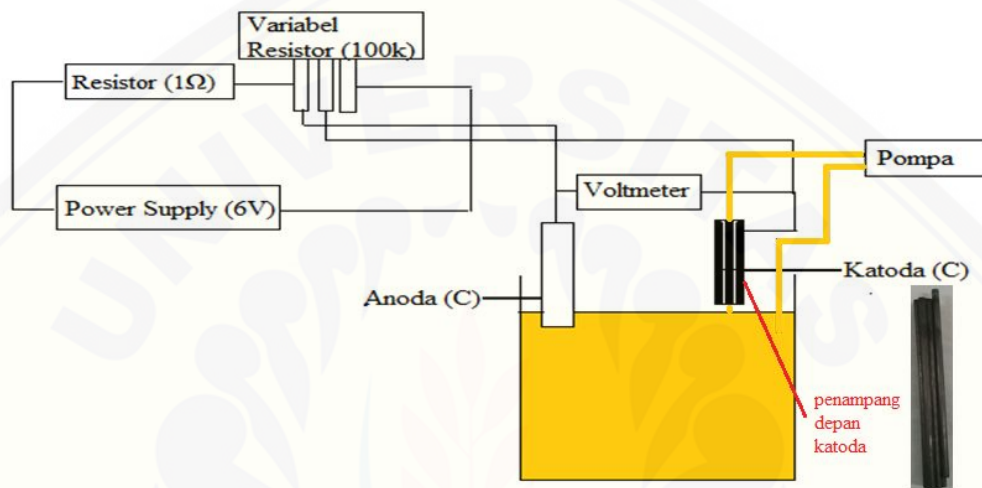
3.4.4 Penentuan Laju Alir Optimum

Sebanyak 10 mL larutan sampel dimasukkan ke dalam gelas *beaker* 50 mL. Larutan sampel ditambahkan larutan elektrolit HNO₃ sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 0,3 M. Larutan sampel dialirkan menuju elektroda yang divariasi pada prosedur 3.4.3 kemudian larutan ini dielektrolisis dalam sistem tersirkulasi dengan tegangan kerja yang diperoleh pada prosedur 3.4.2 dan di variasi laju alirnya selama 0,6; 0,8 dan 1 mL/detik.

3.4.5 Isolasi Logam Cr (VI) Pada Air Limbah Elektroplating Menggunakan Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

Sebanyak 10 mL larutan sampel dimasukkan ke dalam gelas *beaker* 50 mL. Larutan sampel ditambahkan larutan elektrolit HNO₃ sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 0,3 M, selanjutnya dilakukan proses elektrolisis. Sebelum sampel dielektrolisis, terlebih dahulu sampel dianalisis menggunakan Spektrofotometer

UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi awal logam Cr(VI) yang ada pada sampel. Hasil optimasi tegangan digunakan sebagai acuan pada proses elektrolisis. Laju alir sampel divariasi 0,6; 0,8 dan 1 mL/detik . Elektroda yang digunakan yaitu elektroda C/C yang divariasi jumlahnya. Setiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali pengulangan (triplo). Set alat elektrolisis dirangkai seperti gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.2 Instrumen Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

Sampel yang telah melewati proses elektrolisis kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui seberapa besar logam Cr(VI) yang berhasil dipisahkan dari sampel dengan menggunakan metode elektrolisis.

3.4.6 Perhitungan Nilai Efisiensi Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

a. Pengukuran Kurva Kalibrasi Larutan Standar dengan spektrofotometer UV-Vis

Sebanyak 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 mL larutan standar 100 ppm masing-masing ditambahkan 3 tetes H_2SO_4 pekat dan 1 mL 1,5-diphenylcarbazid dan diencerkan pada labu ukur 50 mL sampai tanda batas sampai homogen, sehingga didapatkan larutan logam Cr(VI) dengan konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 dan 1 ppm. Kurva kalibrasi yang didapatkan dari pengukuran standar larutan Cr(VI) kemudian digunakan sebagai acuan untuk menentukan konsentrasi Cr(VI) dalam sampel. Konsentrasi sampel dapat ditentukan dengan persamaan regresi

yang didapat dari pengukuran kurva kalibrasi larutan standar $K_2Cr_2O_7$. Persamaan yang didapat yaitu:

$$y = ax + b$$

Keterangan:

y = nilai absorbansi

a = slope

x = konsentrasi sampel

b = intersep

Kurva kalibrasi yang didapatkan dari pengukuran standar larutan Cr(VI) kemudian digunakan sebagai acuan untuk menentukan konsentrasi Cr(VI) dalam sampel.

b. Efisiensi Metode Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

Nilai efisiensi penurunan logam Cr(VI) dapat dihitung dari selisih konsentrasi logam Cr(VI) sebelum dan sesudah proses elektrolisis. Besarnya nilai efisiensi dapat dihitung dengan:

$$Efisiensi = \frac{Cr(VI)awal - Cr(VI)akhir}{Cr(VI)awal} \times 100\%$$

Dimana, Cr (VI) awal = konsentrasi Cr (VI) sampel sebelum dielektrolisis

Cr (VI) akhir = konsentrasi Cr (VI) sampel setelah dielektrolisis

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Variasi jumlah batangan karbon pensil sebagai elektroda sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Nilai konsentrasi Cr(VI) yang terelektrolisis terbesar pada jumlah karbon 9 yaitu 15,18 mg dengan nilai efisiensi 99,6%
2. Variasi laju alir sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Nilai konsentrasi Cr(VI) yang terelektrolisis terbesar pada 1mL/s yaitu 15,18 mg dan nilai efisiensi 99,6%

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian perlu dilakukan beberapa hal yang diperhatikan dan diperbaiki untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk metode elektrolisis dalam sistem tersirkulasi terhadap variasi waktu elektrolisis, variasi jumlah batangan karbon sebagai elektroda, variasi elektroda dan jenis elektroda karbon yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia Edisi Pertama*. Bandung: P.T. Citra Aditya Bakti.
- Achmad, H. 2001. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung: Citra Aditya Bakti.
- A.D, Vebrina. 2009. Pengaruh Luas Permukaan Elektroda Berupa Lempeng Stainless Steel Terhadap Volume Hasil Elektrolisis H₂O Dengan Katalisator KCl 10%. *Skripsi*. Lampung: Kimia.
- Arsyad, A. 2013. *Media Pembelajaran*. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada.
- Ashley Kevin, Alan M. Howe, Demangeand Martine and Nygren Olle. 2003. Sampling and analysis considerations for the determination of hexavalent chromium in workplace air. *Journal of Environmental Monitoring*. Issue 5.
- Brady, J. E., 1999. *General Chemistry Principles And Structure*. Jakarta: Binapura Aksara.
- Casaveno, 1980. *Industrial Wastewater & Water Engineering” Chemical Engineering Magazine*. New York: Mc Graw Hill Publication co.
- Cotton, Albert dan Wilkinson, Geoffrey. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Jakarta: UI-Press.
- Crow, D. R. 1994. *Principles and Applications of Electrochemistry, Fourth Edition*. UK: Blackie Academic & Professional.
- David Harvey. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. Singapore: McGraw-Hill.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 1998. *Analisa Kimia Kuantitatif terjemahan A. Hadyana Pudjatmika*. Jakarta: Erlangga.

- Dirjen POM. 1979. *Farmakope Indonesia, Edisi Ke-III*. Jakarta : Departemen Kesehatan RI
- Malkoc, E., Yaar, N., Murat, D. 2005. *Adsorption of chromium(VI) on pomace- An olive oil industry waste: Batch and Column studies*. Turkey: Erzurum.
- Fitriani, L. 2012. *Studi Reaksi Reduksi CO₂ dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- F. Gode, E. Pehlivan. 2005. Removal of Cr(VI) from aqueous solution by two Lewatit-anion exchange resins. *Journal of Hazardous Material*. Vol (119): 175-182.
- Francis, G. Thomas, dan Gorge Henze. 2001. *Introduction to Voltammetric Analysis*. Australia: National Library of Australia.
- Gandjar, Ibnu Gholib. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Gandjar, Ibnu Gholib dan Rohman, Abdul. 2012. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Hartomo, J. Anton. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Higuchi, T. 1961. *Pharmaceutical Analysis*. New York: Intersciens Publ.
- Khopkar, S.M, 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik, Universitas Indonesia*. Jakarta: UI-Press.
- Koby, M. 2004. Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: Kinetic and Equilibrium studies, *Bioresour.Technol*. Vol.91: 317-321.

Liadler, Keith. 1996. *Principles of Chemistry*. Kanada: The University of Ottawa

Mailani, Intan. 2016. Penentuan Aktivitas Antioksidan Fikobiliprotein dari *Oscillatoria* sp. Menggunakan Metode Voltametri Siklik. *Skripsi*. Lampung: Kimia.

Marzuki, Asnah. 2012. *Kimia Analisis Farmasi*. Makassar : Dua Satu Press.

M. Daryoko, Sutoto, Heriyanto, K., dan Suwardiyono. 2009. Optimasi Proses Reaksi Pembangkitan Ag_2^+ pada Sel Elektrolisis Berkapasitas Satu Liter. *Teknologi Nuklir* . Vol (5): 78 – 86.

Nuradi Rapinsho, Wiharyanto Oktiawan, Purwono. 2017. Penggunaan Elektrolisis Anaerob Dengan Variasi Jumlah Plat Elektroda dan Waktu Elektrolisis dalam Pengolahan Air Limbah IPAL Domestik Banyumanik UNTUK Penurunan Konsentrasi COD dan TSS. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 6(1). 1-6.

Petrucci, Ralph H. 1987. *Kimia Dasar: Prinsip dan Terapan Modern*. Jakarta: Erlangga.

Petrucci, Ralph H. 1999. *Kimia Dasar: Prinsip dan Terapan Modern*. Jakarta: Erlangga.

Puranto, P. 2010. Pengembangan Instrumen Pengkarakterisasi sensor Elektrokimia Menggunakan Metode Voltametri Siklik. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi* . Vol (28). 1-5.

Purwanto, Syamsul H. 2005. *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang : Universitas Diponegoro.

Putero, S. H., Kusananto, dan Yusriyani. 2008. Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Pengolahan Limbah Radioaktif yang Mengandung Sr-90 Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Teknologi dan Keselamatan*. Vol (2):106-111.

- Ridaningtyas, Y.W., Widodo, D.S., Hastuti, R. 2013. Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Secara Elektrolisis dengan Elektroda Karbon/Karbon. *Jurnal Kimia*. Vol 1(1):51 - 58.
- Riyanti, D., Haris, A., dan Gunawan. 2005. Pengendapan Logam Tembaga Dengan Metoda Elektrolisis Internal. *JKSA*. Vol (2): 1-5.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Schiavoon, M ,pilon-smits et al. 2008. Interactions between chromium and sulfur metabolism in Brassica juncea. *J. Environ. Qual.* 37: 1536-1545.
- Sopiah, S. 2008. *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO₄ sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan Modul Praktikum dan Pembelajaran Elektronik*. Bandung: ITB.
- Skoog DA, Holler FJ, dan Nieman TA. 1998. *Principles of Instrumental Analysis Edisi Ke-5*. Orlando: Hourcourt Brace.
- Subramanian, K. S. 1988. Determination of Chromium(III) and Chromium(VI) by Ammonium Pyrrolidinedithioate - Methyl Isobuthyl Ketone Furnace Atomic Absorption Spectrometry Analyt. *Chem.* Vol (60): 11 - 15.
- Suarsana, I Ketut . 2008. Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel pada Tembaga dalam Pelapisan Krom Dekoratif Terhadap Kecerahan dan Ketebalan Lapisan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 2(1): 48-60.
- Susanto, A., Rubino, G., Bunawi S. 2016. Pengaruh Variasi Luas Permukaan Plat Elektroda dan Konsentrasi Larutan Elektrolit KOH terhadap Debit Gas Hasil Elektrolisis Air. *Virtual of Mechanical Engineering Article*. Vol (1): 1-6.
- Sudjadi. 2008. *Analisis Kuantitatif Obat*. Yogyakarta: Gadjah mada university press.

Vogel, A.I. 1994. *Kimia Analisis Kualitatif Anorganik terjemahan Setiono, L., dkk edisi kelima*. Jakarta: Rineka Cipta.

Wiharti. 2013. Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina(Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon untuk Penurunan Kadar Cr dalam Limbah Cair Industri Peyamakan Kulit Di Desa Situmulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta: Kimia.

Wunas, Yeanny dan Susanti. 2011. *Analisa Kimia Farmasi Kuantitatif*. Makassar : Percetakan Andi.

Wyantuti, S., Hartati, Y.W., Panatarani,C., Tjokronegoro, R., 2015. Cyclic Voltammetric Study of Chromium(VI) and Chromium(III) on The Gold Nanoparticles-Modified Glassy Carbon Electrode. *Procedia Chemistry*. Vol. (17): 170 – 176.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 4.1 ANALISIS SAMPEL DENGAN VOLTAMETRI SIKLIK

4.1.1 Keterangan Penggunaan Potensiostat dalam Teknik Voltametri Siklik

433WIN7ASC

Funct.	CYV
Start Potential	1500 mV
End Potential	0 mV
Scan Rate	75 mV/s

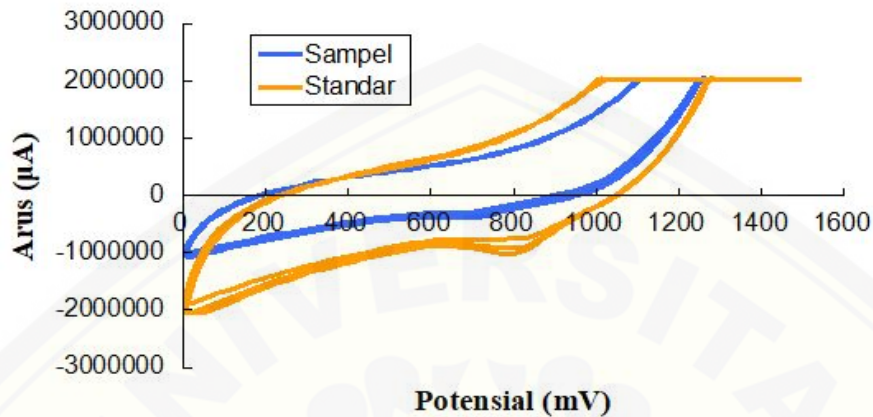
4.1.2 Hasil Scanning Larutan Standar Cr(VI) pada +1500 sampai dengan 0 mV

Ulangan (standar)	Voltase (mV)	Arus (μ A)
1	753.125	-766000
2	773.3125	-916000
3	773.4375	-1019000
Rata-rata	766.625	-900333.33

4.1.3 Hasil Scanning Larutan Sampel pada +1500 sampai dengan 0 mV

Ulangan (sampel)	Voltase (mV)	Arus (μ A)
1	672.5625	-297000
2	672.75	-348000
3	672.4375	-388000
Rata-rata	672.5833	-344333.33

4.1.4 Hasil Voltamogram Larutan Standar Cr(VI) dan Sampel Limbah Elektroplating



LAMPIRAN 4.2 PEMBUATAN LARUTAN STANDAR

4.2.1 Pembuatan Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$

Pembuatan larutan standar 1500 ppm

$Mr K_2Cr_2O_7 = 294,16 \text{ gram/mol}$

$Ar Cr = 51,996 \text{ gram/mol}$

$$\frac{1500mg}{L} = \frac{MrK_2Cr_2O_7}{2xArCr} \times \frac{1500mg}{L}$$

$$1500 \text{ ppm} = \frac{294,16 \text{ gram/mol}}{2x51,996 \text{ gram/mol}} \times \frac{1500mg}{L}$$

$$1500 \text{ ppm} = 2,828x \frac{1500mg}{L}$$

$$1500 \text{ ppm} = \frac{4242,7mg}{L} = \frac{4,2427 \text{ gram}}{L} = \frac{0,42427 \text{ gram}}{100mL}$$

4.2.2 Pembuatan Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$

Pembuatan larutan standar 100 ppm

$Mr K_2Cr_2O_7 = 294,16 \text{ gram/mol}$

$Ar Cr = 51,996 \text{ gram/mol}$

$$\frac{100\text{mg}}{L} = \frac{MrK_2Cr_2O_7}{2 \times ArCr} \times \frac{100\text{mg}}{L}$$

$$100\text{ppm} = \frac{294,16\text{gram/mol}}{2 \times 51,996\text{gram/mol}} \times \frac{100\text{mg}}{L}$$

$$100\text{ppm} = 2,828 \times \frac{100\text{mg}}{L}$$

$$100\text{ppm} = \frac{282,8\text{gram}}{100\text{mL}} = \frac{0,2828\text{gram}}{L} = \frac{0,02828\text{gram}}{100\text{mL}}$$

4.2.3 Pembuatan larutan standar konsentrasi 0 ppm; 0,2 ppm ; 0,4 ppm; 0,6 ppm; 0,8 ppm dan 1 ppm

a. Konsentrasi 0 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 0 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0 \text{ mL}$$

b. Konsentrasi 0,2 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 0,2 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0,1 \text{ mL}$$

c. Konsentrasi 0,4 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 0,4 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0,2 \text{ mL}$$

d. Konsentrasi 0,6 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 0,6 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0,3 \text{ mL}$$

e. Konsentrasi 0,8 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 0,8 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0,4 \text{ mL}$$

f. Konsentrasi 1 ppm

$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$M_1 \times 100 \text{ ppm} = 50 \text{ mL} \times 1 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 0,5 \text{ mL}$$

4.2.4 Pembuatan Larutan Elektrolit HNO₃ 0,3 M

$$M = \frac{\% \times 10 \times \rho}{BM}$$

$$M = \frac{65\% \times 10 \times 1,3 \text{ gram/mL}}{63 \text{ gram/mol}}$$

$$M = 0,130 \text{ mol/mL}$$

$$M = 13M$$

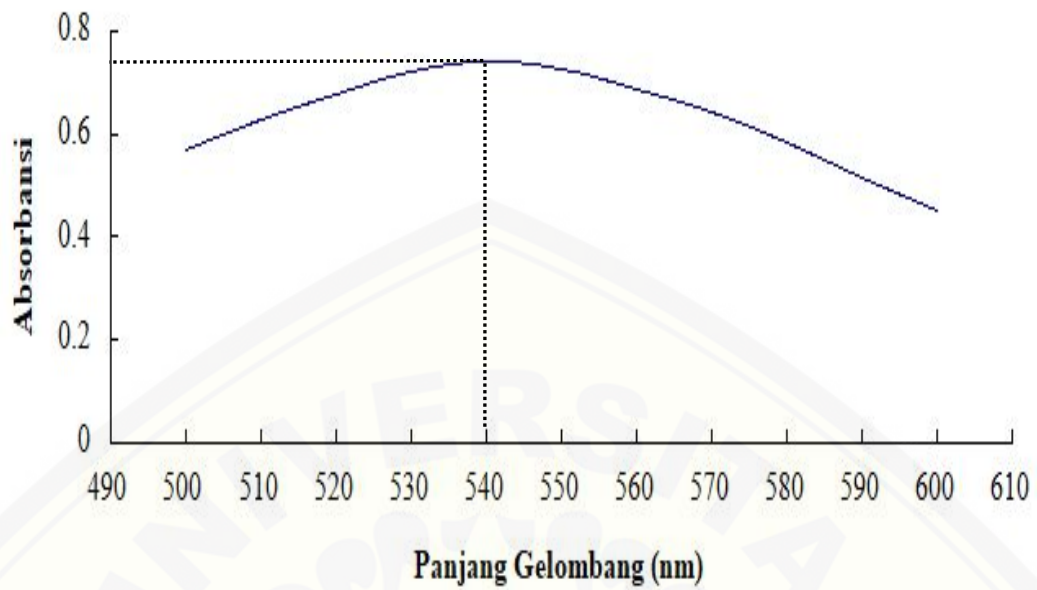
$$V_1M_1 = V_2M_2$$

$$V_1 \times 13 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 0,3 \text{ ppm}$$

$$M_1 = 2,3 \text{ mL}$$

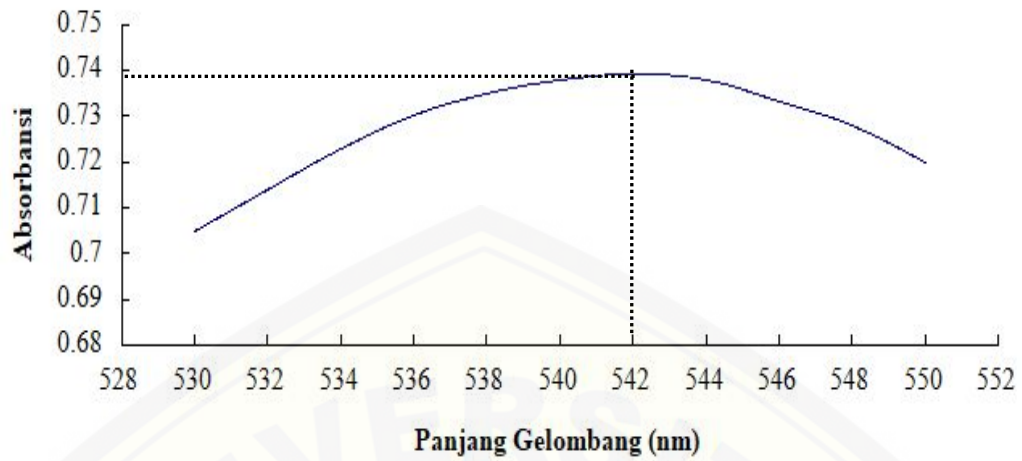
4.2.5 Scanning panjang gelombang interval 10 nm pada konsentrasi 0,6 ppm

λ	A ₁	A ₂	A ₃	Rata-rata
500	0.571	0.57	0.57	0.570
510	0.627	0.627	0.628	0.627
520	0.677	0.677	0.678	0.677
530	0.722	0.721	0.721	0.721
540	0.739	0.74	0.739	0.739
550	0.725	0.725	0.726	0.725
560	0.689	0.688	0.688	0.688
570	0.642	0.642	0.642	0.642
580	0.583	0.583	0.583	0.583
590	0.516	0.517	0.517	0.516
600	0.449	0.45	0.45	0.449



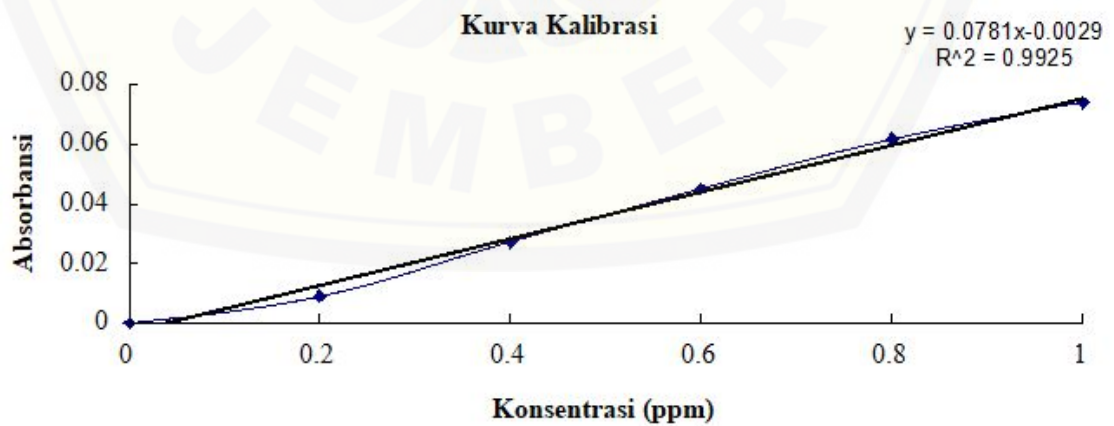
4.2.6 Scanning panjang gelombang interval 2 nm pada konsentrasi 0,6 ppm

λ	A ₁	A ₂	A ₃	rata-rata
530	0.706	0.705	0.704	0.705
532	0.713	0.715	0.715	0.714
534	0.723	0.723	0.723	0.723
536	0.73	0.73	0.729	0.730
538	0.735	0.735	0.736	0.735
540	0.739	0.738	0.737	0.738
542	0.739	0.739	0.739	0.739
544	0.74	0.738	0.738	0.739
546	0.733	0.734	0.733	0.733
548	0.728	0.728	0.728	0.728
550	0.72	0.72	0.72	0.72



4.2.7 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar $K_2Cr_2O_7$

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
0.2	0.009
0.4	0.027
0.6	0.045
0.8	0.062
1	0.074



LAMPIRAN 4.3 PERHITUNGAN KONSENTRASI Cr(VI) DAN NILAI EFISIENSI HASIL ELEKTROLISIS DALAM SISTEM ALIR

4.3.1 Perhitungan Konsentrasi Larutan Sampel Limbah Elektroplating Sampel:

$$y = 0.0781x - 0.0029$$

$$0.009 = 0.0781x - 0.0029$$

$$x = 0.1524 \text{ ppm}$$

Pengenceran bertingkat

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$M_1 \times 2,5 \text{ mL} = 0,1524 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$M_1 = 3,048 \text{ ppm}$$

$$MV_1 = MV_2$$

$$M \times 0,1 \text{ mL} = 3,048 \text{ ppm} \times 50 \text{ mL}$$

$$M = 1524 \text{ ppm}$$

Konsentrasi sampel limbah elektroplating 1524 ppm

$$MV_1 = MV_2$$

$$1524 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL} = M \times 15 \text{ mL}$$

$$M = 1016 \text{ ppm}$$

Konsentrasi sampel limbah elektroplating yang siap dielektrolisis dalam sistem tersirkulasi 1016 ppm

4.3.2 Konsentrasi Cr(VI) Hasil Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

Σ C	Kecepatan 0,6 mL/s	Kecepatan 0,8 mL/s	Kecepatan 1 mL/s
3	x = 19.18 ppm	x = 17.39 ppm	x = 18.21 ppm
	x = 17.4 ppm	x = 5.09 ppm	x = 4.429 ppm
	x = 18.04 ppm	x = 17.76 ppm	x = 16.9 ppm
4	x = 16.85 ppm	x = 17.71 ppm	x = 0.89 ppm
	x = 14.24 ppm	x = 7.8 ppm	x = 9.55 ppm
	x = 18.38 ppm	x = 17.99 ppm	x = 9.11 ppm
9	x = 16.41 ppm	x = 16.81 ppm	x = 6.46 ppm
	x = 15.98 ppm	x = 4.44 ppm	x = 5.261 ppm
	x = 16.46 ppm	x = 18.6 ppm	x = 1.96 ppm

Tabel Massa Logam Cr(VI) Hasil Elektrolisis dalam Sistem Terelektrolisis

Σ Karbon	Kecepatan	Massa awal Cr(VI) (mg)	Massa sisa Cr(VI) (mg)	Massa Cr(VI) rerata sisa elektrolisis (mg)	Massa Cr(VI)	Massa Cr(VI)
					terelektrolisis (mg)	terelektrolisis (mg)
3	0.6 mL/s	15.24	0.29	0.27	14.95	14.97
		15.24	0.26		14.98	
		15.24	0.27		14.97	
	0.8 mL/s	15.24	0.27	0.22	14.98	15.02
		15.24	0.12		15.12	
		15.24	0.27		14.97	
	1 mL/s	15.24	0.27	0.20	14.97	15.04
		15.24	0.07		15.17	
		15.24	0.25		14.99	
4	0.6 mL/s	15.24	0.25	0.25	14.99	14.99
		15.24	0.21		15.03	
		15.24	0.28		14.97	
	0.8 mL/s	15.24	0.26	0.20	14.98	15.04

		15.24	0.08		15.16	
		15.24	0.27		14.97	
	1 mL/s	15.24	0.01	0.10	15.23	15.14
		15.24	0.14		15.10	
		15.24	0.14		15.10	
9	0.6 mL/s	15.24	0.19	0.16	15.05	15.08
		15.24	0.15		15.09	
		15.24	0.13		15.11	
	0.8 mL/s	15.24	0.15	0.12	15.09	15.12
		15.24	0.07		15.17	
		15.24	0.15		15.09	
	1 mL/s	15.24	0.07	0.06	15.17	15.18
		15.24	0.05		15.19	
		15.24	0.06		15.18	

4.3.3 Perhitungan Nilai Efisiensi Elektrolisis dalam Sistem Alir

$$Efisiensi = \frac{Cr(VI)_{awal} - Cr(VI)_{akhir}}{Cr(VI)_{awal}} \times 100\%$$

Nilai efisiensi jumlah batangan karbon 3 kecepatan 0,6 mL/s

$$= \frac{15.24mg - 0.29mg}{15.24mg} \times 100\% \\ = 98.1\%$$

$$= \frac{15.24mg - 0.26mg}{15.24mg} \times 100\% \\ = 98.3\%$$

$$= \frac{15.24mg - 0.27mg}{15.24mg} \times 100\% \\ = 98.2\%$$

Nilai efisiensi jumlah batangan karbon 3 kecepatan 0,8 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.27\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.12\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.27\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.2\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi jumlah batangan karbon 3 kecepatan 1 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.27\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.07\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.25\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 4 kecepatan 0,6 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.25\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.21\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.28\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.2\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 4 kecepatan 0,8 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.26\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.08\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.27\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.3\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 4 kecepatan 1 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.01\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.14\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.14\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.1\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 9 kecepatan 0,6 mL/s

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.19\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 98.7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.15\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{15.24\text{mg} - 0.13\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\% \\ &= 99.1\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 9 kecepatan 0,8 mL/s

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.15\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

$$= 99\%$$

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.15\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

$$= 99\%$$

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.07\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

$$= 99.5\%$$

Nilai efisiensi Jumlah batangan karbon 9 kecepatan 1 mL/s

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.07\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

$$= 99.5\%$$

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.05\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

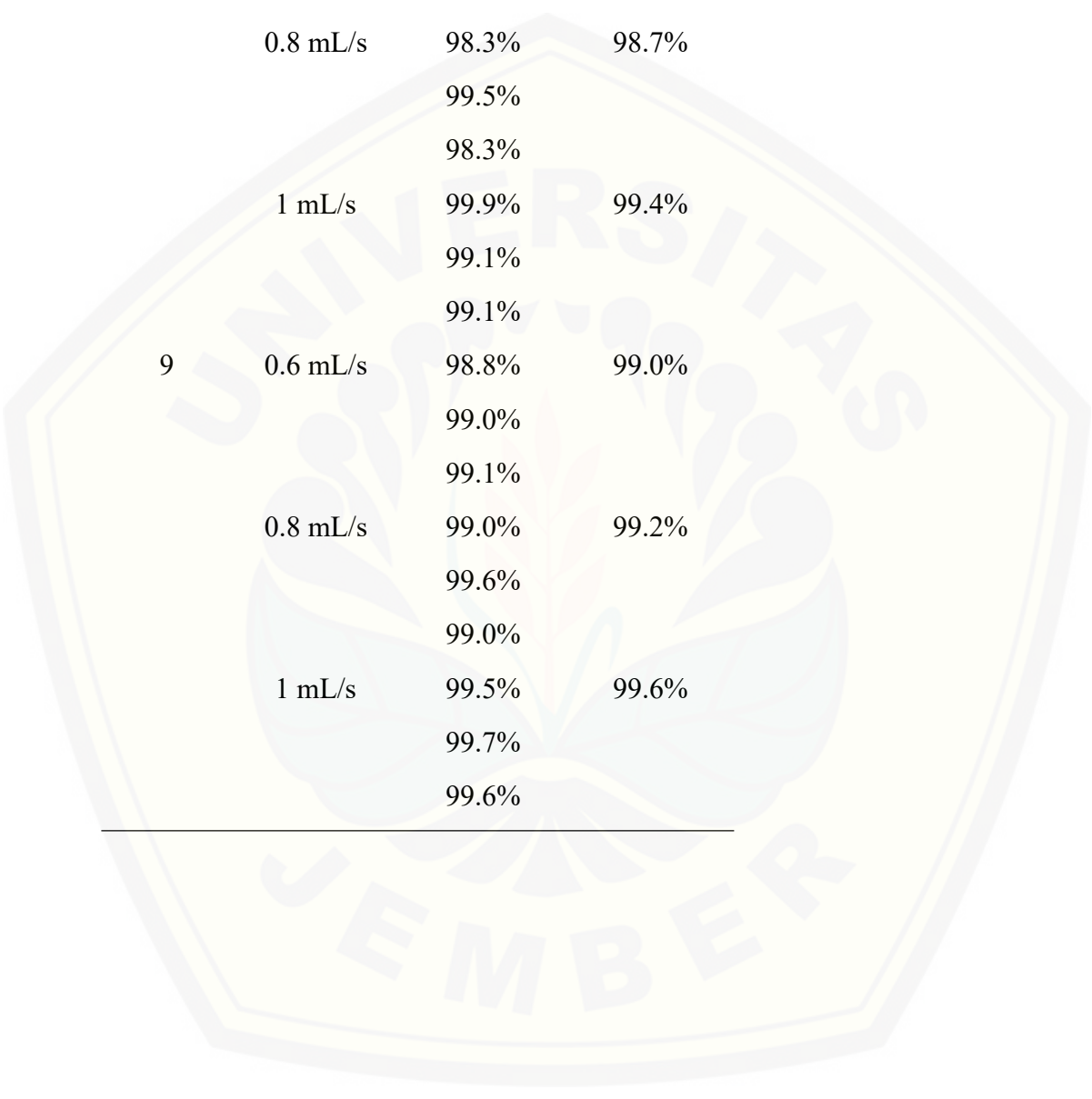
$$= 99.7\%$$

$$= \frac{15.24\text{mg} - 0.06\text{mg}}{15.24\text{mg}} \times 100\%$$

$$= 99.7\%$$

Tabel Nilai Efisiensi dalam Sistem Tersirkulasi

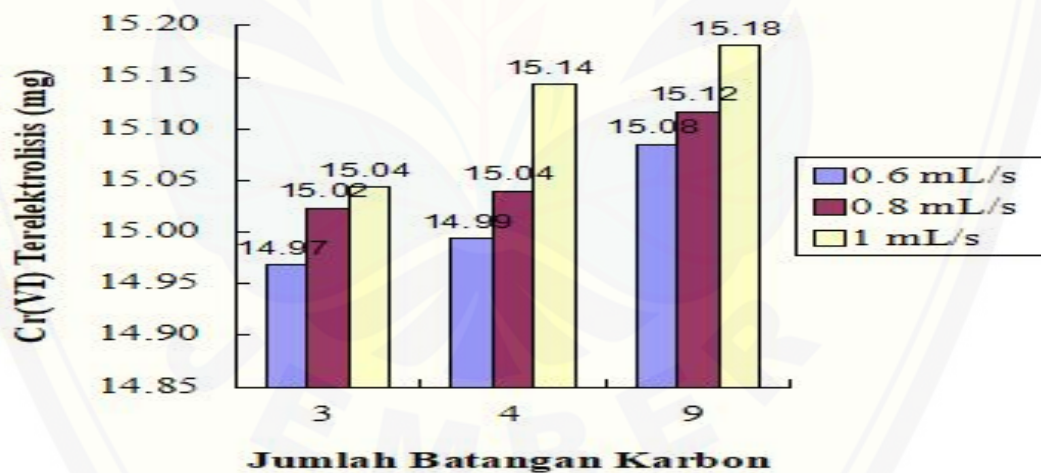
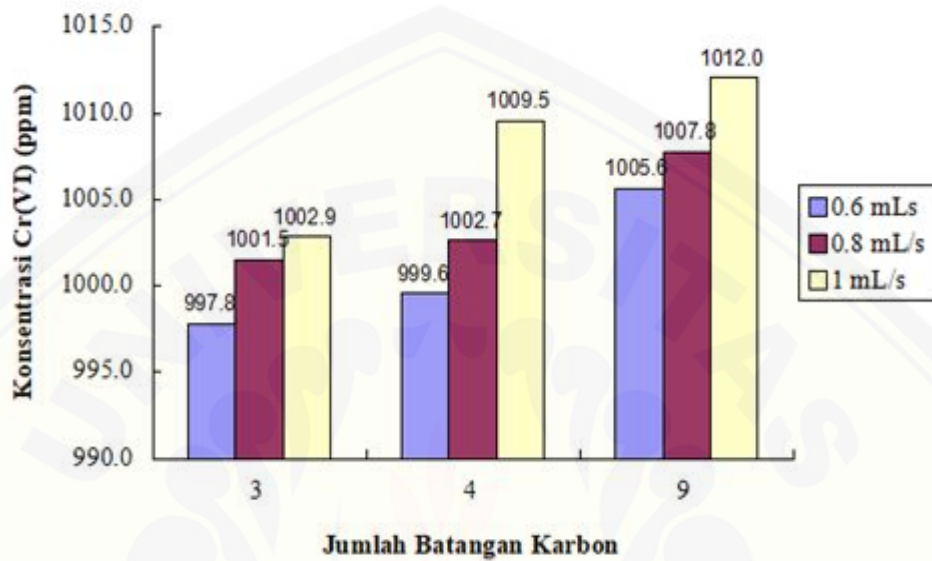
Σ Karbon	Kecepatan	efisiensi	rerata efisiensi
3	0.6 mL/s	98.1%	98.2%
		98.3%	
		98.2%	
	0.8 mL/s	98.3%	98.6%
		99.2%	
		98.2%	
1 mL/s	98.2%	98.7%	
	99.6%		

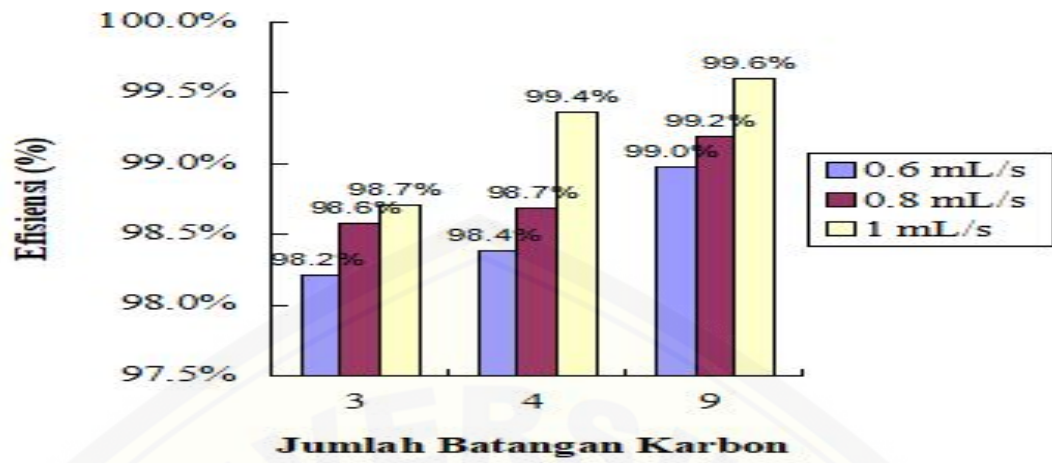


		98.3%	
4	0.6 mL/s	98.3%	98.4%
		98.6%	
		98.2%	
	0.8 mL/s	98.3%	98.7%
		99.5%	
		98.3%	
	1 mL/s	99.9%	99.4%
		99.1%	
		99.1%	
9	0.6 mL/s	98.8%	99.0%
		99.0%	
		99.1%	
	0.8 mL/s	99.0%	99.2%
		99.6%	
		99.0%	
	1 mL/s	99.5%	99.6%
		99.7%	
		99.6%	

4.3.4 Grafik Konsentrasi Cr(VI) dan Nilai Efisiensi Hasil Elektrolisis dalam Sistem Tersirkulasi

a. Variasi Jumlah Karbon





b. Variasi Laju Alir

