



**PEMISAHAN LOGAM Mn PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA  
DI KALIMANTAN SELATAN SECARA ELEKTROLISIS**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Kiky Nur Wulandari**  
**NIM 121810301005**

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



**PEMISAHAN LOGAM Mn PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA  
DI KALIMANTAN SELATAN SECARA ELEKTROLISIS**

**SKRIPSI**

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

Oleh  
**Kiky Nur Wulandari**  
**NIM 121810301005**

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

## PERSEMBAHAN

Skripsi yang berjudul “Pemisahan Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara di Kalimantan Selatan Secara Elektrolisis” ini saya persembahkan kepada :

1. Mama Kartiningsih dan Papa Sumarjan tersayang, yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, mendidik, berjuang tak kenal lelah dan berkorban tak kenal waktu. Terimakasih selalu menyebut nama anakmu didalam setiap do'a yang kalian panjatkan. Terimakasih selama ini sudah menjadi *powerbank* semangat berkapasitas tinggi. Percayalah, seluruh pencapaian hingga saat ini hanya untuk kebahagiaan kalian;
2. Kakek nenek tercinta, Paknang Yadi dan Mbah Ponisah. Teruntuk pula kakek nenek yang belum sempat saya bahagiakan disisa hidupnya, Alm. Mak Pariyem dan Alm. Mbah Mu'in;
3. Guru-guru TK Aisyiyah Bustanul Athfal Rowotengah, SDN Sumberagung 03, SMPN 03 Tanggul, SMAN 1 Simpang Empat, dan juga dosen di Jurusan Kimia FMPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Almamater Tercinta, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Pengurus HIMAKI periode 2014-2015, pengurus UKM SPORA periode 2014-2015 dan BEM FMIPA periode 2015-2016 terimakasih atas kepercayaan dan kekompakannya;
6. Rekan - rekan penelitian laboratorium kimia analitik, Zuni Dihliziah, Farin, Ayu, Mba' Fia terimakasih atas kerja sama dan bantuannya dalam penyelesaian penelitian ini;
7. Teman-teman angkatan 2012 “LANTHANIDA”, terimakasih atas pembelajaran tentang arti teman versi kalian, terimakasih atas ajakan ngopi, makan-makan dan

jalan – jalan. Terimakasih atas semua kenangan yang takkan bisa terlupakan sampai kapanpun;

8. Sahabat dunia-akhirat, makhluk unik berimajinasi tinggi, pemakan segala ,“MIINCEE” (Mpok, Ijah, Nchep, Ceret, Emot & Ebho) terimakasih atas ratusan ribu kuota internet yang telah kalian korbakan dan terimakasih atas traktiran makan dari hasil kerja kalian selama ini, sehingga penulis termotivasi untuk cepat lulus dan cepat kerja.
9. Penghuni kos “Wisma Pervokma” (lilik, tutus, laili, nuril, fenny, dila, nurul, sheila, mba aisah dll), terimakasih atas semua dukungan, perhatian dan terimakasih sudah betah hidup seataap selama bertahun – tahun dengan penulis;
10. Serta pihak-pihak yang turut membantu yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

**MOTO**

Iman tanpa ilmu bagaikan lentera di tangan bayi. Namun ilmu tanpa iman, bagaikan lentera di tangan pencuri – Buya Hamka <sup>\*)</sup>

Hidup ini bagai skripsi, banyak bab dan revisi yang harus dilewati. Tapi akan selalu berakhir indah, bagi yang pantang menyerah – Alit Susanto <sup>\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> <http://giribig.com/2014/10/kata-kata-hikmah-buya-hamka.html>

<sup>\*\*)</sup> [https://www.goodreads.com/author/quotes/5825557.Alitt\\_Susanto](https://www.goodreads.com/author/quotes/5825557.Alitt_Susanto)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kiky Nur Wulandari

NIM : 121810301005

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “*Pemisahan Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara di Kalimantan Selatan 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juni 2017

Yang menyatakan,

Kiky Nur Wulandari  
NIM 121810301005

**SKRIPSI**

**PEMISAHAN LOGAM Mn PADA AIR ASAM TAMBANG BATUBARA  
DI KALIMANTAN SELATAN SECARA ELEKTROLISIS**

Oleh

Kiky Nur Wulandari  
NIM 121810301005

Pembimbing

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

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pemisahan Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara di Kalimantan Selatan Secara Elektrolisis ” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

**Tim Penguji**

Ketua,

Anggota I,

Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D  
NIP. 196605291993031003

Tri Mulyono, S.Si., M.Si  
NIP. 196810021998021001

Anggota II,

Anggota III,

Asnawati, S.Si., M.Si  
NIP. 196808141999032001

Tanti Haryati, S.Si., M.Si  
NIP. 198010292005012002

Mengesahkan,  
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Pemisahan Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara di Kalimantan Selatan Secara Elektrolisis;** Kiky Nur Wulandari, 121810301005; 2017: 42 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Air asam tambang batubara merupakan limbah dari pertambangan batubara yang membahayakan lingkungan. Logam-logam berat juga dapat larut pada air asam tambang, diantara adalah Zn, Cd, Fe, Al, dan Mn. Penelitian yang sudah dilakukan oleh pihak Green Peace menemukan kandungan logam Mn sebesar 39,7–40,2 mg/L. Sedangkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan tahun 2010, ambang batas nilai maksimum Mn pada air minum yaitu sebesar 0,4 mg/L. Jika air asam tambang mengalir masuk ke pori-pori tanah akan sampai pada permukaan air tanah yang akan menimbulkan dampak serius. Air asam tambang tersebut dapat mengganggu pasokan air bersih yang digunakan untuk konsumsi masyarakat sehari-hari. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk memisahkan logam Mn dari air asam tambang batubara. Pemisahan logam dari campurannya dapat menggunakan metode elektrolisis. Metode elektrolisis dipilih untuk pemisahan karena logam yang dipisahkan akan memiliki kemurnian tinggi dengan kuantitas maksimal. Pemberian larutan elektrolit dan tegangan merupakan faktor utama pada metode elektrolisis, karena elektrolit dan tegangan yang diberikan akan meningkatkan arus yang mengalir pada larutan. Voltametri siklik dapat ditentukan untuk menentukan tegangan optimum. Tegangan optimum ditentukan dengan voltametri siklik karena selama pengukuran analit tidak banyak mengalami perubahan. Proses elektrolisis dapat diterapkan pada sampel berwujud cair, misalnya pada sampel air asam tambang batubara yang diambil di Kabupaten Tanah Laut – Kalimantan Selatan. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis logam Mn dengan metode voltametri siklik; (2)

mengetahui pola voltammogram secara voltametri siklik dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis Mn dari air asam tambang batubara; (3) mengetahui pengaruh variasi waktu dan jumlah katoda pada elektrolisis terhadap jumlah logam Mn yang berhasil dipisahkan dan (4) mengetahui seberapa besar efisiensi metode elektrolisis secara voltametri siklik untuk isolasi logam Mn pada air asam tambang batubara.

Tahapan-tahapan pada penelitian ini yaitu (1) penentuan konsentrasi larutan elektrolit optimum, tegangan optimum logam Mn larutan standar dan larutan sampel air asam tambang batubara dengan metode voltametri siklik; (2) Tegangan optimum yang dihasilkan dari metode voltametri siklik, kemudian diaplikasikan pada proses elektrolisis logam Mn dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit serta variasi jumlah elektroda; (3) menimbang berat elektroda & menganalisis kadar logam Mn dengan spektroskopi serapan atom (SSA) sebelum dan sesudah proses elektrolisis.

Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi elektrolit optimum yaitu sebesar 0,150 M. Sedangkan tegangan optimum dan nilai arus tertinggi logam Mn dari pengukuran sampel berada pada penambahan KCl dengan konsentrasi 0.150 M yaitu -987.688 mV dengan arus -781.333 ( $\mu$ A). Tegangan optimum dan arus optimum pada larutan standar  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$  adalah sebesar -929.875 mV dan -547.000 ( $\mu$ A). Massa logam Mn sebelum dielektrolisis adalah 0,18 mg/20 mL. Setelah proses elektrolisis menggunakan tegangan optimum dan penambahan larutan elektrolit selama 40 menit logam Mn yang menempel pada katoda sebesar 0,06 mg dengan menggunakan 1 elektroda, sedangkan dengan menggunakan 2 elektroda logam Mn yang menempel pada katoda sebesar 0,087 mg. Nilai efisiensi metode elektrolisis untuk pemisahan logam Mn pada sampel air asam tambang batubara sebesar 32,8 % dengan 1 elektroda dan 50 % dengan 2 elektroda.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pemisahan Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara di Kalimantan Selatan Secara Elektrolisis. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

1. Kedua orang tua, Papa Sumarjan dan Mama Kartiningsih terimakasih atas segalanya;
2. Drs. Sujito, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
4. Kepala Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
5. Kepala Laboratorium Tanah, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia;
6. 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 membimbing dengan penuh kesabaran dalam penulisan skripsi ini;
7. Asnawati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji I dan Tanti Haryati, S.Si.,M.Si. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
8. Tanti Haryati, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah memberikan ilmu selama penulis menjadi mahasiswa;

10. Teknisi laboratorium dan admin jurusan, Mas Yuzril, Mas Darma, Mas Dul, Mbak Sari dan Mas Edi yang telah banyak membantu;

Akhirnya penulis berharap, semoga setiap kalimat yang ada dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan.

Jember, Juni 2017

Penulis



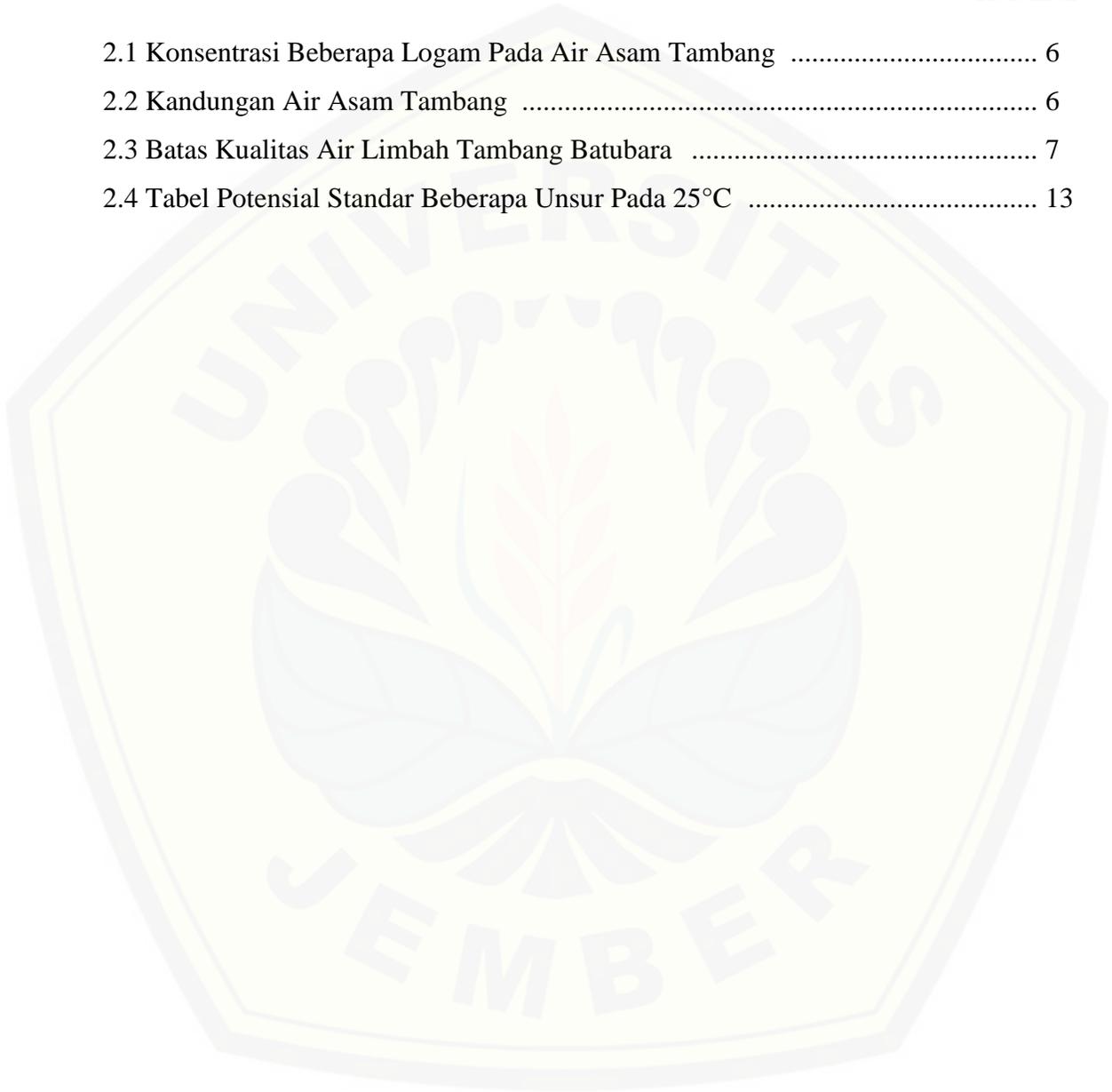
DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Air Asam Tambang Batubara</b> .....	5
2.1.1 Pembentukan Air Asam Tambang Batubara .....	5
2.1.2 Kandungan Logam Pada Air Asam Tambang Batubara .....	6
<b>2.2 Mangan (Mn)</b> .....	7
2.2.1 Karakteristik Logam Mangan .....	7
2.2.2 Toksisitas Logam Mangan .....	8
<b>2.3 Prinsip Dasar Analisis Elektrokimia</b> .....	8
<b>2.4 Voltammetri</b> .....	8
2.4.1 Voltammetri Siklik .....	10
<b>2.5 Elektrolisis</b> .....	11
2.5.1 Sel Elektrolisis .....	12
2.5.2 Reaksi Reduksi – Oksidasi .....	12
2.5.3 Potensial Elektroda Standar ( $E^\circ$ ) .....	13
2.5.4 Larutan Elektrolit .....	13
<b>2.6 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)</b> .....	14
2.6.1 Prinsip Dasar dan Hukum Dasar SSA .....	14
2.6.2 Instrumentasi Spektroskopi Serapan Atom .....	15
2.6.3 Kelebihan dan Kekurangan SSA .....	16
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	18
<b>3.1 Tempat Penelitian dan Waktu</b> .....	18

<b>3.2 Metode Penelitian</b> .....	18
3.2.1 Alat dan Bahan.....	18
<b>3.3 Rancangan Penelitian</b> .....	19
3.3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	20
<b>3.4 Prosedur Kerja</b> .....	21
3.4.1 Preparasi Sampel .....	21
3.4.2 Penentuan Tegangan Optimum dan Konsentrasi Elektrolit Optimum Secara Voltametri Siklik .....	22
3.4.3 Isolasi Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara Secara Elektrolisis dengan Tegangan Optimum dan Konsentrasi Elektrolit Optimum.....	22
3.4.4 Perhitungan Nilai Efisiensi Metode Elektrolisis .....	23
<b>BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
<b>4.1 Optimasi Konsentrasi Elektrolit Optimum dan Tegangan         Optimum Ion Mn<sup>2+</sup> Pada Sampel Air Asam Tambang Batubara         Secara Voltametri Siklik</b> .....	26
<b>4.2 Penentuan Tegangan Optimum Ion Mn<sup>2+</sup> Pada Larutan         Standar Secara Voltametri Siklik</b> .....	29
<b>4.3 Pemisahan Logam Mn Secara Elektrolisis</b> .....	31
<b>4.4 Efisiensi Metode Elektrolisis Untuk Isolasi Logam Mn Dari Air         Asam Tambang Batubara</b> .....	36
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	38
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	38
<b>5.2 Saran</b> .....	38
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	43

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Konsentrasi Beberapa Logam Pada Air Asam Tambang .....	6
2.2 Kandungan Air Asam Tambang .....	6
2.3 Batas Kualitas Air Limbah Tambang Batubara .....	7
2.4 Tabel Potensial Standar Beberapa Unsur Pada 25°C .....	13



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Air Asam Tambang Batubara .....	6
2.2 Skema Sel Voltametri Secara Umum.....	9
2.3 <i>Voltammogram</i> Siklik .....	11
2.4 Skema Umum Komponen SSA.....	15
3.1 Set Alat Elektrolisis .....	22
4.1 Desain Alat Potensiostat Untuk Penentuan Tegangan ion $Mn^{2+}$ Secara Voltametri Siklik .....	26
4.2 <i>Voltammogram</i> Sampel Dengan Variasi Konsentrasi Elektrolit Secara Voltametri Siklik Dengan <i>Scan Rate</i> 100 mV/s vs Ag/AgCl. ....	28
4.3 <i>Voltammogram</i> larutan standar dengan penambahan larutan elektrolit KCl 0.150 M secara voltametri siklik pada <i>scan rate</i> 100 mv/s vs Ag/AgCl. ....	29
4.4 Perbandingan <i>Voltammogram</i> Larutan Standar dengan Larutan Sampel.....	30
4.5 Set Alat Elektrolisis .....	32
4.6 Kurva Kalibrasi. ....	28
4.7 Massa Logam Mn yang Terendap Pada Katoda Setelah Elektrolisis. ....	33
4.8 Massa Logam Mn yang Tersisa Pada Larutan Setelah Elektrolisis .....	35
4.9 Efisiensi Metode Elektrolisis. ....	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Perhitungan Pembuatan Larutan Standar dan Larutan Elektrolit .....	43
3.1.1 Pembuatan Larutan Standar $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .....	43
3.1.2 Pembuatan Larutan Elektrolit KCl 0,2 M .....	43
4.1 Optimasi Tegangan dan Konsentrasi Elektrolit Pada Voltametri Siklik .....	46
4.1.1 Voltammogram dan Hasil Scanning logam Mn dan Variasi Konsentrasi Elektrolit Pada Sampel .....	46
4.1.2 Voltammogram dan Hasil Scanning logam Mn Larutan Standar .....	47
4.2 Pengukuran Konsentrasi Logam Mn Pada Sampel AAT Batubara .....	48
4.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi AAS .....	48
4.2.2 Pembuatan Kalibrasi Potensial <i>Voltmeter</i> .....	49
4.2.3 Elektrolisis Logam Mn .....	49
4.3 Massa Logam Mn yang Menempel Pada Katoda .....	58
4.4 Efisiensi Metode Elektrolisis Pada Sampel AAT Batubara .....	59

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air asam tambang terbentuk dari reaksi mineral sulfida dengan air dan oksigen. Mineral sulfida terbentuk akibat pengupasan tanah penutup pada proses penggalian batubara. Air asam tambang yang dihasilkan kemudian akan mengikis tanah dan batuan yang akan mengakibatkan larutnya logam-logam seperti seng (Zn), cadmium (Cd), besi (Fe), aluminium (Al) dan mangan (Mn). Air asam tambang selain memiliki pH rendah ( $\text{pH} < 5$ ) juga mengandung logam-logam berbahaya dengan konsentrasi tinggi, sehingga dapat memberi dampak buruk bagi lingkungan maupun kesehatan manusia (Juari, 2006). Ambang batas kandungan logam Mn pada air asam tambang yang diperbolehkan di Indonesia yaitu sebesar 4 mg/L dengan pH 6-9. Penelitian yang telah dilakukan pihak Green Peace pada air asam tambang yang berada di Asam-Asam Kabupaten Tanah Laut Propinsi Kalimantan Selatan menemukan kandungan Mn sebesar 39,7–40,2 mg/L dengan pH 2,32.

Air asam tambang masuk ke pori-pori tanah dapat mengganggu pasokan air bersih yang digunakan untuk konsumsi masyarakat sehari-hari (Wijaya, 2009). Air asam tambang yang mengandung Mn cukup besar akan menjadi kontaminan yang memiliki dampak serius hingga merusak sel syaraf manusia jika terpapar, serta juga akan menyebabkan perubahan rasa dan warna air. Selain itu juga, mineral logam Mn pemakaiannya sangat luas di bidang industri logam, sehingga perlu dilakukan eksplorasi. Upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan oleh air asam tambang telah banyak dilakukan diantaranya dengan fitoremediasi (Ariyani *et al.*, 2014), fly-ash dan zeolit sintetis (Rios *et al.*, 2008), serta elektrokimia (Luptakova *et al.*, 2012).

Elektrolisis dapat digunakan untuk memisahkan logam dari campurannya. Kelebihan elektrolisis yaitu di antaranya logam yang diperoleh memiliki tingkat kemurnian tinggi dengan kuantitas maksimal, prosesnya sederhana dan cepat serta tidak memerlukan pemisahan terlebih dahulu (Asyari, 2012). Elektrolisis dapat digunakan untuk mengambil logam terlarut dengan menggunakan bantuan arus

listrik. Banyaknya produk yang terbentuk atau reaktan yang dikonsumsi dalam sel elektrolisis bergantung pada kualitas arus listrik yang ditransfer pada elektroda (Chang, 2004).

Menurut Sopiah (2008), terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah waktu, suhu, tegangan, jenis elektroda, arus listrik dan konsentrasi elektrolit. Salah satu faktor penentu dalam elektrolisis yaitu tegangan. Tegangan yang diberikan dari luar akan mempengaruhi tingginya arus yang mengalir pada larutan. Reaksi pembentukan logam pada katoda akan lebih cepat seiring dengan meningkatnya arus (Arung, 2015). Penelitian kali ini menggunakan metode voltametri siklik dalam penentuan optimasi tegangan. Pemberian potensial pada voltametri siklik akan diberikan secara bolak-balik, sehingga proses oksidasi-reduksi yang terjadi dapat teramati dengan baik. Voltametri siklik dapat memberikan informasi mengenai proses reaksi reduksi-oksidasi secara termodinamika dan juga transfer elektron yang terjadi (Harvey, 2000).

Optimasi penambahan larutan elektrolit juga dilakukan dengan metode voltametri siklik. Penentuan konsentrasi elektrolit optimum ini bertujuan untuk mendukung jalannya reaksi redoks dalam sel elektrokimia. Setelah didapat tegangan dan konsentrasi elektrolit optimum dengan metode voltametri siklik, kemudian akan diterapkan pada proses elektrolisis. Proses pemisahan secara elektrolisis dapat dilakukan dengan sampel berwujud cairan, misalnya pada air asam tambang batubara.

Menurut penelitian yang sudah dilakukan Ridaningtyas (2013), dengan proses elektrolisis penurunan konsentrasi logam Mn dari limbah cair industri percetakan sebesar 35,91 mg/L dan menurut penelitian yang dilakukan Ariyani *et al.*, (2014) dengan fitoremediasi logam Mn dapat dipisahkan dari air asam tambang sebesar 0,24 mg/g. Penelitian mengenai pemisahan logam Mn dari air asam tambang di Kalimantan Selatan secara elektrolisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak logam yang dapat direduksi sehingga dapat digunakan sebagai upaya untuk memperkecil resiko terjadinya pencemaran lingkungan akibat dari air asam tambang batubara.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi elektrolit dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis logam Mn dengan metode voltametri siklik?
2. Bagaimana pola voltammogram yang diperoleh secara voltametri siklik dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis Mn dari air asam tambang batubara?
3. Bagaimana pengaruh variasi waktu dan jumlah katoda pada elektrolisis terhadap jumlah logam Mn yang berhasil dipisahkan?
4. Berapa besar efisiensi metode elektrolisis untuk isolasi logam Mn dari air asam tambang secara voltametri siklik?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu temperatur larutan pada proses elektrolisis tidak dilakukan pengontrolan (temperatur ruangan) dan logam elektroda yang digunakan pada proses elektrolisis tidak ditentukan tingkat kemurniannya.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis logam Mn dengan metode voltametri siklik
2. Mengetahui pola voltammogram secara voltametri siklik dalam penentuan tegangan optimum untuk elektrolisis Mn dari air asam tambang batubara
3. Mengetahui pengaruh variasi waktu dan jumlah katoda pada elektrolisis terhadap jumlah logam Mn yang berhasil dipisahkan.
4. Mengetahui seberapa besar efisiensi metode elektrolisis secara voltametri siklik untuk isolasi logam Mn pada air asam tambang batubara.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk :

1. Memberikan informasi yang bermanfaat bagi industri, masyarakat dan peneliti mengenai metode yang tepat untuk isolasi logam Mn dari air asam tambang batubara.
2. Memberikan informasi pengaruh kondisi eksperimen (tegangan optimum, konsentrasi larutan elektrolit optimum, waktu elektrolisis, jumlah katoda dan efisiensi metode elektrolisis) terhadap jumlah logam Mn yang berhasil dipisahkan.
3. Memberikan solusi untuk mengurangi pencemaran air dan tanah yang disebabkan oleh air asam tambang batubara.

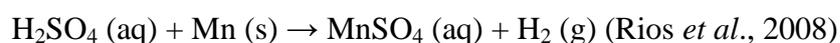
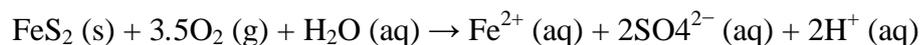
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Air Asam Tambang Batubara

#### 2.1.1 Pembentukan Air Asam Tambang Batubara

Pertambangan batubara di Indonesia umumnya dilakukan dengan cara terbuka (*open pit mining*). Pertambangan terbuka ini akan berdampak terhadap perubahan sifat kimia–fisik dari tanah dan perubahan bentang alam. Kegiatan pertambangan umumnya akan menimbulkan kerusakan pada permukaan bumi, kerusakan yang ditimbulkan antara lain adalah pembentukan air asam tambang (Baiquni, 2007).

*Acid Mine Drainage* (AMD) merupakan air yang terbentuk dilokasi penambangan yang memiliki pH < 6 (asam). Penambangan dilakukan dengan pembongkaran mineral dari batuan induk sehingga terjadi penyingkapan batuan. Batuan yang tersisa umumnya mengandung senyawa sulfida yang saat teroksidasi akan melepaskan sulfat ke lingkungan sehingga pH lingkungan akan menjadi rendah atau bersifat asam. Pembentukan air asam tambang dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu diantaranya oksigen, air dan batuan yang mengandung mineral – mineral sulfida (Nurisman, 2012). Mineral sulfida akibat tersingkapnya tanah atau batuan tersebut antara lain berupa *sphalerite* (ZnS), *arsenopyrite* (FeAsS), *molybdenite* (MoS<sub>2</sub>), *millerite* (NiS), galena (PbS), *pyrite* (FeS<sub>2</sub>), *marcasite* (FeS<sub>2</sub>), *covelite* (CuS), *chalcopyrite* (CuFeS<sub>2</sub>), *Pyrrhotite* (Fe<sub>x</sub>S<sub>x</sub>), *chalcosite* (CuS<sub>2</sub>) (Skousen *et al.*, 1998). pH rendah (asam) menyebabkan tingginya kelarutan logam. Beberapa logam yang dapat larut yaitu besi (Fe), mangan (Mn), kadmium (Cd) dan seng (Zn). Semakin asam airnya, logam yang terlarut di dalamnya juga akan semakin tinggi (Marganingrum dan Noviardi, 2010). Reaksi pembentukan air asam tambang dengan mineral sulfida dan pelarutan logam mangan pada air asam tambang adalah sebagai berikut :





Gambar 2.1 Air asam tambang batubara (Sumber : GreenPeace,2014)

### 2.1.2 Kandungan Logam Pada Air Asam Tambang Batubara

Berikut konsentrasi logam pada air asam tambang menurut penelitian yang dilakukan oleh Green Peace tahun 2014 di daerah Asam-Asam, Kalimantan Selatan.

Tabel 2.1 Konsentrasi beberapa logam pada air asam tambang

No.	pH	Logam ( $\mu\text{g} / \text{l}$ )				
		Al	Cd	Fe	Mn	Zn
1	3,36	9460	<5	815	12300	641
2	2,85	25400	<5	6015	12850	764
3	3,34	2330	<5	200	10350	116
4	3,15	9080	<5	9740	16500	941
5	2,32	107000	6	79200	40200	3210

(Sumber : GreenPeace, 2014)

Menurut penelitian Afrianty *et al.*, (2012) yang dilakukan di daerah Tanjung Api-Api, Palembang kandungan air asam tambang batubara ditunjukkan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan air asam tambang

No.	Parameter	Nilai	Standar
1.	Ph	4,31	6-9
2	TSS (ppm)	97,5	50
3	Logam Fe	2,335	0,3
4	Logam Mn	10,982	0,1

(Sumber : Afrianty, *et al.*, 2012).

Indonesia dan Bank Dunia telah mengeluarkan batas kualitas air limbah batubara. Batas kualitas air limbah tambang batubara yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Batas kualitas air limbah tambang batubara

Parameter	Standart Indonesia	Pedoman Bank Dunia
pH	6 -9	6 – 9
TSS	400 mg/L	50 mg/L
Fe total	7 mg/L	2 mg/L
Mn total	4 mg/L	-
Kromium	-	0,1 mg/L
Nikel	-	0,5 mg/L
Zink	-	0,5 mg/L
Tembaga	-	0,3 mg/L

(Sumber : Green Peace, 2014).

## 2.2 Mangan (Mn)

### 2.2.1 Karakteristik logam Mn

Mangan merupakan logam berwarna putih keabu-abuan. Mangan tergolong dalam logam berat, namun sangat rapuh dan mudah teroksidasi. Logam dan ion dari mangan bersifat paramagnetik (orbital d terisi penuh pada konfigurasi elektron) (Svehla, 1985). Mangan masuk kedalam 12 unsur yang cukup banyak terdapat di kerak bumi. Mangan diperkirakan terdapat lebih dari 3 triliun berukuran seperti kentang di samudra. Mineral mangan diseluruh dunia diperkirakan sebesar 0,1 % dari kandungan kerak bumi. Mineral logam mangan pemakaiannya sangat luas di bidang industri logam, sehingga perlu dilakukan eksplorasi. Sekitar 80-90 % mangan digunakan untuk keperluan metalurgi, yang meliputi pembuatan baterai, kimia, industri logam, keramik, korek api, dll (USGS Mineral, 2002).

Mangan memiliki nomor atom sebesar 25, densitas logam mangan yaitu  $7,21 \text{ g/cm}^3$ . Titik didih dan titik lebur dari logam mangan masing-masing sebesar 2334 dan 1519 Kelvin. Mangan memiliki kalor fusi dan kalor penguapan sebesar 12,91 dan 221 kJ/mol. Kapasitas panas pada  $25^\circ\text{C}$  logam mangan yaitu 26,32 J/mol. K serta energi ionisasi dari logam mangan sebesar 1,55 kJ/mol (Effendi, 2003).

### 2.2.2 Toksisitas Logam Mn

Kulit yang terpapar logam mangan akan mengalami iritasi. Mangan dapat merusak saluran otak dan pernafasan pada manusia. Gejala yang timbul akibat kontaminasi mangan yaitu berupa halusinasi, pelupa dan rusaknya sel syaraf. Paparan Mn dengan kadar yang sangat tinggi dapat menyebabkan sindrom Parkinson (Salmin, 2005). Menurut (Sitepoe, 1997) pada kadar tertentu Mn dalam air dapat mengakibatkan korosi pada pipa saluran air dan terbentuk endapan hitam sebagai tempat perkembangbiakan bakteri yang menyebabkan kekeruhan air, perubahan rasa dan warna air.

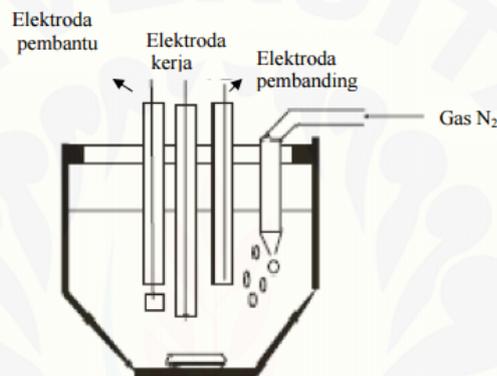
### 2.3 Prinsip Dasar Analisis Elektrokimia

Analisis elektrokimia merupakan kelompok metode analisis kuantitatif atau kualitatif yang didasarkan pada sifat-sifat kelistrikan suatu larutan yang dianalisis dalam suatu sel elektrokimia. Elektrokimia merupakan ilmu yang mempelajari aksi antara sifat-sifat listrik dari reaksi kimia. Klasifikasi sel elektrokimia ada 2, yaitu sel galvani dan sel elektrolisis. Jika sel digunakan untuk menghasilkan energi listrik (potensial sel positif) disebut sel galvani, sedangkan pada sel elektrolisis, sel membutuhkan energi listrik dari suatu sumber (Hendayana *et al*, 1994). Reaksi yang terjadi pada elektrokimia didasarkan pada reaksi reduksi–oksidasi. Aliran elektron ditandai dengan pelepasan elektron atau dapat dikatakan elektron berpindah dari atom satu ke atom yang lain (oksidasi) dan penangkapan elektron (reduksi) (Khopkar, 2003).

### 2.4 Voltammetry

*Voltammetry* merupakan metode elektrokimia dimana arus diamati pada pemberian potensial tertentu. Voltametri berasal dari kata *volt* – *ampero* – *metry*. Kata *volt* diartikan sebagai potensial, *ampero* diartikan sebagai arus dan *metry* diartikan sebagai pengukuran. Arus yang timbul disebabkan karena reaksi reduksi oksidasi terjadi di permukaan elektroda. Arus yang dihasilkan akan sebanding dengan konsentrasi analit pada larutan (Hendayana, 1994).

Spesi yang dapat bertindak sebagai penghantar yang dapat memancarkan atau mengumpulkan elektron dalam suatu sel disebut dengan elektroda. Anoda dan katoda adalah sebutan untuk elektroda pada sel elektrokimia. Anoda dapat didefinisikan sebagai elektroda tempat terjadinya proses oksidasi, sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda tempat terjadinya proses reduksi (Daintith, 1994). Menurut Harvey (2000), sel voltametri terdiri dari elektroda kerja (*working electrode/WE*), elektroda bantu (*counter electrode/CE*) dan elektroda pembanding (*reference electrode/RE*).



Gambar 2.2 Skema sel voltametri secara umum (Sumber : Wang, 1994).

a. Elektroda Kerja (*Working Electrode/WE*)

Elektroda kerja merupakan suatu elektroda yang potensial elektrodanya bergantung pada konsentrasi analit yang diukur. Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi-oksidasi. Potensial elektroda kerja dapat divariasikan terhadap waktu untuk mendapat reaksi yang diinginkan dari analit. Beberapa elektroda kerja yang sering digunakan yaitu elektroda Hg, C dan Au (Vogel, 1994).

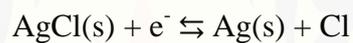
b. Elektroda Bantu (*Counter Electrode/CE*)

Elektroda bantu dikendalikan oleh potensiostat untuk kesetimbangan arus difusi pada elektroda kerja dengan transfer elektron ke arah sebaliknya. Saat terjadi reaksi reduksi pada elektroda kerja, maka elektroda bantu akan mengalami reaksi oksidasi. Elektroda yang digunakan sebagai elektroda bantu biasanya

bersifat inert seperti Pt atau C dimana elektroda bantu ini berfungsi sebagai pembawa arus (Wang, 1994).

c. Elektroda Pembanding (*Reference Electrode/RE*)

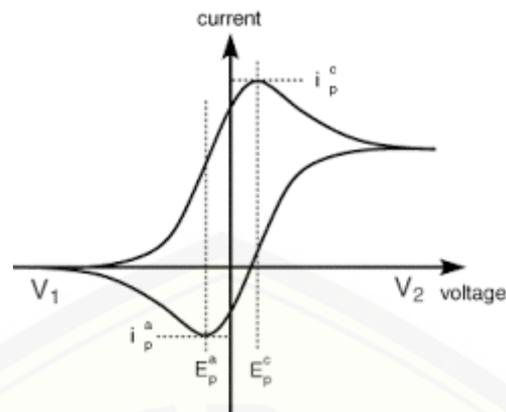
Syarat suatu elektroda pembanding yaitu harga setengah selnya sudah diketahui konstan dan juga tidak mempengaruhi komposisi larutan yang sedang diukur. Fungsi dari elektroda pembanding adalah sebagai penstabil beda potensial pada elektroda kerja dalam sel elektrokimia. Elektroda perak/perak klorida (Ag/AgCl) merupakan elektroda pembanding yang umum digunakan. Larutan jenuh 3,5 M KCl merupakan larutan untuk membuat elektroda Ag/AgCl, harga potensialnya yaitu sebesar +0,2221V pada 25°C. Potensial pada elektroda Ag/AgCl didasarkan pada pembentukan reaksi transfer elektron ion logam. Berikut adalah reaksi setengah sel dari elektroda Ag/AgCl :



(Hendayana, 1994).

#### 2.4. 1 Voltametri Siklik

Voltametri siklik adalah teknik voltametri dimana arus akan diukur pada saat terjadinya scanning potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali ke potensial awal, dengan begitu arus katodik dan anodik dapat diukur. Arus katodik merupakan arus yang digunakan saat scanning dari arus yang lebih besar menuju arus yang lebih kecil, sedangkan arus anodik merupakan arus sebaliknya (Khopkar, 1990). Prinsip dasar dari analisis secara voltametri siklik yaitu pada variasi potensial yang digunakan elektroda kerja. Potensiostat mengukur arus yang dihasilkan dari potensial yang diterapkan selama proses scanning potensial. Arus dan potensial akan diplotkan membentuk suatu voltammogram (Wang, 1994). Potensial awal akan bergerak ke arah yang negatif menuju ada potensial akhir yang dicapai sehingga membentuk siklus setengah reaksi yang dapat disebut sebagai reaksi reduksi – oksidasi (Rieger, 1994).



Gambar 2.3 Voltammogram siklik

## 2.5 Elektrolisis

Elektrolisis merupakan suatu proses reaksi kimia yang terjadi pada elektroda yang tercelup dalam elektrolit ketika dialiri arus listrik dari sumber potensial luar (Dogra, 1990). Proses elektrolisis menggunakan arus searah yang berfungsi sebagai sumber listrik sehingga dapat memberikan arus konstan terhadap waktu elektrolisis. Energi listrik berfungsi sebagai pompa elektron yang menggerakkan elektron ke katoda, dan menjadi penarik elektron dari anoda (Chang, 2005). Faraday menyatakan banyaknya zat yang dihasilkan pada proses elektrolisis sebagai “massa zat yang terbentuk pada masing – masing elektroda akan sebanding dengan kuat arus yang mengalir pada proses elektrolisis” yang kemudian disebut dengan Hukum Faraday 1. Persamaan Hukum Faraday 1 adalah sebagai berikut:

$$w = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500}$$

Dimana,

w = massa zat yang dihasilkan

e = elektron valensi

i = kuat arus (ampere)

t = waktu (menit)

### 2.5.1 Sel Elektrolisis

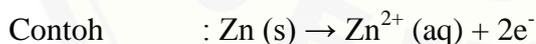
Sel elektrolisis biasanya merupakan tempat terjadinya reaksi kimia nonsponatan. Perubahan massa yang terjadi pada sel elektrolisis disebabkan karena zat-zat pada sel elektrolisis mengurai. Perubahan massa tersebut disebabkan karena adanya gaya gerak listrik di dalam sel tersebut. Daya gerak listrik merupakan beda potensial standar elektroda positif (anoda) dan beda potensial standar elektroda negatif (katoda). Perbedaan jenis komposisi bahan elektroda yang akan dipakai dan perbedaan konsentrasi elektrolit menyebabkan adanya perbedaan potensial standar. Agar arus listrik dapat mengalir dalam larutan, dibutuhkan elektroda yang dihubungkan secara eksternal (Suharman dan Mulja, 1995).

### 2.5.2 Reaksi Reduksi – Oksidasi

Reaksi reduksi merupakan peristiwa penangkapan elektron. Suatu zat menerima elektron dari zat lain. Senyawa yang mengalami reduksi disebut oksidator. Sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron. Suatu zat memberikan elektron kepada zat lainnya. Senyawa yang mengalami oksidasi disebut reduktor (Syukri, 1999).

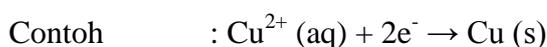
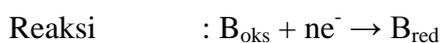
#### a. Anoda

Anoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi. Pelepasan elektron dari larutan ke elektroda berlangsung selama reaksi oksidasi terjadi.



#### b. Katoda

Katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi. Penangkapan dan perpindahan elektron dari elektroda ke larutan selama reaksi reduksi terjadi.



(Khairunisa, 2008).

### 2.5.3 Potensial Elektroda Standar ( $E^\circ$ )

Potensial elektroda standart suatu elektroda merupakan daya gerak listrik yang diakibatkan oleh pelepasan elektron pada proses reaksi reduksi. Sebutan lain untuk potensial elektroda standar yaitu potensial reduksi standar. Satuan untuk menyatakan nilai potensial adalah volt (v). Nilai  $E^\circ > 0$ , maka akan bersifat sebagai oksidator (mengalami reduksi), sedangkan jika  $E^\circ < 0$  maka akan bersifat reduktor (mengalami oksidasi) (Ahmad, 1992).

Tabel 2.4 Potensial Standar Beberapa Unsur Pada 25°C

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

(Sumber : Vogel, 1994)

### 2.5.4 Larutan Elektrolit

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)

## 2.6 Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Spektroskopi serapan atom (SSA) merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif dimana pengukuran dilakukan berdasarkan absorpsi cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam pada keadaan bebas. Jika cahaya dengan panjang gelombang tertentu di lewatkan pada suatu zat yang di dalamnya terdapat atom–atom bebas maka sebagian cahaya akan di serap. Intensitas penyerapan sebanding dengan banyaknya atom bebas suatu logam yang berada pada suatu zat (Skoog *et al*, 2000).

### 2.6.1 Prinsip Dasar dan Hukum Dasar Spektroskopi Serapan Atom SSA

#### a. Prinsip Dasar Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Prinsip dari metode SSA yaitu penyerapan cahaya oleh atom. Atom–atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat unsur. Panjang gelombang tertentu yang memancarkan cahaya memiliki cukup energi untuk merubah tingkat elektronik dari atom. Suatu unsur mempunyai transisi elektronik yang bersifat spesifik, dimana penyerapan akan mendapat energi yang banyak dari suatu atom pada keadaan dasar yang kemudian akan naik tingkat energinya pada keadaan eksitasi (Khopkar, 1990).

Menurut Boybul (2009) analisis menggunakan SSA dilakukan dengan mengalirkan sampel ke dalam nyala. Sampel–sampel dalam nyala selanjutnya akan terurai menjadi atom–atom bebas. Atom–atom tersebut akan mengalami eksitasi karena atom–atom tersebut menyerap sinar. Jumlah sinar yang terserap akan sebanding dengan jumlah konsentrasi unsur dalam larutan, sehingga dengan metode SSA ini kadar unsur dalam sampel dapat diketahui.

#### b. Hukum Dasar Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi dapat ditinjau dari hukum sebagai berikut :

1) Hukum Lambert : Jika suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang akan diteruskan berkurang seiring bertambahnya ketebalan medium yang mengadsorpsi.

2) Hukum Beer : Seiring bertambahnya konsentrasi spesi yang menyerap sinar, intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang secara eksponensial (Anshori, 2005).

Dari kedua hukum diatas, diperoleh persamaan :

$$I_t = I_o \cdot e^{-(\epsilon bc)}, \text{ atau}$$

$$A = -\log I_t/I_o = \epsilon bc$$

Dimana,

$I_o$  = Intensitas sumber sinar

$I_t$  = Intensitas sinar yang diteruskan

$\epsilon$  = Absorptivitas molar

$b$  = panjang medium

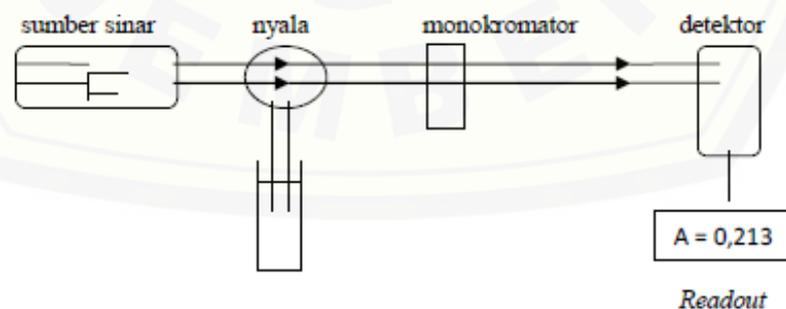
$c$  = konsentrasi atom–atom yang menyerap sinar

$A$  = absorbansi

Persamaan diatas menunjukkan bahwa absorbansi cahaya akan berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Day & Underwood, 2002).

### 2.6.2 Instrumentasi Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Terdapat dua komponen utama pada instrumen SSA, yaitu suatu sel atom yang menghasilkan atom–atom gas bebas pada keadaan dasar dan suatu sistem optik untuk mengukur sinyal. Berikut adalah instrumen dari spektroskopi serapan atom :



Gambar 2.4 Skema umum komponen SSA (Sumber : Gandjar dan Rohman, 1987).

#### a. Sumber Cahaya

Sumber cahaya yang digunakan pada metode spektroskopi serapan atom adalah lampu katoda berongga. Lampu tersusun dari suatu katoda dan anoda yang terletak dalam suatu silinder gelas berongga yang terbuat dari kwarsa.

#### b. Monokromator dan Sistem Optik

Berkas cahaya yang berasal dari lampu katoda berongga akan dilewatkan pada suatu celah sempit yang kemudian difokuskan menggunakan cermin menuju monokromator. Fungsi dari monokromator pada SSA ini adalah untuk memisahkan, mengisolasi dan mengontrol intensitas energi yang akan diteruskan menuju detektor.

#### c. Detektor

Energi yang diteruskan dari sel atom harus diubah menjadi bentuk sinyal listrik yang kemudian akan diperkuat dan diukur oleh suatu sistem pengolah data. Proses perubahan tersebut terjadi pada detektor. Detektor yang biasa digunakan adalah tabung pengganda foton. Peralatan pembaca data dapat berupa voltmeter digital, galvanometer sederhana dan potensiometer perekam pena tinta (Rohman, 2007).

#### d. Read Out

Hasil pembacaan yang keluar dari analisis menggunakan spektroskopi serapan atom dapat berupa kurva dari suatu recorder yang menggambarkan absorbansi. *Read out* pada SSA berfungsi untuk merubah sinyal yang diterima melalui bentuk digital (Haswell, SJ, 1991).

### 2.6.3 Kelebihan dan Kekurangan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

#### a. Kelebihan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Kelebihan metode spektroskopi serapan atom yaitu diantaranya adalah metode ini adalah metode yang sederhana, menunjukkan hasil yang akurat dan penggunaannya mudah (Sukender dkk, 2012). Selain itu juga metode spektroskopi serapan atom dapat bermanfaat pada beberapa aspek pengendalian mutu dan metodenya bersifat spesifik (Watson, 2005).

b. Kekurangan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

Kekurangan dari metode spektroskopi serapan atom adalah metode ini hanya dapat digunakan pada unsur-unsur logam dan setiap unsur logam membutuhkan lampu katoda berongga yang spesifik.



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember dan Laboratorium Tanah Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia mulai bulan Oktober 2016 sampai Maret 2017.

### 3.2 Metode Penelitian

#### 3.2.1 Alat dan Bahan

##### a. Alat

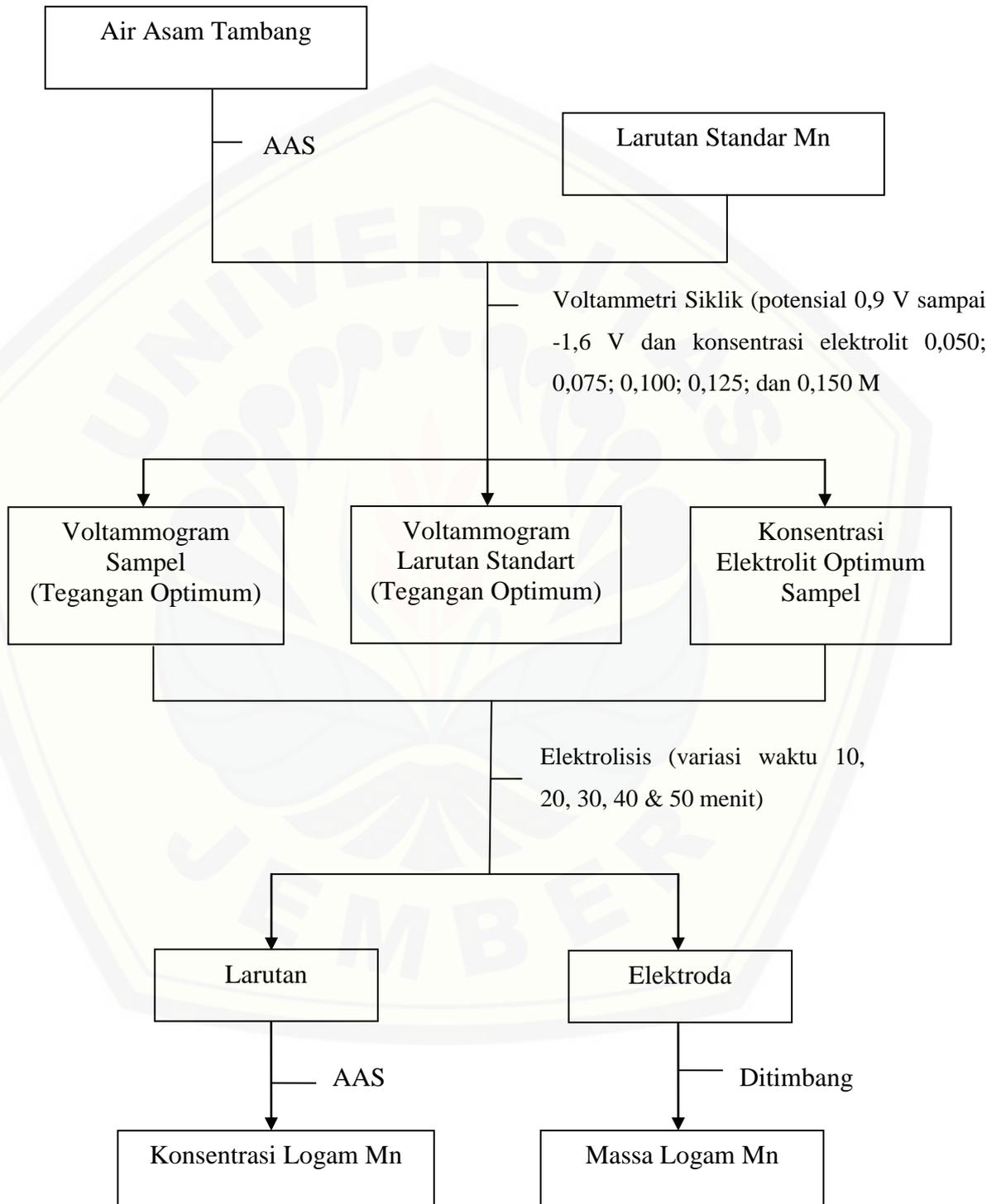
Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas kimia 100 mL, gelas kimia 50 mL, gelas ukur 100 mL, labu ukur 100 mL, labu ukur 25 mL, pipet mohr 10 mL, pipet volume 5 mL, pipet tetes, kaca arloji, *ball pipet*, kertas saring *Whatman 42*, botol semprot, corong, neraca analitik (ES 2255M-DR), *aluminium foil*, Spektroskopi Serapan Atom (SSA), *voltmeter*, elektroda C, elektroda Pt, elektroda Ag/AgCl, potensiostat AMEL Model 433A.

##### b. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air asam tambang batubara,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Merck), aquades, KCl (Merck).

### 3.3 Rancangan Penelitian

#### 3.3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3.2 Penjelasan Diagram Alir

Sampel air asam tambang mula-mula di ukur menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi awal logam Mn. Setelah diketahui konsentrasi logam Mn kemudian dibuat larutan standar yang memiliki konsentrasi mendekati larutan sampel. Larutan standar dan sampel kemudian dicari tegangan optimumnya dengan menggunakan metode voltametri siklik. Platina sebagai elektroda kerja, karbon sebagai elektroda bantu dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding (Nurchi *et al*, 2007). Potensial yang diterapkan pada potensiostat adalah 0,9 V sampai -1,6 V dengan menambahkan beberapa variasi konsentrasi larutan elektrolit KCl sebesar 0,050; 0,075; 0,100; 0,125; dan 0,150 (Islam, *et al.*, 2009). Konsentrasi elektrolit optimum dapat dilihat dari voltammogram yang dihasilkan. Voltammogram yang memiliki arus maksimum merupakan pola voltammogram dari tegangan optimum dan konsentrasi elektrolit optimum. Tegangan optimum dan konsentrasi elektrolit optimum sampel yang didapat dari metode voltametri siklik kemudian digunakan untuk prosedur selanjutnya, yaitu elektrolisis.

Proses elektrolisis menggunakan katoda Pt dan anoda C. Pada proses elektrolisis dilakukan variasi waktu selama 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Waktu elektrolisis divariasikan bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap logam yang berhasil di pisahkan. Selain waktu, jumlah elektroda juga divariasikan jumlahnya. Variasi jumlah elektroda bertujuan untuk memperbesar luas permukaan. Proses elektrolisis setelah menggunakan tegangan dan konsentrasi larutan optimum sampel kemudian larutan hasil elektrolisis akan diukur kembali menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi sisa dari logam Mn. Konsentrasi logam Mn dihitung dengan menggunakan kurva kalibrasi yang dibuat sebelumnya.

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Preparasi Sampel

Air asam tambang batubara yang dijadikan sampel diambil dari bekas tambang batubara yang berada di Kabupaten Tanah Laut, Asam-Asam Kalimantan Selatan sebanyak 500 mL kemudian disaring untuk menghilangkan pengotor.

##### a. Pembuatan Larutan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1000 ppm

Sebanyak 0,3679 gram  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL dan dilarutkan dengan 20 mL akuades. Setelah itu, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan akuades sedikit demi sedikit hingga mencapai tanda batas kemudian dihomogenkan.

##### b. Pembuatan Larutan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 50 ppm

Sebanyak 5 mL larutan  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1000 ppm dimasukkan dalam labu ukur 100 mL dan kemudian ditambahkan akuades sampai tanda batas.

##### b. Pembuatan Larutan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm dari 50 ppm

Sebanyak 10, 20, 30, 40 dan 50 mL larutan  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  50 ppm masing-masing diencerkan pada labu ukur 100 mL sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan logam Mn dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm.

##### c. Pembuatan Larutan KCl 0,2 M

Sebanyak 3,7203 gram KCl dimasukkan kedalam gelas kimia 50 mL dan dilarutkan dengan 50 mL akuades. Setelah itu, larutan dimasukkan kedalam labu ukur 250 mL dan ditambahkan akuades sedikit demi sedikit hingga mencapai tanda batas kemudian dihomogenkan.

##### d. Pembuatan Larutan KCl 0,050; 0,075; 0,1; 0,125 dan 0,150 M dari KCl 0,2 M.

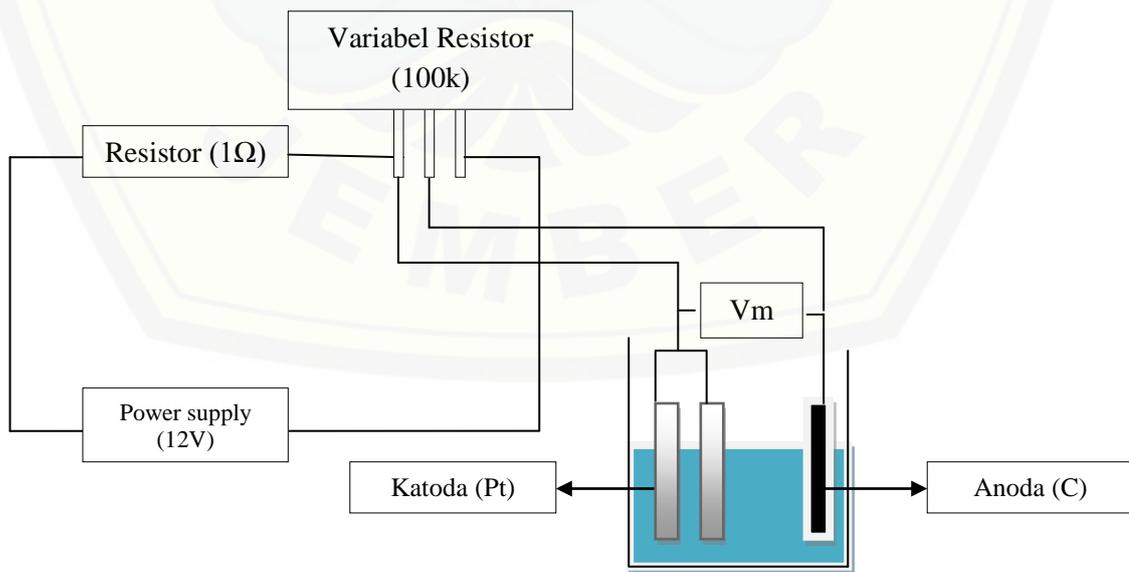
Sebanyak 25; 37,5; 50; 62,5 dan 75 mL larutan KCl 0,2 M masing-masing diencerkan pada labu ukur 100 mL sampai tanda batas, sehingga didapatkan larutan KCl dengan konsentrasi 0,050; 0,075; 0,1; 0,125 dan 0,150 M.

### 3.4.2 Penentuan Tegangan Optimum dan Konsentrasi Elektrolit Optimum Secara Voltammetri Siklik

Sebanyak 20 mL larutan diambil dan dimasukkan dalam gelas kimia 50 mL. Kedalam larutan ditambahkan larutan elektrolit KCl sebanyak 10 mL dengan konsentrasi 0,050; 0,075; 0,1; 0,125 dan 0,150 M. Elektroda yang digunakan untuk menentukan tegangan optimum logam Mn adalah elektroda platina (Pt) sebagai elektroda kerja (*working electrode*), elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding (*reference electrode*) dan elektroda karbon (C) sebagai elektroda bantu (*counter electrode*). Beda potensial pada potensiostat diatur antara 0,9 V sampai -1,6 V dengan *scan rate* 100 mV/s.

### 3.4.3 Isolasi Logam Mn Pada Air Asam Tambang Batubara Secara Elektrolisis dengan Tegangan Optimum dan Konsentrasi Elektrolit Optimum.

Sebanyak 20 mL larutan sampel ditambahkan 10 mL larutan elektrolit dengan konsentrasi optimum yang sudah didapat dari metode voltammetri siklik sebelumnya. Sebelum sampel dielektrolisis, terlebih dahulu sampel dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui konsentrasi awal logam Mn yang ada pada sampel. Waktu elektrolisis divariasikan 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda Pt sebagai katoda dan elektroda C sebagai anoda.



Gambar 3.1 Set alat elektrolisis

Sebelum digunakan, elektroda yang akan dipakai ditimbang terlebih dahulu, agar massa awal elektroda diketahui. Setiap perlakuan dilakukan dengan tiga kali pengulangan (triplo). Elektroda yang telah digunakan pada proses elektrolisis kemudian dikeringkan dan setelah kering elektroda ditimbang hingga mencapai berat konstan. Massa Mn yang berhasil dipisahkan merupakan selisih berat awal dan berat akhir. Sampel yang telah melewati proses elektrolisis kemudian dianalisis menggunakan AAS untuk mengetahui seberapa besar logam Mn yang berhasil dipisahkan dari sampel dengan menggunakan metode elektrolisis. Setelah dilakukan pengulangan 3 kali dengan 1 elektroda, kemudian proses elektrolisis dilakukan kembali dengan menggunakan 2 elektroda.

Hasil pengukuran logam Mn sebelum dan sesudah proses elektrolisis dapat disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	Rata – rata (ppm)	Massa (mg)

#### 3.4.4 Perhitungan Nilai Efisiensi Metode Elektrolisis

##### a. Pengukuran Kurva Kalibrasi Larutan Standar dengan AAS

Larutan standar yang sudah dibuat dengan konsentrasi 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; dan 2,0 ppm kemudian diukur dengan menggunakan AAS untuk menghasilkan kurva kalibrasi yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan konsentrasi Mn dalam sampel. Konsentrasi sampel dapat ditentukan dengan persamaan regresi yang didapat dari pengukuran kurva kalibrasi larutan standar  $Mn(NO_3)_2$ . Persamaan yang didapat yaitu :

$$y = ax + b$$

Keterangan :

y = nilai absorbansi

a = slope

x = konsentrasi sampel

b = intersep

Hasil pengukuran kurva kalibrasi logam Mn kemudian disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut :

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0,2	
0,4	
0,8	
1,2	
1,6	
2,0	

b. Efisiensi Metode Elektrolisis

Nilai efisiensi penurunan logam Mn dapat dihitung dari selisih konsentrasi logam Mn sebelum dan sesudah proses elektrolisis. Besarnya nilai efisiensi dapat dihitung dengan :

$$\text{Nilai Efisiensi} = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100 \%$$

Keterangan :

$m_{awal}$  = massa logam Mn sebelum elektrolisis

$m_{akhir}$  = massa logam Mn setelah elektrolisis

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Arus semakin meningkat seiring dengan penambahan larutan elektrolit. Arus terbesar dari scanning potensial pada saat penambahan larutan elektrolit dengan konsentrasi 0,150 M.
2. Tegangan optimum logam Mn yang dihasilkan dari *scanning* sampel air asam tambang batubara dengan teknik voltametri siklik yaitu sebesar -987, 688 mV dengan arus -781.333  $\mu$ A. Pola voltammogram yang dihasilkan dari *scanning* potensial larutan sampel menyerupai dengan pola voltammogram dari *scanning* larutan standar.
3. Semakin lama waktu elektrolisis maka semakin banyak pula logam yang dapat dipisahkan.
4. Nilai efisiensi metode elektrolisis untuk pemisahan logam Mn pada air asam tambang batubara didapatkan sebesar 32,8 % untuk 1 elektroda pada katoda dan sebesar 50 % untuk 2 elektroda pada katoda.

### 5.2 Saran

Saran pada penelitian ini agar dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan penambahan *overpotensial* pada proses elektrolisis dan variasi teknik voltametri yang lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Afrianty, C., Gustin, L., Dewi Tri, K. 2012. Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Menggunakan Teknologi Membran Keramik. *Jurnal Teknik Kimia*. 18 (3) : 17.
- Ahmad, H. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Anshori, J. 2005. *Spektrometri Serapan Atom*. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Ariyani, D., R. Syam, U. Utami dan R. Nirtha. 2014. Kajian Absorpsi Logam Fe dan Mn oleh Tanaman Purun Tikus (*Eleocharis dulcis*) pada Air Asam Tambang secara Fitoremediasi. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. 8 (2) : 87 – 93.
- Asyari, N. 2012. “Pemurnian Perak Dengan Metode Elektrolisis”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- Baiquni, H. 2007. *Praktek Unggulan Berkelanjutan Untuk Industri Pertambangan : Mengelola Drainase Asam dan Logam*. Jakarta : Global Village Translations Pty Ltd.
- Boybul dan Haryati. 2009. Analisis Unsur Pengotor Fe, Cr, dan Ni dalam Larutan Uranil Nitrat Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Proseding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir ISSN: 1970-0176*.
- Chang, R. 2005. *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- Daintith, J. 1994. *Kamus Lengkap Kimia*. Jakarta : Erlangga.
- Day, A. R., Underwood, L. A. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif. 6th ed.* Terjemahan Simarmata. L. Jakarta: Erlangga.
- Deswati., Suyani, H., Pardi, H. 2011. Optimasi Penentuan Pb Dan Cu Secara Serentak dengan Voltametri Stripping Adsorptif (AdSV). *Thesis*. FMIPA Universitas Andalas. Padang.

- Dogra, S. K . 1990. *Kimia Fisik dan Soal – Soal*. Terjemahan Umar Mansyur. Jakarta : UI Press.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Jakarta : Kanisius.
- Gandjar, G. H., dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- GreenPeace. 2014. *Full Report Coal Mining Polluting South Kalimantan Water*. Jakarta : Greenpeace Shouteast Asia.
- Harvey, D. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. Singapore : McGraw-Hill
- Haswell, S. J. 1991. Atomic absorption Spectrometry Theory, Design, and Application. *J Elsevier*. New York: 219.
- Hendayana, Kadarohmah, Sumarna & Supriatna. 1994. *Kimia Analitik Instrumen Edisi Ketiga*. Semarang : IKIP Semarang Press.
- Hotchandani. S, U. Ozdemir, C. Nasr, S.I. Allakhverdiev, N. Karacan, V.V. Klimov, P.V. Kamat, and R. Carpentier. 1998. Redox characteristics of Schiff base manganese and cobalt complexes related to water-oxidizing complex of photosynthesis. *Journal Bioelectrochemistry and Bioenergetics*48 (1) : 53–59.
- Islam, G.J., H. Akhtar, M. Mamun, M. Ehsan. Investigations on the Redox Behavior of Manganese in Manganese(II)–Saccharin–1,10–Phenanthroline Complexes. 2009. *Journal of Saudi Chemical Society*. 13 (2) : 177–183.
- Jain. R & Karaiya. S. 2012. Synthesis and electrochemical behaviour of 3-[4'-(substituted) sulphonamoylphenyl] azomethine indoles. *J. Of Scientific & Industrial Research*. 71 (3) : 606-611.
- Juari, S. S. 2006. *Potensi Penggunaan Hidrotalsit dalam Remediasi Air Asam Tambang di Lahan Gambut*. Seminar Nasional RPKLT Pertanian UGM, 1 Februari 2006.
- Khairunisa, R. 2008. “Kombinasi Teknik Elektrolisis dan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif untuk Menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol dalam Air”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Khopkar, S. M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta : UI Press.

- Luptakova, Ubaldini, Macingova, Fornari & Giuliano. 2012. Application of Physical–Chemical and Biological–Chemical Methods for Heavy Metals Removal From Acid Mine Drainage. *Journal Process Biochemistry*. 47 (1): 1633-1639.
- Marganingrum, D., & Noviardi, R. 2010. Pencemaran Air dan Tanah di Kawasan Pertambangan Batubara di PT. Berau Coal Kalimantan Timur. *Riset Geologi dan Pertambangan*. Vol. 20 (1): 11-20.
- Nurchi, M ., Pinna, R., Fiol, N. & Villaescusa, I. 2008. Use of Cyclic voltammetry to Evaluate Sorption Properties of Cork Residues Towards Mn(II) in Waters. *J Solution Chem*. 37 (2) : 477-485.
- Nurisman, Enggal. 2012. Studi Terhadap Dosis Penggunaan Kapur Tohor (CaO) Pada Proses Pengolahan Air Asam Tambang Pada Kolam Pengendapan Lumpur Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. *Jurnal Teknik Patra Akademika Edisi 5 Juli 2012*. ISSN: 20895925.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta : Menteri Kesehatan Indonesia.
- Potter, E.C. 1966. *Electro Chemistry, Principles And Applications*. New York : St Martin Press.
- Ridaningtyas, Widodo & Hastuti. 2013. Pengolahan Limbah Cair Industri Percetakan Secara Elektrolisis Dengan Elektroda Karbon/Karbon. *Chem Info*. Vol 1 (1) : 51 – 58.
- Rieger, H. P. 1994. *Electrochemistry Second Edition*. New York : Chapman & Hall Inc.
- Rios, Williams & Roberts. 2008. Removal of Heavy Metals From Acid Mine Drainage Using Coal Fly Ash, Natural Clinker and Synthetic Zeolites. *Journal Of Hazardous Materials*. 156 (3): 23 – 35.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Jurnal Oseana*. Vol. XXX (3) : 21 – 26.
- Sawyer, D. T., Sobkowiak, A., & Roberts, J. L. 1995. *Electrochemistry for Chemist*. Second Edition. New York : John Willey and Sons, Inc.

- Sitepoe, Mangku. 1997. *Air Untuk Kehidupan, Pencemaran Air dan Usaha Penanggulangannya*. Jakarta : Grasindo.
- Skogg, D., et al. 1998. *Fundamental of analysis chemistry 7' edition*. Saunders college publishing.
- Skousen, Rose, Geidel, Foreman, Evans & Hellier. 1998. *Handbook Of Technologies For Avoidance And Remediation Of Acid Mine Drainage*. West Virginia : The National Mine Land Reclamation Center.
- Sopiah, S. 2008. "Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Elektrolisis Larutan CuSO<sub>4</sub> Sebagai Bahan Kajian dalam Pembuatan dan Pembelajaran Elektronik." Tidak Diterbitkan. Tesis. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Sudirham,S & Utari, N. 2012. *Mengenal Sifat Material*. Bandung : Darpublic.
- Suharman dan Mulja, M. 1995. *Analisis Instrumental Edisi I*. Surabaya : Universitas Airlangga Press.
- Sukender dan Setiarso, P. 2012. AAS Estimation of Heavy. Metals and Trace Element in Indian Herbal Cosmetic Preparation. *Reseach Journal of Chemical Sciences*. 2 (3) : 46-51.
- Syukri, S. 1999. *Kimia Dasar*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- US Geological Survey Minerals. 2002. *Manganese edited by Lisa A Corathers*. USA, p 49. 1. 49. 16.s
- Vogel. 1994. *Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik*. Terjemahan oleh Hadyana . A dan Setiono. L. Jakarta : Rineka Cipta.
- Wang, J. 1994. *Electrochemical Analysis*. USA : Wiley-VHC, Inc.
- Watson, D. G. 2005. *Analisis Farmasi Buku Ajar untuk Mahasiswa Farmasi dan Praktisi Kimia Farmasi*. Edisi 2. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Widuri, S. A. 2012. *Mengenal Air Asam Tambang (Acid Mine Drainage)*. Kalimantan Timur : Swara Samboja.
- Wijaya, R. Andi Erwin. 2009. Acid Mine Drainage Treatment System in Water Pond and Aplication of Encapsulation In-Pit Disposal Model in Waste Dump Coal Mining. *J. Manusia dan Lingkungan*. 17 (1) : 1- 10.

LAMPIRAN

**Lampiran 3.1 . Perhitungan Pembuatan Larutan Standar Dan Larutan Elektrolit**

3.1.1 Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

- a. Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{Mr MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} &= 197,86 \text{ g/mol} \\ \text{Ar Mn} &= 54,96 \text{ g/mol} \\ \text{Massa} &= \frac{\text{Mr MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Mn}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{\text{L}} \\ &= \frac{197,86 \text{ g/mol}}{54,96 \text{ g/mol}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{\text{L}} \\ &= \frac{3,60 \text{ g}}{\text{L}} \\ &= \frac{0,36 \text{ g}}{100 \text{ mL}} \end{aligned}$$

- b. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  50 ppm dari 1000 ppm

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 1000 \text{ ppm}, V_1 &= 50 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

- c. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  25 ppm dari 50 ppm

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 50 \text{ ppm}, V_1 &= 25 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 50 \text{ mL} \end{aligned}$$

- d. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  20 ppm dari 50 ppm

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ 50 \text{ ppm}, V_1 &= 20 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL} \\ V_1 &= 40 \text{ mL} \end{aligned}$$

- e. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  15 ppm dari 50 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$50 \text{ ppm} \cdot V_1 = 15 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 30 \text{ mL}$$

- f. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  10 ppm dari 50 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$50 \text{ ppm}, V_1 = 10 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

- g. Pembuatan Larutan Standar  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  5 ppm dari 50 ppm

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$50 \text{ ppm}, V_1 = 5 \text{ ppm} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

### 3.1.2 Pembuatan Larutan Elektrolit KCl 0,2 M

$$M = \frac{n \text{ (mol)}}{V \text{ (L)}}$$

$$M = \frac{(\text{massa}/M_r)}{V}$$

$$0,2 \text{ M} = \frac{\left(\frac{\text{massa}}{74,5 \text{ g/mol}}\right)}{0,25 \text{ L}}$$

$$\text{massa} = 0,2 \text{ M} \times 0,25 \text{ L} \times 74,5 \text{ g/mol}$$

$$\text{massa} = 3,73 \text{ gram}$$

- a. Pembuatan Larutan Larutan Elektrolit KCl 0,005 M dari 0,20 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,20 \text{ M} \cdot V_1 = 0,050 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

- b. Pembuatan Larutan Larutan Elektrolit KCl 0,075 M dari 0,20 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,20 \text{ M} \cdot V_1 = 0,75 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 37,5 \text{ mL}$$

- c. Pembuatan Larutan Larutan Elektrolit KCl 0,010 M dari 0,20 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,20 \text{ M} \cdot V_1 = 0,010 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

- d. Pembuatan Larutan Larutan Elektrolit KCl 0,125 M dari 0,20 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,20 \text{ M} \cdot V_1 = 0,125 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

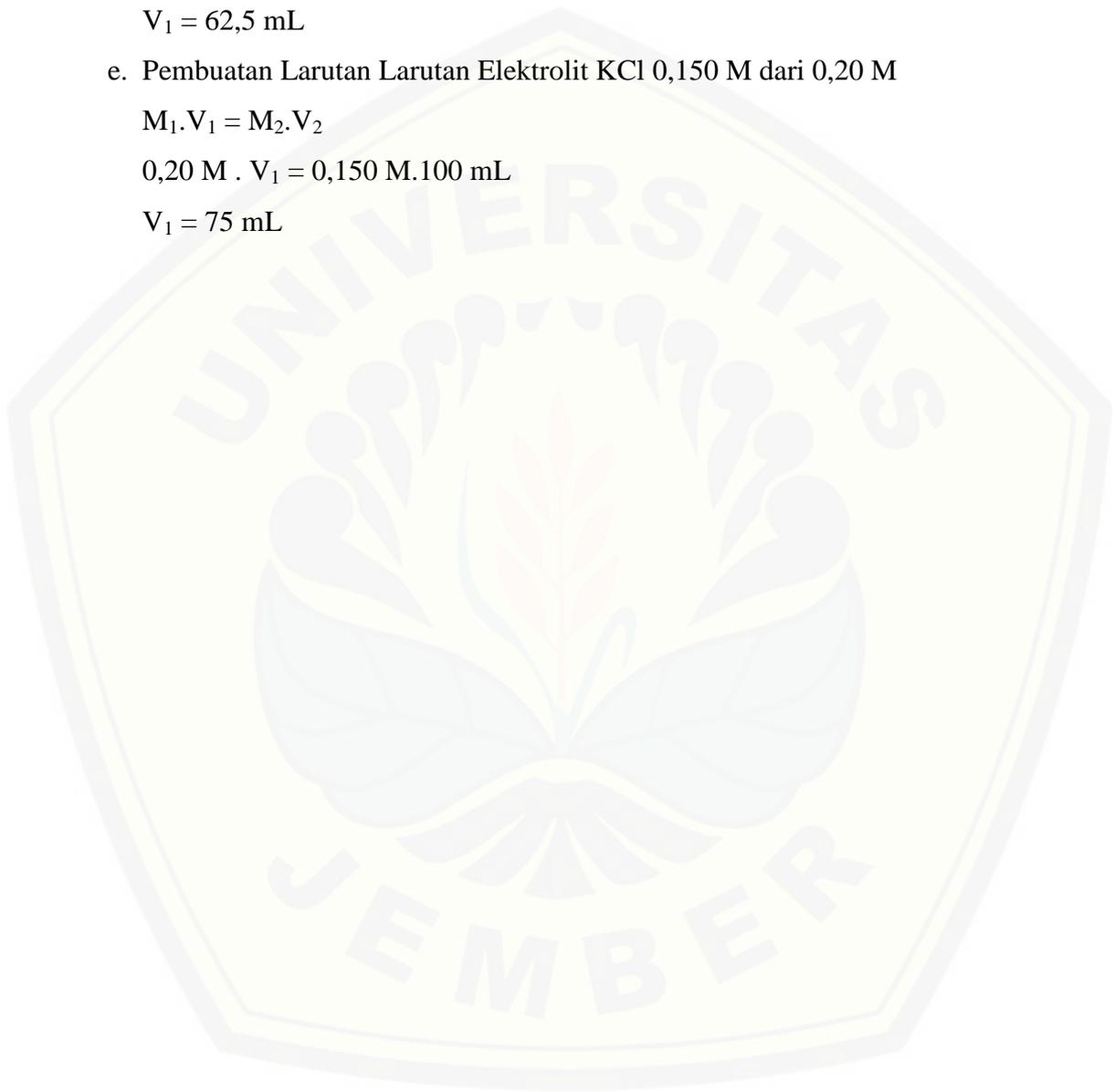
$$V_1 = 62,5 \text{ mL}$$

- e. Pembuatan Larutan Larutan Elektrolit KCl 0,150 M dari 0,20 M

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,20 \text{ M} \cdot V_1 = 0,150 \text{ M} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = 75 \text{ mL}$$



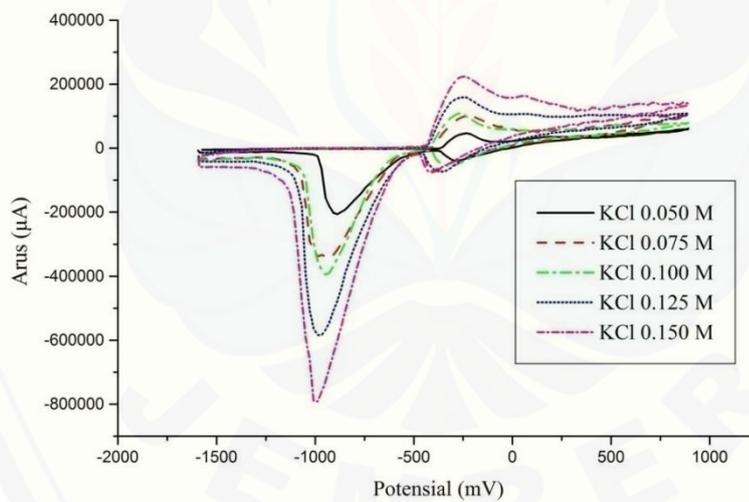
### Lampiran 4.1. Optimasi Tegangan Dan Konsentrasi Elektrolit Pada Voltammetri Siklik

#### 1. Optimasi Tegangan dan Konsentrasi Elektrolit logam Mn

Funct, : CYV  
Start Potential : -1600 mV  
End Potential : 900 mV  
Scan Rate : 100 mV/s

#### 4.1.1 Voltammogram dan hasil *scanning* logam Mn dan Variasi Konsentrasi Elektrolit pada Larutan Sampel,

##### a. Voltammogram logam Mn dan variasi konsentrasi elektrolit pada sampel

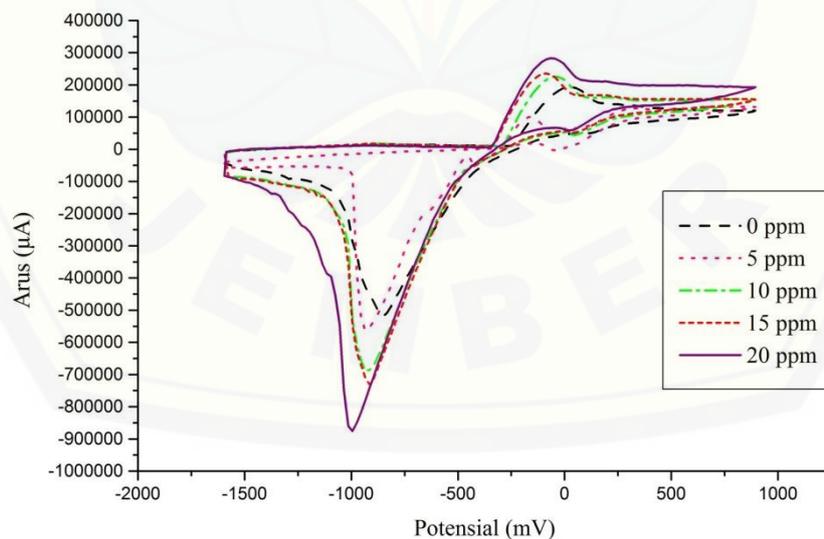


b. Hasil *scanning* larutan sampel

Konsentrasi elektrolit (M)	Ulangan ke-	Potensial (mV)	Arus ( $\mu\text{A}$ )	Rata – rata	
				Potensial (mV)	Arus ( $\mu\text{A}$ )
0.050	1	-867,500	-199000	-887,500	-202333
	2	-887,500	-206000		
	3	-907,500	-202000		
0.075	1	-907,313	-333000	-927,313	-335667
	2	-927,313	-337000		
	3	-947,313	-337000		
0.100	1	-927,563	-389000	-947,563	-388333
	2	-947,563	-396000		
	3	-967,563	-380000		
0.125	1	-947,188	-568000	-967,188	-578667
	2	-967,188	-584000		
	3	-987,188	-584000		
0.150	1	-967,688	-762000	-987,688	-781333
	2	-987,688	-792000		
	3	-1007,69	-790000		

4.1.2 Voltammogram Dan Hasil *Scanning* Logam Mn Larutan Standar,

## a. Voltammogram logam Mn dan variasi konsentrasi elektrolit pada larutan standar



b. Hasil *scanning* larutan standar

Konsentrasi (ppm)	Ulangan ke-	Potensial (mV)	Arus ( $\mu$ A)	Rata – rata	
				Potensial (mV)	Arus ( $\mu$ A)
5	1	-834.937	-510000	-854.9375	-511000
	2	-854.937	-521000		
	3	-874.937	-502000		
10	1	-909.875	-555000	-929.875	-547000
	2	-929.875	-565000		
	3	-949.875	-521000		
15	1	-914.563	-686000	-934.563	-676667
	2	-934.563	-689000		
	3	-954.563	-655000		
20	1	-914.688	-711000	-934.688	-717667
	2	-934.688	-732000		
	3	-954.688	-710000		
25	1	-974.375	-850000	-994.375	-862000
	2	-994.375	-876000		
	3	-1014.380	-860000		

## Lampiran 4.2 Pengukuran Konsentrasi Logam Mn Pada Sampel Air Asam Tambang Batubara

### 4.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi AAS

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0,0000
0,2	0,0366
0,4	0,0754
0,8	0,1472
1,2	0,2198
1,6	0,2821
2,0	0,3441

4.2.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Potensial pada *Voltmeter*

Potensial yang diberikan (V)	Potensial yang terbaca <i>voltmeter</i> (V)
-1,50	-1,61
-3,00	-3,29
-4,50	-4,87
-6,00	-6,51
-7,50	8,14

## 4.2.3 Elektrolisis Logam Mn

## a. Konsentrasi Logam Mn Sebelum Elektrolisis

Ulangan ke-	Absorbansi	Rata –rata (ppm)
1	0,037	
2	0,027	9,2
3	0,031	

Konsentrasi sampel dapat dihitung dengan mensubstitusikan nilai absorbansi pada persamaan berikut :

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,037 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,037 = 0,172x$$

$$x = 0,215 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,027 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,027 = 0,172x$$

$$x = 0,157 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,031 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,031 = 0,172x$$

$$x = 0,180 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,215 + 0,157 + 0,180) / 3$   
 $= 0,184 \times 50$  (faktor pengenceran)  
 $= 9,2 \text{ mg/L}$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel  
 Konsentrasi x volume =  $9,2 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L}$   
 $= 0,18 \text{ mg}$

b. Konsentrasi Logam Mn Setelah Elektrolisis dengan 1 Elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	Rata – rata (ppm)	Massa (mg)
10	1	0,117	6,800	6,680	0,1340
	2	0,115	6,680		
	3	0,113	6,570		
20	1	0,105	6,100	6,050	0,1210
	2	0,104	6,050		
	3	0,103	5,990		
30	1	0,103	5,900	6,000	0,1198
	2	0,104	6,000		
	3	0,105	6,110		
40	1	0,100	5,810	5,988	0,1197
	2	0,104	6,050		
	3	0,105	6,104		
50	1	0,100	5,810	5,986	0,1197
	2	0,106	6,160		
	3	0,103	5,990		

1. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 10 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,117 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,117 = 0,172x$$

$$x = 0,680 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,115 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,115 = 0,172x$$

$$x = 0,668 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,113 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,113 = 0,172x$$

$$x = 0,657 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,680 + 0,668 + 0,657) / 3$   
 $= 0,668 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 6,680 \text{ mg/L}$
- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel  
 Konsentrasi x volume =  $6,680 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L}$   
 $= 0,134 \text{ mg}$

## 2. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 20 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,105 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,105 = 0,172x$$

$$x = 0,610 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,104 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,104 = 0,172x$$

$$x = 0,605 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,103 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,103 = 0,172x$$

$$x = 0,599 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,599 + 0,610 + 0,605) / 3$   
 $= 0,605 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 6,050 \text{ mg/L}$
- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi} \times \text{volume} &= 6,050 \text{ mg/L} \times 0.02 \text{ L} \\ &= 0.1210 \text{ mg}\end{aligned}$$

### 3. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 30 menit

- Pengulangan ke- 1 dan ke - 2

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,103 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,103 = 0,172x$$

$$x = 0,599 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,104 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,104 = 0,172x$$

$$x = 0,600 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,599 + 0,599 + 0,600) / 3$   
 $= 0,599 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 6,000 \text{ mg/L}$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi} \times \text{volume} &= 5.990 \text{ mg/L} \times 0.02 \text{ L} \\ &= 0.1198 \text{ mg}\end{aligned}$$

### 4. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 40 menit

- Pengulangan ke- 1

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,100 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,100 = 0,172x$$

$$x = 0,581 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,104 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,104 = 0,172x$$

$$x = 0,604 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,103 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,103 = 0,172x$$

$$x = 0,610 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,581 + 0,604 + 0,610) / 3$   
 $= 0,598 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 5,980 \text{ mg/L}$
- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel  
 Konsentrasi x volume =  $5,988 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L}$   
 $= 0,1197 \text{ mg}$

#### 5. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 50 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,100 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,099 = 0,172x$$

$$x = 0,581 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,106 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,106 = 0,172x$$

$$x = 0,616 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,103 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,103 = 0,172x$$

$$x = 0,599 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,581 + 0,616 + 0,599) / 3$   
 $= 0,5986 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 5,970 \text{ mg/L}$
- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi} \times \text{volume} &= 5,986 \text{ mg/L} \times 0.002 \text{ L} \\ &= 0.1197 \text{ mg}\end{aligned}$$

c. Konsentrasi Logam Mn Setelah Elektrolisis dengan 2 Elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Absorbansi	Konsentrasi (ppm)	Rata – rata (ppm)	Massa (mg)
10	1	0,106	5,90	6,01	0,120
	2	0,107	5,90		
	3	0,107	6,22		
20	1	0,097	5,64	5,64	0,113
	2	0,097	5,64		
	3	0,097	5,64		
30	1	0,086	5,00	5,00	0,100
	2	0,085	4,94		
	3	0,087	5,06		
40	1	0,079	4,60	4,54	0,091
	2	0,078	4,53		
	3	0,077	4,48		
50	1	0,079	4,60	4,54	0,091
	2	0,077	4,48		
	3	0,078	4,53		

1. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 10 menit

- Pengulangan ke- 1 dan ke-2

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,106 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,101 = 0,172x$$

$$x = 0,587 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

$$\text{Diketahui : Abs} = 0,107 ; y = 0,172x + 0,00$$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,115 = 0,172x$$

$$x = 0,622 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,587 + 0,587 + 0,622) / 3$   
 $= 0,601 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 6,01 \text{ mg/L}$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi} \times \text{volume} &= 6,01 \text{ mg/L} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 0,120 \text{ mg}\end{aligned}$$

2. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 20 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,098 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,097 = 0,172x$$

$$x = 0,564 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,101 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,097 = 0,172x$$

$$x = 0,564 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,100 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,097 = 0,172x$$

$$x = 0,564 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,564 + 0,564 + 0,564) / 3$

$$= 0,564 \times 10 \text{ (faktor pengenceran)}$$

$$= 5,64 \text{ mg/L}$$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\text{Konsentrasi} \times \text{volume} = 5,640 \text{ mg/L} \times 0,002 \text{ L}$$

$$= 0,113 \text{ mg}$$

3. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 30 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,086 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,086 = 0,172x$$

$$x = 0,500 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,085 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,085 = 0,172x$$

$$x = 0,494 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,087 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,087 = 0,172x$$

$$x = 0,506 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,500 + 0,494 + 0,506) / 3$   
 $= 0,599 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 5,000 \text{ mg/L}$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi} \times \text{volume} &= 5.00 \text{ mg/L} \times 0.02 \text{ L} \\ &= 0.100 \text{ mg} \end{aligned}$$

#### 4. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 40 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,079 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,079 = 0,172x$$

$$x = 0,460 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,078 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,078 = 0,172x$$

$$x = 0,453 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,077 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,077 = 0,172x$$

$$x = 0,448 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,460 + 0,453 + 0,448) / 3$   
 $= 0,454 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 4,54 \text{ mg/L}$
- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel  
 Konsentrasi x volume =  $4,54 \text{ mg/L} \times 0,002 \text{ L}$   
 $= 0,091 \text{ mg}$

#### 5. Perhitungan konsentrasi logam Mn setelah elektrolisis 50 menit

- Pengulangan ke- 1

Diketahui : Abs = 0,069 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,079 = 0,172x$$

$$x = 0,460 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 2

Diketahui : Abs = 0,072 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,077 = 0,172x$$

$$x = 0,448 \text{ ppm}$$

- Pengulangan ke- 3

Diketahui : Abs = 0,078 ;  $y = 0,172x + 0,00$

$$y = 0,172x + 0,00$$

$$0,078 = 0,172x$$

$$x = 0,453 \text{ ppm}$$

- Rata – rata =  $(0,460 + 0,448 + 0,453) / 3$   
 $= 0,454 \times 10$  (faktor pengenceran)  
 $= 4,540 \text{ mg/L}$

- Massa logam Mn dalam 20 mL sampel

$$\text{Konsentrasi} \times \text{volume} = 4,540 \text{ mg/L} \times 0.002 \text{ L}$$

$$= 0,091 \text{ mg}$$

### Lampiran 4.3 Massa Logam Mn Yang Menempel Pada Katoda

#### a. Massa Logam Mn dengan 1 Elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Sebelum Elektrolisis (g)	Setelah Elektrolisis (g)	Massa terendapkan (mg)	Selisisih rata – rata (mg)
10	1	0,02249	0,02253	0,040	0.040
	2	0,02252	0,02256	0,040	
	3	0,02253	0,02257	0,040	
20	1	0,01624	0,01629	0,050	0.050
	2	0,01622	0,01627	0,050	
	3	0,01620	0,01625	0,050	
30	1	0,02247	0,02253	0,060	0.060
	2	0,02250	0,02256	0,060	
	3	0,02248	0,02254	0,060	
40	1	0,01623	0,01629	0,060	0.060
	2	0,01622	0,01628	0,060	
	3	0,01622	0,01628	0,060	
50	1	0,02247	0,02253	0,060	0.060
	2	0,02245	0,02251	0,060	
	3	0,02248	0,02254	0,060	

#### b. Massa Logam Mn dengan 2 Elektroda

Waktu (menit)	Ulangan ke-	Sebelum Elektrolisis	Setelah Elektrolisis	Massa terendapkan (mg)	Selisisih rata – rata (mg)
10	1	0,03872	0,03877	0,050	0.050
	2	0,03874	0,03879	0,050	
	3	0,03872	0,03877	0,050	
20	1	0,03875	0,03781	0,060	0.060
	2	0,03874	0,03780	0,060	
	3	0,03873	0,03879	0,060	
30	1	0,03875	0,03881	0,080	0.080
	2	0,03874	0,03881	0,070	
	3	0,03873	0,03882	0,090	
40	1	0,03873	0,03882	0,090	0.087
	2	0,03872	0,03881	0,080	
	3	0,03872	0,03880	0,090	
50	1	0,03874	0,03882	0,090	0.087
	2	0,03873	0,03882	0,080	
	3	0,03875	0,03884	0,090	

#### Lampiran 4.4 Efisiensi Metode Elektrolisis Pada Sampel Air Asam Tambang Batubara

$$\text{Nilai Efisiensi} = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100 \%$$

Keterangan :

$m_{awal}$  = Massa logam Mn sebelum elektrolisis

$m_{akhir}$  = Massa logam Mn setelah elektrolisis

Waktu (menit)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)		Efisiensi (%)	
		1 Elektroda	2 Elektroda	1 Elektroda	2 Elektroda
10		0,1340	0,1200	25,5	33,3
20		0,1210	0,1130	32,7	37,2
30	0,1800	0,1198	0,1000	32,8	44,4
40		0,1197	0,0910	32,8	50,0
50		0,1197	0,0910	32,8	50,0

1. Elektrolisis dengan 1 elektroda

a. Elektrolisis selama 10 menit

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,1340}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 25,5 \% \end{aligned}$$

b. Elektrolisis selama 20 menit

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 1,210}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 32,7 \% \end{aligned}$$

c. Elektrolisis selama 30 menit

$$\text{Efisiensi} = \frac{0,1800 - 1,198}{0,1800} \times 100 \%$$

$$= 32,8 \%$$

d. Elektrolisis selama 40 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,1197}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 32,8 \%\end{aligned}$$

e. Elektrolisis selama 50 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,1197}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 32,8 \%\end{aligned}$$

2. Elektrolisis dengan 2 elektroda

a. Elektrolisis selama 10 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,120}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 33,3\%\end{aligned}$$

b. Elektrolisis selama 20 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,1130}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 37,2 \%\end{aligned}$$

c. Elektrolisis selama 30 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,1000}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 44,4 \%\end{aligned}$$

d. Elektrolisis selama 40 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,091}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 50,0 \%\end{aligned}$$

e. Elektrolisis selama 50 menit

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi} &= \frac{0,1800 - 0,091}{0,1800} \times 100 \% \\ &= 50,0 \%\end{aligned}$$