



**PEMISAHAN LOGAM KADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH
(*Anadara granosa*) SECARA ELEKTROLISIS**

SKRIPSI

Oleh

**Zuni Dihliziah
NIM 121810301023**

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



**PEMISAHAN LOGAM KADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH
(*Anadara granosa*) SECARA ELEKTROLISIS**

SKRIPSI

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

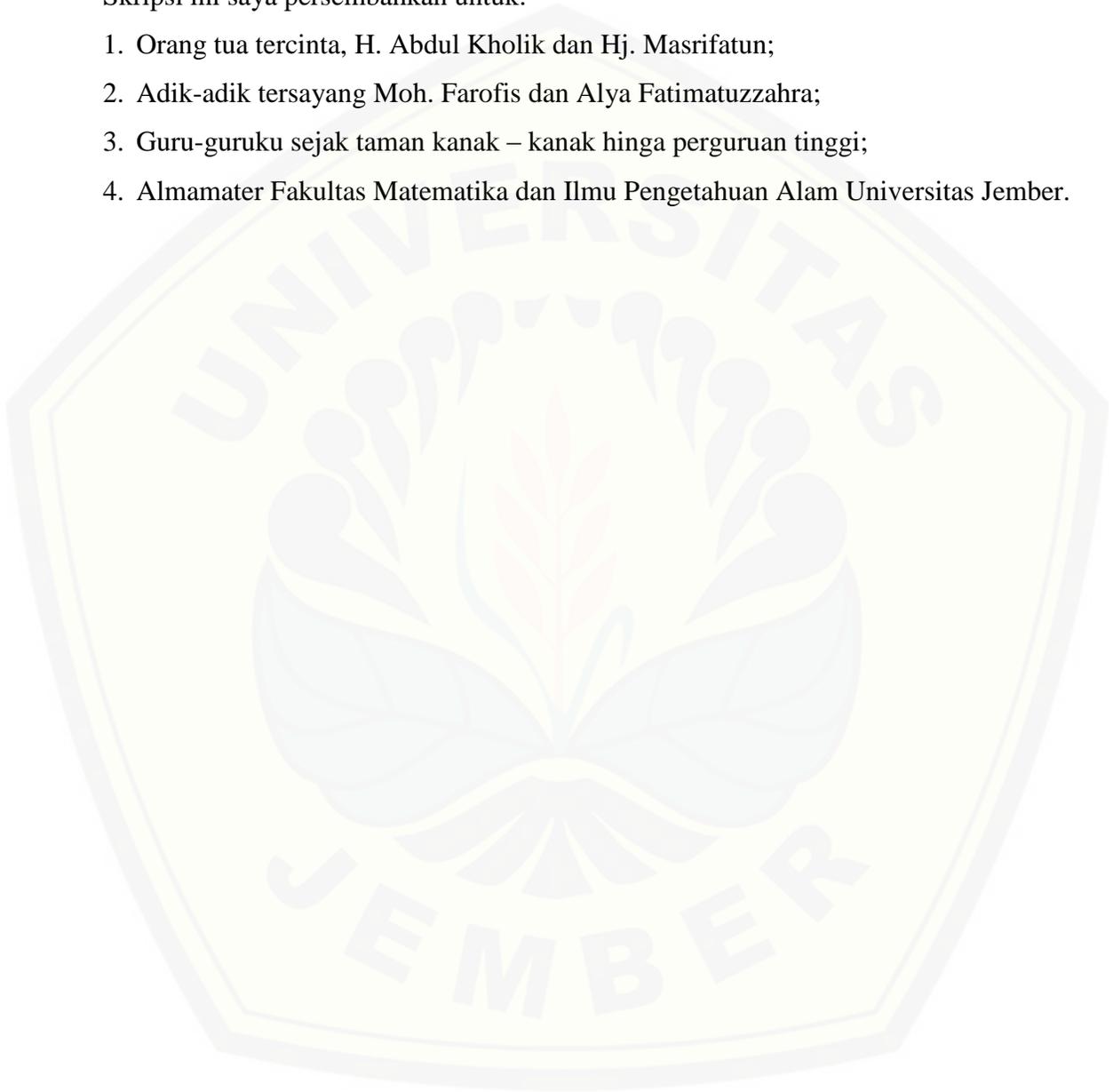
Oleh
Zuni Dhliziah
NIM 121810301023

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

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua tercinta, H. Abdul Kholik dan Hj. Masrifatun;
2. Adik-adik tersayang Moh. Farofis dan Alya Fatimatuzzahra;
3. Guru-guruku sejak taman kanak – kanak hingga perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



MOTO

Maka nikmat Tuhan manalagi yang kau dustakan.

(Terjemahan *Al-Rahman* ayat13)^{*)}

Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah mudahkan baginya
jalan menuju surga (HR Muslim)^{**)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *AlQur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

^{**)} Syaikh Abdurrahman. 2016. *99 Hadis Pedoman Hidup Muslim*. Jakarta: Fatiha.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

nama : Zuni Dihliziah

NIM : 121810301023

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pemisahan Logam kadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Secara Elektrolisis” 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 sikap 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, Juni 2017

Yang menyatakan,

Zuni Dihliziah

NIM 121810301023

SKRIPSI

**PEMISAHAN LOGAM KADMIUM (Cd) PADA KERANG DARAH
(*Anadara granosa*) SECARA ELEKTROLISIS**

Oleh
Zuni Dihliziah
NIM 121810301023

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemisahan Logam Kadmium (Cd) Pada Kerang darah (*Anadara granosa*) Secara Elektrolisis” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji;

Ketua

Anggota I

Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.

Tri Mulyono, S.Si., M.Si

NIP.196605291993031003

NIP.196810021998021001

Anggota II

Anggota III

Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si

Novita Andarini, S.Si., M.Si

NIP.198008302006042002

NIP.197211122000032001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Pemisahan Logam Kadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Secara Elektrolisis; Zuni Dihliziah, 121810301023; 2017: 40 halaman; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Logam kadmium (Cd) merupakan logam berat yang tidak dapat terdegradasi dalam lingkungan dan dapat terakumulasi dalam jaringan makhluk hidup salah satunya dalam kerang – kerangan yang mempunyai sifat *filter feeder* dimana kerang ini dapat mengakumulasi pencemaran logam kadmium di lingkungan.

Berbagai upaya telah dikembangkan untuk menurunkan kadar logam berat pada lingkungan. Metode yang paling sering digunakan adalah elektrolisis. Elektrolisis didefinisikan sebagai suatu peristiwa dimana larutan akan terurai menjadi ion positif atau kation dan ion negatif atau anion ketika arus listrik searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda. Pada penelitian ini dilakukan pemisahan logam kadmium menggunakan metode elektrolisis dengan terlebih dahulu dilakukan optimasi terhadap tegangan dan konsentrasi elektrolit NaNO_3 dengan metode voltametri siklik.

Garis besar penelitian ini ada 4, yaitu penentuan konsentrasi elektrolit yang optimal dengan menggunakan metode voltametri siklik, penentuan tegangan optimum dengan menggunakan metode voltametri siklik, proses elektrolisis logam kadmium dengan menggunakan variasi waktu dan jumlah katoda karbon yang digunakan, serta menghitung efisiensi metode elektrolisis yang terlebih dahulu dilakukan optimasi dengan menggunakan metode voltametri siklik.

Penambahan larutan elektrolit bertujuan untuk menekan arus migrasi sehingga arus difusi dapat berjalan secara optimal. Hasil yang didapatkan yaitu berupa voltammogram antara potensial dengan arus, dimana nilai arus yang dihasilkan memiliki nilai yang sebanding dengan banyaknya analit yang berhasil tereduksi. Tegangan dan konsentrasi elektrolit yang optimum didapatkan dari nilai arus yang paling besar. Hasil tegangan optimum yaitu $-0,44$ V dan penambahan konsentrasi

NaNO_3 yang optimum adalah 0,3 M. Hasil ini selanjutnya diaplikasikan untuk elektrolisis ion logam kadmium dengan variasi waktu dan jumlah katoda yang digunakan. Nilai efisiensi elektrolisis logam kadmium yang paling besar ditunjukkan pada menit ke 8 yaitu 45,9% dengan menggunakan 1 elektroda dan 56,4% dengan menggunakan 2 elektroda.



PRAKATA

Puji syukur atas segala rahmat dan karunia yang dilimpahkan Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemisahan Logam Kadmium (Cd) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) Secara Elektrolisis”. 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 karena itu, 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. Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D, 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. Yeni Maulidah Muflihah, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji Utama dan Novita Andarini, S.Si., M.Si, selaku Dosen Penguji anggota yang telah meluangkan waktunya guna menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc., 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;
7. keluarga tercinta yang setia mendukung baik moril dan materiil, mendoakan, mendidik, dan memberi kasih sayang dan pengorbanan yang tidak terhingga selama ini;

8. teman-teman Kimia angkatan 2012 (Lanthanida), terima kasih telah menjadi keluarga yang selalu mendukung, memberi semangat, bantuan, saran, perhatian, dan kenangan yang luar biasa;
9. sahabat seperjuangan, Ardine Kumalasari, Kiky Nur W, Nora Dwi S, Shela Ariska, Lailatul Nurfadila, Indah Purwanti, Ferlia Suci, Maulidfia R terima kasih atas doa, dukungan, semangat dan perhatian yang diberikan selama ini;
10. sahabat yang selalu mendukung, Novi, Lubabah, Fifi, Farin, Ayu terimakasih untuk dukungan selama ini;
11. sahabat yang selalu mnemani, M. Afif Amrulloh;
12. kawan – kawan kost Kalimantan X no 137, Ika, Fika, Mbus, Nia, Lia, terimakasih sudah menemani dan bisa menjadi keluarga kedua selama di Jember
13. kawan seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi di laboratorium kimia analitik terima kasih atas saran, kerjasama dan bantuannya;
14. teknisi laboratorium kimia analitik mas Yusril. teknisi laboratorium kimia fisik mbak Sari, dan teksnisi laboratorium kimia tanah PUSLIT Kakao Mas Sofwan terimakasih sudah turut membantu dalam kelancaran penelitian;
15. semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, Juni 2017

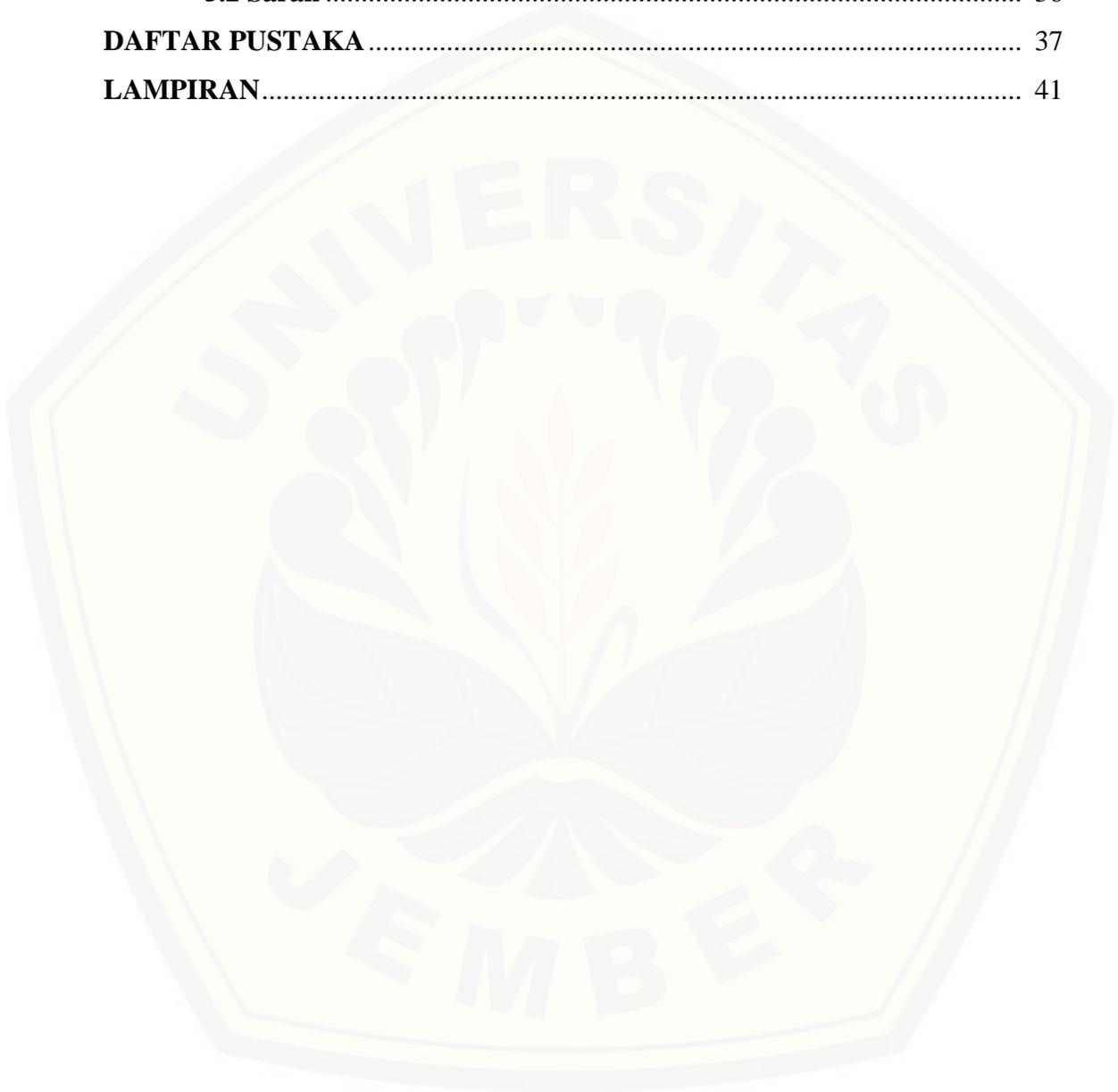
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	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	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>)	5
2.1.1 Taksonomi Kerang Darah	5
2.1.2 Morfologi Kerang Darah	6
2.2 Logam Kadmium	6
2.2.1 Karakteristik Logam Kadmium	6
2.2.2 Toksisitas Logam Kadmium	7
2.3 Voltammetri	7

2.3.1 Sel Voltammetri	8
2.3.2 Voltammetri Siklik	9
2.4 Elektrolisis	10
2.4.1 Sel Elektrolisis	11
2.4.2 Reaksi Oksidasi Reduksi	11
2.4.3 Elektrolit	12
2.4.4 Elektroda	12
2.4.5 Luas Permukaan Elektroda	12
2.5 Spektrofotometri Serapan Atom	13
2.5.1 Prinsip Dasar SSA	13
2.5.2 Hukum Dasar SSA	13
2.5.3 Instrumentasi SSA	14
BAB 3. METODE PENELITIAN	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Metode Penelitian	16
3.2.1 Alat dan Bahan	16
3.3 Diagram Alir Penelitian	17
3.3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.3.2 Ringkasan Diagram Alir Penelitian	18
3.4 Prosedur Penelitian	19
3.4.1 Preparasi Sampel	19
3.4.2 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimal	20
3.4.3 Penentuan Tegangan Optimum	20
3.4.4 Penentuan Efisiensi Metode Elektrolisis	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Optimasi Tegangan dan Konsentrasi Elektrolit	23
4.2 Pemeriksaan Tegangan Optimum Larutan Sampel	28
4.3 Pemisahan Logam Kadmium	30
4.4 Efisiensi Aplikasi Metode Elektrolisis	35

BAB 5. PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN.....	41



DAFTAR TABEL

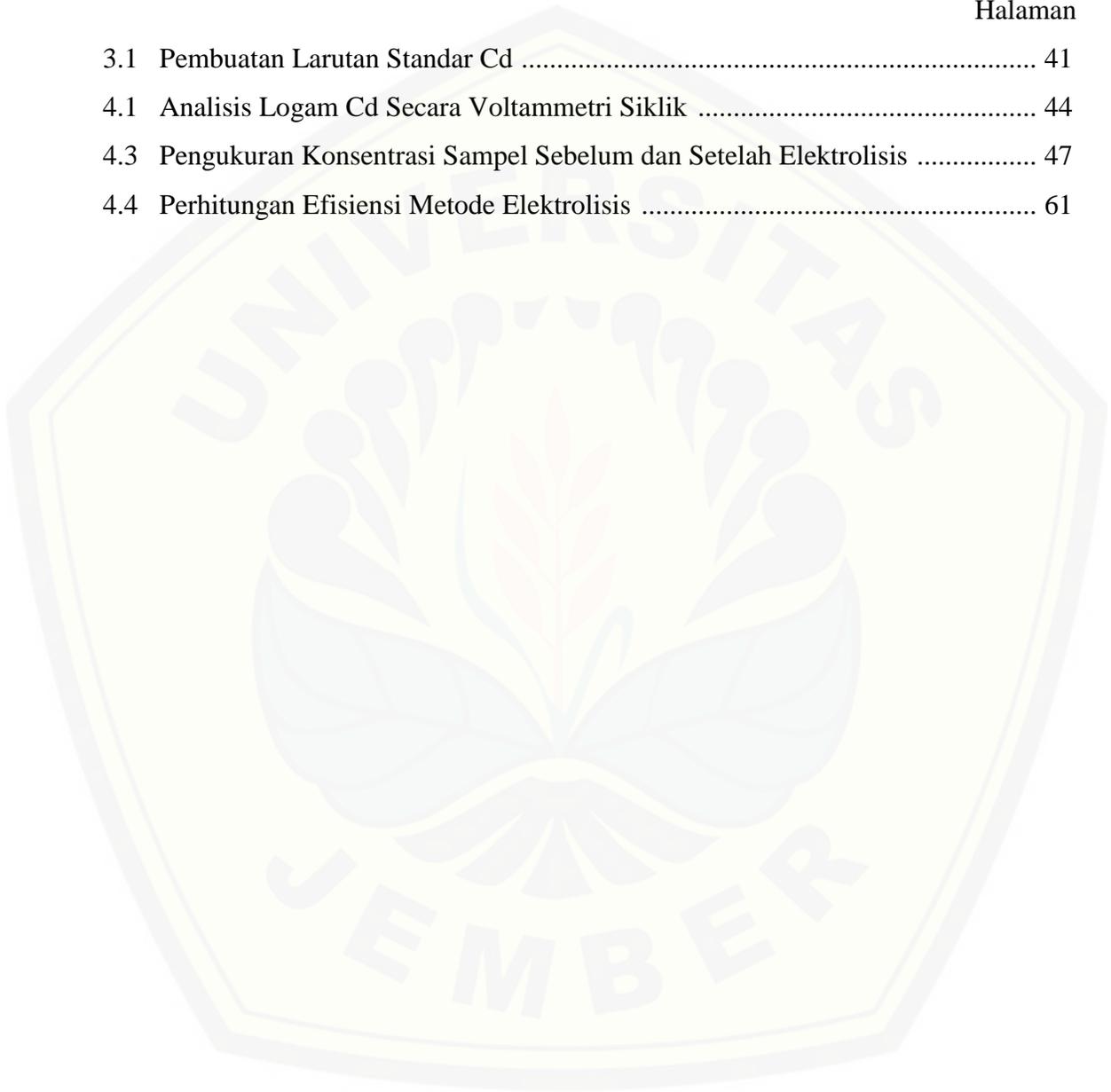
	Halaman
2.1 Kandungan gizi kerang darah	5
2.2 Karakteristik logam kadmium (Cd)	7
2.3 Potensial standar unsur pada suhu 25°C	12
3.1 Pengukuran konsentrasi Cd sebelum dan setelah elektrolisis	21
3.2 Pembuatan kurva kalibrasi larutan standar	22
4.1 Hasil pengukuran konsentrasi elektrolit optimal logam kadmium	25
4.2 Hasil pengukuran tegangan optimum pada larutan sampel.....	27
4.3 Hasil pengukuran tegangan optimum padalarutan sampel dan standar	28
4.4 Hasil pengukuran tegangan optimum pada larutan standar	29
4.5 Massa logam kadmium yang berhasil dipisahkan dengan 1 elektroda	32
4.6 Massa logam kadmium yang berhasil dipisahkan dengan 2 elektroda	32

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kerang darah	6
2.2 Morfologi kerang darah	6
2.3 Tipe sel elektrokimia untuk voltammetri	8
2.4 Elektroda voltammetry	9
2.5 Voltammetri siklik arus sebagai fungsi potensial	10
2.6 Rangkaian sel elektrolisis	11
2.7 Skema spektrofotometer serapan atom	15
3.1 Set alat elektrolisis	21
4.1 Sampel sebelum dan setelah destruksi	23
4.2 Set alat voltammetri	24
4.3 Voltammogram penentuan konsentrasi elektrolit optimal	25
4.4 Voltammogram logam kadmium pada larutan sampel	26
4.5 Voltammogram logam kadmium pada larutan sampel dan standar	28
4.6 Voltammogram larutan standar dengan variasi konsentrasi	29
4.7 Set alat elektrolisis	30
4.8 Kurva kalibrasi kadmium	31
4.9 Massa logam kadmium yang terendapkan	32
4.10 Grafik perubahan konsentrasi kadmium terhadap waktu	33
4.11 Nilai efisiensi metode elektrolisis	35

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Pembuatan Larutan Standar Cd	41
4.1 Analisis Logam Cd Secara Voltammetri Siklik	44
4.3 Pengukuran Konsentrasi Sampel Sebelum dan Setelah Elektrolisis	47
4.4 Perhitungan Efisiensi Metode Elektrolisis	61



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam kadmium (Cd) merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Kadmium merupakan logam berat yang tidak dapat terdegradasi dalam lingkungan dan dapat terakumulasi dalam jaringan makhluk hidup. Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan salah satu jenis kerang yang mempunyai sifat *filter feeder* dimana kerang ini dapat mengakumulasi pencemaran logam kadmium di lingkungan (Muhajir, 2009).

Kemampuan kerang – kerangan dalam mengakumulasi logam kadmium (Cd) mencapai 352 kali lebih tinggi daripada kadar kadmium (Cd) yang terdapat dalam air (Muhajir,2009). Kerang merupakan salah satu hewan yang dapat dijadikan sebagai indikator yang baik dalam monitoring suatu lingkungan yang diakibatkan oleh suatu logam berat tertentu. Hal ini dikarenakan sifat dan habitatnya yang menetap dan lambat dalam pergerakannya (Darmono,2001)

Sampel kerang darah dalam penelitian ini akan diambil dari pantai Muncar. Kawasan Muncar saat ini merupakan sentral penghasil ikan terbesar di Jawa timur dan terkenal sebagai kawasan industri pengolahan ikan yang meliputi pengalengan, pembekuan, pemindangan, pengasinan, penepungan, dan minyak ikan. Banyak industri pengolahan ikan di Muncar membuang limbah ke sungai Tratas dan sungai Kalimati yang langsung bermuara ke laut. Pembuangan limbah secara langsung tanpa pengolahan ini akan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan perairan (Dirjen Pengawasan dan Pengendalian Kelautan dan Perikanan, 2006).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Pikir (1993) dengan menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada sampel kerang di pantai Kenjeran Surabaya menunjukkan bahwa kerang yang berasal dari pantai Kenjeran mengandung logam berat kadmium sebesar 1.22 ppm. Hasil ini telah melampaui ambang batas yang dianjurkan oleh *World Health Organization* (WHO) yaitu sebesar 0.1 ppm. Pantai kenjeran sendiri merupakan muara dari 7 sungai besar

diantaranya adalah sungai Wonokromo dan Wonorejo. Sungai tersebut membawa limbah padat dan cair yang berasal dari industri maupun rumah tangga yang pada akhirnya akan menumpuk dan mencemari perairan di pantai timur Surabaya salah satunya adalah pantai Kenjeran (Arisandi, 2001).

Berbagai upaya telah dikembangkan untuk menurunkan kadar logam berat seperti absorpsi, flotasi, filtrasi, dan elektrolisis. Metode yang paling sering digunakan adalah elektrolisis. Elektrolisis didefinisikan sebagai suatu peristiwa dimana larutan akan terurai menjadi ion positif atau kation dan ion negatif atau anion ketika arus listrik searah dialirkan ke dalam larutan elektrolit melalui elektroda. Ion – ion yang telah terurai ini selanjutnya akan mengalami oksidasi dan reduksi dimana kation akan mengalami reduksi menuju ke katoda sedangkan anion akan mengalami oksidasi dan akan berjalan menuju ke anoda (McGrath *et al.*, 2000).

Penggunaan metode elektrolisis ini lebih diminati daripada metode lain dikarenakan dapat mereduksi kadar ion – ion logam berat dengan lebih ekonomis, beresiko rendah, mudah dalam penggunaannya dan efisiensi penurunan logam yang cukup tinggi karena alat ini tidak dipengaruhi oleh suhu dan daya listrik yang dibutuhkan cukup kecil (Arung *et al.*, 2015). Proses elektrolisis tidak menggunakan bahan kimia tambahan, sehingga tidak dilakukan penetralan terhadap pemakaian bahan kimia yang berlebih, selama proses elektrolisis ini berlangsung, kemungkinan terbentuk polutan baru juga sangat kecil (Avsar, 2007).

Faktor – faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis diantaranya kerapatan arus listrik, waktu, tegangan, kadar keasaman (pH), ketebalan plat, jarak antar elektroda, dan konsentrasi larutan elektrolit (Putero *et al.*, 2008). Konsentrasi larutan elektrolit optimum merupakan konsentrasi larutan elektrolit yang mampu memberikan selisih arus *background* dengan arus reduksi atau oksidasi dari analit yang terbesar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Andriani (2007), penentuan konsentrasi optimum ini bertujuan mendukung jalannya reaksi redoks dalam sel elektrokimia. Parameter yang lain yaitu tegangan. Pemberian tegangan dari luar akan meningkatkan arus yang mengalir

pada larutan. Peningkatan arus ini dapat menyebabkan peningkatan reaksi pembentukan logam pada katoda. Semakin tinggi tegangan maka penurunan konsentrasi logam berat pada sampel juga akan semakin baik (Arung *et al.*, 2015).

Berdasarkan uraian diatas, maka diperlukan optimasi terhadap konsentrasi larutan elektrolit dan tegangan untuk keberhasilan proses analisis yang akan dilakukan. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam optimasi ini yaitu metode voltametri. Jenis voltametri yang dapat digunakan untuk penentuan adalah voltametri siklik. Metode ini dipilih karena selama proses pengukuran konsentrasi analit tidak mengalami perubahan (Mulyani *et al.*, 2012).

Penelitian tentang optimasi metode elektrolisis ini diharapkan dapat diaplikasikan dalam pemisahan logam kadmium pada sampel kerang darah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadikan parameter pencemaran lingkungan oleh logam kadmium, bisa menjadi metode isolasi kadmium yang sederhana dengan efisiensi penurunan kadar kadmium yang besar, serta memberikan informasi kepada masyarakat tentang kandungan kadmium pada kerang darah yang dikonsumsi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Berapa tegangan optimum pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*) untuk elektrolisis logam kadmium dengan metode voltametri siklik?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi elektrolit dalam penentuan kondisi optimum pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*) untuk elektrolisis logam kadmium dengan metode voltametri siklik?
3. Bagaimana pengaruh waktu elektrolisis terhadap jumlah logam kadmium yang berhasil dipisahkan pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*)?
4. Berapa efisiensi metode elektrolisis menggunakan teknik voltametri siklik untuk pemisahan kadar logam kadmium pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. pengambilan sampel kerang tidak bergantung pada lokasi, sampel diambil di pantai Muncar tanpa mempertimbangkan ke dalaman dan keadaan pantai (pasang atau surut).
2. Tidak dilakukan analisa kembali pada elektroda hasil elektrolisis

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tegangan optimum yang digunakan dalam elektrolisis logam kadmium pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*) menggunakan metode voltammetri siklik
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi elektrolit yang digunakan dalam elektrolisis logam kadmium pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*) menggunakan metode voltammetri siklik
3. Mengetahui pengaruh waktu terhadap banyaknya logam kadmium yang berhasil dipisahkan pada sampel kerang darah (*Anadara granosa*)
4. Mengetahui efisiensi metode elektrolisis menggunakan teknik voltammetri siklik untuk pemisahan logam kadmium dalam sampel kerang darah (*Anadara granosa*)

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan metode pemisahan logam berat yang sederhana dan murah untuk dilakukan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi parameter pencemaran lingkungan oleh logam berat kadmium.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Kerang merupakan salah satu hewan moluska atau binatang lunak yang memiliki cangkang sebanyak dua buah atau biasa disebut dengan bivalvia. Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan kelompok kerang yang memiliki pigmen darah merah (haemoglobin) yang disebut dengan *bloody cockles*. Cairan haemoglobin ini berfungsi untuk mengikat oksigen dalam daging kerang. Hal inilah yang menyebabkan kerang darah dapat bertahan hidup dalam lingkungan yang mempunyai kadar oksigen yang cukup rendah (Nurjanah *et al.*, 2005).

Habitat kerang darah sendiri adalah pantai laut pada substrat lumpur yang berpasir pada ke dalaman sekitar 10 m sampai 30 m. Kerang tersebar luas di seluruh perairan Indonesia seperti Bengkulu, Jawa, Nusa Tenggara, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Maluku, dan Irian Jaya (Djamali, 1998). Berikut ini adalah kandungan gizi dari kerang darah

Tabel 2.1 Kandungan gizi kerang darah

Kandungan Gizi	Jumlah (%)
Protein	11,84
Lemak	0,600
Air	81,81
Kadar Abu	2,000

(Sumber : Daluningrum, 2009).

2.1.1 Taksonomi Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Kerang darah mempunyai karakteristik yaitu berbau amis, tekstur yang lunak dan kenyal serta daging yang berwarna merah kecoklatan. Taksonomi kerang darah (*Anadara granosa*) menurut Broom (1985) adalah sebagai berikut :

Kingdom : Animalia

Sub Kingdom : Metazoa

Phylum : Moluska

Class : Bivalva

Sub Class : Pteriomorphia

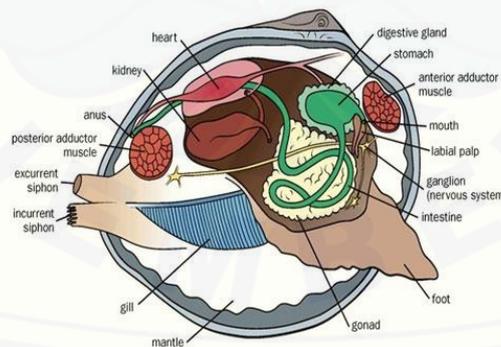
Ordo : Arcoida
Family : Anadarinae
Genus : Anadara
Species : *Anadara granosa*



Gambar 2.1 Kerang darah, *Anadara granosa* (Sumber: wikipedia.id)

2.1.2 Morfologi Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Morfologi kerang darah yaitu, kerang darah mempunyai tubuh yang tebal dan menggebu, kerang darah juga mempunyai bagian yang menyerupai rusuk di bagian cangkang. Panjang cangkang maksimumnya yaitu 9 cm, sedangkan panjang cangkang rata – rata pada kerang darah adalah 6 cm. Daging dari kerang darah berwarna merah, habitatnya di dasar perairan pesisir seperti estuari, mangrove, dan padang lamun dengan substrat lumpur berpasir dan salinitas yang relatif rendah (Tim Perikanan WWF-Indonesia, 2015).



Gambar 2.2 Morfologi kerang darah (Sumber: biologipedia, 2015)

2.2 Logam Kadmium (Cd)

2.2.1 Karakteristik Logam Kadmium

Logam kadmium (Cd) merupakan logam yang berwarna putih, lunak, mengkilap, tidak larut dalam larutan basa, mudah bereaksi, dan apabila

dipanaskan akan menghasilkan kadmium oksida. Kadmium pada umumnya akan berkombinasi dengan klorin (Cl) atau belerang (S). Kadmium dalam bentuk ionnya (Cd^{2+}) bersifat tidak stabil (Widowati *et al.*, 2008). Logam kadmium juga merupakan hasil samping dari pemurnian Pd dan Zn yang selanjutnya akan terbuang ke lingkungan (Palar, 2004). Kadmium digunakan sebagai pigmen dalam pembuatan keramik, penyepuhan listrik, pembuatan alloy, dan pembuatan baterai alkali (Lu, 1995).

Tabel 2.2 Karakteristik Logam Kadmium (Cd)

Karakteristik	
Wujud	Padat
Warna	Putih perak
Nomor atom	48
Berat atom g/mol	112,4
Titik didih / °C	767
Titik leleh / °C	321

(Sumber : Widowati *et al.*, 2008).

2.2.2 Toksisitas Logam Kadmium

Logam kadmium dapat mengalami biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup. Logam ini akan masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang telah terkontaminasi logam kadmium sebelumnya. Keracunan kronis terjadi apabila inhalasi kadmium pada dosis yang kecil dan dalam waktu yang lama. Kadmium dapat menyebabkan gangguan pada ginjal, gangguan kardiovaskuler dan hipertensi, selain itu kadmium juga dapat menyebabkan terjadinya gejala osteomalasea (Darmono, 2001).

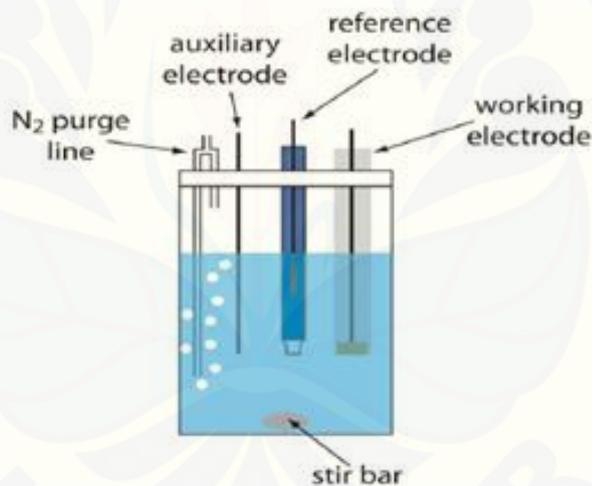
2.3 Voltammetri

Voltammetri merupakan metode elektroanalisis dalam skala mikro dengan menggunakan elektroda kerja mikro, atau biasa disebut dengan teknik arus voltase. Voltammetri mempunyai elektroda kerja dan elektroda pembanding sama dengan potensiometri, hanya saja pada voltammetri ditambahkan satu elektroda lagi yaitu elektroda bantu, sehingga dalam voltammetri terdapat 3 buah elektroda (Harvey, 2000).

Voltammetri mengkaji informasi tentang analit berdasarkan pada pengukuran arus (I) sebagai fungsi potensial (V) pada kondisi dimana elektroda kerja dan elektroda indikator mengalami polarisasi. Arus yang diukur dalam teknik voltammetri adalah arus difusi. Arus difusi merupakan arus yang disebabkan akibat perubahan gradien konsentrasi pada lapisan difusi sebanding dengan konsentrasi analit dalam larutan. Arus inilah yang selanjutnya memberikan informasi tentang konsentrasi analit (Skoog *et al.*, 1998).

2.3.1 Sel Voltammetri

Sel voltammetri terdiri dari 3 elektroda yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*reference electrode*), dan elektroda pembantu (*counter electrode*). Berikut ini merupakan gambaran dari sel elektrokimia untuk voltammetri



Gambar 2.3 Tipe sel elektrokimia untuk voltammetri (Sumber: Harvey, 2000)

Elektroda yang digunakan sebagai berikut :

a. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi ataupun oksidasi dari analit. Elektroda kerja ini dapat berperan baik sebagai katoda ataupun anoda tergantung pada jenis reaksi elektroda tersebut. Beberapa bahan yang biasa digunakan dalam elektroda kerja yaitu merkuri (Hg), emas (Au),

platina (Pt), dan karbon inert seperti *glassy carbon* ataupun elektroda tipis dan tetes raksa (Wang, 2000).

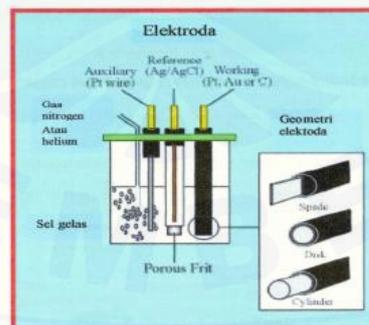
Pemilihan elektroda yang akan digunakan dalam teknik voltametri ini bergantung pada analit yang akan dianalisis dan arus latar belakang pada daerah potensial pengukuran. Hal – hal yang perlu diperhatikan adalah jendela potensial elektroda, konduktifitas listrik, sifat – sifat mekanik, ketersediaan, dan toksisitas (Wang, 2000).

b. Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya dibuat tetap selama pengukuran dan nilainya tidak bergantung pada jenis dan komposisi larutan yang diukur. Elektroda pembanding berfungsi untuk mengontrol arus yang mengalir pada elektroda kerja dan juga larutan. Elektroda yang umumnya digunakan adalah elektroda kalomel atau Ag/AgCl (Wang, 2000).

c. Elektroda Bantu

Elektroda bantu atau yang biasa disebut dengan *counter electrode* adalah konduktor yang melengkapi sel. Elektroda ini digunakan untuk mengalirkan arus antara elektroda kerja dan elektroda bantu, sehingga arus dapat terukur. Bahan yang biasanya digunakan sebagai elektroda bantu adalah bahan yang bersifat inert seperti kawat platina (Pt) atau emas (Au), dan grafit (C).



Gambar 2.4 Elektroda dalam voltametri (Sumber: Pasley, 2000).

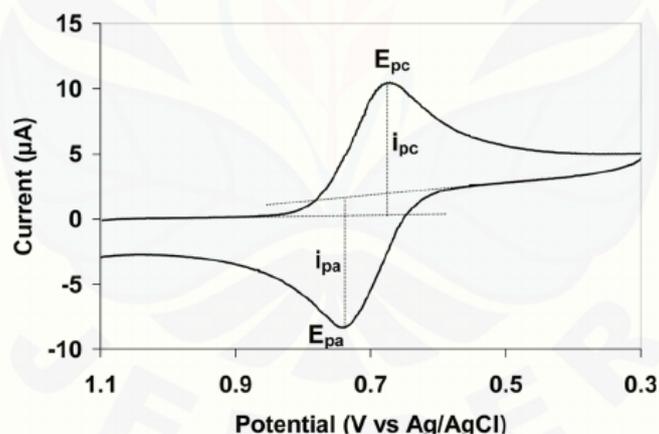
2.3.2 Voltametri Siklik

Voltametri siklik merupakan metode yang umum digunakan dalam teknik elektroanalisis dan merupakan metode yang dapat memungkinkan dilakukannya karakterisasi pada sistem elektrokimia, digunakan dalam

mempelajari proses reduksi dan oksidasi. Voltametri siklik didasarkan pada variasi potensial yang digunakan pada elektroda kerja (Wang, 1994)

Voltametri siklik adalah teknik voltametri dimana arus diukur selama *scanning* potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal sehingga arus katodik ataupun anodik dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat *scanning* dari arus yang paling besar sampai arus yang paling kecil, sedangkan arus anodik merupakan kebalikan dari arus katodik (Khopkar, 1990).

Pengukuran menggunakan voltametri siklik digunakan potensiostat yang mengontrol potensial yang melewati elektroda kerja untuk mengubah potensial secara perlahan – lahan kembali ke potensial yang awal. Potensial awal bergerak ke arah negatif menuju ke potensial akhir yang dicapai membentuk setengah siklus. Arus yang dihasilkan merupakan arus katodik, selanjutnya *scan* kembali ke arah positif yang menyatakan adanya reaksi oksidasi dan reduksi yang terjadi. Arus yang dihasilkan merupakan arus anodik (Rieger, 1994).



Gambar 2.5 Voltametri siklik arus sebagai fungsi potensial (Sumber: Wang, 2006)

2.4 Elektrolisis

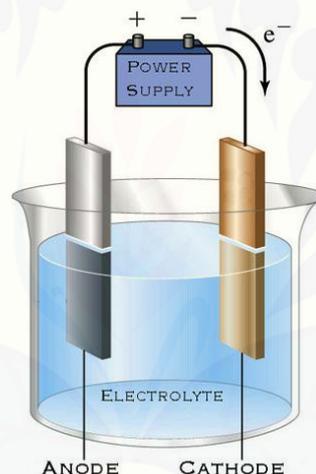
Elektrolisis merupakan reaksi elektrokimia yang berlangsung tidak spontan, dimana dalam reaksinya dibutuhkan kerja listrik untuk menghasilkan reaksi kimia. Arus yang digunakan dalam elektrolisis harus arus yang searah, hal ini bertujuan agar arus yang diberikan bersifat konstan terhadap waktu (Skoog *et al.*, 1998). Berdasarkan persamaan Faraday

$$w = \frac{e.i.t}{96500} \quad (2.1)$$

dimana w adalah massa zat yang dihasilkan selama proses elektrolisis, e adalah elektron valensi, i adalah kuat arus, dan t adalah waktu. Menurut hukum Faraday maka seiring meningkatnya waktu, akan didapatkan massa yang semakin besar pula (Sopiah, 2008).

2.4.1 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis terdiri dari elektroda, larutan elektrolit, dan wadah. Elektroda berperan sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia, sedangkan larutan elektrolit berfungsi sebagai penyalur pada transfer muatan (elektron) (Bagotsky, 2006). Berikut ini rangkaian sel elektrolisis:



Gambar 2.6 Rangkaian set elektrolisis (Sumber: Dien, 2011)

2.4.2 Reaksi Oksidasi Reduksi

Pada elektrolisis akan terjadi peristiwa oksidasi dan reduksi dimana oksidasi merupakan peristiwa ketika suatu zat menyumbangkan elektron kepada spesi yang lain. Sedangkan reduksi adalah peristiwa penangkapan elektron oleh suatu zat dari spesi yang lain. Senyawa yang mengalami reaksi oksidasi disebut sebagai reduktor, sedangkan senyawa yang mengalami reduksi disebut oksidator (Syukri, 1999).

2.4.3 Elektrolit

Pelarut yang biasa digunakan dalam proses elektrokimia dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konduktifitas, kemampuan melarutkan elektrolit,

elektroaktif analit, afinitas redoks, dan reaktifitas dengan materi yang akan diteliti (Rieger, 1993). Larutan elektrolit merupakan kombinasi dari pelarut dan elektrolit pendukung. Larutan elektrolit sendiri digunakan untuk mengurangi hambatan, menambah konduktivitas, dan mengontrol potensial untuk mengurangi efek migrasi elektron dimana arus yang terukur tidak hanya dari analit yang berdifusi melainkan juga ada efek dari migrasi elektron (Skoog *et al.*, 1991). Larutan elektrolit yang digunakan harus dapat menghantarkan listrik, dan tidak bereaksi dengan analit sehingga tidak mengganggu reaksi oksidasi dan reduksi yang sedang berlangsung (Bagotsky, 2006).

2.4.4 Elektroda

Elektroda dalam sel elektrokimia berperan sebagai tempat terjadinya reaksi elektrokimia. Elektroda merupakan padatan logam ataupun semikonduktor, selain itu karakteristik lain dari elektroda yaitu bersifat inert atau tidak reaktif untuk menghindari reaksi kimia lain yang terjadi. Contoh elektroda inert yang sering digunakan yaitu emas (Au), platina (Pt), dan karbon (C) (Bagotsky, 2006).

Tabel 2.3 Potensial standar beberapa unsur pada suhu 25°C

Elektroda	E°	Elektroda	E°
Li ⁺ /Li	-3,05	Cr ³⁺ /Cr	-0,74
K ⁺ /K	-2,92	Fe ²⁺ /Fe	-0,44
Ba ²⁺ /Ba	-2,90	Cd ²⁺ /Cd	-0,40
Sr ²⁺ /Sr	-2,89	Co ²⁺ /Co	-0,28
Ca ²⁺ /Ca	-2,87	Ni ²⁺ /Ni	-0,25
Na ⁺ /Na	-2,71	Sn ²⁺ /Sn	-0,14
Ni ²⁺ /Ni	-0,25	Pb ²⁺ /Pb	-0,13
Ce ³⁺ /Ce	-2,48	2H ⁺ /H ₂	0,00
Mg ²⁺ /Mg	-2,37	Bi ³⁺ /Bi	+0,23
Th ⁴⁺ /Th	-1,90	Cu ²⁺ /Cu	+0,34
Be ²⁺ /Be	-1,85	Fe ³⁺ /Fe	+0,76
V ³⁺ /V	-1,80	Ag ⁺ /Ag	+0,80
Al ³⁺ /Al	-1,66	Hg ²⁺ /Hg	+0,80
Mn ²⁺ /Mn	-1,18	Pd ²⁺ /Pd	+0,99
Zn ²⁺ /Zn	-0,76	Au ³⁺ /Au	+1,50

(Sumber : Vogel, 1990)

1.4.5 Luas Permukaan Elektroda

Semakin banyak luas permukaan yang tersentuh oleh larutan elektrolit maka akan semakin mempermudah elektrolit tersebut dalam mentransfer elektron.

Hubungan antara luas permukaan dan banyak logam yang akan terelektrolisis adalah sebanding

2.5 Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrofotometer serapan atom atau yang biasa disingkat menjadi SSA merupakan suatu alat yang digunakan dalam analisa penentuan unsur – unsur logam dan juga metaloid yang didasarkan pada penyerapan radiasi oleh atom – atom bebas tersebut. Alat ini sangat spesifik dimana SSA mempunyai batas deteksi yang rendah, dari suatu larutan contohnya dapat ditentukan langsung unsur yang lain tanpa dilakukan pemisahan terlebih dahulu (Tarigan, 1990).

2.5.1 Prinsip Dasar Spektrofotometri Serapan Atom

Prinsip dasar dari spektrofotometri serapan atom yaitu adanya tubrukan radiasi (cahaya) dengan panjang gelombang yang spesifik ke atom yang berada pada tingkat dasar (*ground state*). Atom ini selanjutnya akan menyerap radiasi dan akan mengalami transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi atau tereksitasi. Intensitas dari transisi tersebut berhubungan dengan konsentrasi awal atom pada tingkat energi dasar (Settle, 1997).

Khopkar (1990) menjelaskan bahwa prinsip dasar dari metode spektrofotometri Serapan Atom adalah absorpsi cahaya oleh atom. Atom – atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, bergantung pada sifat unurnya. Cahaya pada gelombang ini mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektronik suatu atom. Adanya absorpsi energi ini selanjutnya menyebabkan adanya perpindahan atom dari tingkat energi dasar ke tingkat eksitasi. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat.

2.5.2 Hukum Dasar Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Hukum Lambert (1760) dan Beer (1852) menyatakan bahwa :

- a. Jika suatu berkas radiasi monokromatik yang sejajar jatuh pada medium pengabsorpsi pada sudut tegak lurus setiap lapisan yang sangat kecil akan menurunkan intensitas berkas

- b. Jika suatu cahaya monokromatis mengenai suatu medium yang transparan, laju pengurangan intensitas dengan ketebalan medium sebanding dengan intensitas cahaya
- c. Intensitas berkas sinar monokromatis berkurang secara eksponensial bila konsentrasi zat pengabsorpsi bertambah (Khopkar, 1990).

Hukum Lambert Beer mengatakan bahwa :

$$A = \epsilon bc \quad (2.2)$$

dimana A adalah nilai absorbansi yang didapatkan, ϵ adalah absorptivitas molar (L/mol.cm), b adalah tebal kuvet (cm), dan c adalah konsentrasi dari zat yang dianalisa (mol/L) (Khopkar, 1990).

2.5.3 Instrumentasi Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

a. Sumber Sinar

Sumber sinar yang pada umumnya digunakan adalah lampu katoda berongga (*hollow cathode lamp*). Lampu ini dipilih karena garis pancaran unsur katoda lebih sempit daripada garis absorpsi atom padanannya dalam nyala dan tanur. Lampu katoda yang digunakan mempunyai katoda pemancar yang terbuat dari unsur yang sama dengan unsur yang akan dianalisa. Lampu ini diisi gas mulia bertekanan rendah. Pemberian tegangan pada arus tertentu akan mengakibatkan logam mulia akan memijar dan atom – atom pada katoda akan teruapkan (Khopkar, 1990).

b. Wadah Sampel

Sampel yang akan dianalisa dalam spektrofotometri serapan atom terlebih dahulu harus diuraikan menjadi atom – atom netral yang masih dalam keadaan gas. Alat yang digunakan untuk mengubah sampel menjadi uap atom – atom yaitu dengan nyala (*flame*) atau dengan tanpa nyala (*flameless*). Nyala digunakan untuk mengubah padatan atau cairan menjadi bentuk uap atomnya. Nyala juga berfungsi untuk atomisasi. Atomisasi sendiri merupakan proses perubahan analit dalam wujud padat, cair, atau gas menjadi bentuk atom gas bebas (Siswoyo dan Asnawati, 2007). Pengatoman dengan sistem tanpa nyala dapat melalui tiga tahap yaitu pengeringan, pengabuan, dan pengatoman.

c. Monokromator

Monokromator adalah alat yang digunakan dalam proses analisa spektrofotometri serapan atom yang berfungsi untuk memisahkan atau memilih panjang gelombang yang akan digunakan dalam proses analisa. Selain sistem optik, di dalam monokromator juga terdapat *chopper* yaitu pemecah sinar, suatu alat yang berputar dengan frekuensi atau kecepatan perputaran tertentu (Gandjar dan Rohman, 2007).

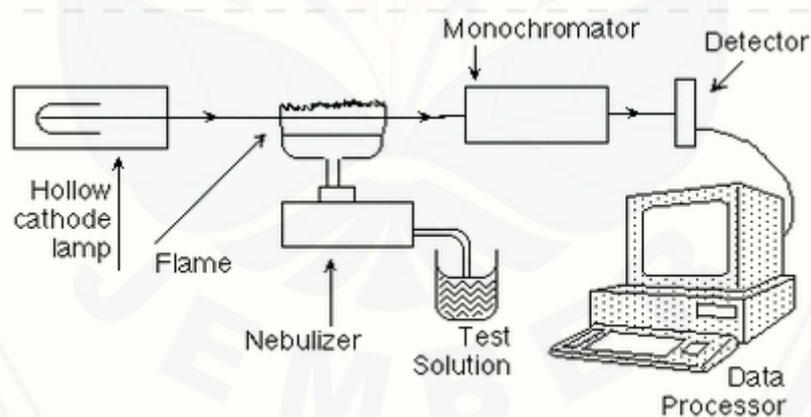
d. Detektor

Detektor digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang melewati tempat pengamatan. Detektor yang biasa digunakan dalam spektrofotometer serapan atom adalah tabung penggandaan foton (*photomultiplier tube*) (Gandjar dan Rohman, 2007).

e. Sistem Pencatat (*Readout*)

Readout merupakan suatu alat penunjuk atau dapat juga dikatakan sebagai pencatat hasil. Hasil pembacaan dapat berupa angka atau berupa kurva yang menggambarkan absorbansi atau intensitas emisi (Gandjar dan Rohman, 2007).

Berikut ini merupakan instrumentasi dari spektrofotometri serapan atom:



Gambar 2.5 Skema spektrofotometer serapan atom (Sumber: Gandjar dan Rohman, 2007).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Jember dan Laboratorium Kimia Tanah Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia dimulai pada bulan Oktober 2016 sampai Maret 2017.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Alat dan Bahan

a. Alat

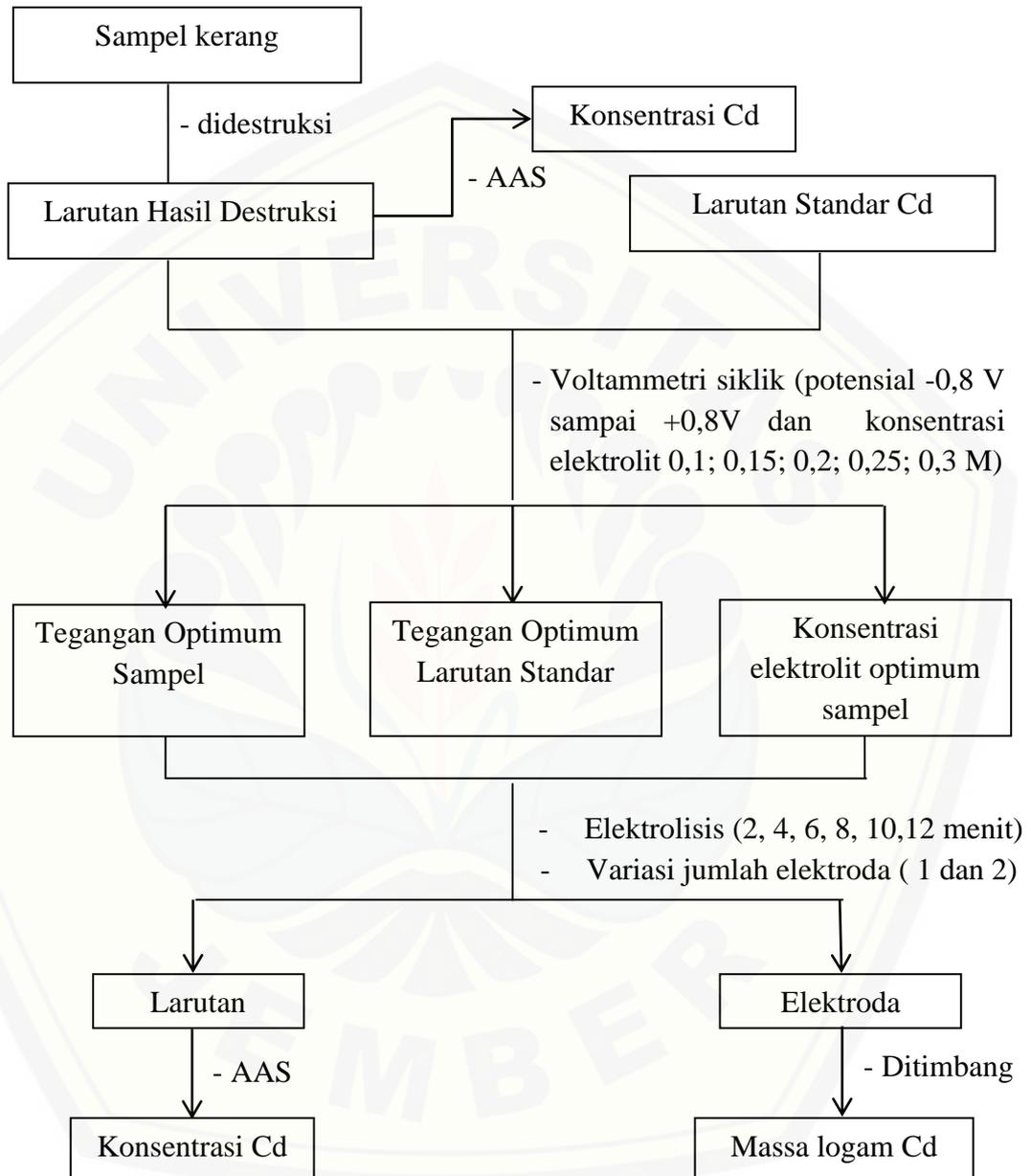
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah corong, gelas kimia 50 mL, gelas kimia 100 mL, gelas kimia 500 mL, pipet mohr 10 mL, pipet volume 1 mL, pipet volume 10 mL, elektroda platina, elektroda Ag/AgCl, elektroda C, aluminium foil, kertas saring *whatman* no. 42, *ball pipet*, labu ukur 50 mL, labu ukur 100 mL, *hot plate*, blender, voltmeter, neraca analitik (2255M-DR), set alat spektrofotometer serapan atom (*AAAnalyst 400*), set alat elektrolisis, potensiostat AMEL model 433A.

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerang darah, asam nitrat 65% (*Merck*), natrium nitrat (*Merck*), larutan standar kadmium 1000 ppm (*Merck*), aquades (*Merck*), aquabides (*Merck*).

3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian



3.3.2 Ringkasan Diagram Alir Penelitian

Sampel kerang darah didestruksi dengan menggunakan asam nitrat 65%. Sampel dibuat larutan terlebih dahulu untuk analisa AAS dan analisa menggunakan voltammetri. Sampel kerang yang telah didestruksi dan menjadi larutan dianalisa menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi awal logam Cd sebelum dielektrolisis, dibuat larutan standar Cd yang mempunyai konsentrasi sama dengan konsentrasi logam Cd dalam sampel.

Langkah yang selanjutnya yaitu sampel dicari konsentrasi larutan elektrolit optimum dengan menggunakan metode voltammetri siklik. Elektroda kerja yang digunakan yaitu elektroda karbon (C), elektroda *reference* Ag/AgCl dan elektroda bantuanya Pt. Tegangan yang diberikan yaitu pada potesial -0,8 sampai 0,8 V dan penambahan larutan elektrolit NaNO₃ dengan variasi konsentrasi 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 M .

Konsentrasi elektrolit optimum yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk mencari tegangan optimum dari larutan standar dan sampel. Tegangan yang diberikan yaitu pada potesial -0,8 sampai 0,8 V dan penambahan larutan elektrolit NaNO₃ dengan konsentrasi yang paling optimal. Kedua voltammogram yang didapatkan selanjutnya dibandingkan. Dilakukan pula *scanning* potensial pada larutan standar yang dibuat dengan beberapa variasi konsentrasi untuk memastikan apakah tegangan yang didapatkan benar – benar tegangan dari logam kadmium.

Elektrolisis terhadap sampel dilakukan dengan menggunakan tegangan optimum dan konsentrasi larutan elektrolit optimum yang sebelumnya didapatkan pada metode voltammetri. Katoda yang digunakan adalah katoda karbon (C) sedangkan anodanya Pt. Elektrolisis dilakukan dengan variasi waktu 2,4,6,8,10 dan 12 menit. Sebelum dilakukan elektrolisis katoda yang digunakan ditimbang untuk mengetahui massa katoda awal. Setelah proses elektrolisis larutan hasil dari elektrolisis dianalisa kembali menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi logam Cd yang hilang, sehingga dapat diketahui konsentrasi logam Cd yang terisolasi. Kosentrasi logam Cd dapat dihitung menggunakan kurva standar yang

sebelumnya telah dibuat. Katoda selanjutnya dikeringkan dan ditimbang untuk mengetahui massa logam Cd yang menempel pada katoda.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Sampel

a. Destruksi Sampel

Sampel dihaluskan dan ditimbang sebanyak 20 gram ditempatkan ke dalam *beaker glass* 100 mL. Selanjutnya sampel ditambahkan HNO₃ 65% sebanyak 25 mL. Sampel dipanaskan diatas *hot plate* sampai larutan berwarna kuning jernih dan volume kurang lebih 10 mL kemudian disaring dengan kertas saring *Whatman* no 42 dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, diencerkan sampai tanda batas menggunakan aquabides (Tehubijuluw *et al.*, 2013).

b. Pembuatan Larutan

1) Pembuatan Larutan Standar Kadmium Untuk Kurva Kalibrasi

Larutan standar kadmium untuk kurva kalibrasi dibuat dengan terlebih dahulu mengencerkan larutan standar Cd 1000 ppm menjadi 10 ppm dengan mengambil sebanyak 1 mL dan diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL. larutan standar 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 ppm dibuat dengan mengambil masing – masing 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 mL dari larutan standar 10 ppm diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL.

2) Pembuatan Larutan Elektrolit NaNO₃

Pembuatan larutan elektrolit NaNO₃ dibuat terlebih dahulu sebesar 0,5 M yaitu dengan menimbang serbuk NaNO₃ sebanyak 10,625 gram dan dilarutkan pada gelas beaker selanjutnya diencerkan sebanyak 250 mL dengan menggunakan labu ukur. Larutan NaNO₃ 0,5 M selanjutnya diencerkan menjadi 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 M dengan mengambil sebanyak 20; 30; 40; 50; 60 mL ke dalam labu ukur 100 mL.

3) Pembuatan larutan standar Cd

Larutan standar Cd 2; 4; 6; 8 ppm dibuat dari pengenceran larutan standar Cd 10 ppm dengan mengambil sebanyak 20; 40; 60; 80 mL ke dalam labu ukur 100 mL.

4) Pembuatan elektroda karbon

Elektroda karbon diambil dari baterai, selanjutnya elektroda dilapisi dengan menggunakan epoksi. Elektroda dianginkeringkan sampai epoksi benar – benar telah mengering. Luas permukaan elektroda yang digunakan dibuat sama yaitu $1,215 \text{ cm}^2$.

3.4.2 Penentuan Konsentrasi Elektrolit Optimum

Set alat potensiostat AMEL model 433 yang terhubung dengan komputer dinyalakan, dan dipilih program AMEL untuk analisis terhadap sampel. Sampel diambil sebanyak 10 mL dan ditambahkan larutan elektrolit NaNO_3 sebanyak 10 mL dengan variasi konsentrasi 0,1; 0,15; 0,2; 0,25, 0,3 M. Potensial dikontrol dengan beda potensial -0,8 sampai +0,8 V dengan *scan rate* 60 mV/s (Sulfani dan Setiarto, 2014). Prosedur ini diulangi sebanyak 3 kali.

3.4.3 Penentuan Tegangan Optimum

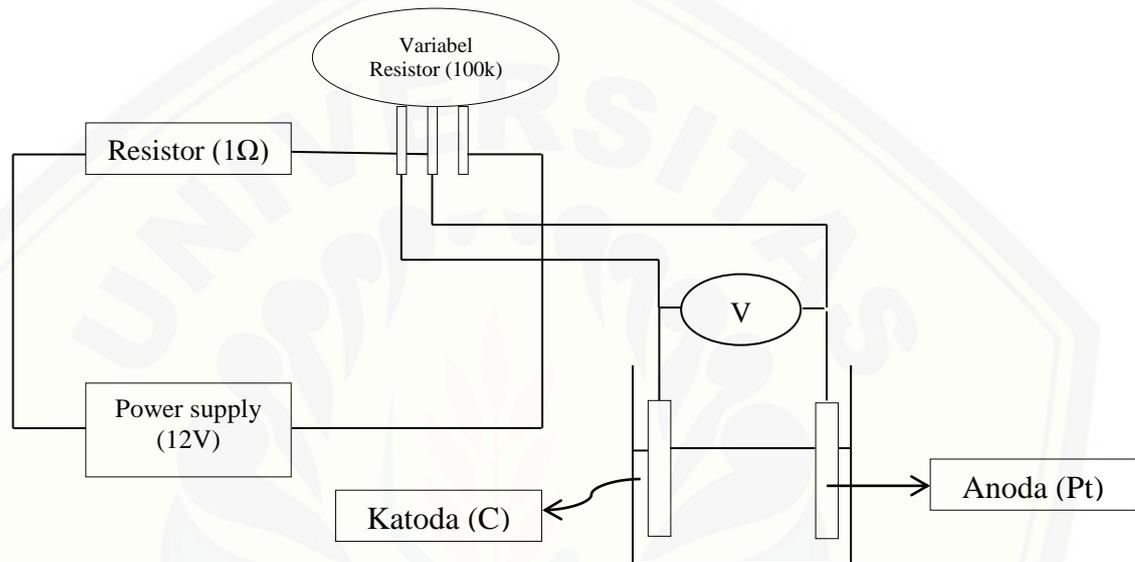
Set alat potensiostat AMEL model 433 yang terhubung dengan komputer dinyalakan, dan dipilih program AMEL untuk melakukan analisis terhadap sampel. Elektroda kerja yang digunakan adalah elektroda karbon, elektroda pembanding yaitu elektroda Ag/AgCl , dan elektroda Pt sebagai elektroda bantu (Jabbar *et al.*, 2012). Sampel diambil sebanyak 10 mL dan ditambahkan larutan elektrolit NaNO_3 sebanyak 10 mL dengan konsentrasi optimum yang didapatkan sebelumnya. Potensial dikontrol dengan beda potensial -0,8 sampai +0,8 V dengan *scan rate* 60 mV/s (Sulfani dan Setiarto, 2014). Prosedur ini diulangi sebanyak 3 kali. Langkah yang sama dilakukan untuk pengukuran tegangan optimum pada larutan standar.

3.4.4 Penentuan Efisiensi Metode Elektrolisis

a. Pemisahan Logam Cd Menggunakan Metode Elektrolisis

Sampel yang telah didestruksi pada metode 3.4.1 a dianalisis dengan menggunakan AAS. Sampel terlebih dahulu diencerkan 10 kali agar konsentrasi dapat sesuai dengan *range* kurva kalibrasi yang dibuat. Pengenceran dilakukan dengan mengambil 10 mL sampel selanjutnya diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL dan selanjutnya dihomogenkan. Sampel diambil sebanyak 20 mL ditambahkan larutan NaNO_3 sebanyak 10 mL dengan konsentrasi optimum yang

telah ditentukan pada prosedur 3.4.2. Elektroda karbon sebelumnya ditimbang untuk mengetahui berat awal yang sebelum elektrolisis. Proses elektrolisis dilakukan dengan tegangan optimum yang telah ditentukan pada prosedur 3.4.3 dengan variasi waktu 2, 4, 6, 8, 10, 12 menit dan variasi jumlah katoda yaitu 1 katoda dan 2 katoda. Prosedur ini diulangi sebanyak 3 kali. Set alat elektrolisis dirangkai seperti gambar berikut:



Gambar 3.1 Set alat elektrolisis

Elektroda yang telah digunakan dalam proses elektrolisis dikeringkan dan selanjutnya ditimbang. Selisih dari masa awal dan masa akhir setelah dilakukan elektrolisis adalah masa kadmium yang berhasil dipisahkan. Sampel yang sudah dielektrolisis selanjutnya di analisa dengan AAS kembali untuk mengetahui konsentrasi logam Cd yang berhasil dipisahkan dan mengetahui efisiensi dari metode elektrolisis dalam pemisahan logam kadmium.

Tabel 3.1 Pengukuran Konsentrasi Cd sebelum dan sesudah elektrolisis

Ulangan	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Rata – rata (mg/L)	Massa
1				
2				
3				

b. Pembuatan kurva kalibrasi

Larutan standar kadmium dengan konsentrasi 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 ppm disiapkan sebanyak 100 mL dan dianalisa dengan menggunakan AAS pada panjang gelombang 228,8 nm. Kurva kalibrasi digunakan untuk menentukan konsentrasi logam Cd dalam sampel.

Konsentrasi sampel dapat diketahui melalui persamaan regresi dari kurva kalibrasi larutan standar Cd, dimana akan didapatkan persamaan

$$y = mx + c \quad (3.1)$$

dimana y adalah nilai absorbansi, m adalah gradien, c adalah nilai intersep, dan x adalah konsentrasi.

Tabel 3.2 pembuatan kurva kalibrasi larutan standar

Konsentrasi	Absorbansi
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	
1,0	

c. Perhitungan Nilai Efisiensi Metode Elektrolisis

Nilai efisiensi penurunan logam Cd dapat diketahui dari selisih konsentrasi Cd awal sebelum dielektrolisis dan sesudah dielektrolisis

$$\text{Efisiensi} = \frac{Cd \text{ awal} - Cd \text{ akhir}}{Cd \text{ awal}}$$

dimana $Cd \text{ awal}$ = konsentrasi Cd sebelum dilakukan proses elektrolisis

$Cd \text{ akhir}$ = konsentrasi Cd setelah dilakukan proses elektrolisis

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Tegangan optimum logam kadmium yang diperoleh dari metode voltametri siklik sebesar $-440,063$ mV
2. Arus meningkat dengan bertambahnya konsentrasi elektrolit, Arus terbesar pada saat penambahan larutan elektrolit konsentrasi $0,3$ M
3. Pengaruh waktu elektrolisis terhadap massa logam kadmium yang diperoleh dengan metode elektrolisis adalah sebanding, semakin lama waktu elektrolisis maka semakin banyak logam kadmium yang didapatkan
4. Nilai efisiensi metode elektrolisis logam kadmium dengan menggunakan 1 elektroda sebesar $45,9\%$ sedangkan yang menggunakan 2 elektroda sebesar $56,4\%$.

5.2 Saran

Perlu dilakukannya optimasi parameter lain yang dapat mempengaruhi elektrolisis seperti variasi elektroda, variasi scanrate pada voltametri siklik, perlu dikembangkan juga optimasi dengan teknik voltametri yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, V. 2007. Pengembangan Sensor Voltammetri N₂O dengan Optimalisasi Polarisasi Elektroda dan Konsentrasi Elektrolit Menggunakan Elektroda Kerja Perak (Ag). Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Anonim. 2014. Kerang Darah. [Serial Online]. <http://id.wikipedia.org>. [26 Juli 2016].
- Anonim. 2015. Morfologi Kerang darah. [Serial Online]. <http://biologipedia.com>. [30 Mei 2017].
- Arisandi. 2001. Mangrove Jenis Api – Api (Avicennia Marine) Alternatif Pengendalian Logam Berat Pesisir. [Serial Online]. <http://www.terranel.com/>. [13 Juni 2016].
- Arung, C. D. 2015. Studi Efektifitas pada Penurunan kadmium (Cd) terhadap Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) dengan Metode Elektrolisis. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Avsar, Y. 2007. Comparison of Classical Chemical and Electrochemical Processes for Treating Rose Processing Wastewater. Istanbul. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. **148**(1): 341-343.
- Bagotsky, V. S. 2006. *Fundamental of Electrochemistry 2 edition*: John Willey & Sons.
- Broom, M. J. 1985. *The Biology and Culture of Marine Bivalve Molluscs of Genus Anadara*. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Daluningrum, I. P. W. 2009. Penapisan Awal Komponen Bioaktif dari Kerang Darah (Anadara Granosa) Sebagai Senyawa Antibakteri. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta: UI Press.

- Dien, S. Modifikasi Permukaan Plastik Menggunakan Nano Partikel Au dan Studi Aplikasinya Sebagai Sensor Oksigen. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Direktorat Jenderal Pengawasan dan Pengendalian Sumberdaya Kelautan dan Perikanan. 2006. *Pengawasan dan Pengendalian Sumberdaya Kelautan dan Perikanan*. Jakarta: DKP-KB.
- Djamali, A. 1998. *Potensi dan Penyebaran Sumberdaya Ikan Laut di Perairan Indonesia*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Gandjar, G. H., dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. Singapore: McGraw-Hill.
- Haswell, S. J. 1991. *Atomic Absorption Spectrometry Theory, Design, and Application*. New York: Elsevier Science Publishing Company Inc.
- Jabbar, M., Salahuddin, S., Mahmood, A. J., Mannan, J. R. 2012. Voltammetric Evidences for the Interaction of Riboflavin with Kadmium in Aqueous Media. *Journal of Saudi Chemical Society*. Vol. 3(2): 1-7.
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Lu, F. C. 1995. *Toksikologi Dasar Edisi 2*. Jakarta: UI-Press.
- McGrath, Baker, Reeves, dan Smith. 2000. *Inphytoremediation of Contaminated Soil and Water*. USA: N Terry and G Banuelos (Eds) Lewis Publisher.
- Muhajir, A. 2009. Studi Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada kerang Darah (*Anadara Granosa*) dari Beberapa Pasar Kota Malang. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Mulyani, M., Buchari, Noviandri, I., Ciptati. 2012. Studi Voltammetri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat dalam Berbagai Elektroda dan Elektrolit Pendukung. *Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah*. Vol. 15(1): 51-56.

- Nepomnyashchii, A. B., Mario, A., Aviles, A., Pan, S. 2008. Cyclic Voltammetry Studies of Cd^{2+} and Zn^{2+} Complexation with Hydroxyl-Terminated Polyamidoamine Generation 2 Dendrimer at A Mercury Microelectrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. Vol. **621**(2): 286-296.
- Nurjanah, Zulhamsyah, dan Kustiyariyah. 2005. Kandungan Mineral dan Proksimat Kerang Darah (Anadara Granosa) yang Diambil Dari Kabupaten Boalemo Gorontalo. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan: Teknologi Hasil Perikanan-Press*. Vol. **8**(2): 15-24.
- Paisley, A. A. 2000. Cyclic Voltammetry Primer. [Serial Online]. <http://biol.pasley.ac.uk>. [26 Juli 2016].
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Pikir, S. 1993. Studi Tentang Logam Berat dalam Sedimen dan dalam Kupang di Daerah Estuari Dekat Muara Kali Surabaya. Tidak Diterbitkan. Laporan Penelitian. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Potter, E. C. 1966. *Electro Chemistry, Principles And Applications*. New York: St Martin Press
- Putero, S.H., Kusnanto., dan Yusriani. 2008. *Pengaruh Tegangan dan Waktu pada Pengolahan Limbah Radioaktif yang Mengandung Sr-90 Menggunakan Metode Elektrokoagulasi*. Bandung: Seminar Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir.
- Rieger, P. H. 1994. *Electrochemistry*. 2nd edition. USA: Chapman and hall, Inc.
- Settle. 1997. *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Siswoyo dan Asnawati. 2007. *Analisis Spektrometri*. Jember: Universitas Jember.
- Skoog, D., Douglas. A., Holler. F., James, West, Donald. M. 1991. *Fundamental of Analytical Chemistry 7 edition*. USA: Sounders College Publishing.
- Skoog, D., Douglas. A., Holler. F., James, West, Donald. M. 1998. *Principles of Instrumental Analysis. 5th ed*. USA: Thompson Learning Inc.

- Sopiah, S. 2008. Analisis Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO_4 Sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan dan Pembelajaran Elektronik. Tidak Diterbitkan. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Sudirham, S dan Utari, N. 2012. *Mengenal Sifat Material*. Bandung: Darpublic.
- Sulfani, A., Setiarso, P. 2014. Modifikasi Elektroda Pasta Karbon Menggunakan Kitosan Untuk Analisis Ion Cd^{2+} dengan Ion Pengganggu Mn^{2+} dan Ni^{2+} Secara Cyclic Stripping Voltametri: *Journal of Chemistry*. Vol 3(3):9-20.
- Syukri, S. 1999. *Kimia Dasar*. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Tarigan, Z. 1990. Prinsip Dasar Metode Analisa Absorpsi Spectrophotometer. *Majalah Semi Populer*. Vol. 14:63-64.
- Tehibijuluw, H., Fransina, E., Pada, S. 2013. Penentuan Kandungan Logam Cd dan Cu Dalam Produk Ikan Kemasan Kaleng Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA): *Cakra Kimia*. Vol 1(1):8-13
- Tim Perikanan WWF-Indonesia. 2015. *Sari Panduan Perikanan Skala Kecil Perikanan Kerang Panduan Penangkapan dan Penanganan*. Jakarta: WWF Indonesia.
- Vogel, A.I. 1990. *Kimia Analisis Kualitatif Anorganik Edisi 5 Terjemahan Oleh Setiono, L., dkk*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Wang, J. 1994. *Analytical Electrochemistry*. New York: VCH Publisher.
- Wang, J. 2000. *Analytical Electrochemistry*. 2nd. New York: VCH Publisher.
- Wang, J. 2006. *Analytical Electrochemistry*. 3th. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- WHO. 1992. *Environmental Health Criteria 135 Kadmium*. Geneva: World Health Organization.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Jusuf, R. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta: ANDI.

LAMPIRAN 3.1 PEMBUATAN LARUTAN STANDAR Cd

Larutan standar Cd dibuat dengan pengenceran dari larutan standar Cd 1000 ppm

1. Pembuatan Larutan standar Cd untuk variasi konsentrasi larutan standar

a. Pembuatan larutan standar Cd 10 ppm dari 1000 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\1000 \text{ ppm} \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 1 \text{ mL}\end{aligned}$$

b. Pembuatan larutan standar Cd 8 ppm dari 10 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 8 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 80 \text{ mL}\end{aligned}$$

c. Pembuatan larutan standar Cd 6 ppm dari 10 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 6 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 60 \text{ mL}\end{aligned}$$

d. Pembuatan larutan standar Cd 4 ppm dari 10 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 4 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 40 \text{ mL}\end{aligned}$$

e. Pembuatan larutan standar Cd 2 ppm dari 10 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 20 \text{ mL}\end{aligned}$$

2. Pembuatan Larutan standar Cd untuk kurva kalibrasi

a. Pembuatan larutan standar Cd 10 ppm dari 1000 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\1000 \text{ ppm} \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 1 \text{ mL}\end{aligned}$$

b. Pembuatan larutan standar 1 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 10 \text{ mL}\end{aligned}$$

c. Pembuatan larutan standar 0,9 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,9 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 9 \text{ mL}\end{aligned}$$

d. Pembuatan larutan standar 0,8 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,8 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 8 \text{ mL}\end{aligned}$$

e. Pembuatan larutan standar 0,7 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,7 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 7 \text{ mL}\end{aligned}$$

f. Pembuatan larutan standar 0,6 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,6 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 6 \text{ mL}\end{aligned}$$

g. Pembuatan larutan standar 0,5 ppm

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\10 \text{ ppm} \times V_1 &= 0,5 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL} \\V_1 &= 5 \text{ mL}\end{aligned}$$

h. Pembuatan larutan standar 0,4 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ ppm} \times V_1 = 0,4 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

i. Pembuatan larutan standar 0,3 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ ppm} \times V_1 = 0,3 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

j. Pembuatan larutan standar 0,2 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ ppm} \times V_1 = 0,2 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

k. Pembuatan larutan standar 0,1 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ ppm} \times V_1 = 0,1 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

LAMPIRAN 4.1 ANALISIS LOGAM Cd SECARA VOLTAMMETRI SIKLIK

1.1 Analisis Logam Cd

Funct : CYV

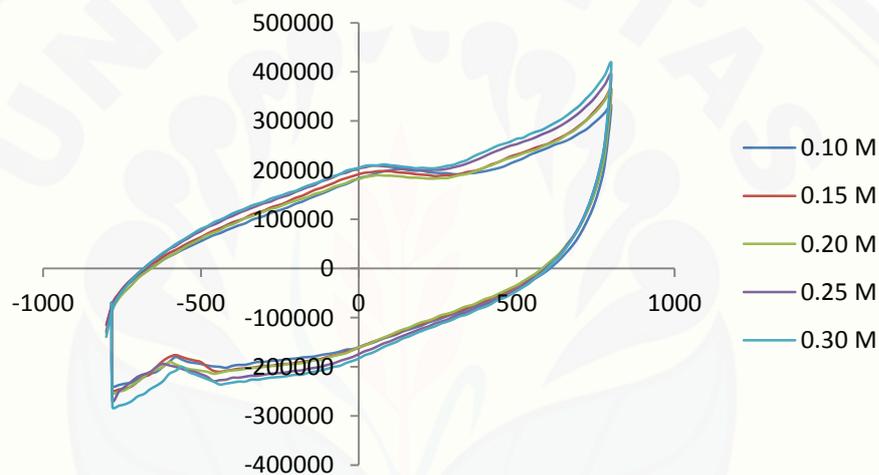
Start potential : -800 mV

End potential : 800 mV

Scan rate : 60 mV/s

1.1.1 Hasil Analisa Penambahan Larutan Elektrolit Optimum Sampel

a. Voltammogram Penambahan Larutan Elektrolit Optimum Sampel

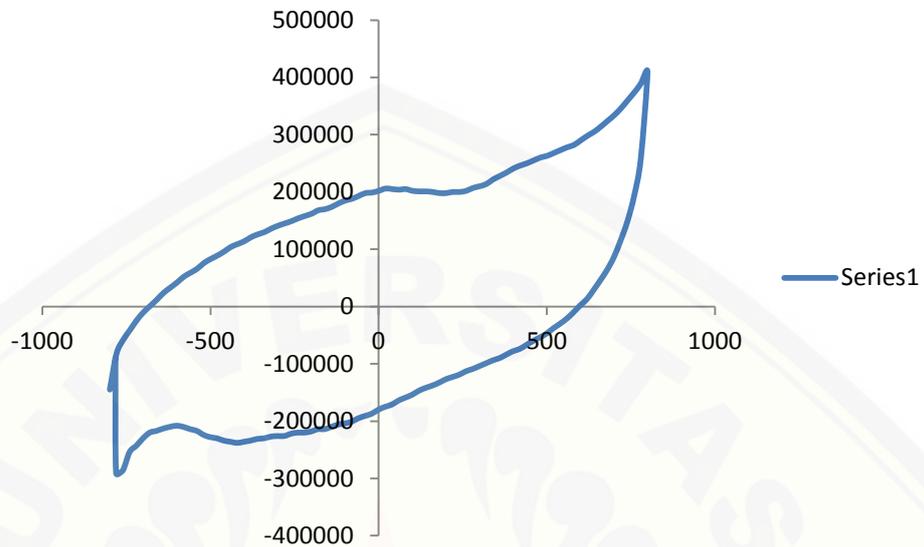


b. Hasil scanning optimasi penambahan larutan elektrolit pada sampel

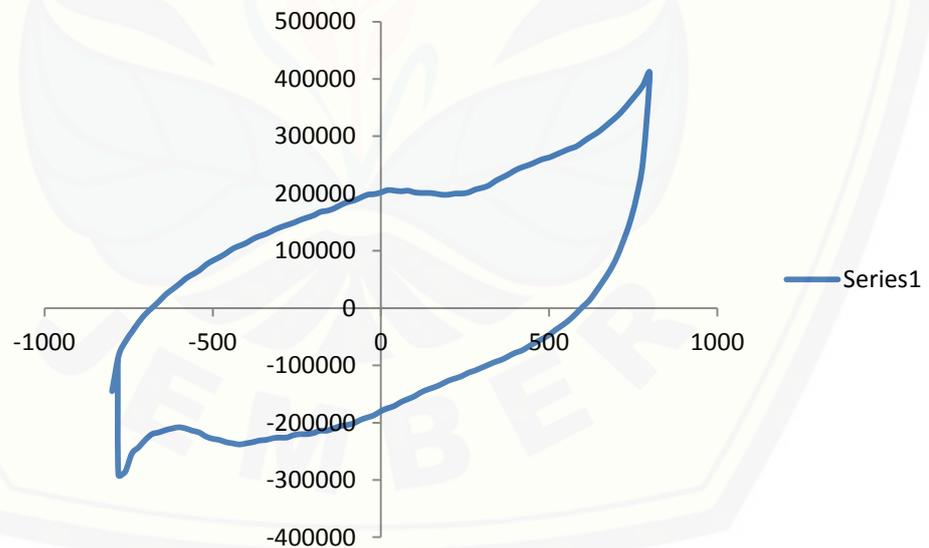
Konsentrasi	0.1 M	0.15 M	0.2 M	0.25 M	0.3 M
Potensial (mV)	-420.625	-440.563	-460.063	-460.188	-440.063
Arus (μ A)	-202000	-210000	-214000	-229000	-236000

1.1.2 Hasil Analisa Tegangan Optimum Sampel

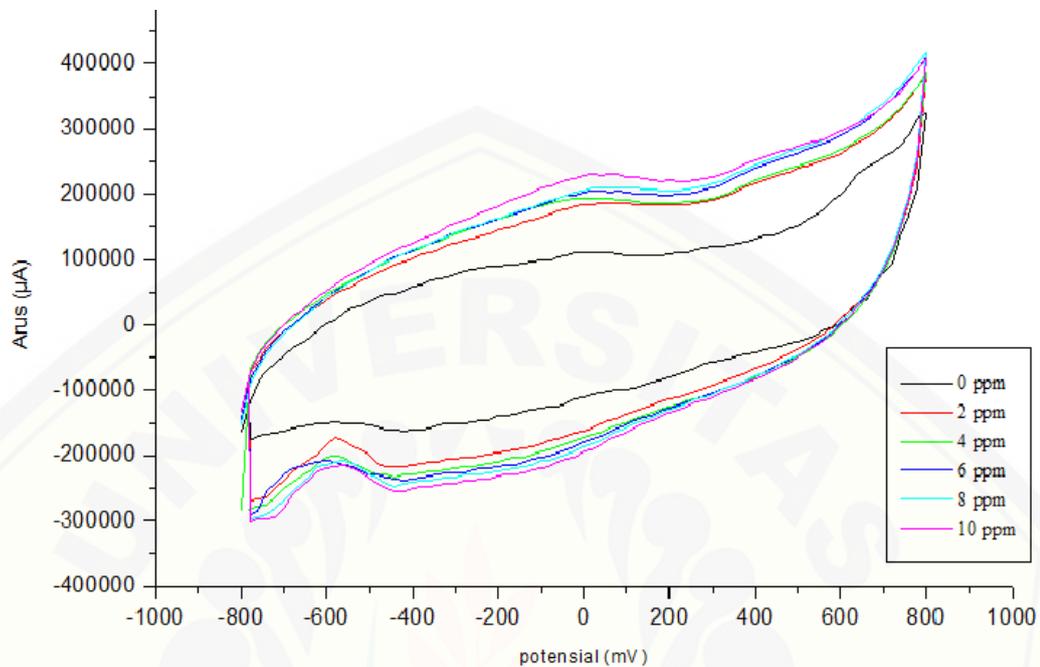
a. Voltammogram optimasi tegangan optimum sampel



b. Voltammogram optimasi tegangan optimum standar



c. Voltammogram optimasi tegangan optimum pada variasi larutan standar



d. Hasil *scanning* optimasi tegangan pada sampel dan standar

	Larutan Sampel	Larutan Standar $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$
Potensial (mV)	-440.063	-420.625
Arus (μA)	-236000	-238000

e. Hasil *scanning* optimasi penambahan larutan elektrolit pada sampel

Konsentrasi	0 ppm	2 ppm	4 ppm	6 ppm	8 ppm	10 ppm
Potensial (mV)	-420.625	-440.313	-437.125	-420.625	-440.500	-440.375
Arus (μA)	-162000	-218000	-234000	-238000	-247000	-254000

LAMPIRAN 4.3 PENGUKURAN KONSENTRASI SAMPEL SEBELUM DAN SETELAH ELEKTROLISIS

4.3.1 Pembuatan kurva kalibrasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0,1	0,004559
0,2	0,018931
0,3	0,033256
0,4	0,056365
0,5	0,071867
0,6	0,092619
0,7	0,108790
0,8	0,120956
0,9	0,152575
1,0	0,173235

$$y = mx + c$$

$$y = 0,1861x - 0,019$$

4.3.2 Pengukuran konsentrasi logam Cd sebelum elektrolisis

$$y = mx + c$$

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,096839 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,096839 + 0,019$$

$$x = 0,6224$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,6224 \times \text{fp}$$

$$= 0,6224 \times 10 = 6,224 \text{ mg/L}$$

4.3.3 Elektrolisis dengan 1 elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	Rata – Rata (ppm)	Massa (mg)
2	1	0,072096	4,89	4,86	0,0973
	2	0,071258	4,85		
	3	0,071258	4,85		
4	1	0,073211	4,95	4,76	0,0952
	2	0,066420	4,59		
	3	0,069584	4,76		
6	1	0,062228	4,40	4,39	0,0878
	2	0,063814	4,45		
	3	0,061395	4,32		
8	1	0,046321	3,51	3,36	0,0672
	2	0,043715	3,37		
	3	0,040552	3,20		
10	1	0,043157	3,34	3,20	0,0604
	2	0,040179	3,18		
	3	0,038318	3,08		
12	1	0,039435	3,14	3,20	0,0604
	2	0,040179	3,18		
	3	0,039993	3,17		

a. Waktu elektrolisis 2 menit

• Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,072096 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,072096 + 0,019$$

$$x = 0,4895$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,4895x \text{ fp} \\ &= 0,4895x 10 = 4,895 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,071258 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,071258 + 0,019$$

$$x = 0,4850$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,4850x \text{ fp} \\ &= 0,4850x 10 = 4,850 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,071258 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,071258 + 0,019$$

$$x = 0,4850$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,4850x \text{ fp} \\ &= 0,4850x 10 = 4,850 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{4,895+4,850+4,850}{3} = 4,865 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 4,865 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0973 \text{ mg} \end{aligned}$$

b. Waktu elektrolisis 4 menit

- Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,073211 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,073211 + 0,019$$

$$x = 0,495$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,495x \text{ fp} \\ &= 0,495x 10 = 4,95 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,066420 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,066420 + 0,019$$

$$x = 0,459$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,459x \text{ fp} \\ &= 0,459 \times 10 = 4,59 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,069584 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,069584 + 0,019$$

$$x = 0,476$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,476 \times \text{fp} \\ &= 0,476 \times 10 = 4,76 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{4,95+4,59+4,76}{3} = 4,76 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 4,76 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0952 \text{ mg}\end{aligned}$$

c. Waktu elektrolisis 6 menit

- Pengulangan 1

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,062228 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,062228 + 0,019 \\ x &= 0,440\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,44 \times \text{fp} \\ &= 0,440 \times 10 = 4,40 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 2

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,063814 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,063814 + 0,019 \\ x &= 0,445\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,445 \times \text{fp} \\ &= 0,445 \times 10 = 4,45 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,061395 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,061395 + 0,019 \\ x &= 0,432\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,432 \times \text{fp} \\ &= 0,432 \times 10 = 4,32 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{4,40+4,45+4,32}{3} = 4,39 \text{ mg/L}$$

Massa logam Cd dalam 20 mL sampel = konsentrasi x volume

$$= 4,39 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0878 \text{ mg}$$

d. Waktu elektrolisis 8 menit

- Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,046321 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,046321 + 0,019$$

$$x = 0,351$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,351 \times \text{fp}$$

$$= 0,351 \times 10 = 3,51 \text{ mg/L}$$

- Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,043715 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,043715 + 0,019$$

$$x = 0,337$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,337 \times \text{fp}$$

$$= 0,337 \times 10 = 3,37 \text{ mg/L}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,040552 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,040552 + 0,019$$

$$x = 0,320$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,320 \times \text{fp}$$

$$= 0,320 \times 10 = 3,20 \text{ mg/L}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,51+3,37+3,20}{3} = 3,36 \text{ mg/L}$$

Massa logam Cd dalam 20 mL sampel = konsentrasi x volume

$$= 3,36 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0672 \text{ mg}$$

e. Waktu elektrolisis 10 menit

• Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,043157 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,043157 + 0,019$$

$$x = 0,334$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,334 \times \text{fp} \\ &= 0,334 \times 10 = 3,34 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,040179 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,040179 + 0,019$$

$$x = 0,318$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,318 \times \text{fp} \\ &= 0,318 \times 10 = 3,18 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,038318 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,038318 + 0,019$$

$$x = 0,308$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,308 \times \text{fp} \\ &= 0,308 \times 10 = 3,08 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,34+3,18+3,08}{3} = 3,20 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 3,20 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,064 \text{ mg} \end{aligned}$$

f. Waktu elektrolisis 12 menit

• Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,039435 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,039435 + 0,019$$

$$x = 0,314$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,314 \times fp \\ &= 0,314 \times 10 = 3,14 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,040179 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,040179 + 0,019$$

$$x = 0,318$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,318 \times fp \\ &= 0,318 \times 10 = 3,18 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,039993 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,039993 + 0,019$$

$$x = 0,317$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,317 \times fp \\ &= 0,317 \times 10 = 3,17 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,14+3,18+3,17}{3} = 3,20 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 3,20 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,064 \text{ mg}\end{aligned}$$

4.3.4 Elektrolisis dengan 2 elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	Rata – Rata (ppm)	Massa (mg)
2	1	0,045018	3,44	3,45	0,0690
	2	0,044274	3,53		
	3	0,046693	3,40		
4	1	0,040179	3,18	3,29	0,0658
	2	0,045018	3,44		
	3	0,041669	3,26		
6	1	0,040179	3,18	3,21	0,0642
	2	0,043157	3,12		
	3	0,039063	3,34		
8	1	0,030130	2,64	2,71	0,0542
	2	0,033480	2,82		
	3	0,030689	2,67		
10	1	0,028455	2,55	2,60	0,0520
	2	0,030130	2,64		
	3	0,029572	2,61		
12	1	0,030130	2,64	2,60	0,0520
	2	0,028645	2,55		
	3	0,029386	2,60		

a. Waktu elektrolisis 2 menit

• Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,045018 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,045018 + 0,019$$

$$x = 0,344$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,344 \times \text{fp} \\ &= 0,344 \times 10 = 3,44 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,044274 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,044274 + 0,019$$

$$x = 0,340$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,340 \times \text{fp} \\ &= 0,340 \times 10 = 3,40 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,046693 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,046693 + 0,019$$

$$x = 0,468$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,468 \times \text{fp} \\ &= 0,468 \times 10 = 4,68 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,44+3,40+3,53}{3} = 3,45 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 3,45 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0690 \text{ mg} \end{aligned}$$

b. Waktu elektrolisis 4 menit

- Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,040179 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,040179 + 0,019$$

$$x = 0,318$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,318 \times \text{fp} \\ &= 0,318 \times 10 = 3,18 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,045018 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,045018 + 0,019$$

$$x = 0,344$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,344 \times \text{fp} \\ &= 0,344 \times 10 = 3,44 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,041669 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,041669 + 0,019$$

$$x = 0,326$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,326 \times \text{fp} \\ &= 0,326 \times 10 = 3,26 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,18+3,44+3,26}{3} = 3,29 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} &= \text{konsentrasi} \times \text{volume} \\ &= 3,29 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0658 \text{ mg}\end{aligned}$$

c. Waktu elektrolisis 6 menit

• Pengulangan 1

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,040179 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,040179 + 0,019 \\ x &= 0,318\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,318 \times \text{fp} \\ &= 0,318 \times 10 = 3,18 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

• Pengulangan 2

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,043157 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,043157 + 0,019 \\ x &= 0,334\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,334 \times \text{fp} \\ &= 0,334 \times 10 = 3,34 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

• Pengulangan 3

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,039063 &= 0,1861x - 0,019 \\ 0,1861x &= 0,039063 + 0,019 \\ x &= 0,312\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,312 \times \text{fp} \\ &= 0,312 \times 10 = 3,12 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata – rata konsentrasi logam Cd} = \frac{3,18+3,34+3,12}{3} = 3,21 \text{ mg/L}$$

Massa logam Cd dalam 20 mL sampel = konsentrasi x volume

$$= 3,21 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0642 \text{ mg}$$

d. Waktu elektrolisis 8 menit

- Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,030130 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,030130 + 0,019$$

$$x = 0,264$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,264 \times \text{fp}$$

$$= 0,264 \times 10 = 2,64 \text{ mg/L}$$

- Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,033480 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,033480 + 0,019$$

$$x = 0,282$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,282 \times \text{fp}$$

$$= 0,282 \times 10 = 2,82 \text{ mg/L}$$

- Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,030689 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,030689 + 0,019$$

$$x = 0,267$$

$$\text{Konsentrasi logam Cd} = 0,267 \times \text{fp}$$

$$= 0,267 \times 10 = 2,67 \text{ mg/L}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{2,64+2,82+2,67}{3} = 2,71 \text{ mg/L}$$

Massa logam Cd dalam 20 mL sampel = konsentrasi x volume

$$= 2,71 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0542 \text{ mg}$$

e. Waktu elektrolisis 10 menit

- Pengulangan 1

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\0,028455 &= 0,1861x - 0,019 \\0,1861x &= 0,028455 + 0,019 \\x &= 0,255\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,255 \times \text{fp} \\&= 0,255 \times 10 = 2,55 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 2

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\0,030130 &= 0,1861x - 0,019 \\0,1861x &= 0,030130 + 0,019 \\x &= 0,264\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,264 \times \text{fp} \\&= 0,264 \times 10 = 2,64 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengulangan 3

$$\begin{aligned}y &= 0,1861x - 0,019 \\0,029572 &= 0,1861x - 0,019 \\0,1861x &= 0,029572 + 0,019 \\x &= 0,261\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,261 \times \text{fp} \\&= 0,261 \times 10 = 2,61 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{2,55+2,64+2,61}{3} = 2,60 \text{ mg/L}$$

Massa logam Cd dalam 20 mL sampel = konsentrasi x volume

$$= 2,60 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0520 \text{ mg}$$

f. Waktu elektrolisis 12 menit

• Pengulangan 1

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,030130 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,030130 + 0,019$$

$$x = 0,264$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,264 \times \text{fp} \\ &= 0,264 \times 10 = 2,64 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 2

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,028645 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,028645 + 0,019$$

$$x = 0,255$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,255 \times \text{fp} \\ &= 0,255 \times 10 = 2,55 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

• Pengulangan 3

$$y = 0,1861x - 0,019$$

$$0,029386 = 0,1861x - 0,019$$

$$0,1861x = 0,029386 + 0,019$$

$$x = 0,260$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi logam Cd} &= 0,260 \times \text{fp} \\ &= 0,260 \times 10 = 2,60 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\text{Rata - rata konsentrasi logam Cd} = \frac{2,64+2,55+2,60}{3} = 2,60 \text{ mg/L}$$

$$\text{Massa logam Cd dalam 20 mL sampel} = \text{konsentrasi} \times \text{volume}$$

$$= 2,60 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} = 0,0520 \text{ mg}$$

4.3.3 Massa Logam Cd yang terendapkan setelah elektrolisis 1 elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Massa terendapkan (mg)	Rata - rata (mg)
2	1	1,06708	1,06711	0,03	0,03
	2	1,06655	1,06658	0,03	
	3	1,09282	1,09285	0,03	
4	1	1,14040	1,14043	0,03	0,03
	2	1,16778	1,16781	0,03	
	3	1,14009	1,14012	0,03	
6	1	1,14403	1,14407	0,04	0,04
	2	1,16871	1,16875	0,04	
	3	1,15852	1,15856	0,04	
8	1	1,15654	1,15660	0,06	0,06
	2	1,17039	1,17045	0,06	
	3	1,15657	1,15663	0,06	
10	1	1,16854	1,16860	0,06	0,06
	2	1,16773	1,16779	0,06	
	3	1,16861	1,16867	0,06	
12	1	1,16854	1,16860	0,06	0,06
	2	1,15786	1,15792	0,06	
	3	1,14378	1,14384	0,06	

4.3.4 Massa Logam Cd yang terendapkan setelah elektrolisis 2 elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Massa terendapkan (mg)	Rata - rata (mg)
2	1	2,30384	2,30339	0,05	0,055
	2	2,23177	2,23183	0,06	
	3	2,29622	2,29627	0,05	
4	1	2,32624	2,32630	0,06	0,060
	2	2,21810	2,21816	0,06	
	3	2,30577	2,30583	0,06	
6	1	2,23329	2,23335	0,06	0,060
	2	2,29706	2,29712	0,06	
	3	2,32754	2,32760	0,06	
8	1	2,21918	2,21925	0,07	0,07
	2	2,21971	2,21978	0,07	
	3	2,23802	2,23809	0,07	
10	1	2,19954	2,19961	0,07	0,07
	2	2,21657	2,21664	0,07	
	3	2,38153	2,38160	0,07	
12	1	2,37864	2,37871	0,07	0,07
	2	2,38167	2,38174	0,07	
	3	2,25679	2,25686	0,07	

LAMPIRAN 4.4 PERHITUNGAN EFISIENSI METODE ELKTROLISIS

1. Elektrolisis 1 elektroda

- 2 Menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 4,865\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 21,7 \%$$

- 4 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 4,760\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 23,4 \%$$

- 6 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 4,390\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 29,4 \%$$

- 8 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,36\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 45,9 \%$$

- 10 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,20\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 48,5 \%$$

- 12 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,20\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 48,5 \%$$

2. Elektrolisis 2 elektroda

- 2 Menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,45\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 44,5 \%$$

- 4 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,29\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 47,1 \%$$

- 6 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 3,21\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 48,3 \%$$

- 8 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 2,71\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 56,4 \%$$

- 10 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 2,60\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 58,1 \%$$

- 12 menit

$$= \frac{6,220\text{mg/L} - 2,60\text{mg/L}}{6,220\text{mg/L}} \times 100 \% = 58,1 \%$$

