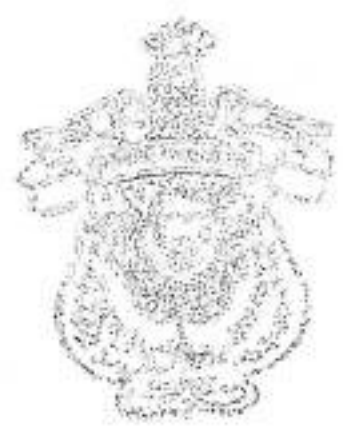


STUDI PEMISAHAN LOGAM BERANAK
 DAN LARUTAN BEKAS FIBROSI PADA KROMIUM
 DENGAN METODE ELEKTROLISIS

UNIVERSITAS HASANUDDIN	
Tgl. Pengantar	7-10-1996
Kelas	Mipa
No. Urut	1Exp
Nama	Hadia
No. Absen	967-10-40
Paralel	

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
 UNIVERSITAS HASANUDDIN
 96 63 23



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
 UNIVERSITAS HASANUDDIN

1996

STUDI PEMISAHAN LOGAM PERAK
DARI LARUTAN BEKAS FIKSASI FILM RADIOLOGI
DENGAN METODE ELEKTROLISIS

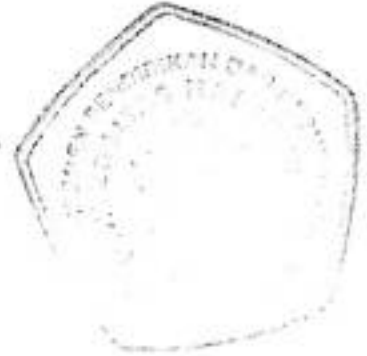
Oleh :
MUHAMMAD AMIN
90 03 050

Skripsi Untuk Melengkapi Tugas dan
Memenuhi Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN

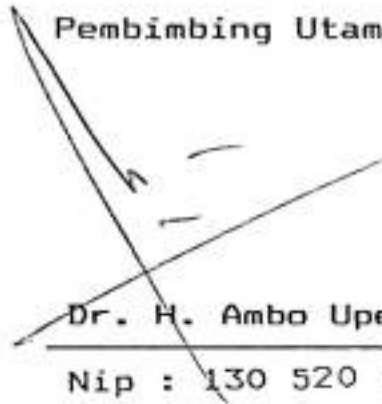
1996

STUDI PEMISAHAN LOGAM PERAK
DARI LARUTAN BEKAS FIKSASI FILM RADIOLOGI
DENGAN METODE ELEKTROLISIS



disetujui oleh

Pembimbing Utama



Dr. H. Ambo Upe
Nip : 130 520 684

Pembimbing Pertama



Drs. Rudi Arifin, MSc.

Nip : 130 604 513

Pembimbing Kedua



Dra. Paulina Taba, MSc

Nip : 131 802 898

Tanggal Lulus : Agustus 1996

Apakah kamu tiada melihat
bahwasanya Allah menundukkan
bagimu apa yang ada dibumi
dan bahtera yang berlayar
dilautan dengan perintah-Nya.
Dan Dia menahan (benda-benda)
langit jatuh ke bumi,
melainkan dengan izinnya ?
Sesungguhnya Allah benar-benar
Maha Pengasih lagi Maha
Penyayang kepada manusia.

(Qs : Al- Hajj : 65)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, segala puji bagi Allah SWT dan rasa syukur yang setinggi-tingginya karena petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai tugas akhir untuk menyelesaikan studi di jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Selesainya rangkaian penelitian skripsi adalah berkat bantuan, pengarahan dan bimbingan Bapak Dr. H. Ambo Upe sebagai pembimbing utama, Bapak Drs. Rudi Arifin, MSc sebagai pembimbing pertama dan Ibu Dra. Paulina Taba, MSc sebagai pembimbing kedua. Kepada mereka penulis menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya.

Demikian pula penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Ketua Jurusan Kimia Drs. Rudi Arifin MSc atas bantuan yang diberikan kepada penulis sejak awal hingga akhir penelitian.
2. Bapak dan ibu tim penguji sidang sarjana Jurusan Kimia FMIPA Unhas yang terdiri dari : Bapak Drs. Umar Ubbe, MSi(Ketua), Ibu Dra. Nursiah La Nafie, MSc (Sekretaris), Bapak Dr. H. Ambo Upe, Bapak Drs. Rudi Arifin, MSc, Ibu Dra. Paulina Taba, MSc dan Bapak Drs. Beddu Jawahir, MSi.
3. Bapak dan ibu staf dosen dan pegawai Jurusan Kimia FMIPA Unhas atas bantuan dan bimbingannya.

4. Bapak Dr. Baktiar Razak, Kepala Lab. Radiologi rumah sakit umum Dr. Wahidin Sudirohusodo, Aris serta Sakroni yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Analis Lab. Kimia Fisika beserta Pak Beddu yang dengan ikhlas meminjamkan fasilitas selama penelitian berlangsung.
6. Rekan-rekan : Zakir, Abd. Malik, Zainal, Takdir, Ahmad Ridhay dan rekan-rekan yang lain atas bantuannya.
7. Semua pihak yang telah memeberikan bantuan yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu.

Khusus kepada kedua orang tua Ayahanda H. Muh. Tahir dan Ibunda Hj. Muharramah serta Istri tercinta *Ir. Andi Haryati Yusuf*, semoga dorongan moril dan materil serta do'a yang diberikan kepada penulis mendapat balasan yang tak ternilai dari Allah SWT.

Akhirnya penulis menyadari bahwa tulisan ini masih banyak yang perlu disempurnakan, sehingga penulis senantiasa mengharapkan kritikan dan saran membangun dari para pembaca demi perbaikan tulisan ini.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Ujung Pandang, Agustus 1996

Penulis



ABSTRACT

Silver is one of the components of ex-fixation solution of radiology film which can be separated by electrolysis method. The aim of this research was to determine optimum conditions of the separation process.

The optimum condition was established by arranging many conditions that theoretically can influence the electrolysis product. Several variations of pH and concentration of supporting solution KClO_4 were made. Electrolysis capacity can be determined by atomic absorption measurement of silver concentration of electrolysis product.

Analysis results showed that optimum separation was obtained at pH of 5 and concentration of KClO_4 0,15 M. The purity of cathode layer product obtained at this condition was 98,78 %.

ABSTRAK

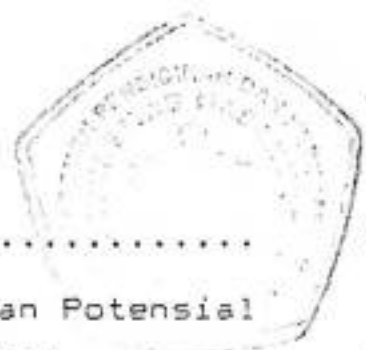
Telah dilakukan penelitian tentang pemisahan logam perak dari larutan bekas fiksasi film radiologi dengan metode elektrolisis. Penelitian ini bermaksud untuk menentukan kondisi optimum proses pemisahan logam Ag dari elektrolitnya.

Kondisi optimum ditentukan dengan mengatur berbagai kondisi yang secara teoritis dapat mempengaruhi produk elektrolisis. Maka dilakukan beberapa variasi pH dan penambahan konsentrasi larutan pendukung $KClO_4$. Kemampuan elektrolisis dapat ditentukan dengan mengukur kadar perak yang diperoleh sesudah proses elektrolisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemisahan yang optimum terjadi pada pH 5 dengan penambahan larutan pendukung $KClO_4$ 0,15 M. Produk lapisan yang diperoleh pada kondisi ini adalah 98,78%.

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRACT	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
 BAB I : PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Maksud, Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.2.1. Maksud Penelitian	3
1.2.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.2.3. Manfaat Penelitian	3
 BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum Logam Perak	4
2.2. Sifat dan Senyawa Perak	4
2.2.1. Halida Perak	6
2.2.2. Reduksi Ion Ditionosulfato Argentat I $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ menjadi Logam Perak	7
2.3. Dasar Elektrolisis	7
2.4. Penerapan Elektrolisis	9



2.5. Teknik Elektrolisis	11
2.5.1. Elektrolisis dengan Potensial Elektroda Terkontrol	11
2.5.2. Elektrolisis dengan Arus Terkontrol	12
2.6. Kinetika Elektrokimia	13
2.6.1. Distribusi Muatan pada antar Muka	13
2.6.2. Kecepatan Perpindahan Muatan.	17
2.7. Komponen-komponen Sel Elektrolisis..	19
2.7.1. Elektroda	19
2.7.2. Media Elektrolisis	20
2.7.3. Rangkaian Sel Elektrolisis ..	21
2.8. Sampel	22

BAB III: METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Pengambilan Sampel	25
3.2. Pengambilan Sampel	25
3.3. Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.4. Analisis Data	25
3.5. Penarikan Kesimpulan	25

BAB IV : ALAT, BAHAN-BAHAN DAN PROSEDUR KERJA

4.1. Alat	26
4.2. Bahan	27
4.3. Prosedur Kerja	27
4.3.1. Tahap Penyiapan Elektroda ...	27
4.3.2. Tahap Elektrolisis	28

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Penentuan Waktu Elektrolisis Yang Optimal	30
5.2. Variasi Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 4 ..	36
5.3. Variasi Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 5 ..	42
5.4. Variasi Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 6 ..	47

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	52
6.2. Saran	52

BAB VII: DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Hubungan Potensial Katoda dan Arus dalam Sel Elektroda	11
2.	Bidang Helmholtz luar	14
3.	Model Lapis Ganda Gouy-Chapman	16
4.	Profil Fungsi Gibbs Ion Bermuatan	17
5.	Rangkaian Sel Elektroda	21
6.	Bentuk Permukaan Film Hitam Putih	22
7.	Grafik Pengaruh Variasi Waktu Elektrolisis Terhadap Pengurangan Konsentrasi Ion Ag^+ .	22 35
8.	Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 4.....	41
9.	Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 5.....	46
10.	Grafik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ pada pH 6.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Penggolongan Toksisitas Logam	1
2.	Elektrolisis dengan Variasi Waktu pada Potensial Operasi 6,0 Volt, Arus Rata-rata 0,015 A dan Temperatur Kamar	31
3.	Sifat Fisik Lapisan pada Variasi Waktu Elektrolisis	32
4.	Pengukuran Konsentrasi Ion Ag^+ dalam Sampel Sebelum dan Sesudah Proses Elektrolisis dengan SSA pada Variasi Waktu Elektrolisis	33
5.	Elektrolisis pada Penambahan Elektrolit Pendukung $KClO_4$, pH 4, Waktu 2 jam dan Temperatur Kamar	38
6.	Data Fisik Lapisan pada Penambahan Elektrolit Pendukung $KClO_4$ pada pH 4	38
7.	Pengukuran Konsentrasi Ion-ion Ag^+ dalam Sampel Proses Elektrolisis dengan SSA pada Variasi Penambahan Elektrolit pada Pendukung $KClO_4$ pada pH 4	39
8.	Elektrolisis pada Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung pada Pendukung $KClO_4$ pada pH 5	42
9.	Sifat Fisik Lapisan pada Variasi Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ Pada pH 5 dan Temperatur Kamar	42
10.	Pengukuran Konsentrasi Ion-ion Ag^+ dalam Sampel Proses Elektrolisis dengan SSA pada Variasi Penambahan Elektrolit pada Pendukung $KClO_4$ pada pH 5	44
11.	Elektrolisis pada Variasi Penambahan Elektrolit Pendukung $KClO_4$ pada pH 6	47
12.	Sifat Fisik Lapisan pada Variasi Konsentrasi Larutan Pendukung $KClO_4$ Pada pH 6	48
13.	Pengukuran Konsentrasi Ion-ion Ag^+ dalam Sampel Proses Elektrolisis dengan SSA pada Variasi Penambahan Elektrolit pada Pendukung $KClO_4$ pada pH 6	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Teks	Halaman
1.	Penyiapan Elektroda	54
2.	Skema Kerja	55
3.	Perhitungan Berat Ag Teoritis	56
4.	Hasil Penimbangan Berat Ag yang diperoleh di Katoda	57
5.	Hasil Pengukuran Konsentrasi Ion Ag^+ dalam Sampel Sesudah Proses Elektrolisis dengan SSA	59
6.	Foto Rangkaian Elektrolisis dan Elektroda	61

DAFTAR SIMBOL

Simbol/Singkatan	Arti
A	Luas Permukaan
C	Kapasitor
C _m	Sentimeter
C _m ²	Sentimeter kuadrat
C _m ³	Sentimeter kubik
E	Tegangan
F	Faraday
G	Perubahan Energi Gibbs
g	Gram
h	Konstanta Planck
k	Konstanta Boltzman
i	Kuat arus
L	Liter
l	Jarak
M	Konsentrasi
ml	Milliliter
mgr	Milligram
n	Jumlah partikel Per unit
pH	Tingkat keasaman
R	Konstanta gas
V	Volt
T	Temperatur Absolut
t	Waktu
z	Valensi ion
α	Alpha
ε°	Permitivitas larutan
%	Persen
	Hambatan Jenis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah


Sejak dua dekade terakhir ini, kekhawatiran dan kewaspadaan terhadap kondisi lingkungan semakin besar, baik daratan, perairan maupun udara. Terjadinya pencemaran lingkungan akan semakin memperburuk kondisi lingkungan yang selanjutnya akan mengancam kesejahteraan hidup manusia.

Perkembangan industri yang sangat pesat secara universal, disamping menghasilkan produk yang mempengaruhi perekonomian global juga menghasilkan produk samping yang sangat mempengaruhi keseimbangan lingkungan.

Kegiatan industri dewasa ini menghasilkan hasil samping berupa limbah industri. Limbah ini akan terbuang ke dalam lingkungan dan proses pembuangannya mengalir ke perairan umum dan sekitarnya yang mengakibatkan dampak negatif terutama yang disebabkan oleh adanya kandungan-kandungan kimia tertentu yang berbahaya bagi lingkungan.

Karena itu pengelolaan lingkungan berkembang menjadi lebih kompleks, karena disamping bertambahnya jenis limbah yang dikelola, jumlahnya juga bertambah banyak.¹⁶⁾

Salah satu metode untuk menanggulangi limbah yang mengandung logam adalah elektroplating, yaitu suatu metode dengan memisahkan logam-logam tersebut dari elektrolitnya.



Dalam metode ini, limbah-limbah yang banyak mengandung logam berat, terlebih dahulu dipisahkan dari elektrolitnya kemudian dibuang ke perairan.

Larutan atau sampel yang digunakan adalah larutan "Fixer" bekas yang diambil dari bagian radiologi rumah sakit umum Dr. Wahidin Sudirohusodo Kodya Ujung Pandang. Larutan ini mengandung logam perak dalam jumlah banyak. Kandungan logam peraknya diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Penggunaan perak saat ini sangat meluas. Disamping untuk tujuan dekoratif juga industri (elektronika, komunikasi dan dirgantara). Perak seringkali dipergunakan dalam komponen elektronik karena tahan korosi, mudah disolder, tahan oksidasi, liat dan bersifat listrik baik.

Karena itu pemanfaatan kembali larutan hasil fiksasi film tersebut dengan memisahkan logam-logam perak dari elektrolitnya akan dapat memberikan nilai ekonomis, sekaligus menanggulangi pencemaran lingkungan.

Parameter yang dipakai untuk mengetahui sejauh mana keefektifan terjadinya pemisahan logam dari elektrolitnya adalah dengan mengamati pengaruh pH dan penambahan konsentrasi larutan pendukung $KClO_4$ dengan metode elektrolisis.

1.2 Maksud, Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1. Maksud Penelitian

- a. Untuk mempelajari sejauh mana pengaruh pH dan Penambahan larutan pendukung $KClO_4$ pada pemisahan logam perak dari larutan bekas fiksasi film radiologi
- b. Menentukan kondisi optimum proses pemisahan logam perak dari elektrolitnya.

1.2.2. Tujuan Penelitian

Untuk memisahkan logam perak dari larutan bekas fiksasi film radiologi dengan metode elektrolisis.

1.2.3. Manfaat Penelitian

Setelah penelitian ini dilakukan, diharapkan dapat :

- a. Memberikan data awal untuk penelitian yang lebih meluas dalam hal pemisahan logam perak.
- b. Memberikan sumbangan berarti bagi industri dalam peningkatan efisiensi pemisahan logam, sekaligus penanggulangan masalah limbah logam-logam berat.
- c. Memberikan nilai ekonomis dari pemanfaatan larutan bekas fiksasi film radiologi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Logam Perak (5,14,16)

Secara umum, penggolongan logam sebagai logam berat adalah berdasarkan kerapatannya. Logam yang memiliki kerapatan lebih kecil dari 5 gram/cm^3 digolongkan sebagai logam ringan, sedang logam yang memiliki kerapatan lebih besar dari 5 gram/cm^3 digolongkan sebagai logam berat.

Ditinjau dari segi toksisitasnya, pencemaran logam dibagi atas tiga kelompok yaitu toksik, non toksik dan sangat toksik.

Tabel 1. Penggolongan Toksisitas Logam

Toksik	Non Toksik	Sangat Toksik
Ti, Ga, Zn, La, Ta, Ru, Ba.	Na, Li, K, Br, Mg, Sr, Al, Fe, Ca, Si.	Be, As, Au, Cu, Hg, Co, Bi, Pb, Zn, Ag, Sn, Cd, Sb, Pt.

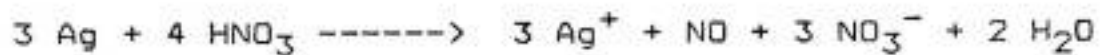
Dari tabel di atas, logam Ag termasuk logam yang sangat toksik. Jika logam tersebut dalam air melebihi ambang batas mutu air yang telah ditetapkan maka akan sangat membahayakan ekologi perairan.

2.2. Sifat dan Senyawa Perak

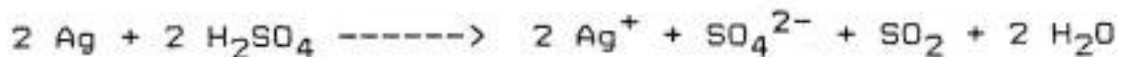
Logam perak diberi simbol Ag (berasal dari bahasa latin 'Argentum') dengan nomor atom 47 dan nomor massa 107,868. Dalam susunan berkala, Ag menempati posisi 1B, dengan titik lebur $960,5^\circ\text{C}$ dan titik didih 1212°C .

Perak berwarna putih, mengkilap, lembut dan dapat ditempa, mempunyai hantaran listrik dan termal yang dikenal tertinggi. Perak kurang reaktif daripada tembaga, kecuali terhadap sulfur dan hidrogen sulfida, yang secara cepat menghitamkan permukaan perak.

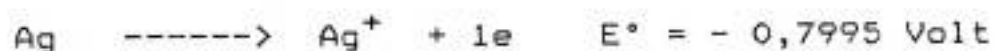
Perak mempunyai kerapatan 10,49 gram/ml, tidak larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer (1M) atau asam nitrat encer (2M), namun larut dalam asam nitrat yang lebih pekat (4M) seperti dalam reaksi :



atau dalam asam pekat panas, dalam reaksi :



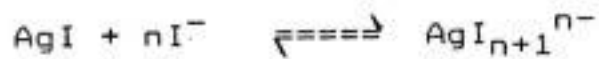
Konfigurasi elektron dari perak adalah : (Kr) $4d^{10}$, $5s^1$ dengan potensial oksidasi :



Ion perak, Ag^+ , terbukti disolvasi dalam larutan akua, namun suatu ion akuo tidak terdapat dalam garam, secara praktis semuanya adalah anhidrat. AgNO_3 , AgClO_3 , AgClO_4 larut dalam air namun Ag_2SO_4 dan AgOOCCH_3 larut sebagian. Meskipun halida AgCl dan AgBr yang tidak larut dalam air memiliki struktur NaCl , tampaknya memiliki sifat kovalen yang dapat diterima dalam interaksi dengan Ag .

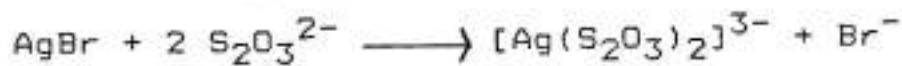
Kompleks yang paling umum adalah $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ yang dibentuk dengan pelarutan perak klorida atau perak bromi-

da dalam $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Perak halida juga larut dalam larutan ion halida berlebih dan Ag^+ berlebih, sebagai contoh :



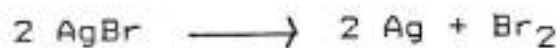
2.2.1. Perak Halida

Natrium tiosulfat melarutkan endapan dengan membentuk kompleks ditiosulfatoargentat



Reaksi ini berlangsung ketika kita memfiksasi film atau hasil cetakan positif foto, setelah dikembangkan (developed).

Penyinaran dengan cahaya matahari atau ultraviolet menguraikan endapan perak bromida yang menjadi abu-abu atau hitam karena terbentuknya logam perak :



Reaksi ini lambat dan mekanisme sesungguhnya sangatlah rumit. Perak halida yang lain menunjukkan sifat-sifat yang serupa. Fotografi didasarkan atas reaksi diatas.

Dalam kamera, proses-proses ini baru merupakan langkah awal, kemudian bahan foto harus dikembangkan untuk menyelesaikan reaksi. Partikel-partikel yang berwarna abu-abu atau yang hitam muncul pada tempat yang disinari, maka diperoleh gambaran negatif dari objek. Kelebihan perak halida harus dihilangkan (agar negatif yang telah dikembangkan tak peka lagi terhadap cahaya) yaitu dengan memfiksasi film tersebut.

2.2.2. Reduksi ion ditiosulfato argentat (I)

$[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ menjadi logam perak (Ag)⁽⁸⁾

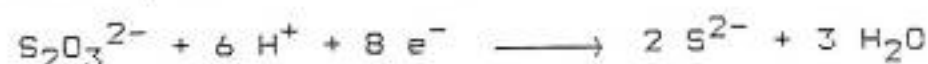
Sampel yang diambil dari "Fixer" bekas mengandung ion kompleks $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ dapat direduksi menjadi Ag , reaksi reduksinya sebagai berikut :



Reduksi $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ dilakukan pada arus konstan, untuk memaksimalkan kemurnian perak yang dihasilkan pada katoda. Karena kemungkinan tereduksinya ion tiosulfat menjadi sulfur bebas dapat terjadi apabila jumlah ion $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ sedikit di sekitar katoda, reaksi reduksi ion tiosulfat adalah sebagai berikut :



Ion tiosulfat ini dapat juga tereduksi membentuk ion sulfida. Bila hal itu terjadi, logam perak akan segera membentuk perak sulfida pada katoda :



untuk mendapatkan produk elektrolisis dengan kemurnian yang cukup tinggi maka dilakukan beberapa variasi kondisi elektrolisis yang dapat mempengaruhi produk yang dihasilkan.

2.3. Dasar Elektrolisis (2,3,4,7)

Proses elektrolisis merupakan suatu perpindahan elektron antara elektroda dan elektrolitnya pada lapis batas permukaan. Pada anoda akan terjadi perpindahan elektron dari larutan ke elektroda dan prosesnya disebut

oksidasi, sedangkan pada katoda terjadi reduksi yaitu perpindahan elektron dari elektroda ke larutan.

Proses perpindahan elektron dibedakan atas proses perpindahan primer dan sekunder. Pada proses perpindahan elektron primer, materi pokok bereaksi secara langsung pada permukaan elektroda. Dan pada proses perpindahan sekunder, elektron diberikan pada materi penunjang sehingga dihasilkan suatu reaktan perantara yang akan bereaksi dengan materi pokok dalam larutan tersebut. Reaktan perantara ini dapat dihasilkan secara internal dan eksternal. Keadaan ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :



Reduksi ion-ion logam pada katoda akan menghasilkan endapan yang melekat melapisi permukaan katoda sebagai produk elektrolisis dan terjadi pengurangan konsentrasi ion logam dari larutan elektrolitnya. Faraday, pada tahun 1833 telah merumuskan bahwa :

- a. Massa suatu zat yang dibebaskan atau diendapkan pada suatu elektroda sebanding dengan muatan listrik (yaitu banyaknya coulomb) yang melalui elektrolit.
- b. Massa berbagai zat yang dibebaskan atau diendapkan oleh kuantitas listrik yang sama (banyaknya coulomb) sebanding dengan bobot ekuivalen.

Perumusan tersebut dinyatakan dengan :

$$m = \frac{M \cdot i \cdot t}{z \cdot 96500}$$

dimana :

m = massa produk teoritis (gram)

i = besar arus (amper)

M = Massa atom produk (gram/mol)

t = waktu (detik)

z = Jumlah elektron yang terlibat

2.4. Penerapan Elektrolisis^{1,4)}

Salah satu aplikasi dari elektrolisis dalam skala industri adalah elektroplating. Elektroplating adalah pengendapan logam dari larutan garam atau lelehannya, di atas permukaan logam lain atau konduktor non logam. Logam yang akan dilapisi ditempatkan di katoda, kemudian direndam dalam larutan elektrolit yang mengandung logam pelapis dan mengalirkan arus listrik. Sebelum benda tersebut dilapisi, harus dicuci secara kimia. Lemak dan kotoran organik dapat dihilangkan dengan pelarut organik atau dengan mencelupkan dalam alkali panas. Karat atau lapisan oksida dapat dibersihkan dengan cara menyikat atau dengan cara pengasaman dalam larutan asam. Sifat endapan dipengaruhi oleh komposisi, dan sirkulasi larutan elektrolit dan oleh kerapatan arus.

Sel elektrolisis adalah peralatan dasar yang digunakan dalam elektroplating dan telah digunakan sejak dibangunnya industri pelapisan logam. Proses elektrolisis

tidak hanya berguna dalam skala laboratorium akan tetapi, juga mempunyai banyak aplikasi yang berskala industri, seperti elektroplating, isolasi logam, pemurnian logam, elektrosintesa dan lain-lain.

Proses elektrolisis merupakan suatu perpindahan elektron antara elektroda dengan elektrolit pada lapis batas permukaan. Reaksi kimia yang terjadi serta produk elektrolisis yang dihasilkan sangat bergantung pada materi elektroda dan elektrolitnya. Produk elektrolisis secara nyata adalah jumlah materi yang terendapkan di katoda atau besar pengurangan kadar elektrolit.

Berbagai usaha telah dilakukan untuk memisahkan logam tersebut diantaranya dengan pengendapan kimiawi, adsorpsi dengan berbagai adsorban, elektrolisis dan lain-lain. Perkembangan metoda-metoda yang ada diarahkan guna mendapatkan proses yang efektif dan efisien terutama untuk keperluan industri diusahakan proses yang kontinyu agar dapat diintegrasikan.

Pada penelitian ini, pemisahan logam dilakukan dengan menggunakan sel elektrolisis sistem batch dimana ruang anoda dan katoda tidak dipisahkan. Dan kondisi optimal ditentukan dengan cara mengatur berbagai kondisi yang secara teoritis dapat mempengaruhi produk elektrolisis. Pada tahap ini dilakukan elektrolisis terhadap ion kompleks $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ dengan elektroda grafit. Kemampuan elektrolisis dapat diamati dengan mengukur kadar perak

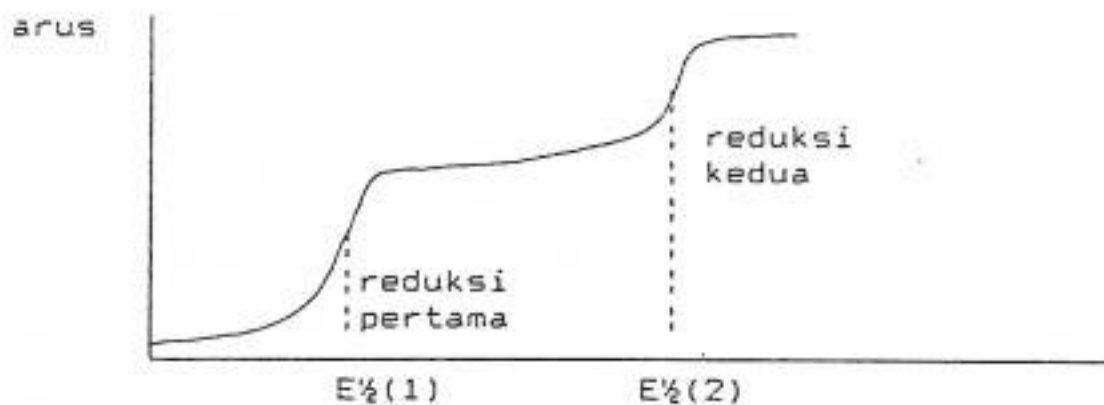
yang diperoleh sesudah proses elektrolisis. Dan sifat lapisan diamati secara fisik : warna, kehalusan permukaan atau bentuk lapisan.

2.5. Teknik Elektrolisis 4,6)

2.5.1. Elektrolisis dengan potensial elektroda terkontrol

Elektrolisis dengan potensial elektroda terkontrol dapat diterapkan untuk elektrolisis selektif, dimana dalam sel dapat terjadi beberapa tahap reduksi, atau oksidasi. Dengan menggunakan potensial elektroda terkontrol, maka dapat dipisahkan logam yang diinginkan tanpa ikut sertanya logam lain yang ada dalam larutan.

Jika dalam sel elektrolisis dapat terjadi beberapa tahap reduksi, maka imbalan antara potensial katoda dengan arus secara ideal dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Hubungan potensial katoda dan arus dalam sel elektrolisis

Reduksi pertama hanya dapat berlangsung secara selektif, jika potensial katoda dijaga dalam daerah sekitar $E_{1/2}^{(1)}$ sehingga reduksi pertama berlangsung pada kecepatan sedang tanpa menyebabkan reduksi kedua.

Selama proses reduksi berlangsung, konsentrasi reaktan akan berkurang sehingga kecepatan penerimaan elektron pada permukaan katoda berkurang, akibatnya arus yang mengalir akan semakin mengecil sehingga $i.R$ akan turun juga.

2.5.2. Elektrolisis dengan arus terkontrol

Elektrolisis dengan arus terkontrol lebih bersifat sederhana namun kurang selektif. Pada elektrolisis dengan arus terkontrol, arus yang melalui sel elektrolisis dijaga tetap, akibatnya dapat terjadi berbagai reaksi yang tidak diinginkan.

Penggunaan teknik ini untuk memisahkan logam dalam larutan kurang menguntungkan karena penggunaan arus yang terlalu kecil dapat menyebabkan tidak terjadinya reaksi atau reaksi tidak berlangsung, sedang penggunaan arus yang terlalu besar memungkinkan reaksi terlalu cepat dan dapat terjadi reduksi logam atau unsur lain.

Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penimbangan berat Ag larutan secara teoritis dengan menggunakan persamaan Faraday. Sehingga arus yang akan dialirkan ke elektrolit dapat diketahui. Selanjutnya sebelum dan sesudah proses elektrolisis, elektrolit tersebut diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mendapatkan konsentrasi logam.

2.6. Kinetika Elektrokimia (2,4,7,11,12)

Pelepasan muatan ion-ion pada elektroda merupakan masalah yang mendasar dalam elektrokimia. Kecepatan pelepasan muatan ion-ion ini diukur dengan rapat arus yang dipengaruhi berbagai hal.

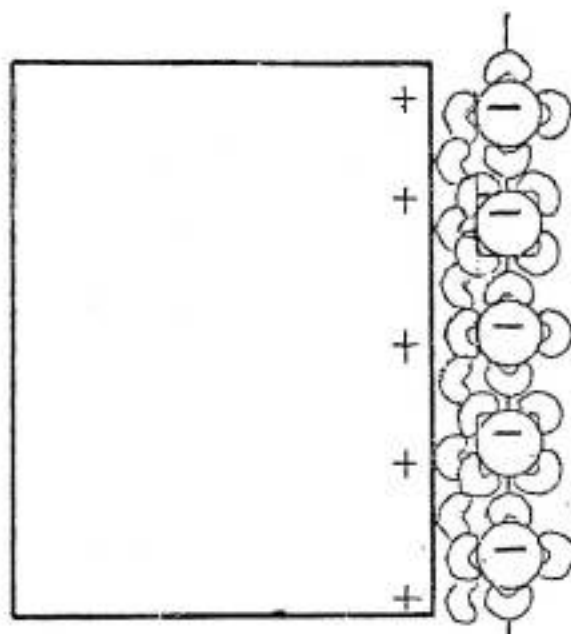
Pada keadaan kesetimbangan, aliran muatan yang menuju elektroda mempunyai harga yang sama dengan aliran muatan yang menjauhi elektroda. Perbedaan potensial antara permukaan elektroda dengan larutan merupakan potensial kesetimbangan (potensial reversibel). Selisih besarnya potensial antara potensial operasi total dengan potensial reversibel tersebut disebut potensial lebih (over potensial).

2.6.1. Distribusi muatan pada antar muka

Besar arus pada elektrolit diakibatkan oleh kecepatan reaksi pada daerah lapis ganda atau dekat permukaan elektroda. Reaksi tersebut merupakan perpindahan elektron antara elektroda dengan ion-ion dalam elektrolit.

Perbedaan potensial sepanjang daerah antar muka antar elektroda dengan larutan yang mengelilinginya timbul sebagai akibat pemisahan muatan. Jika elektron meninggalkan elektroda untuk mereduksi kation dalam larutan maka elektroda menjadi bermuatan positif, sedangkan larutan kehilangan kenetralannya dan menjadi bermuatan negatif secara lokal. Model yang terbentuk akibat distribusi muatan di atas merupakan selapis muatan

positif pada permukaan elektroda dan selapis muatan negatif pada permukaan larutan di sebelahnya yang disebut lapis ganda elektrik.



Gambar 2 : Bidang Helmholtz luar

Untuk pertama kalinya Helmholtz menguraikan daerah antar fasa pada tahun 1879. Model yang terlihat pada gambar di atas dapat dianggap sebagai kapasitor, muatan pada elektroda dialirkan oleh muatan ion dari larutan yang sama besar, tetapi berbeda tandanya dan jarak, d , dari permukaan elektroda, muatan tersebut tersusun secara rapat.

Helmholtz merumuskan tebal lapis ganda sebagai berikut :

$$d = \frac{K \cdot \epsilon^{\circ} \cdot A}{C} = \frac{K \cdot \epsilon^{\circ} \cdot \delta m}{V}$$

dimana C adalah kapasitor, ϵ° adalah permitivitas larutan pada lapis ganda, A luas permukaan, V penurunan tegangan diantara kapasitor dan δm rapat muatan pada elektroda.

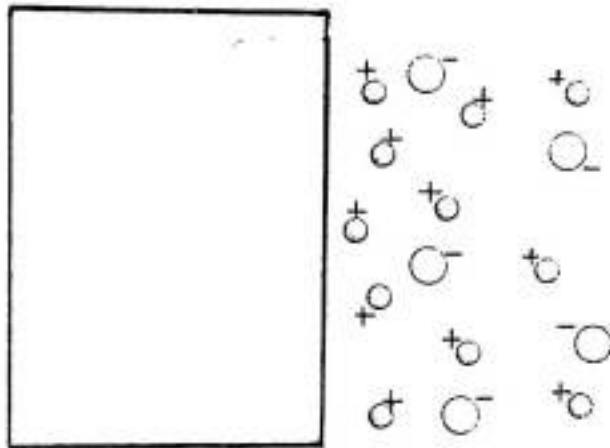
Helmholtz beranggapan bahwa kapasitas lapis ganda tidak bergantung pada penurunan tegangan yang terjadi dan muatan hanya dipengaruhi oleh tegangan dalam elektroda. Teori Helmholtz perlu perbaikan karena ternyata dalam percobaan ini terbukti kapasitas merupakan fungsi tegangan.

Teori Helmholtz diperbaiki oleh teori Gouy-Chapman, model ini merupakan suatu distribusi muatan pada bidang datar, yang menggambarkan perbedaan konsentrasi kation dan anion yang berada pada jarak tertentu dari elektroda. Gambar 3, menunjukkan muatan didalam larutan yang dianggap sebagai muatan titik.

Selanjutnya Gouy-Chapman menyimpulkan bahwa tebal lapis ganda sesuai dengan persamaan :

$$d = \left(\frac{K.T.K.\epsilon^\circ}{2.n.Z^2.e^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

K adalah perbandingan permitivitas medium, n jumlah partikel perunit volume, z valensi ion dengan tanda (-/+) dan e muatan elektron.



Gambar 3 : Model Lapis Ganda Gouy-Chapman

Teori yang dikemukakan Gouy-Chapman ternyata juga mempunyai kelemahan. Salah satu kelemahan teori ini adalah tidak adanya kepastian untuk ukuran ion yang dianggap sebagai muatan titik.

Model yang baru ditemukan oleh Stern, dianggap sebagai gabungan model Helmholtz dan Gouy-Chapman. Model Stern menjelaskan bahwa pada daerah dekat permukaan elektroda, ion-ion membentuk bidang Helmholtz sedang pada daerah yang lebih jauh ion-ion tersebut terdifusi seperti yang digambarkan pada model Gouy-Chapman.

Hal terpenting dalam model lapis ganda pada antar muka ini adalah perubahan potensial yang terjadi sesuai jarak terhadap elektroda. Potensial ini mempengaruhi kecepatan reaksi elektroda.

2.6.2. Kecepatan Perpindahan Muatan

Pada perpindahan ion-ion menuju elektroda terjadi proses pelepasan dan pelintasan lapis ganda pada antar muka. Kecepatan perpindahan muatan dinyatakan dengan suatu besaran k^+ yang merupakan koefisien kecepatan untuk kation. Koefisien ini dipengaruhi oleh perubahan Gibbs aktivasi sesuai dengan persamaan Eyring :

$$k^+ (\text{---} \rightarrow M) = \left(\frac{kT}{h} \right) \exp \left(- \frac{\Delta G_m^* (\text{---} \rightarrow M)}{RT} \right)$$

dengan :

$k^+ (\text{---} \rightarrow M)$ = Koefisien kecepatan perpindahan kation dari larutan ke elektroda

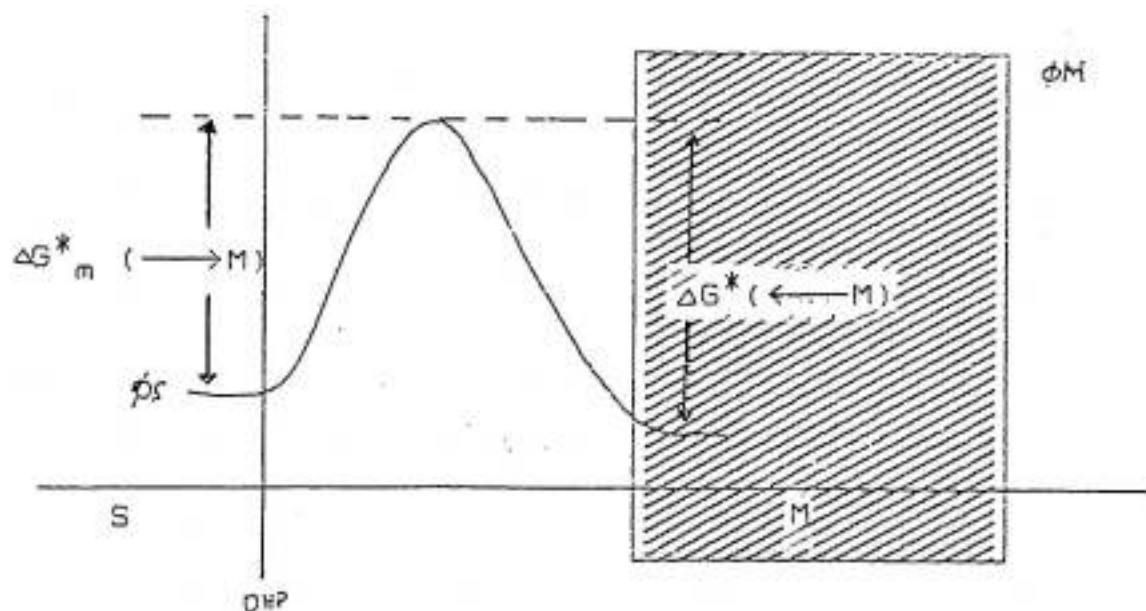
k = Konstanta Boltzman

T = Temperatur

h = Konstanta Planck

R = Konstanta gas

$\Delta G_m^* (\text{---} \rightarrow M)$ = Perubahan energi bebas aktivasi



Gambar 4 : Profil Fungsi Gibbs ion bermuatan

Adanya perbedaan potensial antara larutan pada bidang Helmholtz luar elektroda sebesar $\Delta\phi$ (M,S) mempengaruhi ΔG_m^* ($\rightarrow M$) sehingga :

$$\Delta \bar{G}_m^* (\rightarrow M) = \Delta G_m^* + z^+ \cdot F \cdot \alpha \cdot \Delta\phi(M,S)$$

dengan :

z^+ = besar muatan kation

F = Faraday

α = Faktor simetris

Dengan mensubstitusi harga ini kedalam persamaan sebelumnya, maka didapat :

$$\begin{aligned} \bar{k}^+ (\rightarrow M) &= \left(\frac{kT}{h} \right) \exp \left\{ - \frac{\Delta \bar{G}_m^* (\rightarrow M)}{RT} \right\} \\ &= k^+ (\rightarrow M) \exp \left\{ - \frac{z^+ (1-\alpha) \cdot F \cdot \Delta\phi(M,S)}{RT} \right\} \end{aligned}$$

Untuk perpindahan muatan dengan arah yang berlawanan dari elektroda ke larutan, digunakan fungsi Gibbs aktivasi dengan faktor simetri $(1 - \alpha)$ yaitu :

$$\begin{aligned} \bar{k}^+ (\leftarrow M) &= \left(\frac{kT}{h} \right) \exp \left\{ - \frac{\Delta \bar{G}_m^* (\leftarrow M)}{RT} \right\} \\ &= k^+ (\leftarrow M) \exp \left\{ - \frac{z^+ (1-\alpha) \cdot F \cdot \Delta\phi(M,S)}{RT} \right\} \end{aligned}$$

Koefisien kecepatan ini berhubungan erat dengan arus pada elektroda. Pada lapis ganda antar muka terdapat sejumlah kation tiap satuan luas (δ^+). Jika setiap kation bermuatan z^+e , maka aliran muatan untuk satu satuan luas tiap satuan waktu (rapat arus) menuju elektroda adalah :

$$j^+ (\rightarrow M) = z^+ \cdot e \cdot \delta^+ \cdot \bar{k}^+ (\rightarrow M)$$

Untuk aliran dari elektroda menuju larutan digunakan persamaan yang sama dengan arah berlawanan yaitu :

$$J^+ (\leftarrow M) = Z^+ \cdot e \cdot \delta^+ \cdot K^+ (\leftarrow M)$$

Pada keadaan kesetimbangan harga rapat arus ke elektroda sama besar dengan harga rapat arus dari elektroda.

2.7. Komponen-Komponen Sel Elektrolisis 1,12,13)

2.7.1. Elektroda

Pada elektroda terjadi proses pemindahan muatan listrik antara dua fase, karena itu kecepatan reaksi merupakan fungsi eksponensial dari potensial elektroda. Reaksi pada elektroda juga dipengaruhi oleh spesi yang ada didalam sel, seperti pelarut dan elektrolit yang dapat mengubah kondisi permukaan elektroda.

Pemilihan elektroda untuk elektrolisis harus memperhatikan daya hantar elektroda yang baik, daya tahan elektroda terhadap kerusakan akibat reaksi kimia maupun elektrokimia, kekakuan dan media elektrolisis yang dipakai.

Grafit merupakan salah satu bentuk karbon yang terdapat sebagai mineral ataupun sebagai hasil satu sintesa. Grafit mempunyai ketahanan yang besar terhadap temperatur tinggi dan zat-zat kimia yang korosif serta mempunyai kemampuan untuk menghantarkan panas dan listrik sehingga banyak digunakan untuk keperluan industri.

Sebagai elektroda grafit mempunyai beberapa kelebihan yang dibutuhkan sel elektrolisis yaitu :

- Tidak larut/inert
- Tahan lama
- Biaya awal lebih ringan
- Daya tahan listrik besar
- Tidak menyebabkan kontaminasi dengan produk reaksi.

Dengan beberapa kelebihan yang dimiliki ini diharapkan elektroda grafit dapat dipakai pada aplikasi pemisahan logam perak dari larutan bekas fiksasi film radiologi

2.7.2. Media elektrolisis

Kandungan media elektrolisis (bak plating) bermacam-macam tergantung pada tujuan elektroplating tersebut.

1. Sumber logam yang dideposisi
2. Membentuk kompleks dengan ion logam deposisinya
3. Menyediakan sarana hantaran listrik
4. Stabilitas larutan (terhadap hidrolisis)
5. Buffer (stabilitas keasaman/PH)
6. Mengubah bentuk fisik deposit
7. Membentuk pelarutan anoda
8. Mengatur sifat-sifat lain larutan.

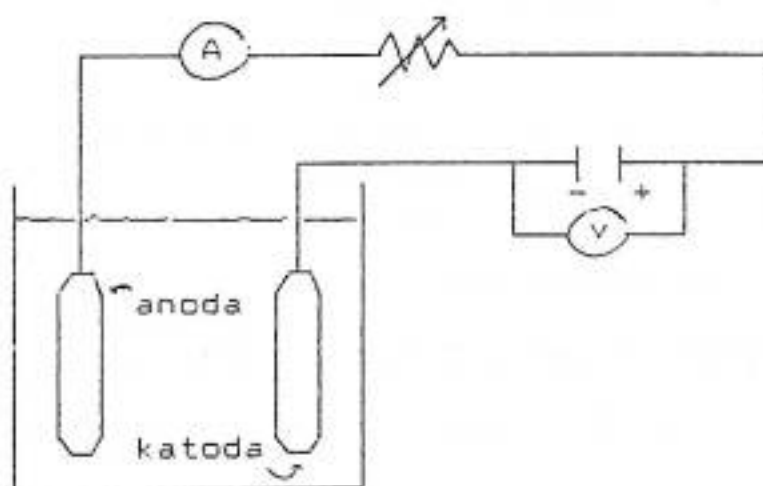
Pelarut pada media elektrolisis diklasifikasikan sebagai pelarut protik dan aprotik. Pelarut protik contohnya air, alkohol dan sebagainya. Sedangkan pelarut aprotik contohnya asetonitril, sulfolan dan sebagainya.

Elektrolit penunjang yang dapat dipakai dalam media elektrolisis adalah asam-asam, basa-basa, garam-garam anorganik maupun organik. Kalium perklorat merupakan elektrolit penunjang yang umum dipakai.

Penggunaan elektrolit penunjang yang inert sangat diperlukan dalam elektrokimia dan dapat mempengaruhi media pelarut dengan beberapa cara :

- a. Mengatur tekanan sel dan transfer massa oleh migrasi listrik
- b. Dapat menghantar atau "buffer" tingkat aktivasi ion hidrogen dalam larutan
- c. Dapat membentuk pasangan ion dengan spesies elektroaktif
- d. Mempengaruhi luas struktur lapisan ganda
- e. Dapat bergabung dengan zat terlarut elektroaktif sebagai kompleks ion logam oleh ligan

2.7.3. Rangkaian sel Elektrolisis

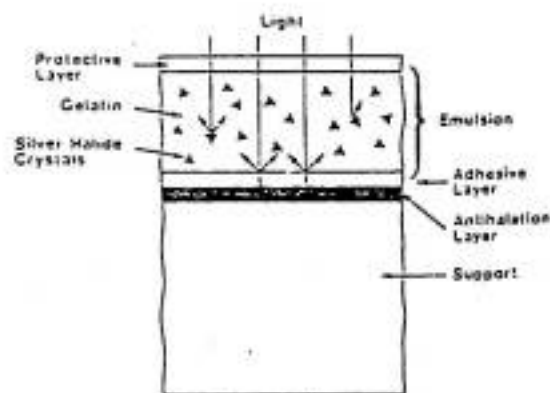


Gambar 5. Rangkaian Sel elektrolisis

2.8. Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan bekas fiksasi film yaitu suatu larutan yang banyak mengandung ion perak yang dihasilkan dari film pada proses radiologi.

Pada film radiologi, bromida "emulsi" digunakan sebagai bahan aktif yang sensitif terhadap cahaya/sinar dalam bentuk dispersi padat, terdiri dari AgBr, kristal dan matrik pelindung biasanya gelatin¹⁰⁾ (gambar 6).



Gambar 6: Bentuk permukaan film hitam putih.

Proses radiologi secara umum sebagai berikut:

1. Penyinaran dengan sinar-X

Bagian film yang dikenai oleh sinar-X akan menimbulkan bayangan pada bagian dalam permukaan film. Secara sederhana dapat dijelaskan dengan reaksi berikut :

$$\text{AgBr (Kristal)} + h\nu \longrightarrow \text{Ag}^+ + \text{Br} + e^-$$

2. Pengembangan ("Development")

Film yang telah disinari dengan sinar-X direndam dalam larutan pengembang ("developer") biasanya adalah metol + hidrokuinon atau phenidon + hidrokuinon dalam larutan alkalin. Gunanya adalah untuk memunculkan bayangan agar terlihat, dengan tereduksinya ion Ag^+ menjadi logam perak yang berwarna hitam. Reaksi yang terjadi adalah :



dan



Bertambahnya konsentrasi ion H^+ akan dinetralkan oleh ion OH^- dari alkalin membentuk H_2O

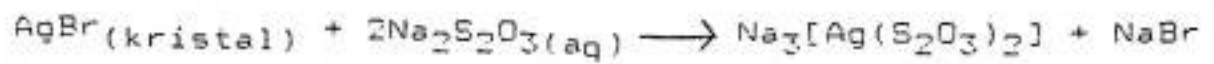
3. Pencucian dengan air ("ringsing")

Sisa larutan pengembang yang tertinggal pada permukaan film dibersihkan dengan cara mencuci dengan air.

4. Fiksasi ("Fixing")

Bagian film yang tidak tersinari akan tetap dalam bentuk AgBr emulsi yang dapat dilarutkan dalam larutan fixer. Bahan-bahan dasar dari Fixer terdiri atas Amonium tiosulfat, asam borat, natrium asetat, natrium bisulfid dan air. Kemudian dicampur pula bahan-bahan pengeras seperti asam asetat, aluminium klorida, sehingga larutan fixer ini berada dalam kondisi asam.

Pada saat film direndam dalam fixer akan terjadi reaksi sebagai berikut :



5. Pencucian untuk membersihkan sisa fixer pada permukaan film.
6. Pengeringan.

Setelah permukaan film bersih dari sisa-sisa fixer, maka film tersebut dikeringkan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel adalah di bagian radiologi rumah sakit umum pusat Dr. Wahidin Sudirohusodo Kotamadya Ujung Pandang.

3.2. Pengambilan Sampel

Larutan fixer yang diambil adalah larutan yang sudah jenuh dan tidak dapat lagi memfiksasi film yang dicelupkan ke dalamnya. Selanjutnya larutan tersebut didiamkan selama beberapa hari hingga kotoran-kotoran yang berwarna hitam atau abu-abu yang bercampur dengan larutan fixer dapat mengendap. Setelah mengendap larutan fixer akan berwarna jernih.

3.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian : dimulai bulan Maret sampai dengan Juni 1996.

Tempat Penelitian: Laboratorium Kimia Fisika F-MIPA Unhas.

3.4. Analisis Data

Semua data yang diperoleh diolah dengan komputer dengan mempergunakan program WordStar.

3.5. Penarikan Kesimpulan

Data hasil dalam penelitian ini kemudian dapat ditarik kesimpulan.

BAB IV

ALAT, BAHAN DAN PROSEDUR KERJA

4.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber arus DC
2. Tahanan Geser
3. Voltmeter
4. Amperemeter
5. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
6. Magnetik Stirrer
7. Neraca ohaus
8. Timbangan analitik
9. pH meter
10. Cawang petri
11. Gelas piala (100 ml, 250 ml, 1000 ml)
12. Pipet Volume (10 ml, 1 ml)
13. Karet hisap
14. Peralatan botol lainnya
15. Elektroda grafit
16. Oven
17. Kabel-kabel
18. Pipet skala
19. Pinset
20. Stop watch.

4.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. NaHSO_3
2. KClO_4
3. Asam asetat glasial 100 %
4. Aseton
5. NaOH encer
6. HNO_3
7. Larutan Fixer

4.3. Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini meliputi tiga tahap, yaitu tahap penyiapan elektroda, tahap elektrolisis dan tahap uji fisik terhadap lapisan yang diperoleh.

4.3.1. Tahap Penyiapan Elektroda

Sebelum logam dasar (katoda) dilapisi dengan logam lain, logam dasar harus pada kondisi siap menerima logam pelapis. Untuk itu dilakukan pencucian permukaan logam tersebut. Secara umum yang harus dibersihkan dari permukaan logam tersebut adalah kotoran yang kasar yang bersifat asam dan basa, minyak, lemak dan partikel-partikel logam lain.

Prosedur pencucian elektroda grafit adalah sebagai berikut :

1. Elektroda grafit dibilas dengan asam nitrat 1:3 untuk menghilangkan logam pengotor lainnya.
2. Kemudian dibilas dengan aquadest.
3. Selanjutnya elektroda grafit dibilas dengan NaOH encer untuk menetralsir sisa asam pada permukaan katoda.
4. Kemudian dibilas dengan aquadest.
5. Lalu dibilas lagi dengan aseton untuk menghilangkan pengotor organik seperti minyak dan lemak.
6. Elektroda grafit dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 5 menit.
7. Katoda ditimbang dan siap dilapisi.

4.3.2. Tahap elektrolisis

Sebelum dilakukan proses elektrolisis, terlebih dahulu dipersiapkan perlengkapan yang diperlukan yaitu sumber arus searah, voltmeter, amperemeter, electrolytic analyzer, kemudian dialirkan arus searah dan dilakukan pengaturan jarak antar elektroda serta arus yang diberikan ditepatkan hingga mencapai penunjukan 0,015 Amper

Setelah rangkaian sel elektrolisis, selesai maka :

1. Disiapkan sampel sebanyak 50 ml
2. Kemudian ditambahkan 1 ml NaHSO_3
3. Lalu diambahkan asam asetat glasial sesuai variasi pH 4 sampai 6.

4. Ditambahkan masing-masing larutan pendukung $KClO_4$ 0,05 M, 0,10 M, 0,15 M, 0,20 M dan 0,30 M.
5. Katoda yang digunakan adalah grafit dengan luas permukaan 14,6 cm^2 , selama proses elektrolisis berlangsung larutan diaduk dengan kecepatan pengadukan 600 rpm pada temperatur kamar.
6. Arus yang diberikan dijaga konstan.
7. Proses elektrolisis dianggap selesai sesuai dengan pada variasi waktu elektrolisis yaitu yang memiliki efisiensi proses yang maksimal.
8. Katoda dicuci dengan aquadest dan aseton.
9. Kemudian dikeringkan dalam oven 105°C selama 5 menit.
10. Katoda ditimbangan untuk menentukan berat katoda.
11. Lapisan Ag yang menempel dikatoda, kemudian direndam dalam asam nitrat 4M, untuk mengetahui ketahanan lapisan.
12. Sampel yang telah dielektrolisis dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap kerja hasil percobaan ini diawali dengan menyusun rangkaian elektrolisis yang akan digunakan. Persiapan sel elektrolisis dilakukan dengan seksama terutama untuk mendapatkan jarak antara elektroda (katoda-anoda) pada sistem Batch.

Hambatan sel elektrolisis dipengaruhi langsung oleh jarak antara elektroda (sesuai $R = f \cdot \frac{1}{A}$), dimana f = hambatan jenis (ohm.cm), l = jarak antar elektroda (cm) dan A = luas permukaan elektroda (cm²), dengan mengatur jarak tersebut ditentukan jarak yang digunakan dalam percobaan selanjutnya adalah 2,5 cm dan luas permukaan katoda adalah 14,6 cm².

5.1. Penentuan waktu elektrolisis yang optimal.

Pada awal percobaan ini, terlebih dahulu dilakukan penyusunan rangkaian sel elektrolisis. Potensial operasional 6,0 Volt, arus 0,015 Amper, pada temperatur kamar dengan melakukan elektrolisis yang optimal pada variasi mulai 1,2,3,4,dan 5 jam.

Data yang diperoleh pada percobaan ini dapat dilihat pada tabel 2, dimana berat perak teoritis dihitung dengan rumus :

$$m = \frac{M.i.t}{Z.96500}$$

Efisiensi proses adalah berat percobaan dibagi berat teoritis dikali seratus persen. Sesuai rumus diatas, maka semakin lama proses elektrolisis dilakukan maka semakin banyak jumlah produk katoda yang diperoleh.

Tabel 2 : Elektrolisis dengan Variasi waktu pada potensial operasi 6,0 Volt, arus rata-rata 0,015 A, dan temperatur kamar.

No.	waktu (jam)	Berat katoda		Berat Ag Percobaan (gram)	Berat Ag teoritis (gram)	Efisiensi Proses (%)
		sebelum (gram)	Setelah (gram)			
1	0	15,6658	15,6658	0,0000	0	0
2	1	15,6650	15,7216	0,0566	0,0604	93,71
3	2	15,6649	15,7822	0,1173	0,1209	97,02
4	3	15,6660	15,8377	0,1717	0,1813	94,70
5	4	15,6662	15,8909	0,2247	0,2417	92,97
6	5	15,6650	15,9343	0,2693	0,3022	89,11

Tabel 3 : Sifat fisik lapisan pada variasi waktu elektrolisis

No.	Waktu (jam)	Warna lapisan	Permukaan lapisan	Ketahanan lapisan dlm HNO_3 , 4M (dtk)
1	0	-	-	-
2	1	krem	- halus - rata	300
3	2	Perak logam	- halus - rata/tipis	900
4	3	perak logam	- halus - rata/tipis	1 200
5	4	Krem	- halus - rata	1 500
6	5	Krem	- halus - rata	1 600

Efisiensi proses meningkat hingga waktu elektrolisis 2 jam dan terjadi penurunan setelah 3 jam. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh adanya reduksi samping tiosulfat menjadi sulfur ditandai warna lapisan yang sudah menjadi krem.

Pada waktu elektrolisis 1 jam sampai 2 jam, lapisan berwarna krem dan perak logam ini menunjukkan bahwa

reduksi yang terjadi dari $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ menjadi Ag mendekati kesempurnaan. Meskipun masih ada pengotor yang ikut menempel di katoda.

Didukung oleh data Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) (tabel 4), yaitu pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel sebelum dan sesudah proses elektrolisis, maka dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa pada waktu elektrolisis 2 jam, kurang terjadi reaksi reduksi tiosulfat menjadi sulfur, sehingga kemurnian mencapai 98,55 %.

Tabel 4 : Pengukuran Konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan SSA pada variasi waktu elektrolisis.

No.	Waktu (jam)	Konsentrasi Ag		S (gr/L)	W (gr/L)	S/W (%)
		Awal (gr/L)	Akhir (gr/L)			
1	0	5,094	5,094	0,000	0	0
2	1		4,103	0,991	1,132	87,54
3	2		2,782	2,312	2,346	98,55
4	3		1,902	3,192	3,434	92,95
5	4		1,019	4,075	4,444	90,68
6	5		0,267	4,827	5,386	89,62

S = Pengurangan konsentrasi ion Ag^+ dalam larutan sampel (jumlah Ag^+ yang tereduksi di katoda)

W = Berat lapisan yang diperoleh di katoda untuk jumlah sampel 1 liter

S/W = Kadar Ag dalam lapisan

Dari pengamatan secara fisik terhadap lapisan yang terbentuk di katoda (tabel 3), pada menit-menit pertama selama proses elektrolisis berlangsung terbentuk lapisan yang berwarna keperakan, namun perlahan-lahan berubah menjadi krem. Perubahan warna tersebut disebabkan oleh adanya sejumlah ion tiosulfat yang tereduksi menjadi sulfur. Hal ini dapat terjadi pada saat jumlah ion $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ di sekitar katoda semakin berkurang. Reduksi yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut :



Jika ion $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ semakin berkurang di sekitar katoda akibat reduksi yang terjadi, maka ion $S_2O_3^{2-}$ ikut tereduksi menjadi sulfur bebas.



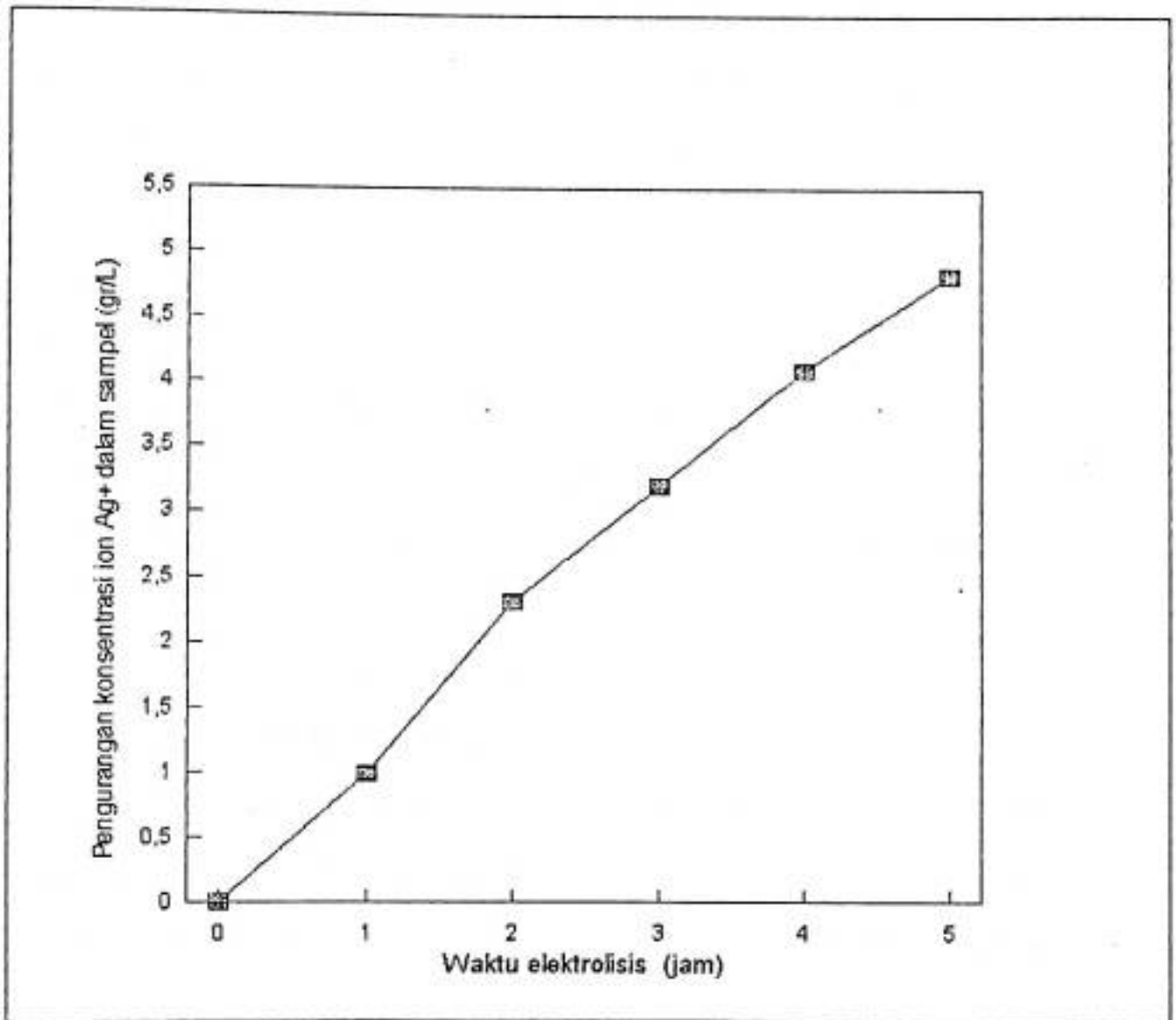
Sulfur tersebut akan ikut menempel pada permukaan katoda dan sebagian terperangkap di antara logam perak, hal inilah yang menyebabkan permukaan lapisan terlihat berwarna krem.

Untuk mengurangi terbentuknya sulfur di katoda dapat ditambahkan $NaHSO_3$ yang dapat bereaksi dengan sulfur tersebut, membentuk kembali ion tiosulfat :



Dengan penjelasan di atas disimpulkan bahwa untuk perlakuan selanjutnya dilakukan proses elektrolisis selama 2 jam.

Pada penentuan efisiensi proses waktu elektrolisis yang optimum, belum ada perlakuan variasi pH dan penambahan konsentrasi larutan pendukung $KClO_4$.



Gambar 7 : Grafik pengaruh variasi waktu elektrolisis terhadap pengurangan konsentrasi ion Ag^+

5.2. Variasi Penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 4.

Pada percobaan ini dilakukan penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 untuk mengetahui sejauh mana pengaruh terhadap reduksi $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ menjadi Ag. Alasan pemilihan KClO_4 sebagai elektrolit pendukung adalah :

- Mempunyai konduktivitas ion yang tinggi
- Tidak mengganggu senyawa yang akan direduksi.

Lalu divariasikan pula perlakuan tingkat keasaman terhadap elektrolit hal ini untuk mengetahui pula sampai sejauh mana pH mempengaruhi reduksi $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ menjadi Ag

Fungsi utama dari elektrolit pendukung KClO_4 disini adalah sebagai media penghantar dan sekaligus menurunkan tahanan larutan. Jika kita melakukan elektrolisis terhadap suatu larutan, seperti pada sampel ini. medan listrik yang ada dalam larutan elektrolit tersebut akan mengakibatkan ion-ion bermigrasi menuju elektroda.

Migrasi ion-ion tersebut bergantung pada besarnya arus listrik, karena masing-masing ion membawa sejumlah fraksi arus yang sebanding dengan mobilitas dan konsentrasinya.

Penambahan elektrolit yang inert seperti KClO_4 yang berfungsi sebagai elektrolit pendukung akan mengurangi tahanan larutan dan menurunkan kekuatan medan listrik yang ditimbulkan oleh elektrolit sampel sesuai hukum ohm ($E=i.R$)

Pemindahan massa ion elektrolit $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ yang disebabkan oleh migrasi dalam suatu medan listrik dapat dikurangi sampai pada tingkat yang dapat diabaikan karena tertimpa oleh elektrolit pendukung, kemudian arus yang akan dibawa oleh ion-ion elektrolit pendukung bukan ion-ion elektroaktif.

Oleh karena itu, ion-ion elektroaktif pendukung mempunyai mobilitas dan konsentrasi yang tinggi dibanding ion-ion elektroaktif, maka proses dapat berjalan lebih cepat dan efektif jika dibandingkan tanpa elektrolit pendukung.

Pada pengamatan seperti yang terlihat pada tabel 5. Berat yang dihasilkan pada konsentrasi KClO_4 yang rendah kecil, hal ini diakibatkan oleh ion-ion yang dibawa larutan pendukung belum berjalan efektif.

Dari data ketahanan lapisan dalam HNO_3 4M (tabel 6) dapat diambil kesimpulan bahwa pada penambahan konsentrasi KClO_4 0,05 M dan 0,10 M proses reduksi berjalan lambat, lapisan memiliki daya tahan yang lebih lama dalam HNO_3 4M.

Tabel 5: Elektrolisis pada penambahan elektrolit pendukung $KClO_4$, pH 4, waktu 2 jam dan temperatur kamar.

No.	Konsentrasi $KClO_4$ (mol/L)	Berat katoda (gram)		Berat Ag Percobaan (gram)
		Sebelum	Sesudah	
1	0,05	15,6662	15,7233	0,0571
2	0,10	15,6658	15,8204	0,1546
3	0,15	15,6656	15,8215	0,1559
4	0,20	15,6661	15,7874	0,1213
5	0,30	15,6656	15,7702	0,1046

Tabel 6: Data fisik lapisan pada penambahan elektrolit pendukung $KClO_4$, pH 4.

No.	Konsentrasi $KClO_4$ (mol/L)	Warna lapisan	Bentuk lapisan	Ketahanan lapisan dlm HNO_3 4M(dtk)
1	0,05	krem	- halus - rata	150
2	0,10	Krem	- halus - kilat logam	135
3	0,15	Krem	- halus - kilat logam	120
4	0,20	Krem	- agak kasar - rata	110
5	0,30	krem	- kasar - rata	90

Karena pada proses reduksi yang lebih lambat penempelan dan distribusi logam pada permukaan katoda akan lebih rapat, rata dan halus sehingga akan lebih keras dan membutuhkan waktu yang lebih lama pada saat direndam dalam HNO_3 4M.

Uji lapisan dalam HNO_3 4M ini didasarkan pada luas permukaan suatu zat akan mempengaruhi laju reaksinya, semakin luas permukaan suatu zat semakin cepat laju reaksinya dan semakin kecil luas permukaannya semakin lambat laju reaksinya.

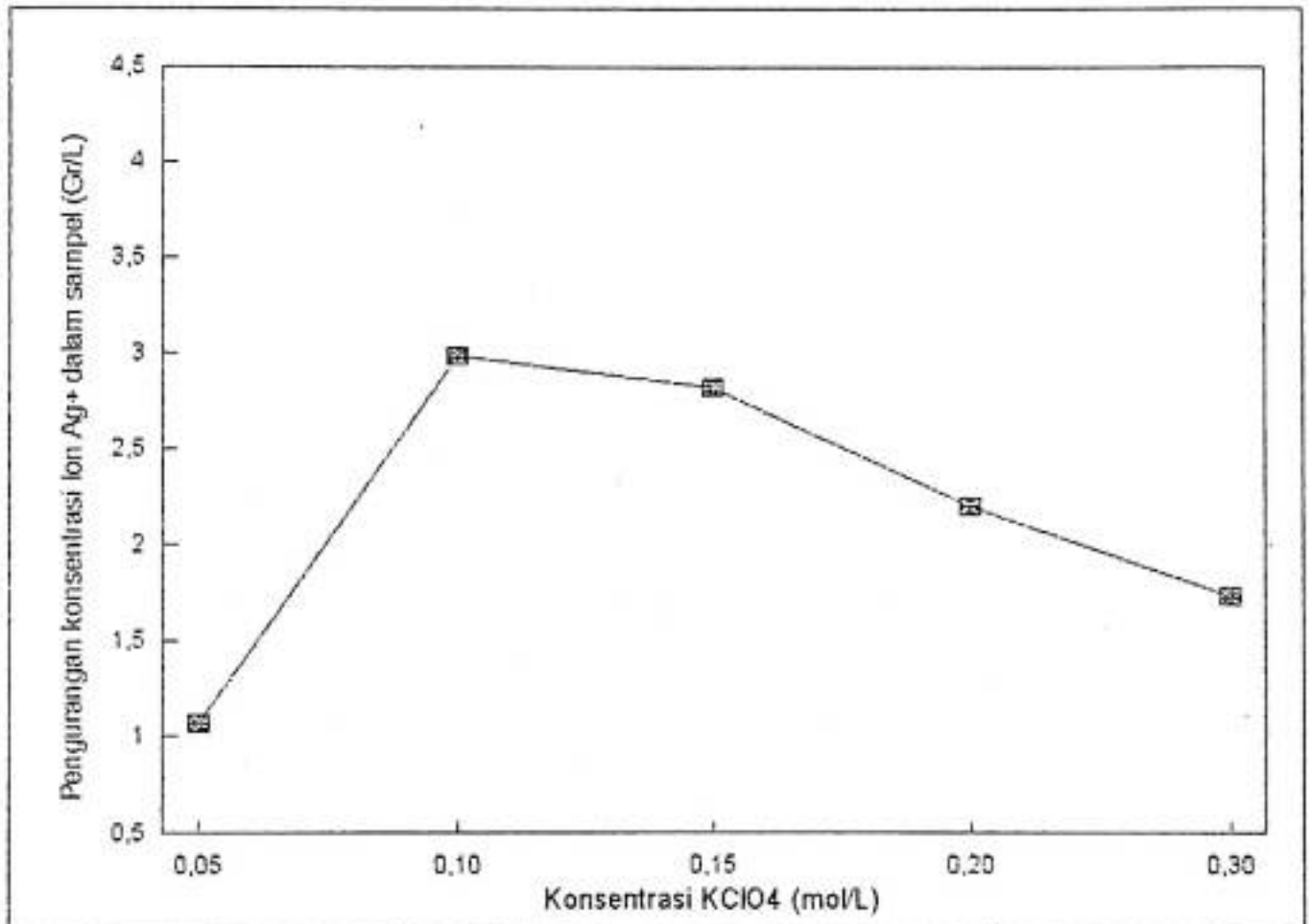
Dari hasil pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam larutan sampel sebelum dan sesudah proses eletrolisis (tabel 7), penambahan elektrolit pendukung KClO_4 pada pH 4 efektif hanya sampai 0,1M dengan kadar Ag dalam lapisan 96,44%.

Tabel 7: Pengukuran Konsentrasi logam perak dalam sampel sebelum dan sesudah proses eletrolisis dengan SSA pada variasi penambahan elektrolit pendukung KClO_4 pada pH 4.

No.	konsentrasi KClO_4 (mol/l)	Konsentrasi Ag^+ (gr/L)		S (gr/L)	W (gr/L)	S/W (%)
		Awal (gr/L)	Akhir (gr/L)			
1	0,05	5,094	3,391	1,073	1,141	94,02
2	0,10		2,112	2,982	3,092	96,44
3	0,15		2,271	2,823	3,119	90,52
4	0,20		2,891	2,203	2,425	90,86
5	0,30		3,359	1,735	2,091	82,99

- S = Pengurangan konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel
W = Berat lapisan yang diperoleh dikatoda untuk jumlah sampel 1 liter
S/W = Kadar Ag dalam lapisan

Sehingga dapat disimpulkan bahwa reduksi $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ menjadi Ag yang optimal pada pH 4 ini efektif hanya sampai pada penambahan KClO_4 0,10 M.



Gambar B : Grafik pengaruh penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO₄ terhadap pengurangan konsentrasi ion Ag⁺ pada pH 4

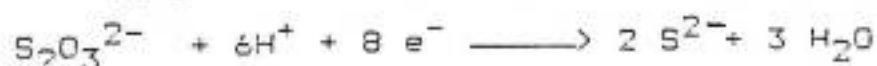
5.3. Variasi Penambahan Konsentrasi Larutan Pendukung KClO_4 pada pH 5.

Dari hasil elektrolisis pada tabel 8, menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi elektrolit pendukung KClO_4 sampai 0,15 M mengakibatkan pertambahan berat lapisan dikatoda akan tetapi 0,20 M dan 0,30 M menunjukkan penurunan berat lapisan.

Tabel 8: Elektrolisis pada penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 5 temperatur kamar.

No.	Konsentrasi KClO_4 (mol/l)	Berat katoda (gram)		Berat Ag Percobaan (gram)
		Sebelum	Sesudah	
1	0,05	15,6654	15,7112	0,0458
2	0,10	15,6653	15,7972	0,1319
3	0,15	15,6660	15,8464	0,1809
4	0,20	15,6657	15,8131	0,1474
5	0,30	15,6662	15,8180	0,1518

Berdasarkan pengamatan secara fisik pada tabel 9, warna lapisan krem, permukaannya mengkilap pada penambahan konsentrasi elektrolit pendukung 0,10 M dan 0,15 M, tetapi warna lapisan berubah menjadi buram pada konsentrasi 0,20 M dan 0,30 M, diperkirakan pada penambahan konsentrasi KClO_4 yang lebih tinggi, terjadi reduksi $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ menjadi S^{2-} .



Dengan adanya ion sulfida didalam larutan mengakibatkan permukaan logam Ag berubah menjadi coklat tua membentuk Ag_2S , hal inilah yang mengakibatkan permukaan logam menjadi buram.

Daya tahan lapisan dalam HNO_3 4M paling lama diperoleh pada konsentrasi $KClO_4$ 0,15 M, ketahanan lapisan ini diperkirakan disebabkan oleh semakin besarnya kandungan logam Ag didalam lapisan, analisis ini didukung oleh data SSA pada tabel 10.

Tabel 9: Sifat fisik lapisan pada variasi konsentrasi larutan pendukung $KClO_4$ pada pH 5 dan temperatur kamar.

No.	Konsentrasi $KClO_4$ (mol/L)	Warna lapisan	Bentuk lapisan	Ketahanan lapisan dlm HNO_3 4M(dtk)
1	0,05	krem	- halus - rata	220
2	0,10	Krem	- halus - rata - Mengkilat	240
3	0,15	Krem	- halus - kilat logam	270
4	0,20	Krem	- halus - rata	140
5	0,30	Coklat muda	- halus, rata - buram	122

Dari hasil pengukuran konsentrasi ion Ag^+ didalam sampel sebelum dan sesudah proses eletrolisis pada tabel 10, sangat sesuai dengan kedua pengamatan sebelumnya yaitu tabel 8 dan 9. Penambahan konsentrasi elektrolit pendukung KClO_4 sampai 0,15 M menunjukkan pengurangan konsentrasi Ag^+ dalam sampel meningkat, berarti jumlah $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ yang tereduksi menjadi Ag semakin besar.

Persentase terbesar diperoleh pada konsentrasi 0,15 M yaitu sebesar 98,78%. Namun pada penambahan konsentrasi 0,20 M dan 0,3 M pengurangan konsentrasi Ag^+ dalam sampel menurun.

Tabel 10: Pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan SSA pada variasi penambahan larutan pendukung KClO_4 pH 5.

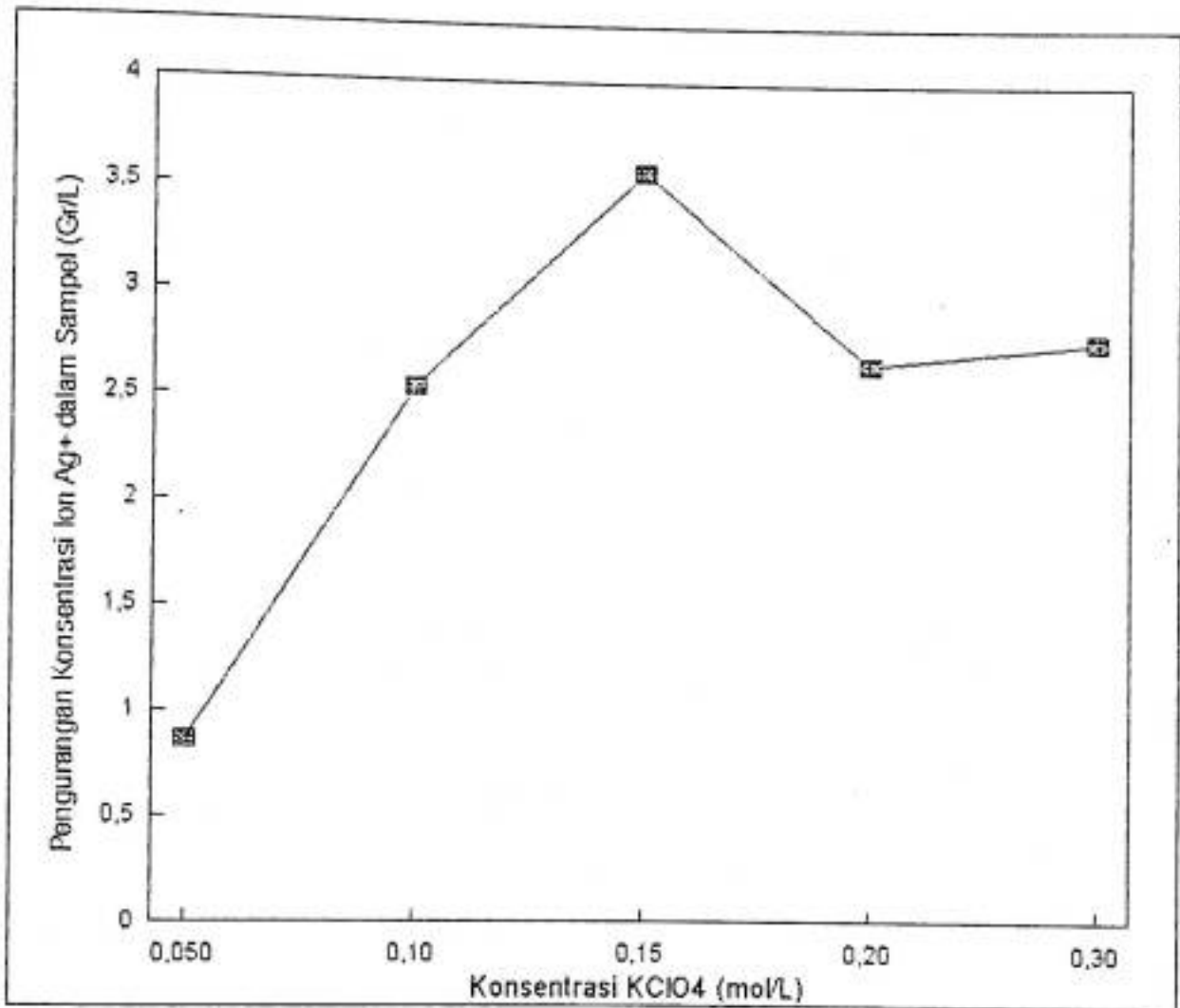
No.	konsentrasi KClO_4 (mol/L)	Konsentrasi Ag^+ (gr/L)		S (gr/L)	W (gr/L)	S/W (%)
		Awal	Akhir			
1	0,05	5,094	4,234	0,860	0,915	93,95
2	0,10		2,550	2,544	2,639	96,40
3	0,15		1,521	3,573	3,617	98,78
4	0,20		2,438	2,656	2,947	90,12
5	0,30		2,326	2,768	3,037	91,14

S = Pengurangan konsentrasi Ag^+ dalam sampel

W = Berat lapisan yang diperoleh dikatoda untuk jumlah sampel 1 liter

S/W = Kadar Ag dalam lapisan

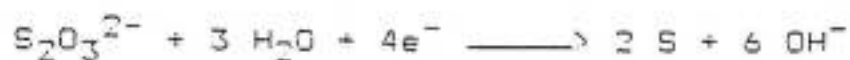
Dari ketiga pengamatan pada tabel 8,9 dan 10, maka dapat diambil kesimpulan bahwa elektrolit pendukung $KClO_4$ pada pH 5 ini, dimana konsentrasi optimal yang sebaiknya digunakan adalah 0,15 M. Sehingga dapat diperoleh produk lapisan pada katoda dengan kemurnian 98,78 %.



Gambar 9 : Grafik pengaruh penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 terhadap pengurangan konsentrasi ion Ag^+ pada pH 5

5.4. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 6.

Hasil percobaan pada tabel 11 menunjukkan bahwa pada penambahan larutan pendukung KClO_4 dengan PH 6, berat lapisan yang diperoleh besar. Hal ini disebabkan terjadi reduksi ion tiosulfat menjadi sulfur yang mengkontaminasi produk, karena pada tingkat keasaman yang rendah (mendekati netral) tiosulfat juga cenderung untuk tereduksi menjadi sulfur, reaksinya sebagai berikut:



Tabel 11: Elektrolisis pada variasi penambahan eletrolit pendukung KClO_4 pada pH 6.

No.	Konsentrasi KClO_4 (mol/l)	Berat katoda (gram)		Berat Ag Percobaan (gram)
		Sebelum	Sesudah	
1	0,05	15,6661	15,7366	0,0705
2	0,10	15,6658	15,7564	0,0906
3	0,15	15,6663	15,8056	0,1393
4	0,20	15,6655	15,8446	0,1781
5	0,30	15,6657	15,8312	0,1655

Tabel 12: Sifat fisik lapisan pada variasi konsentrasi larutan Pendukung KClO_4 pada pH 6.

No.	Konsentrasi KClO_4 (mol/L)	Warna lapisan	Bentuk lapisan	Ketahanan lapisan dlm HNO_3 4M(dtk)
1	0,05	krem muda	- halus - tidak rata	200
2	0,10	Krem	- halus - rata	180
3	0,15	Krem	- halus - rata	162
4	0,20	Krem	- halus - rata	150
5	0,30	krem	- halus - rata	78

Dari hasil pengukuran sampel sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan SSA pada tabel 13, terlihat bahwa pada penambahan konsentrasi KClO_4 0,20M memberikan kadar yang optimal 94,64 %.

Tabel 13: Hasil pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel sebelum dan sesudah proses elektrolisis dengan SSA pada variasi elektrolit pendukung KClO_4 pH 6.

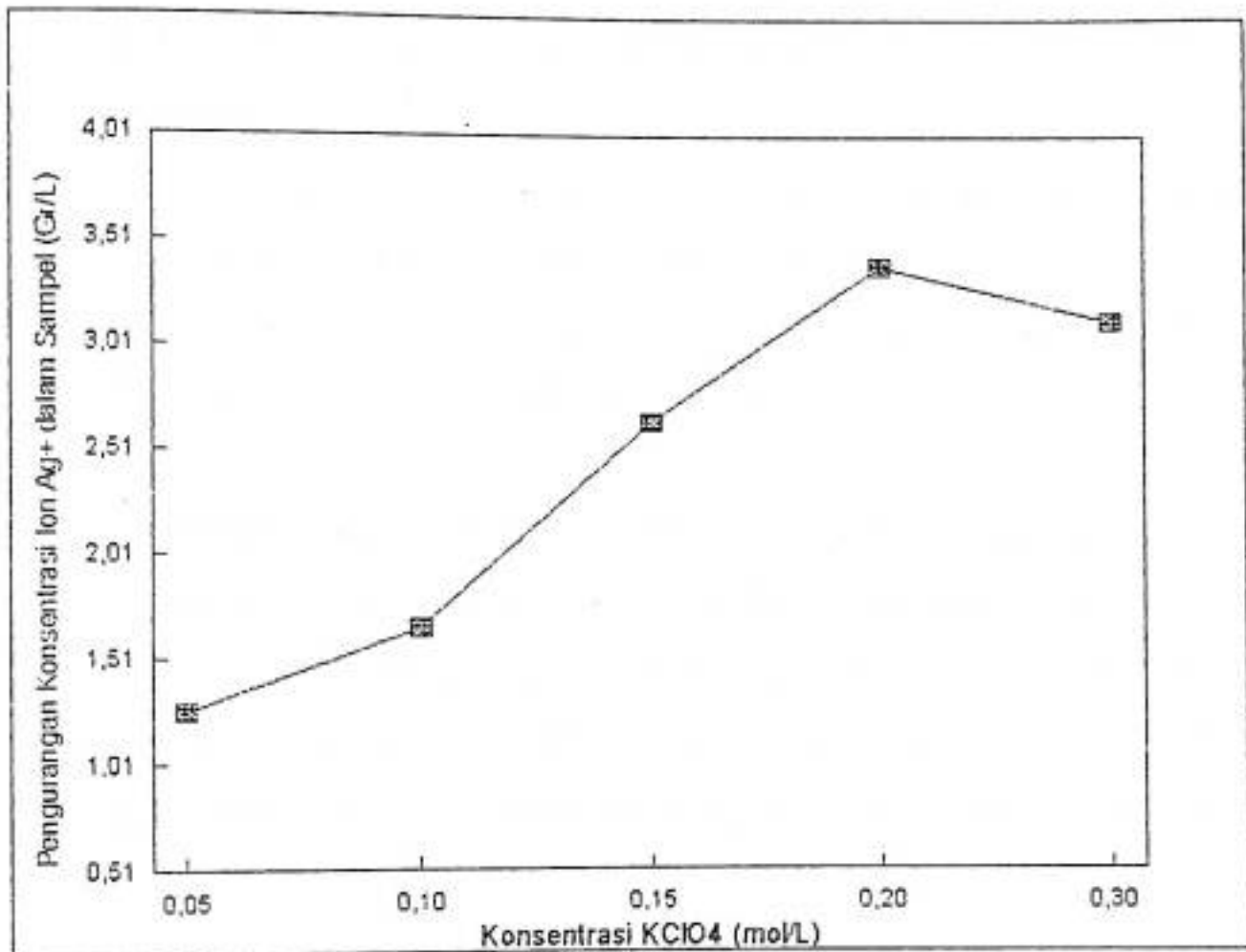
No.	konsentrasi KClO_4 (mol/L)	Konsentrasi Ag^+ (gr/L)		S (gr/L)	W (gr/L)	S/W (%)
		Awal	Akhir			
1	0,05	5,094	3,835	1,259	1,410	89,30
2	0,10		3,438	1,656	1,812	91,37
3	0,15		2,457	2,637	2,786	94,64
4	0,20		1,715	3,379	3,561	94,89
5	0,30		1,982	3,112	3,310	94,02

S = Pengurangan konsentrasi Ag^+ dalam sampel

W = Berat lapisan yang diperoleh dikatoda untuk jumlah sampel 1 liter

S/W = Kadar Ag dalam lapisan

Dari hasil pengamatan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa terjadinya pemisahan logam perak dari larutan bekas fiksasi film radiologi yang optimum adalah dengan penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 0,20 M dengan tingkat keasaman (pH) sampel 6.



Bambar 10 : Grafik pengaruh penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO₄ terhadap pengurangan konsentrasi ion Ag⁺ pada pH 6

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN



6.1. Kesimpulan

Berdasarkan data percobaan dan hasil analisis data-data tersebut, dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Untuk mendapatkan pemisahan perak yang optimum dapat dilakukan dengan mengatur sampel hingga pH 5 dan menambahkan larutan pendukung $KClO_4$ 0,15M.
2. Dengan kondisi diatas, dapat dihasilkan endapan perak pada katoda sampai kemurnian 98,78%.

6.2. Saran

Mengingat belum sempurnanya hasil penelitian ini, serta terbatasnya waktu, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses elektrolisis seperti ; Penggunaan proses eletrolisis untuk memisahkan logam-logam lain dari larutan sisa proses industri, seperti larutan sisa industri pelapisan.

BAB VII

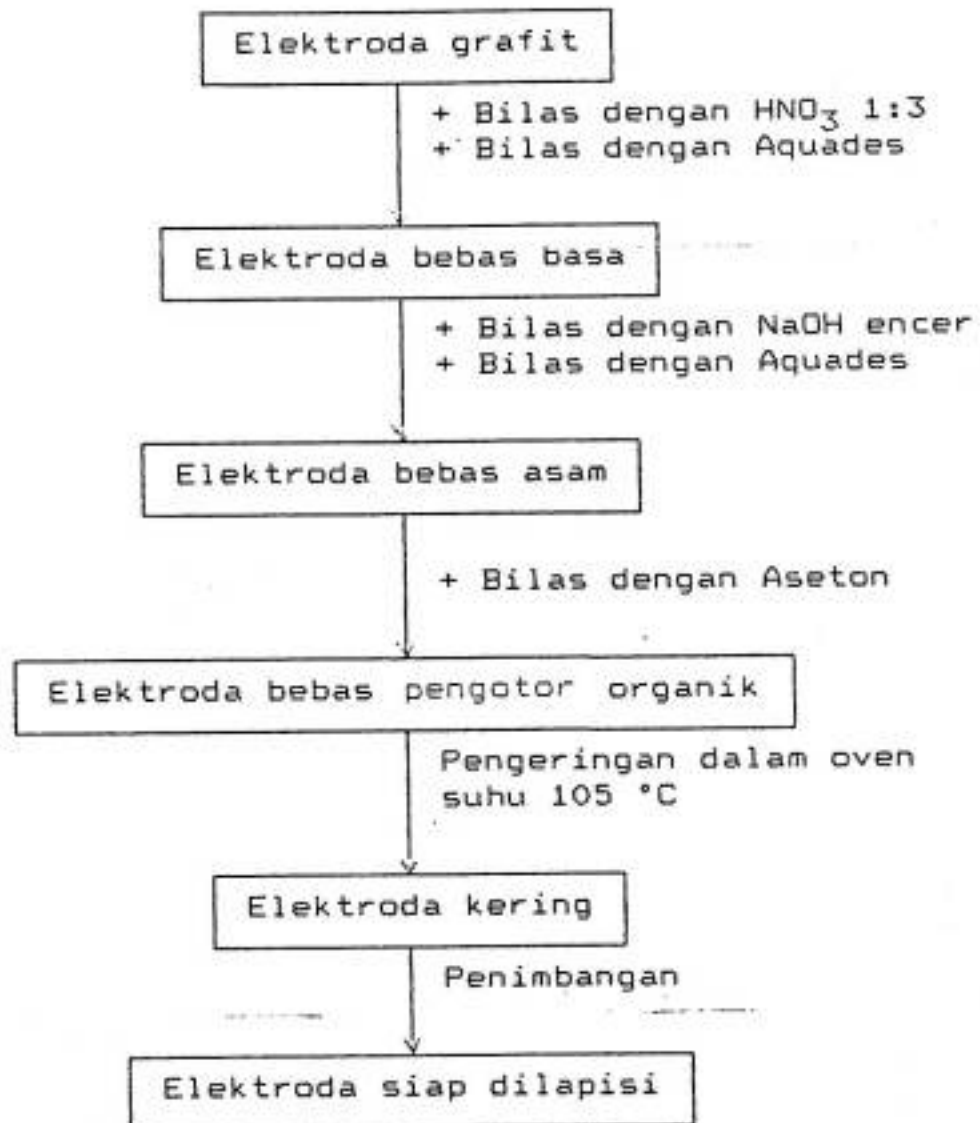
DAFTAR PUSTAKA

1. Anton J.Hartomo dan Tomijiro Kanado, Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating), Andi offset, Yogyakarta, 1992.
2. Atkins,P.W., Physical Chemistry, Oxfod University Press, London, 1979.
3. Barrow, M.G., Physical Chemistry.3rd ed., McGraw Hill-Kogakusha Ltd., Tokyo, 1979.
4. Creighton and Kohler., Principles and Application of Electrochemistry, vol.II. 2nd ed., John Willey and Son, Inc., New York, 1963.
5. Cotton and Wilkinson, Kimia Anorganik Dasar, UI-Press, Jakarta, 1989.
6. Day.JR,R.A., And Underword,A.L.,Kimia Analisis Kuantitatif, edisi keempat, Erlangga. Jakarta, 1990.
7. Denaro, A.R., Elementari Electrochemistry, Liverpool Polyteenic, London. 1971.
8. Duffy.J.I., Electrodeposition Process, Eqinpmnt and Composition, ndc., USA, 1982.
9. Erwin A. Hoxter., Teknik Memotret Rontgen, Diktat Akademi Teknik Rontgen, Dept. Kesehatan, Jakarta 1992.
10. John Ball and Tony Price., Cheneys' Radiographic Imaging, Blackwell Scientific Publications, 1981.
11. Hiska Achmad, Elektrokimia dan Kinetika Kimia, PT. Citra Aditya Bakti, Bandung, 1992.
12. Klaus J. Vetter., Electrochemical kinetics : Theoretical and Experimental aspects., Academic Press, New York, London, 1967.
13. N. Lakshminarayanaiah., Membrane Electrodes, Academic press, inc, New York, 1976.
14. Ralph H. Petrucci., Kimia Dasar : Princip dan Terapan Modern, Jilid 3, Erlangga, Jakarta, 1989.

15. Ralph A. Alberty and Daniels, F., Kimia Fisika Jilid I, Erlangga, Jakarta, 1983.
16. ——— Laporan Pelaksanaan Kursus Analisis Limbah Industri Staf Akademik PTN Indonesia Bagian Timur, MIPA Unhas, Ujung Pandang, 1993.
17. Trethewey, K.R., Korosi, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
18. Vogel, Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, edisi kelima, Kalman Media Pusaka, Jakarta, 1985.

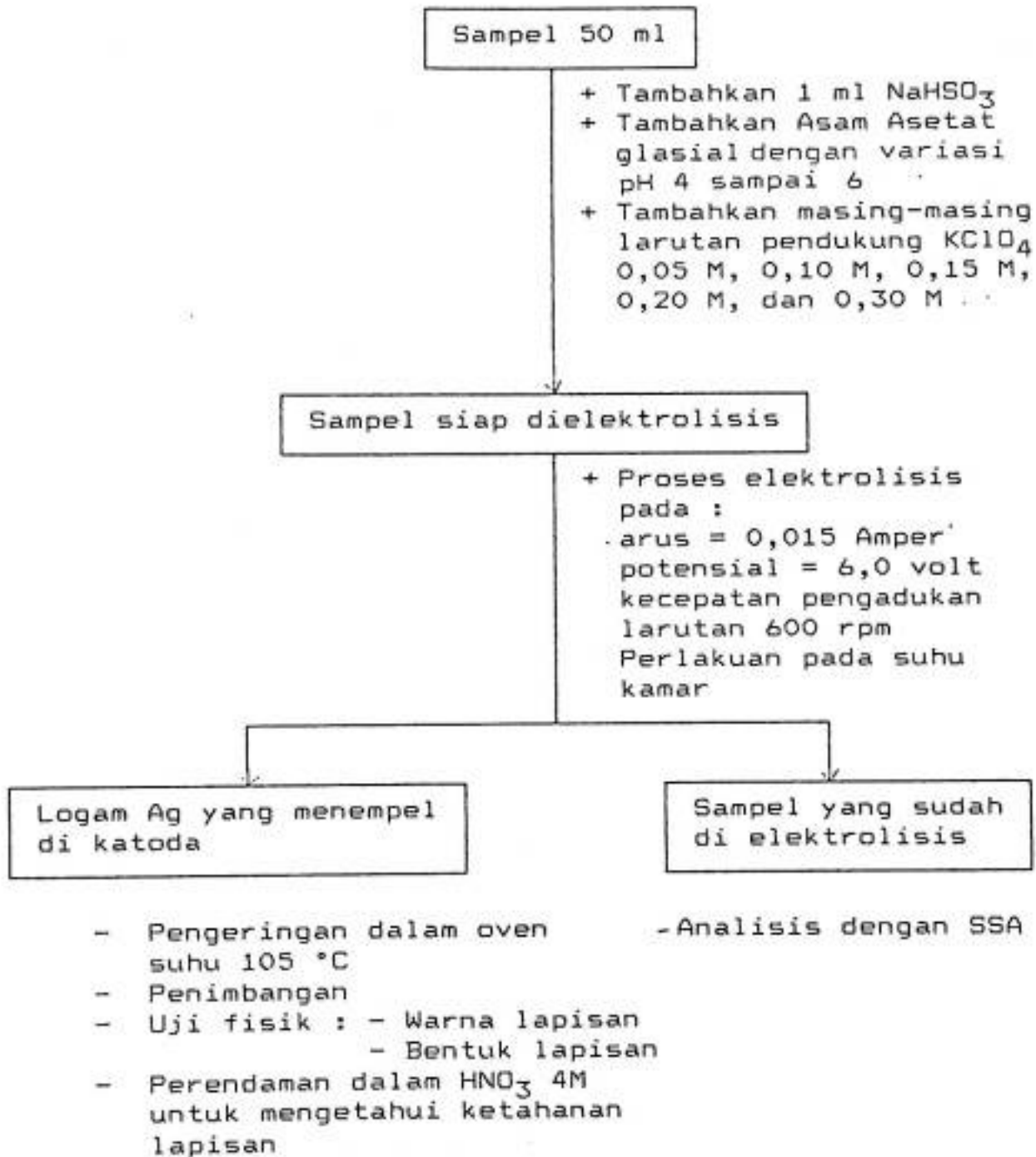
Lampiran 1

PENYIAPAN ELEKTRODA



Lampiran 2 :

SKEMA KERJA



Lampiran 3.

Perhitungan berat Ag teoritis berdasarkan jumlah coulomb yang diberikan pada variasi penentuan waktu elektrolisis yang optimal, perhitungan ini dihitung berdasarkan rumus:

$$m = \frac{M \cdot i \cdot t}{z \cdot 96500}$$

dimana :

- m = massa produk teoritis (gram)
- M = massa atom produk (gram/mol)
- i = kuat arus (Amper)
- t = waktu (detik)
- z = jumlah elektron yang terlibat

Contoh perhitungan untuk waktu elektrolisis 1 jam pada arus 0,015 Ampere

Diketahui :

$$M(\text{Ag}) = 108 \text{ gram/mol}$$

$$z = 1$$

$$i = 0,015 \text{ A}$$

$$t = 3600 \text{ detik}$$

maka

$$m = \frac{108 \cdot 0,015 \cdot 3600}{1 \cdot 96500}$$

$$m = 0,0604$$

Lampiran 4

Hasil penimbangan berat Ag yang diperoleh dikatoda pada setiap variasi.

X_1 = Berat pertama

X_2 = Berat kedua

X_3 = Berat ketiga

X_r = Berat rata-rata

1. Variasi penentuan waktu elektrolisis yang optimal.

Waktu (jam)	X_1 (Gram)	X_2 (Gram)	X_3 (Gram)	X_r (Gram)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1	0,0563	0,0565	0,0569	0,0566
2	0,1172	0,1175	0,1173	0,1173
3	0,1719	0,1719	0,1715	0,1717
4	0,2246	0,2248	0,2246	0,2247
5	0,2690	0,2691	0,2697	0,2693

2. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung $KClO_4$ pada pH 4

($KClO_4$) mol/L	X_1 (Gram)	X_2 (Gram)	X_3 (Gram)	X_r (Gram)
0,05	0,0571	0,5710	0,0572	0,0571
0,10	0,1544	0,1547	0,1546	0,1546
0,15	0,1559	0,1560	0,1558	0,1559
0,20	0,1213	0,1216	0,1211	0,1213
0,30	0,1047	0,1048	0,1044	0,1046

3. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 5

(KClO_4) mol/L	X_1 (Gram)	X_2 (Gram)	X_3 (Gram)	X_r (Gram)
0,05	0,0457	0,0456	0,0460	0,0571
0,10	0,1320	0,1319	0,1318	0,1319
0,15	0,1807	0,1810	0,1810	0,1809
0,20	0,1470	0,1472	0,1478	0,1474
0,30	0,1517	0,1516	0,1520	0,1518

4. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 6

(KClO_4) mol/L	X_1 (Gram)	X_2 (Gram)	X_3 (Gram)	X_r (Gram)
0,05	0,0705	0,0702	0,0707	0,0705
0,10	0,0904	0,0904	0,0909	0,0906
0,15	0,1392	0,1393	0,1394	0,1393
0,20	0,1780	0,1784	0,1780	0,1781
0,30	0,1655	0,1655	0,1654	0,1655

Lampiran 5

Hasil pengukuran konsentrasi ion Ag^+ dalam sampel sesudah proses elektrolisis dengan SSA pada setiap variasi.

X_1 = konsentrasi pertama

X_2 = konsentrasi kedua

X_3 = konsentrasi ketiga

X_r = konsentrasi rata-rata

1. Variasi penentuan waktu elektrolisis yang optimal.

Waktu (jam)	X_1 (gr/L)	X_2 (gr/L)	X_3 (gr/L)	X_r (gr/L)
0	5,098	5,090	5,094	5,094
1	4,106	4,101	4,102	4,103
2	2,790	2,773	1,782	2,782
3	1,900	1,901	1,903	1,902
4	1,015	1,023	1,020	1,019
5	0,257	0,270	0,269	0,267

2. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 5

(KClO_4) mol/L	X_1 (gr/L)	X_2 (gr/L)	X_3 (gr/L)	X_r (gr/L)
0,05	3,385	3,400	3,390	3,391
0,10	2,116	2,108	2,114	2,112
0,15	2,274	2,268	0,270	2,271
0,20	2,891	2,889	2,893	2,891
0,30	3,358	3,364	3,356	3,359

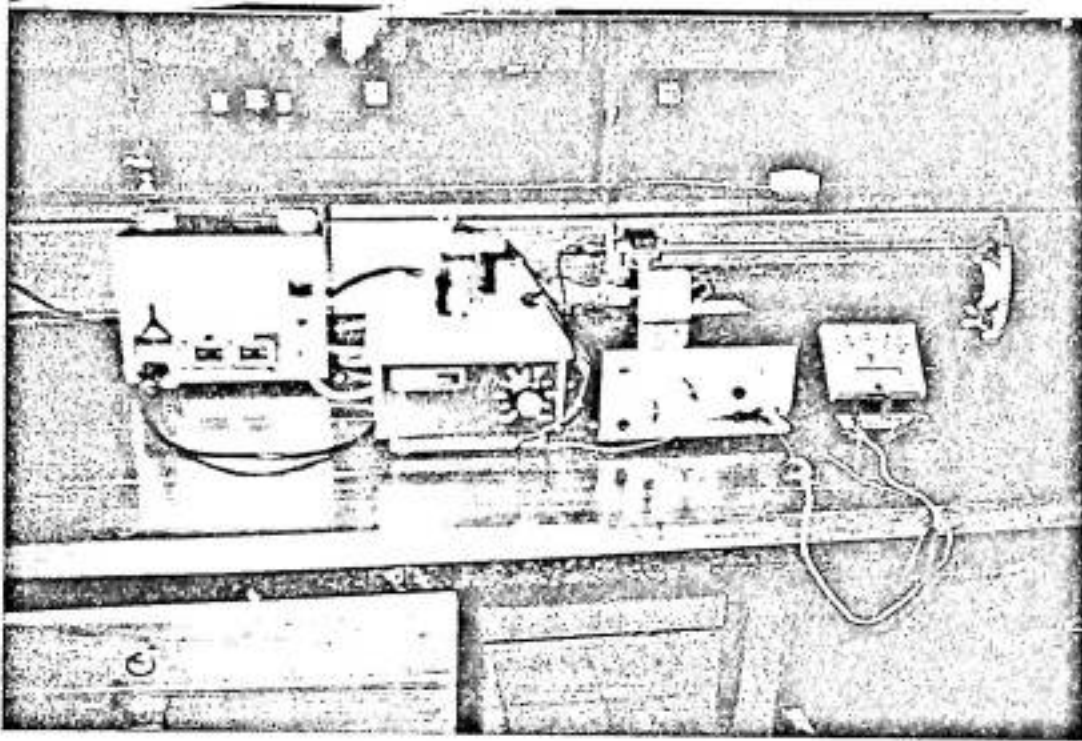
3. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 5

(KClO_4) mol/L	x_1 (gr/L)	x_2 (gr/L)	x_3 (gr/L)	x_r (gr/L)
0,05	4,233	4,239	4,230	4,234
0,10	2,546	2,549	2,555	2,550
0,15	1,525	1,517	1,521	1,521
0,20	2,435	2,439	2,439	2,438
0,30	2,315	2,330	2,327	2,326

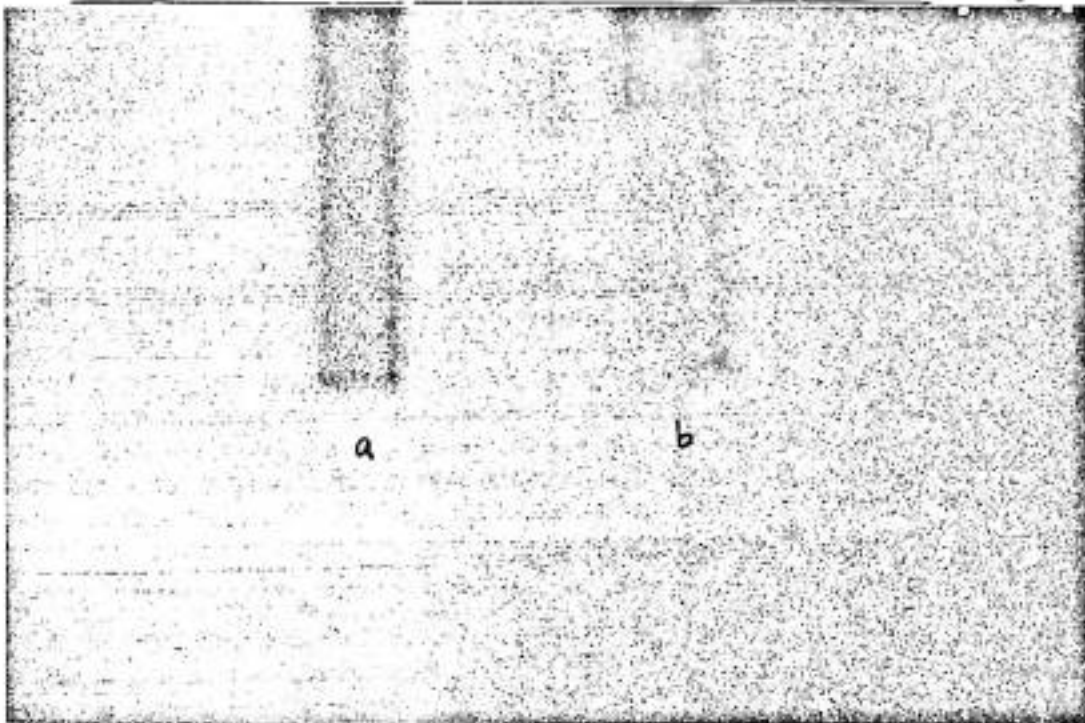
4. Variasi penambahan konsentrasi larutan pendukung KClO_4 pada pH 6

(KClO_4) mol/L	x_1 (gr/L)	x_2 (gr/L)	x_3 (gr/L)	x_r (gr/L)
0,05	3,838	3,837	3,830	3,835
0,10	2,442	2,440	2,434	3,438
0,15	2,455	2,460	2,458	2,457
0,20	1,718	1,704	1,720	1,715
0,30	1,980	1,984	01981	1,982

Lampiran 6 :



Rangkaian Elektrolisis



Elektroda : a) Yang belum dilapisi
b) Yang telah dilapisi