



SKRIPSI – TK141581

**RECOVERY TEMBAGA DARI LIMBAH E-WASTE (SIM
CARD) DENGAN *ELECTRO-GENERATED CHLORINE*
MENGUNAKAN LARUTAN GARAM (NaCl)**

Oleh:

**Prasetyo Chandra
NRP 2311 100 113**

**M. Maktum Muharja A.F
NRP 2311 100 120**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2015**



FINAL PROJECT – TK141581

**COPPER RECOVERY OF E-WASTE DISPOSAL
(SIMCARD) BY USING *ELECTRO-GENERATED*
CHLORINE WITH SALT SOLUTION (NaCl)**

By:

**Prasetyo Chandra
NRP 2311 100 113**

**M. Maktum Muharja A.F
NRP 2311 100 120**

Advisor:

**Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
NIP. 1959 07 30 1986 03 2001**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Recovery Tembaga dari Limbah E-Waste (Sim Card) dengan Electro-Generated Chlorine Menggunakan Larutan Garam (NaCl)

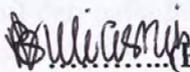
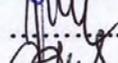
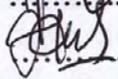
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Prasetyo Chandra (2311100113)

M. Maktum Muharja A.F (2311100120)

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti,  (Pembimbing)
M.Eng
2. Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng  (Penguji I)
3. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T  (Penguji II)
4. Hikmatun Nikmah, ST, MSc  (Penguji III)
Eng, Ph.D



RECOVERY TEMBAGA DARI LIMBAH E-WASTE (SIM CARD) DENGAN *ELECTRO-GENERATED CHLORINE* MENGGUNAKAN LARUTAN GARAM (NaCl)

Nama / NRP : 1. Prasetyo Chandra 2311100113
2. M. Maktum Muharja 2311100120
Jurusan : Teknik Kimia FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRAK

Metode baru dalam *recovery* logam Tembaga (Cu) dari *electronic waste (e-waste)* adalah menggunakan bantuan listrik yang disebut *electro-leaching*. Metode tersebut merupakan metode alternatif pengganti metode *leaching* tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk melarutkan tembaga dengan metode *electro-leaching*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Simcard dan garam (NaCl) sebagai elektrolit. Simcard mengandung logam tembaga dan beberapa logam berharga lainnya seperti perak (Ag), emas (Au) dan palladium (Pa). Proses *electro-leaching* dilakukan di dalam reaktor *electrolytic cell* dimana gas klorin akan dihasilkan dari proses elektrolisis selanjutnya gas klorin akan mengekstrak tembaga yang terdapat pada Simcard. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan potensial elektroda (voltase)/arus listrik (ampere), konsentrasi garam dan waktu. Dari penelitian ini, simcard mengandung logam Tembaga (Cu) sebesar 40,53% dan dapat dipisahkan dengan metode *elektro-leaching* dalam reaktor *acrylic* berpengaduk dengan hasil terbaik pada kondisi operasi ; Suhu 30⁰ C, tekanan 1 atm, konsentrasi larutan garam 10%, beda potensial 10 Volt, waktu leaching 60 menit, dan kecepatan pengadukan 600 rpm menghasilkan yield campuran logam Simcard sebesar 98,59%.

Kata Kunci: *electroleaching*, potensial elektroda, arus listrik, *e-waste*, Simcard

COPPER RECOVERY OF E-WASTE DISPOSAL (SIMCARD) BY USING *ELECTRO-GENERATED CHLORINE* WITH SALT SOLUTION (NaCl)

Name / NRP : 1. Prasetyo Chandra 2311100113
2. M. Maktum Muharja 2311100120
Department : Chemical Engineering FTI-ITS
Advisor : Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng

ABSTRACT

New methods to dissolve the copper (Cu) of electronic waste (e-waste) is leaching with the help of electricity, called electro-leaching. This is the alternative method to change the traditional leaching methods. The objective of this research is copper dissolving using electro-leaching method. Materials used in this study is Simcard with contain 40.53 % copper and salt (NaCl) as the electrolyte. Simcard metal containing copper and some other precious metals such as silver (Ag), gold (Au) and palladium (Pa). Electro-leaching process occurs in an electrolytic cell reactor where chlorine gas will be produced by electrolysis process and then chlorine gas generated will extract the copper in the Simcard. This research was conducted by various electrode potential (voltage)/electric current (ampere), salt concentration, and time. The operation condition was kept at pressure 1 atm, temperature 30°C, and the stirring speed of 600 rpm. The best result shows 98.59% simcard metal could be removed by electroleaching with 10 volt electrode potential on 60 minutes process in 10 % saline solution.

Key Word: electro-leaching, electrode potential, electric current, e-waste, Simcard

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Recovery Tembaga dari Limbah E-Waste (SIM Card) dengan *Electro-Generated Chlorine* Menggunakan Larutan Garam (NaCl)” ini.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng. selaku ketua jurusan Teknik Kimia FTI-ITS
2. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng, Ibu Ir. Nuniek Hendriane dan Ibu Hikmatun Nikamah, S.T, M.Sc, P.hD, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan perbaikan untuk skripsi ini.
4. Orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan semangat pada penulis mulai awal perkuliahan hingga mengerjakan skripsi ini.
5. Rekan-rekan teknik kimia terutama angkatan 2011 dan semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesainya skripsi ini.

Skripsi ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran demi penyempurnaan. Akhirnya, penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

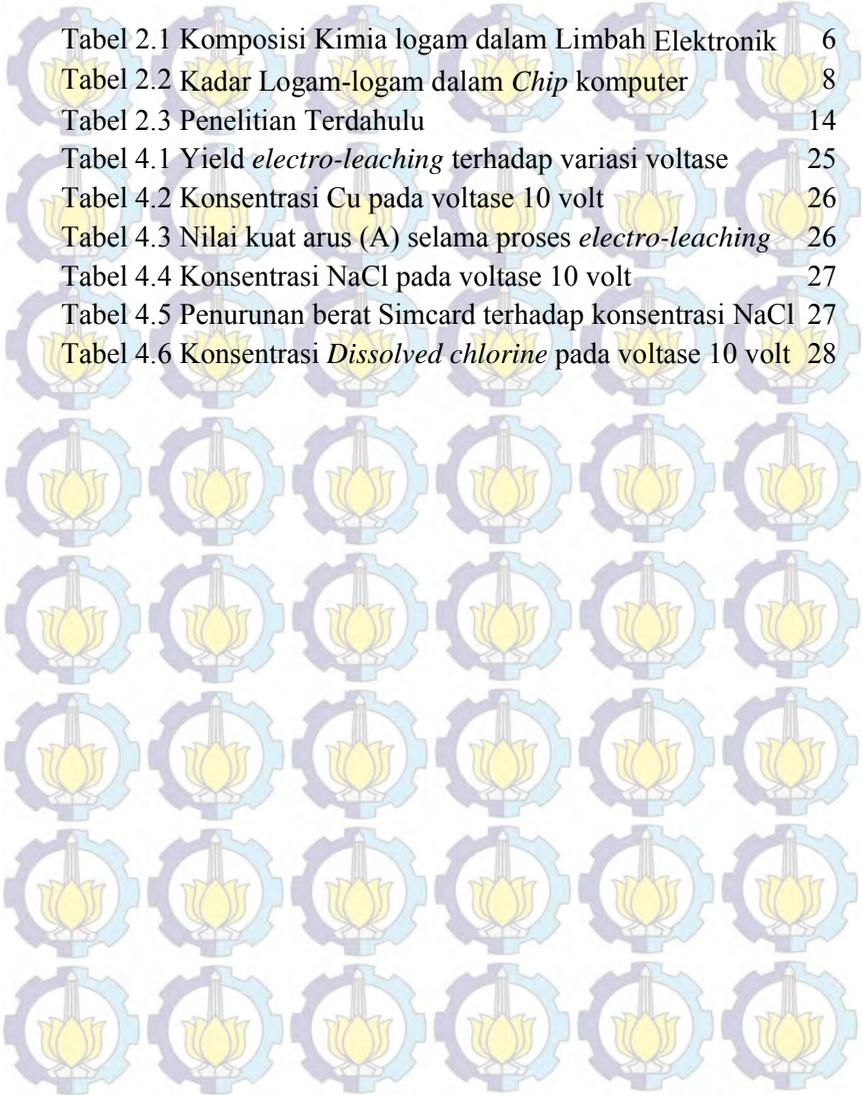
DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| Lembar Pengesahan | i |
| Abstrak | v |
| Kata Pengantar | iv |
| Daftar Isi | vi |
| Daftar Tabel | vii |
| Daftar Gambar | vii |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| I.1. Latar Belakang | 1 |
| I.2. Rumusan Masalah | 3 |
| I.3. Tujuan Penelitian | 4 |
| I.4. Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| II.1. Karakteristik Limbah Elektronik | 5 |
| II.2. Metode Recovery Tembaga | 8 |
| II.3. Properti Fisik dan Kimia dari Bahan | 13 |
| II.4. Penelitian Terdahulu | 13 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| III.1. Variabel Penelitian | 15 |
| III.2. Teknik Analisa dan Pengolahan Data | 15 |
| III.3. Peralatan yang Digunakan | 19 |
| III.4. Bahan yang Digunakan | 19 |
| III.5. Prosedur Penelitian | 19 |
| III.6. Diagram Alir Percobaan | 23 |
| III.7. Gambar Peralatan | 24 |

| | | |
|--------|--|------|
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| | IV.1. Analisa Bahan Baku | 25 |
| | IV.2. Hasil Percobaan | 25 |
| | IV.3. Proses <i>electro-generated chlorine</i> | 28 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN | |
| | V.1. Kesimpulan | 43 |
| | V.2. Saran | 43 |
| | Daftar Pustaka | viii |
| | Appendiks A | A-1 |
| | Appendiks B | B-1 |
| | Appendiks C | C-1 |
| | Biodata Penulis | |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Komposisi Kimia logam dalam Limbah Elektronik | 6 |
| Tabel 2.2 Kadar Logam-logam dalam <i>Chip</i> komputer | 8 |
| Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu | 14 |
| Tabel 4.1 Yield <i>electro-leaching</i> terhadap variasi voltase | 25 |
| Tabel 4.2 Konsentrasi Cu pada voltase 10 volt | 26 |
| Tabel 4.3 Nilai kuat arus (A) selama proses <i>electro-leaching</i> | 26 |
| Tabel 4.4 Konsentrasi NaCl pada voltase 10 volt | 27 |
| Tabel 4.5 Penurunan berat Simcard terhadap konsentrasi NaCl | 27 |
| Tabel 4.6 Konsentrasi <i>Dissolved chlorine</i> pada voltase 10 volt | 28 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Limbah SIM Card Handpone | 7 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Proses Electro-Generated Chlorine | 23 |
| Gambar 3.2 | Rangkaian Alat Electro-Generated Chlorine | 24 |
| Gambar 4.1 | Grafik hubungan konsentrasi NaCl dengan waktu | 30 |
| Gambar 4.2 | Grafik hubungan berat SimCard dengan waktu | 32 |
| Gambar 4.3 | Lapisan logam pada Simcard | 33 |
| Gambar 4.4 | Grafik hubungan voltase dengan % yield logam | 35 |
| Gambar 4.5 | Grafik hubungan waktu dengan arus | 37 |
| Gambar 4.6 | Grafik hubungan waktu dengan massa simcard | 39 |
| Gambar 4.7 | Grafik penurunan massa logam terhadap waktu | 40 |
| Gambar 4.8 | Grafik konsentrasi NaCl dengan %yield | 41 |
| Gambar 4.9 | Grafik hubungan gas Cl ₂ terlarut terhadap waktu | 42 |

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Pengembangan, produksi dan konsumsi dari peralatan elektronik telah meningkat secara substansial di seluruh dunia dalam 10 tahun terakhir. Perilaku ini dapat dikaitkan dengan perubahan gaya hidup masyarakat melalui peningkatan konsumsi komputer yang baru, smartphone, tablet, televisi dan peralatan modern lainnya. Namun, pembuangan peralatan elektronik yang telah usang dan / atau cacat, yang disebut dengan WEEE (*waste electric and electronic equipment*), di lingkungan meningkat dalam waktu yang bersamaan. Menurut United Nations Environment Program (UNEP, 2006), dilaporkan bahwa produksi WEEE adalah sekitar 20 sampai 50 Juta ton / tahun, suatu jumlah yang tiga kali lebih besar dari limbah rumah tangga.

Salah satu komponen dari peralatan elektronik ini adalah Subscriber Identity Module Card (Simcard). Bahan dasar dari Simcard merupakan bahan non logam (seperti, plastik, serat-serat, dan keramik) dan logam, seperti tembaga, nikel, emas dan timah. Meskipun komposisi Simcard bervariasi tergantung pada asal dan produsen, umumnya tembaga adalah salah satu logam yang ada dalam jumlah tertinggi.

Terdapat banyak logam yang terdapat di dalam limbah Simcard yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Secara umum, limbah elektronik terdiri dari logam besi dan non-ferrous, plastik, keramik, dan barang-barang lainnya. Non-ferrous metals terdiri dari metals seperti copper, aluminium, precious metals seperti silver, gold, platinum, palladium dan lain-lain. (Neha Lalchandani, 2010).

Oleh karena itu, recovery logam dari Simcard yang merupakan *e-waste* menjadi permasalahan penting, tidak hanya dari sudut pandang lingkungan, tetapi juga berkaitan dengan nilai ekonomi dari recovery logam itu sendiri (Kim et al, 2011). Recovery tembaga dari Simcard memiliki keuntungan ekonomi yang besar, karena meskipun harga dari tembaga menurun dalam beberapa tahun terakhir, tembaga masih memiliki nilai yang tinggi dalam komoditas pasar. Faktor lain yang membuat recovery tembaga dari Simcard menarik adalah tingkat kemurnian; dalam banyak kasus, tembaga yang didapat dari proses recovery lebih murni dari tembaga yang diambil dari bijihnya (Kim et al, 2011).

Di Indonesia Penggunaan Simcard tergolong sangat besar. Telkomsel sebagai salah satu operator telekomunikasi memiliki pertumbuhan pelanggan yang rata-rata 30% setahun, Telkomsel membutuhkan 200%, bahkan 300% kartu SIM dari jumlah pelanggan aktualnya. Menurut seorang petinggi Telkomsel, persaingan bisnis yang ketat membuat tingkat churn – banyaknya pelanggan yang pindah operator- sangat tinggi. Untuk mendapat pertumbuhan pelanggan 1,5 juta sebulan seperti saat ini, Telkomsel harus menjual 12 juta kartu perdana (starter pack – SP). Ini berarti, dari Telkomsel saja ada 10,5 juta kartu SIM yang dibuang begitu pulsanya habis. Belum lagi dari PT Indosat, Excelcomindo (XL), dan berbagai operator komunikasi nirkabel lain.

Ada banyak metode untuk merecovery logam dari limbah elektronik, seperti pemisahan fisik dan mekanik (Chao et al, 2011), pirometalurgi dan metode hidrometalurgi (Kim et al, 2011; Xiu dan Zhang, 2010), bio-teknologi (Zhu et al, 2011) dan lain-lain. Metode pirometalurgi memiliki kelemahan menghasilkan polusi udara yang dapat memperlambat nyala halogenasi dalam

Simcard, yang mengarah pada pembentukan dioksin dan furan. Selain itu proses tersebut memerlukan energi dan biaya tinggi (Li et al, 2010). Sedangkan proses hidrometalurgi, khususnya *electroleaching*, lebih efisien untuk merecovery logam dari limbah elektronik (Guimaraes et al, 2014), namun penggunaan dari *leaching agent* (Seperti HCl dan H₂SO₄) masih relatif tinggi (Kim et al, 2011), akibatnya menghasilkan air limbah dengan kandungan polutan yang tinggi dan perlu diolah untuk digunakan kembali atau dibuang ke lingkungan. Meskipun demikian, proses ini memiliki kelebihan dari segi biaya yang relatif rendah dan dampak lingkungan yang rendah dibandingkan dengan proses pirometalurgi (Jha et al, 2012). Oleh karena itu proses *leaching* dengan metode *electroleaching* ini harus dipertimbangkan lagi untuk *leaching* logam dari limbah elektronik yang lebih efisien dan tidak berbahaya bagi lingkungan.

Berawal dari hal ini maka diperlukan penelitian tentang penggantian *leaching agent* HCl dengan NaCl, dan dalam proses *electroleaching* dengan harapan proses pemisahan logam dari limbah elektronik kedepannya dapat berjalan lebih efektif dan efisien serta ramah lingkungan.

I.2 RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang ada sekarang adalah masih belum dimanfaatkannya larutan NaCl sebagai *agent leaching* pada proses *electroleaching* logam dari limbah elektronik dalam dunia *hydrometallurgy* lokal maupun global, sehingga dalam penelitian penulis menentukan batasan masalah yang akan diteliti dan dapat direalisasikan dalam waktu dekat dengan harapan dapat menjadi awal penelitian selanjutnya dan sebagai dasar penelitian-penelitian tersebut. Adapun permasalahan yang dapat dirumuskan antara lain:

1. Banyaknya Limbah Simcard dengan kandungan logam tembaga yang tinggi dan belum dimanfaatkan.
2. Reagent HCl dan H_2SO_4 pada *leaching agent* termasuk senyawa yang berbahaya, maka perlu dicari pengganti reagent tersebut.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan tembaga hasil *recovery* dari limbah elektronik Simcard dengan larutan NaCl sebagai *leaching agent* dalam proses *electroleaching*.
2. Mengetahui pengaruh variasi tegangan (V) / kuat arus (I), konsentrasi garam dan waktu elektrolisis (t) terhadap proses *electroleaching* untuk memperoleh *recovery* tembaga yang maksimal.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan memberikan wawasan untuk proses *recovery* tembaga dari limbah elektronik (e-Waste) utamanya Simcard. Manfaat secara khusus adalah Indonesia nantinya dapat mengolah limbah yang non-degradabel, maka hal ini merupakan peluang dalam industri untuk mampu mengolah limbah Simcard menjadi produk yang memiliki nilai tambah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan penggunaan alat-alat elektronik semakin lama semakin pesat. Hal ini menimbulkan pesatnya limbah elektronik yang dihasilkan. Limbah elektronik yang menumpuk dapat menimbulkan permasalahan sehingga diperlukan upaya untuk proses daur ulang. Proses daur ulang dapat dilakukan dengan meninjau komponen-komponen yang terkandung dalam limbah elektronik yang potensial untuk digunakan kembali. Komponen-komponen yang potensial untuk digunakan lagi antara lain logam-logam berharga seperti Cu, Pd, Fe, Ni, Sn, Pb, Al, Zn, Ag dan Au. Logam-logam tersebut dapat diambil kembali (recovery) melalui proses daur ulang. Proses daur ulang dapat dilakukan secara pemisahan mekanik, pirometalurgi, hidrometalurgi dan elektrokimia. Masing-masing cara daur ulang mempunyai kelebihan dan kekurangan ditinjau dari aspek ekonomi dan ekologi sehingga diperlukan cara kombinasi untuk menghasilkan metode yang efektif dan ramah lingkungan.

II.1 Karakteristik Limbah Elektronik

Secara umum limbah elektronik mengandung 20 % tembaga (Cu), 8 % besi (Fe), 4% timah (Sn), 2 % nikel (Ni), 2 % timbal (Pb), 1 % seng (Zn), 0,2 % perak (Ag), 0,1 % emas (Au) dan 0,005 % palladium (Pa). Selain itu limbah elektronik juga mengandung polipropilen, polietilen, poliester dan polikarbonat yang berasal dari komponen berbahan plastik. (Gramatyka, Nowosielki, Sakiewicz, 2007)

Sedangkan menurut Ficeriova, J., dkk, 2008, komponen utama dalam limbah elektronik adalah 45 % logam,

10 % non-logam, 22 % plastik 9 % kaca. Komposisi kimia khususnya kandungan logam-logam dalam limbah elektronik yang telah dihancurkan kemudian dilarutkan dalam larutan tiourea dan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* dapat dilihat pada Tabel II.1

Tabel 2.1 Komposisi Kimia logam-logam dalam Limbah Elektronik

| Jenis Logam | Kadar (%) |
|-------------|-----------|
| Au | 0,25 |
| Ag | 0,18 |
| Cu | 0,85 |
| Pb | 0,0003 |
| Zn | 0,24 |
| Fe | 0,35 |
| Br | 0,52 |
| Sn | 0,41 |
| Ni | 0,13 |
| Sb | 0,016 |
| Mn | 0,002 |

(Ficeriova, J., dkk, 2008)

Menurut Langner dalam Ficeriova, J., dkk, 2008, dalam limbah elektronik juga mengandung logam berharga yaitu emas. Sebagai contoh kandungan emas rendah (<100 ppm Au) terdapat pada rangkaian elektronik pada TV, kalkulator dan monitor. Kandungan emas menengah (100 – 400 ppm Au) terdapat pada rangkaian elektronik pada komputer, laptop dan telephone. Kandungan emas tinggi (>400 ppm Au) terdapat pada handpone. Salah satu komponen dari handpone yang mengandung emas juga adalah SIM Card.



Gambar 2.1 Limbah SIM Card Handpone

Berdasarkan hasil penelitian Mimi Salamah, dkk, 2009, yang melakukan penelitian tentang kadar logam-logam dalam limbah elektronik dengan sampel sebuah *chip* komputer yang dilarutkan dengan menggunakan aqua regia dan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* menunjukkan bahwa kadar logam Ni, Pb dan Cd relatif tinggi dibandingkan dengan logam-logam lain. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel II.2

Tabel 2.2 Kadar Logam-logam dalam *Chip* komputer

| Jenis Logam | Kadar(mg/ <i>chip</i>) |
|-------------|-------------------------|
| Ni | 489,439 |
| Pb | 447,534 |
| Co | 206,120 |
| Fe | 6,9787 |
| Mn | 2,664 |
| Au | 2,608 |
| Cd | 0,025 |

(Mimi Salamah, dkk, 2009)

Berdasarkan hasil-hasil penelitian dan pustaka menunjukkan bahwa logam-logam yang terkandung dalam limbah elektronik memungkinkan untuk dilakukan pengambilan kembali (*recovery*) melalui proses daur ulang atau dimanfaatkan kembali. Meskipun demikian perlu diperhatikan salah satu permasalahan dalam memberikan perlakuan pada limbah elektronik karena dalam limbah elektronik mengandung logam-logam berat dan senyawa-senyawa organik. Adanya kombinasi ini memungkinkan terbentuknya senyawa-senyawa volatil yang berbahaya dan terbentuknya dioksin.

II.2 Metode Recovery Tembaga dari Limbah Elektronik

Berbagai cara daur ulang limbah elektronik yang telah dilakukan oleh beberapa negara adalah (Antreko witsch, 2006):

1. Pengolahan secara Pirometalurgi
2. Pengolahan secara Hidrometalurgi

II.2.1 Pengolahan secara Pirometalurgi

Pengolahan secara pirometalurgi merupakan suatu proses ekstraksi metal dengan memakai energi panas (J.J.Moore, 1981). Pada suhu tersebut kebanyakan metal atau paduan metal sudah

dalam fase cair bahkan kadang-kadang dalam fase gas. Sumber energi panas dapat berasal dari :

1. Energi kimia (chemical energy)
2. Bahan bakar (hydrocarbon fuels) : kokas, gas dan minyak bumi.
3. Energi listrik.

Proses pirometalurgi terbagi atas 4 proses, yaitu :

1. Drying (Pengeringan)

Drying adalah proses awal untuk menghilangkan air yang terdapat pada konsentrat dengan pemanasan diatas titik didih air. Penguapan air bersifat endotermik ($+44 \text{ kJ/mol}^{-1}$), sehingga membutuhkan panas untuk menguapkan air.

2. Calcining (Kalsinasi)

Kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan air, CO_2 dan gas lainnya yang terikat pada metal (berbentuk senyawa hidrat dan carbonates) dengan pemanasan diatas dekomposisi temperature mineral. Contohnya dekomposisi kalsium karbonat menjadi kalsium oksida dan karbon dioksida pada suhu 900°C . Proses kalsinasi terjadi dalam tungku/furnace, rotary kilns ataupun fluidized bed reactor.

3. Roasting (Pemanggangan)

Roasting (Pemanggangan) adalah reaksi gas-solid dan bergantung pada difusi oksigen ke dalam konsentrat dan melepaskan sulfur dioksida dari konsentrat.

4. Smelting

Smelting adalah proses peleburan dan pemisahan menjadi 2 immiscible liquid layer, contohnya adalah *liquid slag* dan *liquid matte*. Matte adalah campuran cairan sulfida atau *heavy metal*. (*J.J.Moore, 1981*)

II.2.2 Pengolahan secara Hidrometalurgi

Hidrometalurgi adalah proses pelarutan (leaching) metal dari bijih, konsentrat, atau limbah proses di dalam larutan agen leaching kemudian dilanjutkan dengan pengendapan atau mengisolasi metal yang diinginkan. Pengendapan dipengaruhi oleh pH, penambahan zat kimia tertentu baik untuk mereduksi ataupun untuk mengoksidasi. (J.J.Moore, 1981)

1. Metode Leaching Konvensional

Metode leaching adalah proses pelarutan metal dari konsentrat dengan reagen yang cocok/selektif. Agen leaching yang paling umum digunakan untuk mengekstrak emas adalah aqua regia (Wk Wang et al, 1981), Sianida (Su Jianhua et al, 2002), thiourea (Omer Yavuz et al, 2007), *hydrochloric acid* dan hidrogen peroksida (Rw Stanley, 1987), *hydrochloric acid* and gas klorin (B.Donmez et al., 1999). (M.Saeedi, E.K.Alamdari, D.Darvishi, 2013)

2. Metode *Electroleaching*

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian suatu larutan elektrolit dengan dialiri oleh arus listrik searah. Sedangkan Leaching adalah suatu metode untuk memisahkan padatan campuran dengan pelarut cair. Metode *electroleaching* adalah metode hidrometalurgi terbaru yang menggabungkan proses elektrolisis dengan proses leaching. *Electroleaching* merupakan metode untuk menghasilkan gas Klorin yang dimaksudkan untuk digunakan sebagai *leaching agent* dengan bantuan listrik (Chiranjip, 2003). Perbedaan utama antara proses elektrolisis dan *electroleaching* yaitu pada reaksi yang terjadi. Pada elektrolisis hanya terjadi reaksi penguraian senyawa. Sedangkan *electroleaching* terdapat reaksi lanjutan yaitu proses pelarutan padatan dari padatan yang lebih inert. Pada proses *electroleaching* terdapat 2 reaksi utama yaitu reaksi redoks (reduksi & oksidasi)

pada *electrolytic cell* dan reaksi leaching yaitu proses pengkorosian logam tembaga oleh gas klorin yang dihasilkan dari elektroleaching.

Proses *electroleaching* mempunyai kelebihan dapat memisahkan logam-logam dengan kemurnian tinggi khususnya logam-logam berharga seperti emas dan perak. Kekurangan proses ini menghasilkan pelarut yang bersifat korosif dan toksik, selain itu kekurangan dari proses ini memerlukan kondisi larutan elektrolit dan kondisi elektrokimia yang optimum untuk menghasilkan hasil yang maksimal. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan proses daur ulang dan recovery logam-logam dalam limbah elektronik maka diperlukan kombinasi proses daur ulang dengan meninjau komponen yang akan diambil. Proses yang dilakukan juga harus memperhatikan aspek ekonomi dan aspek lingkungan. Dalam proses *electroleaching* beberapa hal yang penting untuk diperhatikan yaitu :

a. Persamaan Nernst

Dalam sebuah reaksi kimia seperti



perubahan dari energi bebas didapat dari persamaan

$$\Delta G^0 = \Delta G^0 + 2.3 RT \log \frac{a_C^c \times a_D^d}{a_A^a \times a_B^b} \quad (2.2)$$

Dimana ΔG^0 adalah energi-bebas ketika semua reaktan dan produk berada dalam kondisi standar ($a = 1$), R adalah konstanta gas, 8.314 J/deg-mol, dan T adalah suhu absolut.

Perubahan energi bebas, atau kerja yang dilakukan, dengan memberikan bilangan elektron avogrado melalui sebuah voltase E adalah $(Ne)E$, dimana N adalah bilangan avogrado dan e adalah muatan elektron. Produk Ne adalah 96.500 C, disebut 1 faraday, atau F. Maka dengan asumsi semua reaktan dan produk berada dalam kondisi standar maka

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \quad (2.3)$$

Dimana konsentrasi dimasukkan untuk menggantikan aktivitas. Ini dapat ditulis sebagai

$$-nFE = -nFE^0 + 2.3 RT \log \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b} \quad (2.4)$$

Pada kondisi 298⁰K dan setimbang, E = 0, ΔG = 0 serta suku logaritmanya adalah kesetimbangan, maka (Underwood, 2001)

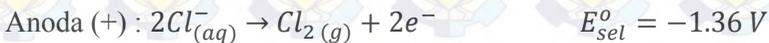
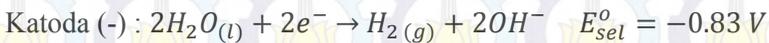
$$\Delta G^0 = -2.3 RT \log K \quad (2.5)$$

Atau

$$E^0 = \frac{0.059}{n} \log K \quad (2.6)$$

b. Reaksi pada *electrolytic cell*

Reaksi yang terjadi pada *electrolytic cell* ada 2 yaitu reaksi oksidasi yang terjadi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Pada elektrolisis air garam terjadi reaksi setengah sel seperti di bawah ini : (<http://web.missouri.edu>)

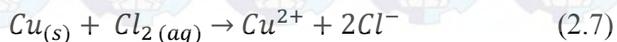


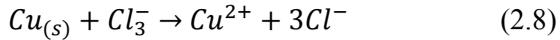
Adapun reaksi lengkapnya akan menjadi



Reaksi tersebut dapat terjadi jika E_{sel}^0 bernilai positif. Pada persamaan diatas E_{sel}^0 bernilai negatif sehingga perlu dialirkan listrik sebesar $E_{sel}^0 = 2.19 V$

Reaksi selanjutnya pada leaching tembaga menggunakan *electro-generated chlorine* adalah sebagai berikut :





Tembaga larut menjadi Cu (I) dan Cu (II) klorida kompleks ; CuCl_2 , CuCl_2^- , CuCl_3^{2-} , CuCl^+ , CuCl_2 , CuCl_3^- , CuCl_4^{2-} dan sebagainya (Lin et al, 1991), dimana reaksinya tergantung pada besarnya potensial dan konsentrasi dari ion klorida. (Eun-young Kim et al, 2010)

II.3 Properti Fisik dan Kimia dari Bahan

a. Tembaga Klorida Dihidrat ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Tembaga Klorida dihidrat bersifat stabil. Memiliki properti fisis berupa padatan kristal berwarna hijau kebiru-biruan dengan berat molekul 170.48 g/mol, mendidih pada suhu 992.78°C dan melebur pada suhu 100° . Specific gravity dari $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ adalah 2.54. (*sciencelab.com*)

b. Natrium Klorida (NaCl)

Adapun properti fisik dan kimia dari Natrium Klorida adalah : bubuk krista padatan, titik leleh 801°C , titik didih 1413°C , specific gravity 2.165, mudah larut dalam air dingin dan panas, larut dalam gliserol dan ammonia, sedikit larut dalam alkohol dan tirak dapat larut dalam HCl. (*sciencelab.com*)

II.4 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu dari *electro-generated chlorine* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Penelitian Terdahulu

| No | Penulis | Jurnal | Hasil |
|----|---------------------|---|--|
| 1 | L.B. Sukla, et al | Recovery Of Cobalt, Nickel And Copper From Converter Slag Through Roasting With Ammonium Sulphate And Sulphuric Acid, Hydrometallurgy Journal, 16 (1986) 153 – 165, | Pada temperatur (200–600°C), waktu (15–120 min), dan jumlah ammonium sulphate sebanyak 0.5–2.5 kali stoichiometric, recovery copper, nickel and cobalt adalah 85%, 81% and 85% |
| 2 | Eun-young Kim et al | Selective Recovery Of Gold from Waste Mobile Phone PCBs by Hydrometallurgical Process, Journal of Hazardous Materials, 198 (2011) 206-215 | Pelarutan Cu dalam 2.0 mol/L HCl, suhu 25 °C, arus sebesar 714 A/m ² selama 165 min dengan electro-generated chlorine mencapai 97%. |
| 3 | Sampad Ghosh et al | Simultaneous Extraction of Copper and Iron from Chalcopyrite Concentrates in Hydrochloric Acid Media: Effect of Additives and Temperature, Journal of Hydrometallurgy, 1 (2012) 8–13, | Pada suhu 333 K, 10% Pulp Density, laju alir Cl ₂ 400 mL / menit dan 2 N HCl adalah kondisi optimum untuk melarutkan tembaga dan besi. Adanya NaCl akan mengurangi laju ekstraksi logam |

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

III.1 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan sesuatu yang dijadikan obyek penelitian dan pengamatan. Dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yang akan digunakan yaitu:

1. Voltase yang digunakan adalah 5; 7,5; 10; 12,5; dan 15 volt.
2. Konsentrasi larutan garam 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%
3. Waktu yang digunakan adalah 30, 60, 90, 120 dan 150 menit

Adapun variabel tetap dalam percobaan ini adalah sebagai berikut :

- Tekanan 1 atm
- Suhu 30°C
- Kecepatan pengadukan 600 rpm
- Sampel 10 pcs *Simcard*

III.2 Teknik Analisa dan Pengolahan Data

III.2.1 Teknik Analisa

Besaran yang diukur selama penelitian adalah yield dan % recovery dan konsentrasi filtrat. Konsentrasi tembaga (Cu) didapat dari analisa *Atomic Absorbtion Spectrofotometry (AAS)* dengan standar SNI 06-6989, 6-2004. Adapun teknik analisa dari AAS adalah sebagai berikut :

1. Prinsip

Penambahan asam nitrat yang bertujuan untuk melarutkan analit logam dan menghilangkan zat-zat pengganggu yang terdapat dalam sampel dengan bantuan pemanas listrik, kemudian diukur dengan AAS menggunakan gas asetilen, C_2H_2 .

2. Bahan

- a. Air Suling
- b. Asam nitrat, HNO_3
- c. Larutan standar logam tembaga, Cu dan
- d. Gas asetilen, C_2H_2

3. Peralatan

- a. AAS
- b. Lampu hollow katoda Cu
- c. Gelas piala 250 mL
- d. Pipet ukur 5 mL; 10 mL; 20 mL; 30 mL; dan 40 mL
- e. Labu ukur 100 mL
- f. Corong gelas
- g. Pemanas listrik
- h. Kertas saring *whatman* 40, dengan ukuran pori (θ) = $0.42 \mu m$; dan
- i. Labu semprot

4. Persiapan pengujian

- a. Persiapan contoh uji
 1. Masukkan 100 mL contoh uji yang sudah dikocok sampai homogen ke dalam gelas piala
 2. Tambahkan 5 mL asam nitrat
 3. Panaskan di pemanas listrik sampai larutan contoh uji hampir kering

4. Ditambahkan 50 mL air suling, masukan ke dalam labu ukur 100 mL melalui kertas saring dan ditepatkan 100 mL dengan air suling
 - b. Pembuatan larutan baku logam tembaga, Cu 100 mg/L
 1. Pipet 10 mL larutan induk logam tembaga, Cu 1000 mg/L ke dalam labu ukur 100 mL.
 2. Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera
 - c. Pembuatan larutan baku logam tembaga, Cu 10 mg/L
 1. Pipet 50 mL larutan standar tembaga, Cu 100 mg/L ke dalam labu ukur 500 mL
 2. Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera
 - d. Pembuatan larutan kerja logam tembaga, Cu
 1. Pipet 0 mL; 2 mL; 5 mL; 10 mL; 20 mL; 30 mL; dan 40 mL larutan baku tembaga, Cu 10 mg/L masing-masing ke dalam labu ukur 100 mL
 2. Tambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda tera sehingga diperoleh konsentrasi logam Cu 0,0 mg/L; 0,2 mg/L; 0,5 mg/L; 1,0 mg/L; 2,0 mg/L; 3,0 mg/L dan 4,0 mg/L
5. Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi
 - a. Optimalkan alat AAS sesuai petunjuk penggunaan alat
 - b. Ukur masing-masing larutan kerja yang telah dibuat pada panjang gelombang 324,8 nm
 - c. Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi

d. Lanjutkan dengan pengukuran contoh uji yang sudah di persiapkan

6. Perhitungan

Konsentrasi logam tembaga, Cu (mg/L) = C x fp dengan pengertian :

C adalah konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/l);

fp adalah faktor pengenceran.

III.2.2 Pengolahan Data

Adapun pengolahan data dari hasil percobaan dan analisa AAS menggunakan persamaan di bawah ini :

1. Perhitungan massa logam pada bahan baku (datum)

$$\text{Total massa logam dalam Simcard} = \text{Massa Awal Simcard} - \text{Massa akhir Simcard}$$

2. Perhitungan Yield (%) logam pada proses *electro-generated chlorine*

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Massa logam yang terecovery (gr)}}{\text{Total massa logam dalam Simcard}} \times 100\%$$

3. Perhitungan penurunan massa logam pada Simcard setelah proses electro-leaching selama t menit

$$\text{Massa logam pada Simcard} = (\text{Massa Simcard pada menit ke-}t_1) - (\text{Massa Simcard pada menit ke-}t_2)$$

4. Perhitungan massa tembaga terlarut

$$\text{Massa tembaga dalam larutan} = \text{Konsentrasi Cu dalam larutan (hasil analisa AAS)} \times \text{Volum larutan}$$

5. Perhitungan % tembaga terlarut

$$\% \text{ Tembaga (Cu) terlarut} = \frac{\text{Massa tembaga dalam larutan}}{\text{Massa logam dalam Simcard}} \times 100\%$$

6. Perhitungan kepadatan arus

$$\text{Kepadatan arus} = \frac{\text{rata - rata kuat arus (mA)}}{\text{luas permukaan elektroda (cm}^2\text{)}}$$

III.3 Peralatan yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan antara lain :

1. Graphite plate dengan luas permukaan 79 cm²
2. *Adjustable power supply*
3. Magnetic stirrer dan Stiring plate
4. Reaktor *acrylic* sebagai *Electrolytic Cell*
5. Membran Polivinil Asetal Komersial (Kanebo)
6. Beaker glass 500 mL

III.4 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

1. Limbah Simcard
2. Garam (NaCl)
3. Aquades

III.5 Prosedur Penelitian

- a. Persiapan Bahan
 - Limbah Simcard

Limbah Simcard yang akan digunakan diperoleh dari counter pulsa di daerah Keputih Tegal, Sukolilo, Surabaya. Pertama limbah Simcard dipisahkan dari

kardus/packaging sehingga didapat Simcard yang berukuran 12 cm × 12 cm. Simcard sebanyak 10 pcs yang telah dipisahkan ditimbang dengan neraca analitis.

- Elektrolit

Pembuatan Elektrolit dilakukan dengan melarutkan garam ke dalam aquades sesuai variabel yang diinginkan. Adapun jumlah garam dan aquades yang dibutuhkan untuk tiap variabel adalah sebagai berikut :

1. Variabel konsentrasi garam 5% ; NaCl sebanyak 16 gram dan aquades sebanyak 300 mL
2. Variabel konsentrasi garam 10% ; NaCl sebanyak 40 gram dan aquades sebanyak 350 mL
3. Variabel konsentrasi garam 15% ; NaCl sebanyak 60 gram dan aquades sebanyak 340 mL
4. Variabel konsentrasi garam 20% ; NaCl sebanyak 80 gram dan aquades sebanyak 320 mL
5. Variabel konsentrasi garam 25% ; NaCl sebanyak 100 gram dan aquades sebanyak 300 mL

Selanjutnya garam dilarutkan dengan cara diaduk menggunakan stirrer hingga semua garam larut.

b. Proses *Elektroleaching*

Proses *electro-generated chlorine* dilakukan dalam sebuah reaktor *acrylic* berpengaduk dengan kecepatan pengadukan 600 rpm pada kondisi di dalam reaktor 30°C, 1 atm. Kondisi operasi tersebut mengacu pada referensi yang telah dilaporkan sebelumnya (Kim dkk, 2011). Di dalam reaktor terjadi dua proses sekaligus yakni proses elektrolisis yaitu proses pembentukan gas klorin dan proses *leaching* dimana gas klorin yang dihasilkan akan mengekstrak tembaga yang terdapat pada Simcard. Reaktor yang digunakan pada percobaan ini

berukuran $18 \text{ cm} \times 9 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ dan dilengkapi dengan *magnetic stirrer* di dalam kompartemen anoda.

Pertama larutan NaCl dengan konsentrasi yang telah ditentukan sebelumnya dimasukkan ke dalam *electrolytic cell* masing-masing kompartemen sebanyak 150 mL. Lalu *adjustable power supply* dinyalakan. Kemudian voltase diatur sesuai dengan variable yang diinginkan. Lalu sampel dari Simcard sebanyak 10 buah dimasukkan ke dalam *electrolytic cell*. Waktu dimulainya elektrolisis adalah ketika *adjustable power supply* mulai running bersamaan dengan dilakukannya pengadukan dengan *magnetic stirrer*. Gas Klorin yang terbentuk pada *electrolytic cell* akan bereaksi dengan logam tembaga menjadi larutan CuCl_2 . Gas Klorin berlebih dialirkan ke dalam beaker glass 500 mL untuk penampungan sementara sebelum dibuang. Proses *electro-leaching* dilakukan sesuai dengan variabel beda potensial, konsentrasi larutan garam dan waktu yang telah ditentukan.

c. Analisa filtrat

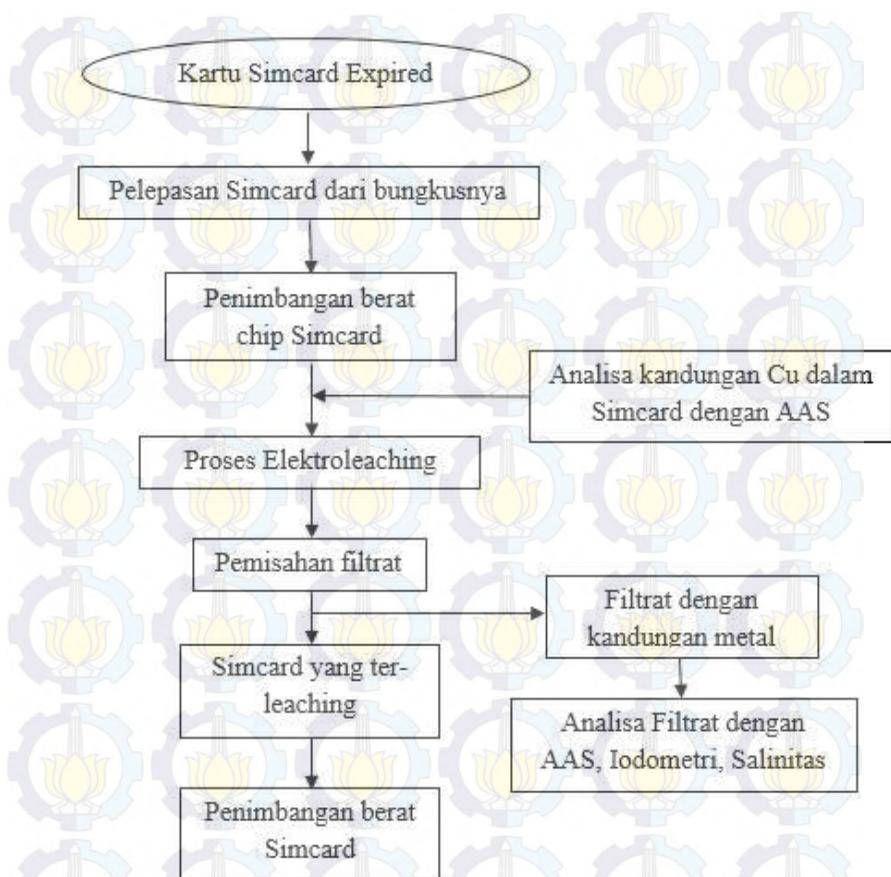
Filtrat diambil dari leaching reaktor menggunakan suntikkan. Proses pengambilan sampel filtrat dilakukan sesuai dengan variabel waktu yang telah ditentukan. Tembaga yang terlarut dalam filtrate dianalisa dengan menggunakan *Atomic Absorbtion Spectrofotometry* (AAS). Teknik AAS adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur-unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom bebas. AAS merupakan teknik analisis kuantitatif dari unsur-unsur yang pemakainnya sangat luas di berbagai bidang karena prosedurnya selektif,

spesifik, biaya analisisnya relatif murah, sensitivitasnya tinggi (ppm-ppb), dapat dengan mudah membuat matriks yang sesuai dengan standar, waktu analisis sangat cepat dan mudah dilakukan. Disamping itu dilakukan analisa salinitas untuk mengetahui kadar NaCl di dalam larutan elektrolit. Kandungan gas Klorin di dalam *electrolytic cell* juga dianalisa menggunakan iodometri untuk mengetahui jumlah gas Klorin berlebih.

d. Pemisahan Simcard dengan filtrat

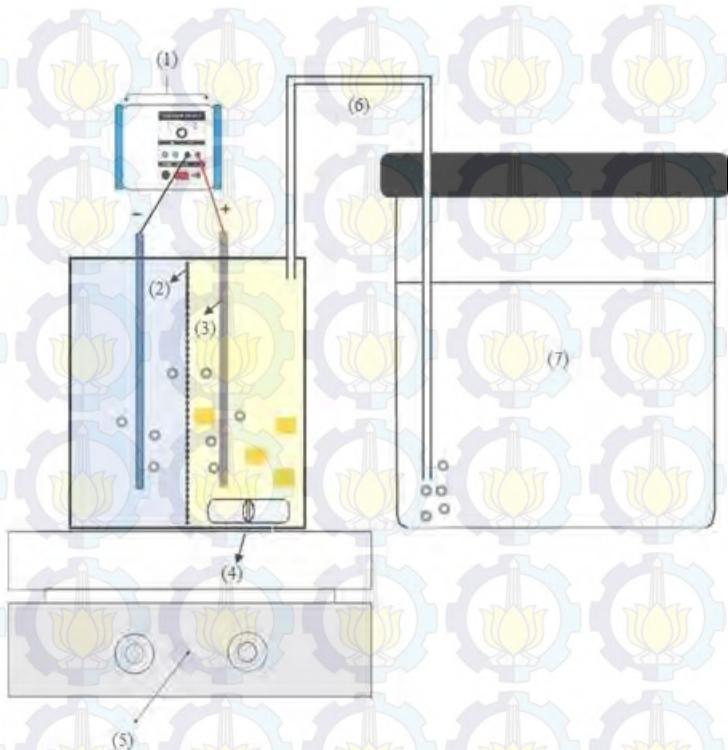
Filtrat dipisahkan dengan cara mengambil Simcard setelah proses leaching menggunakan pinset dan dikeringkan untuk ditimbang beratnya menggunakan neraca analitis.

III.6 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Electro-Generated Chlorine

III.7 Gambar Peralatan



Gambar 3.2 Rangkaian Alat *Electro-Generated Chlorine*

Keterangan Gambar:

1. Adjustable power supply
2. Membran PVA (Kanebo)
3. Elektroda (Grafrit)
4. Stirrer
5. Strirring plate
6. Selang
7. Beaker glass 500 mL

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Analisa Bahan Baku

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan adalah limbah elektronik Simcard. Simcard terdiri dari berbagai logam dengan yield logam sebesar 42.43 %. Hasil tersebut di dapat dengan melarutkan Simcard pada larutan HCl 0.5 M dan H₂O₂ 2 M. (M. Dimitrijevic, 1998). Setelah dilarutkan semua logam pada SIM card maka ditimbang beratnya dengan neraca analitik. Dari hasil perhitungan di appendiks A-1 didapat yield logam sebesar 42.43%. Larutan hasil proses leaching tersebut dianalisa kandungan tembaga dengan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometry*). Dengan menggunakan analisa AAS, di laboratorium FMIPA jurusan kimia ITS didapatkan persen tembaga sebesar 40.35 %.

IV.2 Hasil Percobaan

Tabel 4.1 Yield proses *electro-generated chlorine* terhadap variasi voltase selama 2.5 jam

| Waktu (menit) | Massa Simcard (gr) | | | | |
|------------------|--------------------|---------|--------|--------|--------|
| | 5 V | 7.5 V | 10 V | 12.5 V | 15 V |
| 0 | 0.501 | 0.498 | 0.492 | 0.506 | 0.487 |
| 30 | 0.492 | 0.460 | 0.450 | 0.437 | 0.433 |
| 60 | 0.460 | 0.352 | 0.397 | 0.428 | 0.406 |
| 90 | 0.439 | 0.331 | 0.344 | 0.422 | 0.388 |
| 120 | 0.427 | 0.318 | 0.316 | 0.410 | 0.372 |
| 150 | 0.418 | 0.306 | 0.300 | 0.363 | 0.357 |
| Yield | 38.92 % | 90.26 % | 90.30% | 67.2% | 61.22% |

Keterangan : Perhitungan persen yield dihitung di appendiks A-1

Tabel 4.2 Konsentrasi Cu pada voltase 10 volt

| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|---------------|---------------|
| | Cu, mg/l |
| 30 | 310 |
| 60 | 362 |
| 90 | 689 |
| 120 | 844 |
| 150 | 827 |

Keterangan : Metode analisa Cu ; AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometry*)

Tabel 4.3 Nilai kuat arus (A) selama proses *electro-generated chlorine* terhadap variasi voltase

| Waktu (menit) | Kuat Arus (A) | | | | |
|---------------|---------------|----------|---------|-----------|---------|
| | 5 Volt | 7.5 Volt | 10 Volt | 12.5 Volt | 15 Volt |
| 10 | 0.37 | 0.78 | 1.04 | 1.90 | 3.32 |
| 20 | 0.39 | 0.82 | 1.07 | 2.15 | 3.76 |
| 30 | 0.40 | 0.85 | 1.10 | 2.35 | 4.19 |
| 40 | 0.42 | 0.84 | 1.12 | 2.34 | 4.10 |
| 50 | 0.43 | 0.87 | 1.16 | 2.50 | 4.41 |
| 60 | 0.44 | 0.89 | 1.17 | 2.62 | 4.53 |
| 70 | 0.44 | 0.87 | 1.09 | 2.47 | 4.06 |
| 80 | 0.45 | 0.89 | 1.10 | 2.61 | 4.14 |
| 90 | 0.45 | 0.90 | 1.15 | 2.68 | 4.02 |
| 100 | 0.45 | 0.83 | 1.05 | 2.33 | 3.13 |
| 110 | 0.45 | 0.84 | 1.08 | 2.38 | 1.90 |
| 120 | 0.45 | 0.87 | 1.10 | 2.55 | 1.50 |
| 130 | 0.45 | 0.84 | 1.02 | 2.20 | 1.30 |
| 140 | 0.45 | 0.85 | 1.09 | 2.31 | 1.40 |

| | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| 150 | 0.45 | 0.85 | 1.12 | 2.38 | 1.50 |
| Rata-rata arus | 0.44 | 0.84 | 1.07 | 2.30 | 3.11 |

Tabel 4.4 Konsentrasi NaCl pada voltase 10 volt

| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|---------------|---------------|
| | NaCl, mg/l |
| 0 | 85262 |
| 30 | 78800 |
| 60 | 70920 |
| 90 | 69344 |
| 120 | 56736 |
| 150 | 53584 |

Keterangan : Metode analisa NaCl ; Argentometri

Tabel 4.5 Penurunan berat Simcard terhadap variasi konsentrasi larutan garam

| Waktu (menit) | Konsentrasi Larutan Garam | | | | |
|---------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 25 % | 20 % | 15 % | 10 % | 5 % |
| | Massa Simcard (mg) | | | | |
| 0 | 0.4949 | 0.4972 | 0.4953 | 0.5028 | 0.5003 |
| 30 | 0.4502 | 0.433 | 0.4015 | 0.4547 | 0.4914 |
| 60 | 0.3966 | 0.3379 | 0.2945 | 0.303 | 0.4545 |
| 90 | 0.3438 | 0.2984 | 0.2925 | 0.2933 | 0.4088 |
| 120 | 0.3158 | 0.295 | 0.2925 | 0.2933 | 0.3439 |
| 150 | 0.2998 | 0.295 | 0.2925 | 0.2933 | 0.3264 |
| <i>Yield</i> | 91.81% | 95.15% | 95.44% | 98.59% | 81.84% |

Keterangan : Perhitungan persen yield dihitung di appendiks A-2

Tabel 4.6 Konsentrasi *Dissolved chlorine* pada voltase 10 volt

| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|---------------|------------------------------|
| | Konsentrasi gas Klorin, mg/l |
| 30 | 575 |
| 60 | 660 |
| 90 | 1115 |
| 120 | 1450 |
| 150 | 1900 |

IV.3 Proses leaching dengan *electro-generated chlorine*

Proses *electro-generated chlorine* dilakukan dalam sebuah reaktor *acrylic* berpengaduk dengan kecepatan pengadukan 600 rpm pada kondisi 30°C, 1 atm. Kondisi operasi tersebut mengacu pada referensi yang telah dilaporkan sebelumnya (Kim dkk, 2011). Menurut Kim dkk (2011), kelarutan gas klorin tidak dipengaruhi oleh suhu dan peningkatannya terhadap waktu cenderung linier pada semua variabel suhu. Pada jurnal yang sama, juga dilaporkan bahwa konsentrasi Cu yang terleaching meningkat dengan peningkatan kecepatan pengadukan dari 200 sampai 600 rpm dan untuk pengadukan diatas 600 rpm, konsentrasi Cu yang terleaching tidak lagi dipengaruhi oleh pengadukan. Maka dari itu dipilih kondisi operasi suhu 30°C (suhu ruangan) dan kecepatan pengadukan 600 rpm untuk optimasi proses. Pada percobaan ini dilakukan evaluasi pengaruh beda potensial dan waktu elektrolisis terhadap persen recovery tembaga dalam limbah SIM card.

Selama proses elektrolisis larutan garam (NaCl), di anoda (kutub positif) terjadi reaksi oksidasi generasi/pembentukan Gas klorin (Cl₂). Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya perubahan warna larutan NaCl dari bening menjadi kuning pekat. Gas klorin

dapat terlarut di dalam sebuah larutan (M. Alkan dkk, 2005). Adapun reaksi oksidasi di anode dinyatakan sebagai berikut :

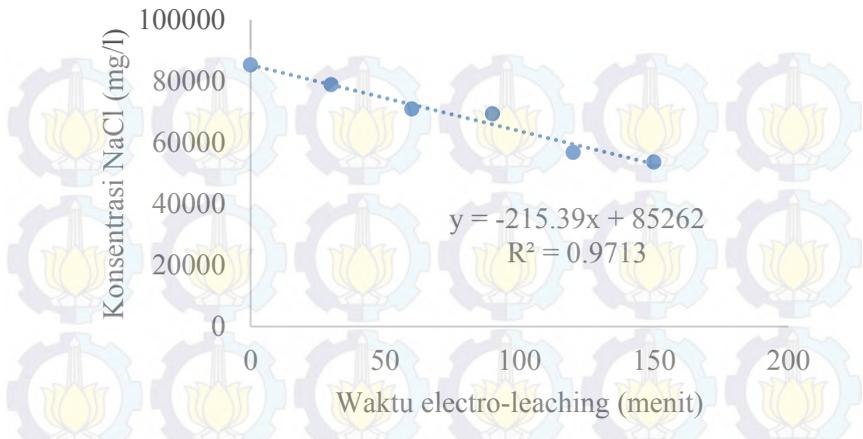


Gas klorin yang terbentuk kemudian terlarut di dalam air mengikuti persamaan berikut :



Dimana harga log K merupakan harga kesetimbangan reaksi pada kondisi 298 K. Dalam larutan garam, gas Cl₂ terlarut sebagai senyawa *aqueous* seperti Cl_{2 (aq)}, Cl₃⁻ dan HClO, distribusinya tergantung pada konsentrasi larutan dan suhu. (H. Majima dkk, 1990 ; Alkan dkk, 2005). Konsentrasi dari gas klorin terlarut meningkat secara linier terhadap waktu dalam larutan garam 25%.

Gambar IV.1 menunjukkan penurunan konsentrasi larutan garam selama 2,5 jam proses *electro-generated chlorine* pada konsentrasi larutan garam 25% dan beda potensial 10 V. Mulanya konsentrasi larutan garam sebelum *electro-generated chlorine* adalah 85262 mg/l dan menurun secara linier setelah 2,5 jam *electro-generated chlorine* menjadi 53584 mg/l. Penurunan konsentrasi larutan garam ini menunjukkan terjadinya proses elektrolisis NaCl menjadi gas Klorin.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara konsentrasi NaCl di dalam reaktor (mg/l) dengan waktu elektrolisis (menit) pada beda potensial 10 V.

Gas klorin yang terbentuk kemudian terlarut menjadi senyawa dalam larutan seperti $Cl_2(aq)$, Cl_3^- dan $HClO$, namun konsentrasi $HClO$ dalam larutan tersebut tidak terlalu tinggi yakni sebesar 0,002 mol/L. Majima dkk, (1990) melaporkan bahwa persen distribusi dari $Cl_2(aq)$, Cl_3^- berturut-turut sebesar 83,8%; 16,2%; dan 0%. Sedangkan reaksi antara tembaga (Cu) dengan gas klorin terlarut tersebut dapat dinyatakan sebagai :



Dimana ΔG_{298} adalah besarnya perubahan energi bebas pada suhu 298 K. (Kim dkk, 2011).

Distribusi dari tembaga yang terlarut ($CuCl_2$) tergantung pada beda potensial dan konsentrasi gas Klorin. Gas klorin yang

dihasilkan dari proses elektrolisis di anoda larut dalam larutan garam 25% dan digunakan untuk proses leaching tembaga. Hal ini ditandai dengan terkorosinya logam yang terdapat pada SIM card. Logam tersebut dapat larut karena gas klorin yang terlarut besar sehingga cukup kuat untuk melarutkan logam.

Dalam waktu bersamaan, di kutub negatif (katoda) terjadi reaksi pembentukan gas hidrogen dan reaksi samping tersebut memungkinkan terjadinya migrasi dari ion Cu^{2+} dari anoda ke katoda melewati membran penukar ion. Menurut hasil analisa AAS (*Atomic Absorbtion Spectrofotometry*), berat tembaga dalam larutan meningkat tetapi jika dibandingkan dengan yield logam maka persen recovery tembaga terus turun.

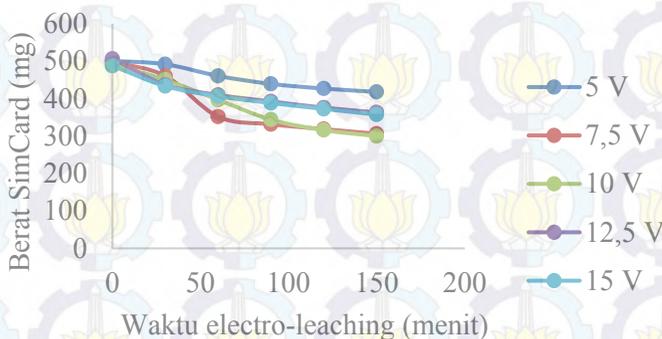
Penurunan persen recovery tembaga ini disebabkan beberapa faktor. Faktor pertama yaitu terjadinya perpindahan ion tembaga dari anoda ke katoda. Perpindahan ion tembaga ini disebabkan karena perbedaan konsentrasi yang tinggi antara bagian anoda dan katoda. Faktor kedua yang memicu penurunan tersebut yaitu terdapatnya ion-ion tembaga yang terjebak pada membran sehingga tidak ikut teranalisa.

Adapun membran yang digunakan pada proses *electro-generated chlorine* ini adalah membran Polivinil Asetal (PVA) komersial atau yang lebih dikenal dengan Kanebo. Dalam membran ini terjadi proses pemindahan ion Na^+ dari anolit ke katolit secara difusi. Menurut Muir (1976), PVA memiliki rejeksi ion klorida yang cukup besar yaitu 46% sehingga dapat digunakan sebagai penyekat antara katoda dan anoda agar ion Cl^- dan Cl_2 yang dihasilkan di anoda tidak bercampur dengan NaOH yang dihasilkan di katoda. Meski demikian diperkirakan masih ada ion-ion yang lain yang masih bercampur dengan NaOH karena PVA komersial sendiri bersifat *porous*. Karena kemampuan rijeksi ion yang tidak besar (hanya 46%)

memungkinkan terjadinya perpindahan ion tembaga dari bagian anoda ke katoda.

IV.3.1 Pengaruh beda potensial pada proses *electro-generated chlorine*

Gambar IV.2 menunjukkan grafik penurunan berat simcard (mg) terhadap waktu dengan voltase 5; 7,5; 10; 12,5; dan 15 V pada elektrolisis larutan garam 25%. Dari grafik tersebut diketahui bahwa untuk semua voltase, berat SIM card mengalami penurunan selama proses elektrolisis. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terjadi reduksi konsentrasi logam (utamanya tembaga) di dalam SIM card. Adapun proses recovery tembaga tersebut terjadi di anoda. (Guimaraes dkk, 2014). Penurunan ini mengindikasikan bahwa senyawa garam (NaCl) dapat dibuat tidak stabil dan digunakan untuk leaching berbagai jenis logam. Garam (NaCl) ini dideaktivasi dengan bantuan listrik sehingga terbentuk gas Klorin yang cukup kuat untuk melarutkan semua jenis logam.



Gambar 4.2 Grafik hubungan berat SimCard dengan waktu (menit) pada berbagai variabel beda potensial

Pada awal percobaan, terjadi penurunan konsentrasi logam secara drastis. Hal tersebut menandakan bahwa terjadi reaksi oksidasi pada permukaan partikel logam (Oishi dkk, 2007). Penurunan berat yang drastis ini disebabkan karena sifat logam tembaga yang mudah terkorosi. (Eun-young Kim, 2011). Variabel percobaan dibatasi sampai 150 menit karena penurunan massa menurun secara drastis pada 60 menit pertama sehingga percobaan tidak dilanjutkan lagi. Disamping itu dissolved klorin mencapai titik jenuh pada menit 150 menit (Eun-young Kim, 2011).

Gambar IV.3 menunjukkan lapisan logam pada Simcard. Tembaga (Cu) akan terlarut terlebih dahulu pada periode awal *electro-generated chlorine*, setelah itu baru logam-logam lainnya yang sulit terlarut seperti Ni, Au, dan logam stabil lainnya (Eun-young Kim, 2011). Pada penelitian elektroleaching ini, tidak dilakukan size reduction karena dikhawatirkan dapat menyulitkan proses pemisahan padatan dari larutan sehingga hasil analisa berat yang didapatkan cenderung tidak akurat. Disamping itu jika ukuran sim card dihancurkan hingga halus dapat menyumbat pori-pori membrane dan mengurangi efektivitas kerja membran

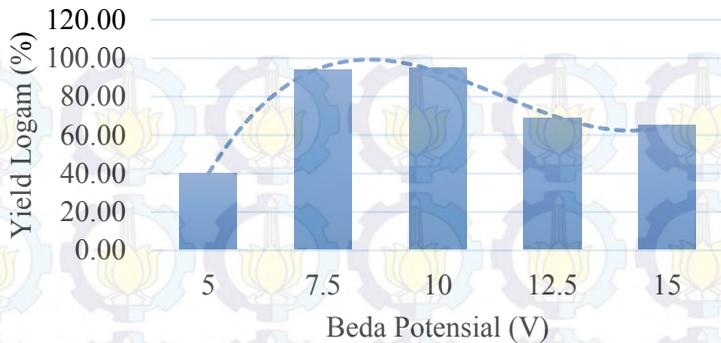


Gambar 4.3 Lapisan logam pada Simcard

Pada beda potensial yang tinggi (> 10 Volt) gas Klorin akan cepat terbentuk dan mengkorosi logam tembaga dengan cepat, sebanding dengan banyaknya gas Klorin yang terbentuk. Semakin besar voltase maka laju leaching akan semakin cepat dan mengurangi waktu tinggal di dalam kompartemen. Tetapi voltase yang tinggi memiliki kelemahan yaitu laju gas Klorin yang terbentuk terlalu cepat sehingga mempengaruhi umur dari elektroda. Pada voltase yang tinggi elektroda akan mengalami kerusakan dan terbentuk lapisan yang menghambat laju arus listrik. Hal ini dibuktikan dari penurunan arus yang terus menurun selama proses leaching pada voltase 12,5 v dan 15 v. Jika arus yang mengalir menurun maka gas Klorin yang dihasilkan juga akan menurun. Gas Klorin yang menurun akan mengurangi laju leaching yang berdampak pada pengurangan % recovery Simcard.

Gambar IV.4 menunjukkan hubungan antara beda potensial dengan % yield logam pada proses *electro-generated chlorine*. Persen yield terhadap variasi beda potensial pada proses *electro-leaching* selama 2,5 jam yakni pada ; 5 Volt adalah sebesar 38,92% ; 7,5 Volt sebesar 90,26% ; 10 Volt sebesar 90,30% ; 12,5 Volt sebesar 67,2% dan 15 Volt sebesar 61,22%.

Kondisi optimum proses *electro-generated chlorine* pada voltase 7.5 volt sampai 10 volt. Pada voltase ini arus mengalir secara konstan dan gas klorin yang dihasilkan juga konstan. Laju gas klorin yang konstan membuat kinerja elektroda karbon stabil dan rate leaching pun bisa terjaga konstan. Sehingga beda potensial optimum untuk proses *electro-leaching* dengan larutan garam adalah 10 V dengan persen Yield 90,30%.



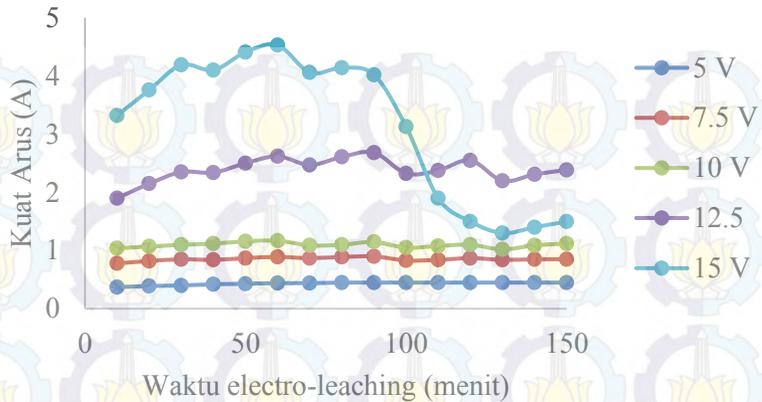
Gambar 4.4 Grafik hubungan voltase dengan % yield logam pada Simcard dalam larutan garam 25%

Berdasarkan Gambar IV.4 didapatkan titik optimum terdapat pada titik 10 V. Hal ini disebabkan karena laju penurunan berat Simcard yang cenderung konstan. Penurunan yang konstan ini juga mengindikasikan bahwa elektroda tidak mengalami kerusakan dan tidak terbentuk lapisan pasif. Hal ini dibuktikan dari Gambar IV.5 dimana arus yang mengalir cenderung konstan sehingga rate gas klorin yang terbentuk juga cenderung konstan. Selain itu pada voltase ini didapatkan hasil yang optimum berdasarkan yield logam yang terlarut.

Tetapi pada voltase 10 V-12,5 V terjadi penurunan % yield dari 90,30% menjadi 67,2%. Hal ini disebabkan terjadinya penurunan kinerja elektroda karbon. Menurut Rabah (1991), semakin besar densitas arus pada elektrolisis maka semakin cepat grafit mengalami oksidasi sehingga menurunkan kinerja elektroda karbon. Elektroda karbon akan terbentuk lapisan tipis yang dapat menurunkan persebaran arus sehingga berdampak pada menurunnya gas klorin yang dihasilkan. Jika gas klorin yang terbentuk semakin kecil maka yield logam pun akan turun

sebanding dengan gas klorin yang dihasilkan. Semakin besar voltase maka kerapatan arus juga akan meningkat. Meningkatnya kerapatan arus berpengaruh pada gas klorin yang dihasilkan sehingga laju leaching akan bertambah. Tetapi voltase yang besar memiliki dampak negative pada elektroda. Pada elektroda akan terbentuk lapisan yang dapat menghambat arus listrik sehingga voltase yang tinggi tidak bagus untuk proses leaching dikarenakan laju leaching mencapai maksimum di awal proses dan terus menurun seiring berjalannya waktu.

Dalam percobaan ini, pengamatan terhadap fluktuasi kuat arus juga dievaluasi. Hal tersebut dinilai penting karena densitas kuat arus membantu mobilitas dari ion tembaga (Nunez dkk, 2013). Perubahan arus listrik diamati pada beda potensial 5, 7,5, 10, 12,5, dan 15 V setiap 30 menit sekali (Gambar IV.5). Arus listrik cenderung stabil pada beda potensial 5, 7,5, dan 10 V sedangkan pada beda potensial 12,5 dan 15 V terjadi penurunan arus yang drastis seperti terlihat pada Tabel IV.3. Hal ini disebabkan karena adanya ion klorida yang teroksidasi menjadi gas klorin. Pembentukan gas klorin ini sangat cepat karena ion klorida yang teroksidasi semakin banyak dan daya hantar listrik ion-ion elektrolit menjadi kecil sehingga terjadi penurunan arus listrik. (Kristanti dkk, 2013). Disamping itu terdapat lapisan pasif yang menghambat aliran arus listrik sehingga arus listrik akan menurun.



Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu dengan arus pada berbagai voltase

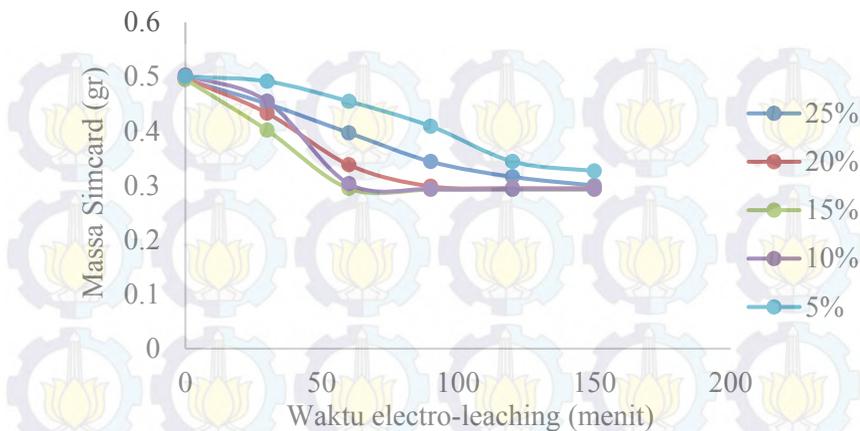
Berdasarkan Gambar IV.5 di atas, kuat arus berubah seiring dengan bertambahnya waktu. Arus juga meningkat seiring dengan naiknya voltase. Arus pada proses *electro-generated chlorine* dipengaruhi oleh beberapa kondisi, diantaranya:

1. Semakin besar voltase maka arus yang mengalir akan semakin besar
2. Semakin luas area elektroda maka arus yang mengalir akan semakin besar
3. Semakin besar karat/non-conductive material maka arus yang mengalir akan semakin berkurang
4. Jarak antara anoda dan katoda. Semakin pendek jarak antara anoda dan katoda maka arus yang mengalir semakin besar.
5. Konsentrasi elektrolit. Semakin besar konsentrasi elektrolit maka arus yang mengalir akan semakin besar

(www.metaldetectingworld.com)

IV.3.2 Pengaruh konsentrasi garam pada proses *electro-generated chlorine*

Gambar IV.6 menunjukkan persen Yield sebagai fungsi dari konsentrasi larutan garam dengan rentang 5 % - 25% pada suhu 30°C dan beda potensial 10 V. Penurunan berat Simcard paling substansial selama periode *electro-generated chlorine* 60 menit adalah pada *electro-generated chlorine* dengan larutan garam 10 %. Sehingga konsentrasi larutan garam (NaCl) paling optimum untuk proses *electro-generated chlorine* adalah pada larutan garam 10% dengan persen Yield sebesar 98,59 %. Faktor yang mempengaruhi terjadinya hal tersebut adalah nilai pH. Nilai pH sangat penting diperhatikan pada proses leaching menggunakan Gas Klorin karena sifat kimiawi dari gas Klorin tergantung pada nilai pH (H. Majima dkk., 1990). Kim dkk. (2011) menyatakan bahwa ketika nilai pH dibawah 2, senyawa dari gas klorin yang dominan adalah $\text{Cl}_{2(aq)}$, Cl_3^- sedangkan ketika pH diatas 2 HClO merupakan senyawa yang dominan. Semakin besar konsentrasi larutan garam, proses distribusi HClO menurun dan akan semakin habis.

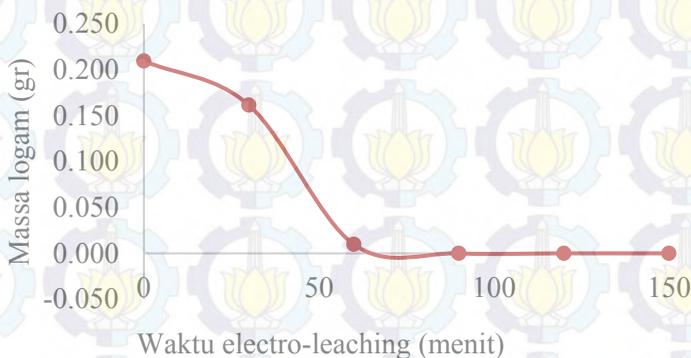


Gambar 4.6 Grafik hubungan waktu *electro-generated chlorine* dengan massa simcard pada variasi konsentrasi larutan garam

Pada percobaan ini waktu optimum untuk proses *electro-generated chlorine* juga dievaluasi. Waktu optimum ini didapatkan ketika logam-logam selain Cu seperti Zn, Ni, Al, Pb, Sn dan Fe juga telah terecovery. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya lagi penurunan massa Simcard jika proses *electro-leaching* diteruskan.

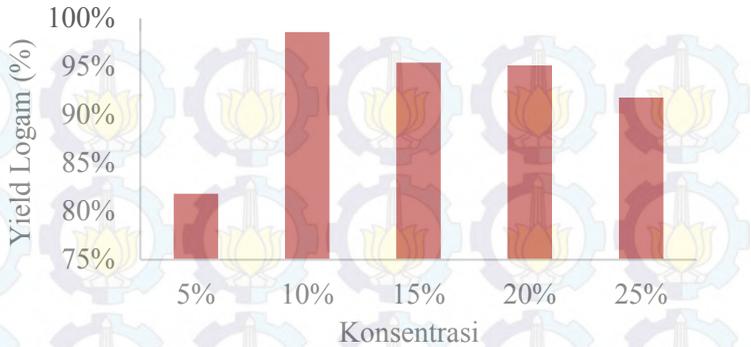
Gambar IV.7 menunjukkan grafik penurunan massa Simcard terhadap waktu *electro-leaching* menggunakan larutan garam 10%. Pada 30 menit pertama, penurunan massa logam tidak terlalu tinggi yaitu dari 0,210 gr menjadi 0,161 gr. Sedangkan penurunan massa Simcard secara tajam terjadi pada waktu elektrolisis antara 30 sampai 60 menit yaitu dari 0,161 gr menjadi 0,010 gr. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya. (Guimaraes dkk, 2014). Setelah proses *electro-generated chlorine* selama 60 menit semua logam telah selesai terecovery. Sehingga waktu optimum untuk proses

electro-generated chlorine menggunakan larutan garam adalah selama 60 menit.



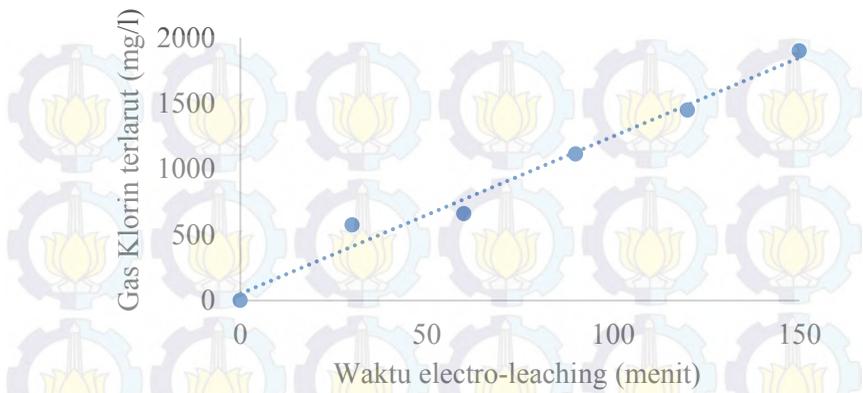
Gambar 4.7 Grafik penurunan massa logam terhadap waktu *electro-generated chlorine* menggunakan larutan garam 10% beda potensial 10 V

Gambar IV.8 menunjukkan grafik persen yield terhadap variasi konsentrasi larutan garam. Pada konsentrasi larutan garam 5%, persen yield (recovery logam) yang terjadi adalah sebesar 81,84% kemudian meningkat secara drastis pada konsentrasi 10% dengan persen Yield sebesar 98,59%. Namun pada konsentrasi >10%, persen yield justru mengalami penurunan menjadi 95,44% untuk konsentrasi larutan garam 15%, persen yield 95,15% untuk konsentrasi larutan garam 20% dan persen yield 91,81% untuk larutan garam 25%. Sehingga didapatkan konsentrasi optimum larutan garam untuk proses *electro-generated chlorine* yaitu pada konsentrasi larutan garam 10 %.



Gambar 4.8 Grafik hubungan konsentrasi larutan garam dengan persen yield

Gambar IV.9 menunjukkan grafik kelarutan gas Klorin pada proses *electro-generated chlorine* selama 2,5 jam dalam larutan garam 25% dan beda potensial 10 V. Dalam larutan garam, gas Cl_2 terlarut sebagai senyawa Cl_2 (aq), Cl_3^- , dan HClO . Alkan dkk., (2005) menyatakan bahwa distribusi dari senyawa tersebut tergantung pada konsentrasi larutan dan temperatur. Dari grafik tersebut diketahui bahwa konsentrasi gas klorin terlarut meningkat secara linier terhadap waktu dalam larutan garam 25%. Hal tersebut bersesuaian dengan penelitian sebelumnya dimana konsentrasi gas Klorin terlarut meningkat dalam larutan elektrolisis yang lain seperti larutan HCl (Kim dkk, 2011).



Gambar 4.9 Grafik hubungan gas Klorin terlarut terhadap waktu *electro-generated chlorine* dengan konsentrasi larutan garam 25% dan beda potensial 10 V

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Recovery logam Tembaga (Cu) dari limbah elektronik Simcard (kadar Cu 40,53%) dapat dilakukan dengan proses *electro-generated chlorine* menggunakan larutan garam (NaCl) dengan persen Yield sebesar 98,59 %.
2. Beda potensial optimum untuk proses *electro-generated chlorine* menggunakan larutan garam adalah 10 V
3. Konsentrasi larutan garam (NaCl) optimum untuk proses *electro-generated chlorine* adalah pada larutan garam 10%
4. Waktu optimum untuk proses *electro-generated chlorine* menggunakan larutan garam adalah selama 60 menit.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai proses pemisahan Tembaga terlarut (CuCl_2) dari filtratnya untuk mendapatkan Tembaga murni (Cu).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai *Rate of Chlorine* dari proses *electro-generated chlorine* untuk mendapatkan kondisi optimum recovery logam. Selain itu hal tersebut dianggap penting dikarenakan excess dari gas Klorin sendiri merupakan polutan yang keberadaannya harus diminimalisasi.

DAFTAR PUSTAKA

Bennet, J.E. 1980. *Electrodes for Generation of Hydrogen and Oxygen from Seawater*. International Journal of Hydrogen Energy, 5, 401-408

Chao, G., Hui, W., Jiangang, F., Yi, X., 2011. *Liberation characteristic and physical separation of printed circuit board (PCB)*. Waste Manag. 31, 2161–2166.

Dimitrijevic, M., Antonijevic, M.M., Dimitrijevic, V. Investigation Of The Kinetics Of Pyrite Oxidation By Hydrogen Peroxide In Hydrochloric Acid Solutions, 2, 165-174

Ficeriova J, P. Balaz, E. Boldizarova, R. Kammel. Hydrometallurgy 57 (2000) 85-96

Gramatyka P, R. Nowosielski, P. Sakiewicz. *Recycling of Waste Electrical and Electronic Equipment*. Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering. Volume 20 Issues 1-2 January-February 2007

Guimaraes, Yuri F., Iranildes, D Santos, Archilles J.B Dutra. *Direct recovery of copper from printed circuit boards (PCBs) powder concentrate by a simultaneous electroleaching–electrodeposition process*. Journal Hydrometallurgy 149 (2014) 63-70

H. Majima, Y. Awakura, K. Tsugui, E. Peters. 1990. *Fundamental Studies on Chlorine behavior as Related to Zinc Electrowinning from Aqueous Chloride Electrolytes*. Metal. Trans 21B (1990) 251-258

Jha, M.K., Kumari, A., Choubey, P.K., Lee, J., Kumar, V., Jeong, J., 2012. *Leaching of lead from solder material of waste*

- printed circuit boards (PCBs)*. Hydrometallurgy 121–124, 28–34.
- Kim, Eun-young, Min-seuk Kim, Jae-chun Lee, B.D. Pandey. 2011. *Selective Recovery of Gold from Waste Mobile Phone PCBs by Hydrometallurgical Process*. Journal of Hazardous Materials, 198, 1er206-215
- Kristanti, Mike N., Suprpto. 2013. *Elektrolisis Larutan Garam Grosok dengan Merkuri dan Polivinil Asetal Komersial (Kanebo) Sebagai Pemisah Anolit Katolit: Perbandingan Kadar Natrium*. Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol. 2, No. 2, (2013) 2337-3520
- Li, J., Duan, H., Yu, K., Liu, L., Wang, S., 2010. *Characteristic of low-temperature pyrolysis of printed circuit boards subjected to various atmosphere*. Resour. Conserv. Recycl. 54, 810–815.
- Lloyd, Lawrie. 2011. *Handbook of Industrial Catalyst*. New York : Springer Publisher
- L.B. Sukla, S.C. Panda And P.K. Jena. *Recovery Of Cobalt, Nickel And Copper From Converter Slag Through Roasting With Ammonium Sulphate And Sulphuric Acid*. Hydrometallurgy, 16 (1986) 153 – 165.
- Moore, J.J.1981.*Chemical metallurgy*. London: Butterworths.
- Muir, W.M. 1976. *Novel Polymer Membranes for Reverse Osmosis*. England: Babcock & Wilcox Limited
- M. Alkan, M. Oktay, M Copur. 2005. *Solubility of Chlorine in Aqueous Hydrochloric Acid Solutions*. Journal Hazard. Mater. 119 (2005) 13-18
- M. Saeedi, E.K.Alamdari, D.Darvishi, *Effect of Temperature on dissolution of gold from copper anode slime*, 23rd International Mining & exhibition of turkey, 2013.
- Neha Lalchandani. “e-scare”. *The Times of India*. 24 April. 2010.

Nunez, P., and H.K. Hansen. 2013. *Electroleaching of Copper Waste with Recovery of Copper by Electrodialysis*. E3S Web of Conferences 1, 31003 (2013)

Oishi, T., Koyama, K., Alam, S., Tanaka M., Lee, J.C. 2007. *Recovery of High Purity Copper Cathode from Printed Circuit Boards using Ammoniacal Sulfate or Chloride Solutions*. Hydrometallurgy 89, 82-88

Rabah, M.A, Nassif N. 1991. *Electrochemical Wear of Graphite Anodes and Electrolysis of Brine*. Carbon, 29, 165-171

Salamah, Mimi,. Dkk. 2009. *Penentuan Kadar Ni, Pb, Co, Fe, Mn, Au dan Cd*. Yogyakarta: Laporan Penelitian FMIPA UNY.

Sampad Ghosh, Balram Ambade, Shailesh Kumar PraSsad, Anand K.Choudhary. *Simultaneous Extraction of Copper and Iron from Chalcopyrite Concentrates in Hydrochloric Acid Media: Effect of Additives and Temperature*. Hydrometallurgy, 1 (2012) 8–13.

Underwood, A. L and R. A. Day, Jr. 2001. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

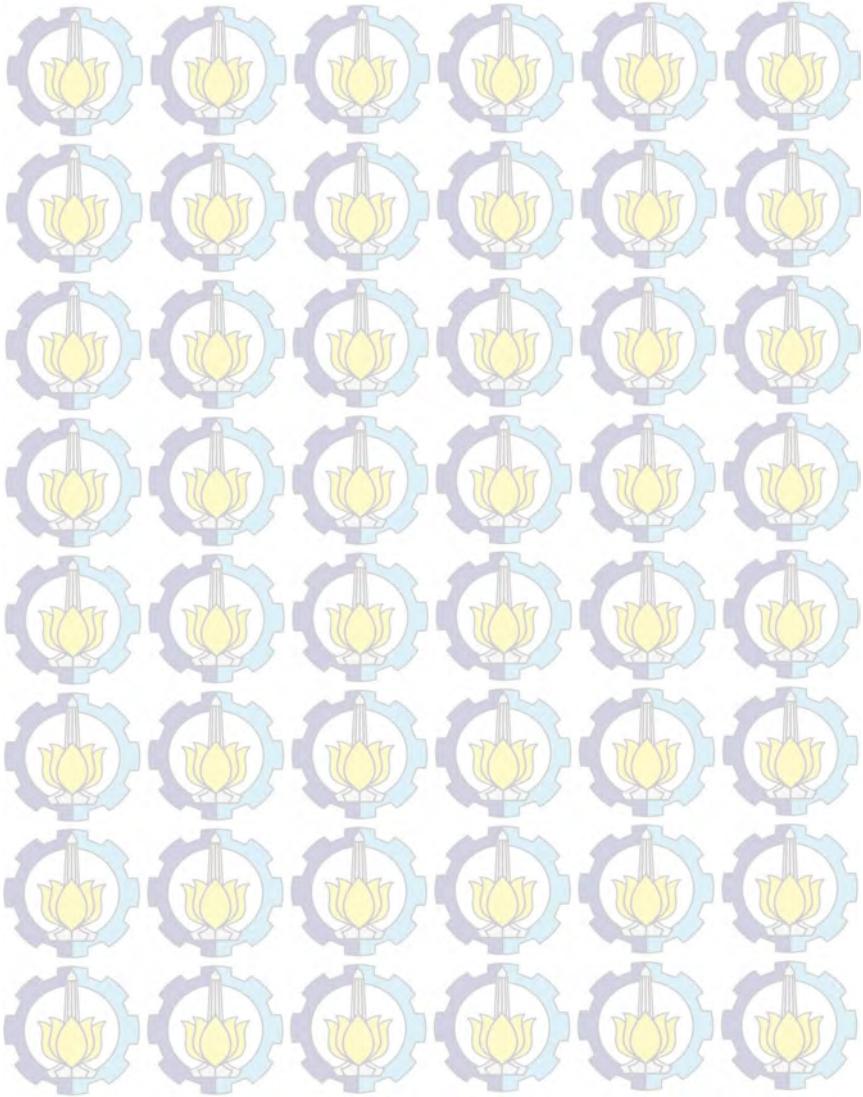
UNEP, 2006. *Call for Global Action on E-waste*. United Nations Environment Programme (<http://www.unep.org>).

Zhu, N.,Xiang, Y.,Zhang, T., Wu, P., Dang, Z., Li, P., Wu, J., 2011. *Bioleaching of metal concentrates of waste printed circuit boards by mixed culture of acidophilic bacteria*. J. Hazard. Mater. 192, 614–619.

www.web.missouri.edu, Diakses tanggal 19 Januari 2015 Pukul 13.54 WIB.

www.sciencelab.com. Diakses tanggal 20 Januari 2015 Pukul 09.36 WIB.

www.metaldetectingworld.com Diakses tanggal 9 Juni 2015 Pukul 07.02 WIB



APPENDIKS A PERHITUNGAN HASIL ANALISA

A.1 Perhitungan %Yield logam pada proses *electro-generated chlorine*

- Analisa Massa pada Bahan Baku Menggunakan Reagent Leaching HCl 0,5 M + H₂O₂ 2 M

Massa awal = 0.5008 gr

Massa akhir = 0.2883 gr

Total massa logam dalam Simcard = *Massa Awal Simcard* – *Massa akhir Simcard*
= 0.5008 - 0.2883
= 0.2125 gr

- Analisa Massa pada Percobaan Menggunakan Metode Elektroleaching

Misalkan pada beda potensial 10 Volt dengan waktu *electro-generated chlorine* dari 0 jam sampai 2,5 jam pada konsentrasi garam 25 %.

Data dapat dilihat pada table B.1

Massa awal simcard = 0,492 gram

Massa setelah *electro-generated chlorine* 2,5 jam = 0,299 gram

$$\begin{aligned} \text{Yield (\%)} &= \frac{\text{Massa logam yang terecovery (gr)}}{\text{Total massa logam dalam Simcard}} \times 100\% \\ &= \frac{0,492 - 0,300}{0,2125} \times 100\% \\ &= 90,30 \% \end{aligned}$$

Untuk variabel beda potensial yang lain, perhitungan dilakukan dengan langkah yang sama dengan perhitungan diatas. Adapun hasil perhitungan %yield untuk semua variabel ditunjukkan pada Tabel A1.

Tabel A1. Hasil perhitungan yield pada semua variabel beda potensial

| Beda potensial (V) | Yield logam (%) |
|--------------------|-----------------|
| 5 | 40,29 |
| 7,5 | 93,94 |
| 10 | 95,19 |
| 12,5 | 68,83 |
| 15 | 65,10 |

A.2 Penurunan massa logam pada Simcard setelah proses *electro-generated chlorine* selama t menit

Data percobaan dapat dilihat pada Table B.5

Misalkan pada waktu 0 menit pada konsentrasi 25%

Massa Sim card pada menit ke-0 = 0.4949 gr

Massa Sim card pada menit ke-150 = 0.2998 gr

Massa logam pada Sim card = (Massa Sim card pada menit ke-0) – (Massa Sim card pada menit ke-150)
= 0.4949 gr - 0.2998 gr
= 0.1951 gr

Untuk variabel konsentrasi larutan garam yang lain, perhitungan dilakukan dengan langkah yang sama dengan perhitungan diatas. Adapun hasil perhitungan %yield untuk semua variabel konsentrasi larutan garam ditunjukkan pada Tabel A2.

Tabel A2. Massa logam pada Simcard selama proses *electro-generated chlorine* dengan variasi konsentrasi larutan garam pada beda potensial 10 V

| Waktu (menit) | Konsentrasi Larutan Garam | | | | |
|---------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 25 % | 20 % | 15 % | 10 % | 5 % |
| | Massa logam Sim card (gr) | | | | |
| 0 | 0.1951 | 0.2022 | 0.2028 | 0.2095 | 0.1739 |
| 30 | 0.1504 | 0.138 | 0.109 | 0.1614 | 0.165 |
| 60 | 0.0968 | 0.0429 | 0.002 | 0.0097 | 0.1281 |
| 90 | 0.044 | 0.0034 | 0 | 0 | 0.0824 |
| 120 | 0.016 | 0 | 0 | 0 | 0.0175 |
| 150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Yield | 91.81% | 95.15% | 95.44% | 98.59% | 81.84% |

A.3 Perhitungan massa tembaga dalam larutan CuCl_2

Misalkan pada beda potensial 10 V dengan waktu *electro-leaching* dari 0 jam sampai 0,5 jam

Massa awal simcard = 0,492 gram

Massa setelah *electro-leaching* 0,5 jam = 0,4502 gram

Massa logam = Selisih massa awal dan akhir

= Massa awal Simcard - Massa setelah *electro-leaching* 0,5 jam

Massa logam di dalam Simcard = 0,492 - 0,4502 gram
= 0,042 gram

Konsentrasi Cu dalam larutan = 310 mg/l

Volum larutan = 130 mL = 0.13 L

Massa tembaga dalam larutan = 310 mg/l \times 0.13 L
= 40.3 mg = 0.0403 gr

$$\begin{aligned} \% \text{ Tembaga (Cu) terlarut} &= \frac{\text{Massa tembaga dalam larutan}}{\text{Massa logam di dalam Simcard}} \times 100\% \\ &= \frac{0,0403}{0,042} \times 100\% \\ &= 97\% \end{aligned}$$

Untuk variabel yang lain perhitungan dilakukan dengan langkah yang sama dengan perhitungan diatas. Adapun hasil perhitungan %yield untuk semua variabel ditunjukkan pada Tabel A3.

Tabel A3. Hasil perhitungan massa dan persen tembaga dari analisa AAS pada beda potensial 10 Volt

| Waktu (menit) | Konsentrasi Cu, mg/l | Massa Cu, mg | % Cu |
|---------------|----------------------|--------------|------|
| 30 | 310 | 40.30 | 97% |
| 60 | 362 | 43.44 | 46% |
| 90 | 689 | 75.79 | 51% |
| 120 | 844 | 84.40 | 48% |
| 150 | 827 | 74.43 | 39% |

A.2 Perhitungan Kepadatan arus

Data rata-rata kuat arus dapat dilihat pada Table B.3

Misalkan pada beda potensial 5 Volt dengan waktu *electro-generated chlorine* dari 0 jam sampai 2,5 jam pada konsentrasi garam 25 %.

Luas permukaan elektroda pada anoda = 79 cm²

Kuat arus pada beda potensial 5 V = 0.44 A = 440 mA

$$\begin{aligned} \text{Kepadatan arus} &= \frac{\text{rata - rata kuat arus (mA)}}{\text{luas permukaan elektroda (cm}^2\text{)}} \\ &= \frac{440 \text{ mA}}{79 \text{ cm}^2} \times 100\% \\ &= 5.513 \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk variabel beda potensial yang lain, perhitungan dapat dilakukan dengan langkah yang sama. Adapun hasil perhitungan kepadatan arus untuk semua variabel ditunjukkan pada tabel A4.

Tabel A4. Hasil perhitungan kepadatan arus pada berbagai beda potensial

| Beda potensial (V) | Kepadatan arus (mA/cm²) |
|-------------------------------|---|
| 5 | 5.513 |
| 7.5 | 10.576 |
| 10 | 13.551 |
| 12.5 | 29.120 |
| 15 | 39.367 |

APPENDIKS B HASIL ANALISA

Tabel B.1 Yield proses elektroleaching terhadap variasi voltase selama 2.5 jam

| Waktu (menit) | Massa Simcard (gr) | | | | |
|---------------|--------------------|---------|--------|--------|--------|
| | 5 V | 7.5 V | 10 V | 12.5 V | 15 V |
| 0 | 0.501 | 0.498 | 0.492 | 0.506 | 0.487 |
| 30 | 0.492 | 0.460 | 0.450 | 0.437 | 0.433 |
| 60 | 0.460 | 0.352 | 0.397 | 0.428 | 0.406 |
| 90 | 0.439 | 0.331 | 0.344 | 0.422 | 0.388 |
| 120 | 0.427 | 0.318 | 0.316 | 0.410 | 0.372 |
| 150 | 0.418 | 0.306 | 0.300 | 0.363 | 0.357 |
| <i>Yield</i> | 38.92 % | 90.26 % | 90.30% | 67.2% | 61.22% |

Tabel B.2 Konsentrasi Cu pada voltase 10 volt dengan AAS

| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|---------------|---------------|
| | Cu, mg/l |
| 30 | 310 |
| 60 | 362 |
| 90 | 689 |
| 120 | 844 |
| 150 | 827 |

Tabel B.3 Nilai kuat arus (A) selama proses elektroleaching terhadap variasi voltase

| Waktu (menit) | Kuat Arus (A) | | | | |
|-------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 5 Volt | 7.5 Volt | 10 Volt | 12.5 Volt | 15 Volt |
| 10 | 0.37 | 0.78 | 1.04 | 1.90 | 3.32 |
| 20 | 0.39 | 0.82 | 1.07 | 2.15 | 3.76 |
| 30 | 0.40 | 0.85 | 1.10 | 2.35 | 4.19 |
| 40 | 0.42 | 0.84 | 1.12 | 2.34 | 4.10 |
| 50 | 0.43 | 0.87 | 1.16 | 2.50 | 4.41 |
| 60 | 0.44 | 0.89 | 1.17 | 2.62 | 4.53 |
| 70 | 0.44 | 0.87 | 1.09 | 2.47 | 4.06 |
| 80 | 0.45 | 0.89 | 1.10 | 2.61 | 4.14 |
| 90 | 0.45 | 0.90 | 1.15 | 2.68 | 4.02 |
| 100 | 0.45 | 0.83 | 1.05 | 2.33 | 3.13 |
| 110 | 0.45 | 0.84 | 1.08 | 2.38 | 1.90 |
| 120 | 0.45 | 0.87 | 1.10 | 2.55 | 1.50 |
| 130 | 0.45 | 0.84 | 1.02 | 2.20 | 1.30 |
| 140 | 0.45 | 0.85 | 1.09 | 2.31 | 1.40 |
| 150 | 0.45 | 0.85 | 1.12 | 2.38 | 1.50 |
| Rata-rata arus | 0.44 | 0.84 | 1.07 | 2.30 | 3.11 |
| Kepadatan arus | 5.513 mA/cm ² | 10.576 mA/cm ² | 13.551 mA/cm ² | 29.120 mA/cm ² | 39.367 mA/cm ² |

Tabel B.4 Konsentrasi NaCl pada voltase 10 volt

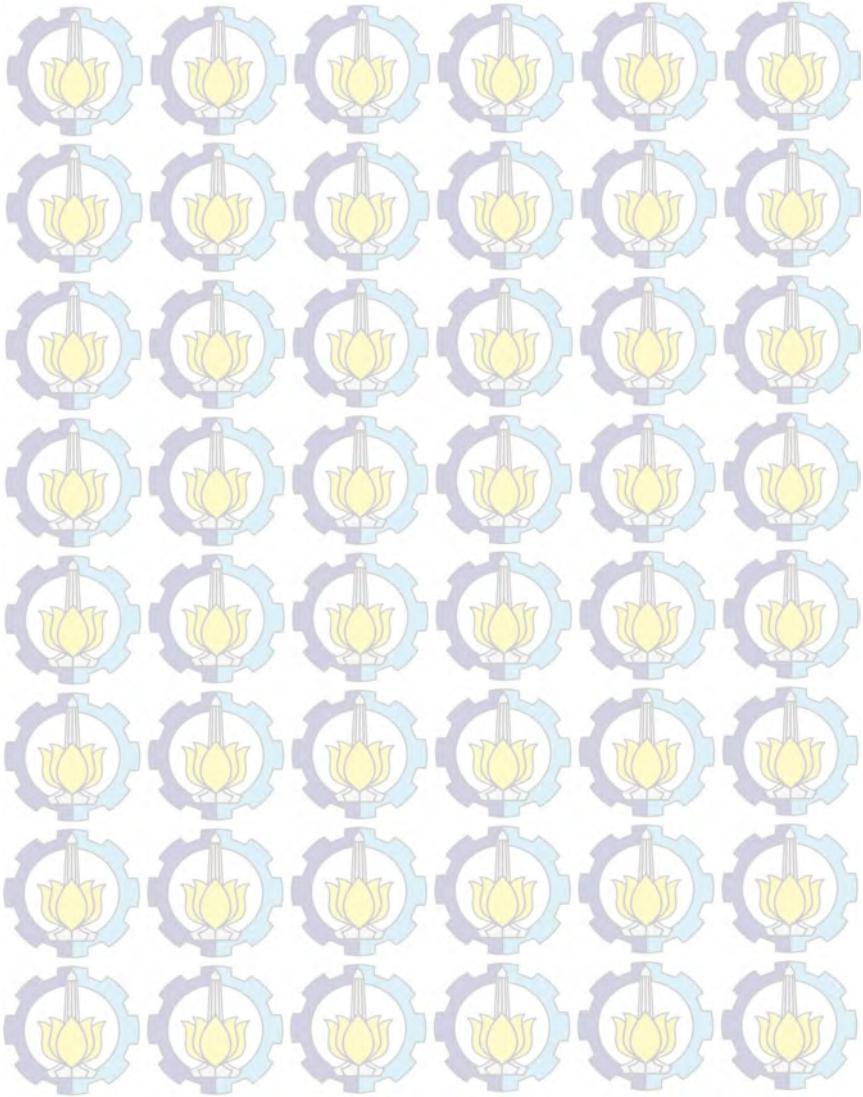
| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|------------------|---------------|
| | NaCl, mg/l |
| 30 | 78800 |
| 60 | 70920 |
| 90 | 69344 |
| 120 | 56736 |
| 150 | 53584 |

Tabel B.5 Yield proses elektroleaching terhadap variasi konsentrasi selama 2.5 jam

| Waktu (menit) | Massa Simcard (mg) | | | | |
|------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 25 % | 20 % | 15 % | 10 % | 5 % |
| 0 | 0.4949 | 0.4972 | 0.4953 | 0.5028 | 0.5003 |
| 30 | 0.4502 | 0.433 | 0.4015 | 0.4547 | 0.4914 |
| 60 | 0.3966 | 0.3379 | 0.2945 | 0.303 | 0.4545 |
| 90 | 0.3438 | 0.2984 | 0.2925 | 0.2933 | 0.4088 |
| 120 | 0.3158 | 0.295 | 0.2925 | 0.2933 | 0.3439 |
| 150 | 0.2998 | 0.295 | 0.2925 | 0.2933 | 0.3264 |
| Yield | 91.81% | 95.15% | 95.44% | 98.59% | 81.84% |

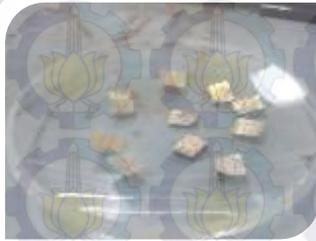
Tabel B.6 Dissolved chlorine pada voltase 10 volt

| Waktu (menit) | Hasil Analisa |
|------------------|----------------|
| | Chlorine, mg/l |
| 30 | 575 |
| 60 | 660 |
| 90 | 1012 |
| 120 | 1450 |
| 150 | 1365 |



APPENDIKS C DOKUMENTASI PENELITIAN

Appendiks ini berisi dokumentasi dari kegiatan yang dilakukan selama penelitian, alat dan bahan serta hasil yang didapatkan dari penelitian



Gambar 1. Bahan baku Simcard sebelum proses *electro-leaching*



Gambar 2. Simcard setelah proses *electro-leaching*



Gambar 3. Neraca analitik untuk analisa berat Simcard



Gambar 4. Sodium Chloride sebagai bahan baku larutan garam



Gambar 5. Reaktor *electro-leaching*
(tampak atas)



Gambar 6. Stirring plate



Gambar 7. *Adjustable power supply*



Gambar 8. Karbon yang berfungsi sebagai elektroda



Gambar 9. Beaker glass 500 mL sebagai penampungan sementara *excess* dari gas Klorin



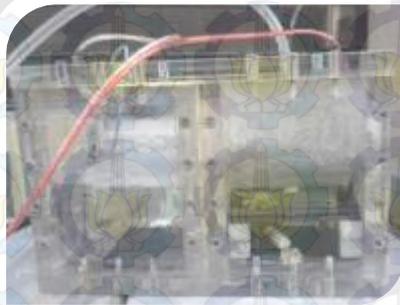
Gambar 10. Membran PVA Komersial (Kanebo) setelah proses *electro-leaching*



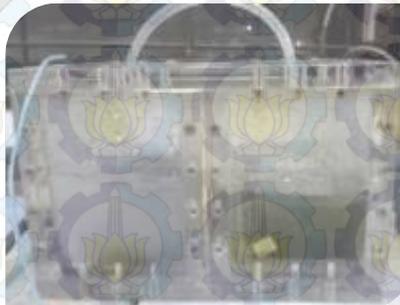
Gambar 11. Rangkaian peralatan *electro-leaching*



Gambar 12. Pembacaan voltase dan arus pada *Adjustable power supply*



Gambar 13. Kondisi di dalam reaktor sebelum proses *electro-leaching* (sebelah kiri kompartemen katoda dan sebelah kanan kompartemen anoda)



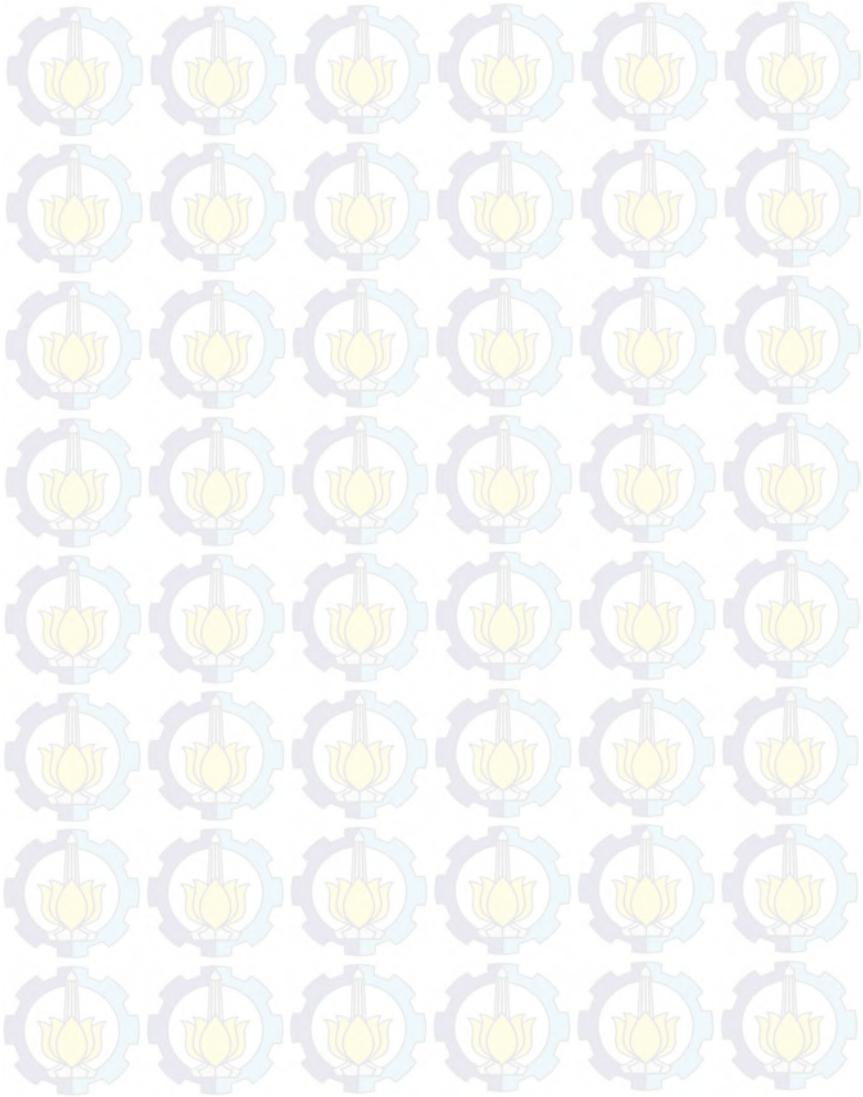
Gambar 14. Kondisi di dalam reaktor saat proses *electro-leaching* (running)



Gambar 15. Larutan CuCl_2 hasil *electro-leaching*



Gambar 16. Sampel larutan yang siap dianalisa AAS, Iodometri dan Salinitas



BIODATA PENULIS



Prasetyo Chandra

Penulis dilahirkan di Mojokerto, 17 Oktober 1992, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN 12 Jakarta, SDN 13 Jakarta, SMPN 75 Jakarta, SMAN 78 Jakarta, S1 Teknik Kimia FTI-ITS.

Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Pabrik Kertas Tjiwi Kimia, Jawa Timur. Dalam pengerjaan tugas akhir penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

Email: prasetyo.chandra@hotmail.com

BIODATA PENULIS



M. Maktum Muharja A.F

Penulis dilahirkan di Jember, 8 Desember 1992, merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu MI Zainul Hasan Balung, SMP Negeri 1 Balung, SMA Negeri 2 Jember, S1 Teknik Kimia FTI-ITS.

Selama kuliah di Teknik Kimia, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Pertamina EP, Cirebon, Jawa Barat. Dalam pengerjaan tugas akhir penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Jurusan Teknik Kimia, FTI-ITS.

Email: maktum.muharja@gmail.com