



TESIS SF 142502

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA  
DENGAN METODE *FREEZING THAWING* UNTUK  
SISTEM DESALINASI LARUTAN NaCl, MgCl dan  
KCl BERBASIS *CAPACITIVE DEIONIZATION***

Intan Permata Sari  
NRP. 11113201008

Dosen Pembimbing  
Endarko, M.Si, Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS SF 142502

**FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF  
CARBON ELECTRODES USING FREEZING THAWING  
METHOD FOR DESALINATION SYSTEM OF NaCl,  
MgCl AND KCl BASED ON CAPACITIVE  
DEIONIZATION**

Intan Permata Sari  
NRP. 11113201008

SUPERVISOR  
Endarko, M.Si, Ph.D.

MAGISTER PROGRAME  
STUDY ON INSTRUMENTATION  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh :  
Intan Permata Sari  
Nrp. 1113201008**

**Tanggal Ujian : 15 Januari 2015  
Periode Wisuda : Maret 2015**

**Disetujui oleh :**

**1. Endarko, M.Si., Ph.D  
NIP: 19741117.199903.1.001**



**(Pembimbing)**

**2. Prof. Dr. Ir. Eddy Yahya, M.Sc  
NIP: 19471126 197210.1.001**



**(Penguji)**

**3. Dr Bintoro Anang Subagyo M.si  
NIP: 19790716200501.1.002**



**(Penguji)**

**Direktur Program Pascasajana,**



**Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T  
NIP. 19640405 199002 1 001**

# FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF CARBON ELECTRODES USING FREEZING THAWING METHOD FOR DESALINATION SYSTEM OF NaCl, MgCl AND KCl BASED ON CAPACITIVE DEIONIZATION

Name : Intan Permata Sari

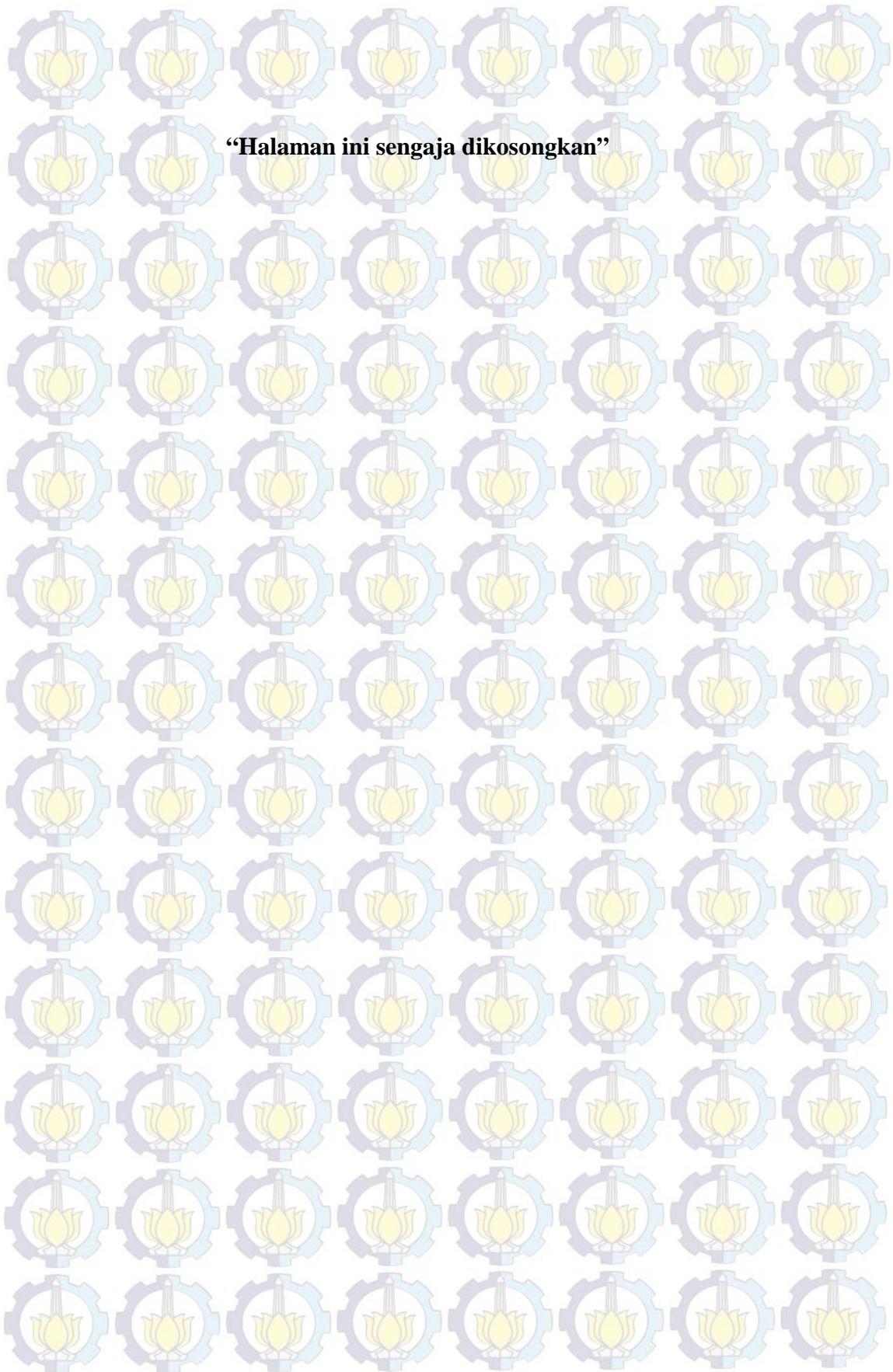
Student Identity Number : 1113201008

Supervisor : Endarko, M.Si, Ph.D

## ABSTRACT

The carbon electrodes have been successfully fabricated and characterized for capacitive deionization system (CDI). Carbon electrodes have been fabricated using an activated carbon, modification of an activated carbon and polymer as a binder using freezing thawing method. This study aims to create and measure performance carbon electrode using an activated carbon and binder PVA with a variation of freezing thawing cycle, with three differences treatment were 3, 4, and 5 cycles (1cycle = 12 hours of freezing and thawing 12 hours), and furthermore PVA binder and modification of an activated carbon at 4 cycle of freezing thawing in the CDI desalination system. FT-IR testing results showed an increase of oxygen-containing groups on activated carbon modification. Observation of carbon electrode morphology using SEM-EDX can be recorded the loss of impurities and increased oxygen content by 25% on activated carbon modification. Measurement of capacitance values with Cyclic Voltametry (CV) has resulted the specific capacitance of 3.06, 9.10 and 0.52 F / g, respectively, for carbon electrode with 3, 4 and 5 cycles and at 2.54 F / g for modification of carbon electrode at 4 cycles. Meanwhile, the EIS test values obtained specific capacitance of 13.5 F/g at 4 cycle-type electrode. CDI system using carbon electrodes, activated carbon and binder PVA modification can be reduced the levels of NaCl in the amount of 49.1%, 54.3% and 41.3%, respectively, for carbon electrodes with 3, 4 and 5 cycles and 51.9% for modification of carbon electrode. The salt removal for MgCl can be achieved at 40.4%, 53.4% and 38.7%. Hereinafter, the salt removal of KCl resulted in the reduction of 56.4%, 64.1% and 61.4%, respectively, for carbon electrodes with 3, 4 and 5 cycles. The addition of the ion exchange membrane can be increased the efficiency NaCl at 12%. The use of 10 cells CDI is able to reduce 73.5% at the concentration of 320  $\mu\text{s} / \text{cm}$ .

Key words : capasitive deionization (CDI), desalination, carbon elektrode, Polyvinyl Alcohol, Freezing Thawing



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

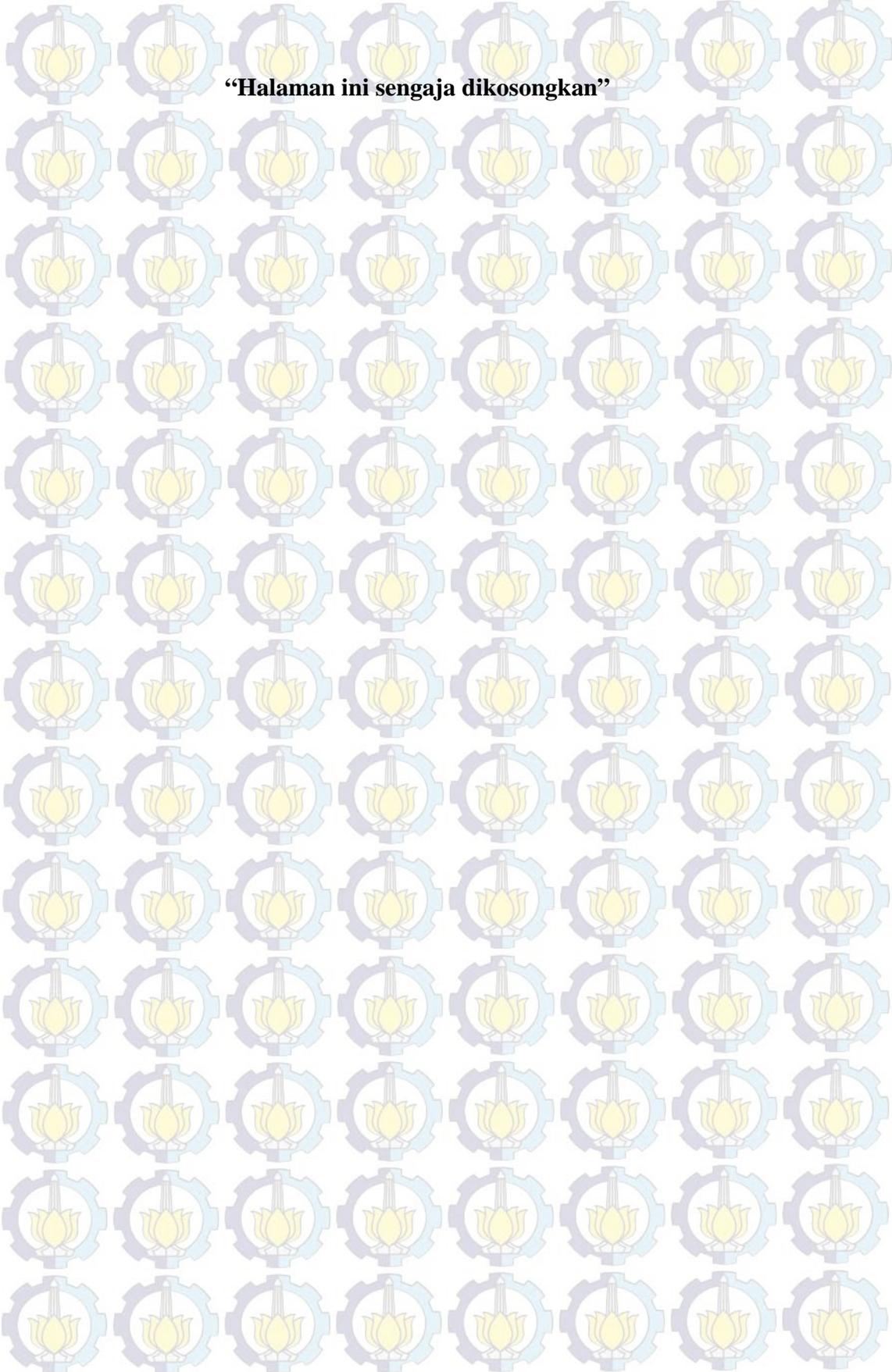
# FABRIKASI DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA KARBON DENGAN METODE *FREEZING THAWING* UNTUK SISTEM DESALINASI LARUTAN NaCl, MgCl dan KCl BERBASIS *CAPACITIVE DEIONIZATION*

Nama mahasiswa : Intan Permata Sari  
NRP : 1113201008  
Pembimbing : Endarko, M.Si, Ph.D

## ABSTRAK

Telah berhasil difabrikasi dan dikarakterisasi elektroda karbon untuk sistem *Capacitive Deionization* (CDI). Elektroda karbon terbuat dari karbon aktif, karbon aktif modifikasi dan polimer sebagai binder menggunakan metode *freezing thawing*. Penelitian ini bertujuan membuat dan mengukur performa elektroda karbon menggunakan binder PVA dan karbon aktif dengan variasi 3, 4, dan 5 *cycle* (1 *cycle* = 12 jam *freezing* dan 12 jam *thawing*) serta binder PVA dan karbon aktif modifikasi 4 *cycle* dalam sistem desalinasi CDI. Hasil pengujian FT-IR menunjukkan bertambahnya gugus yang mengandung oksigen pada karbon aktif modifikasi. Pengamatan morfologi menggunakan SEM-EDX dapat merekam hilangnya pengotor dan peningkatan kandungan oksigen sebesar 25% pada karbon aktif modifikasi. Pengukuran nilai kapasitansi dengan *Cyclic Voltametry* (CV) pada *sweep rate* 10 mV/s pada siklus ke-10 menghasilkan berturut turut yaitu 3.06, 9.10 dan 0.52 F/g pada tipe 3, 4 dan 5 *cycle* dan 2.54 F/g pada tipe modif 4 *cycle*. Sedangkan pada pengujian EIS diperoleh nilai spesifik kapasitansi sebesar 13.5 F/g pada elektroda tipe 4 *cycle*. Sistem CDI menggunakan elektroda karbon, karbon aktif modifikasi dan binder PVA mampu mengurangi kadar garam NaCl berturut-turut sebesar 49.1%, 54.3% dan 41.3 % pada elektroda tipe 3, 4 dan 5 *cycle* serta 51.9% pada tipe modif 4 *cycle*. Untuk garam MgCl berturut-turut sebesar 40.4%, 53.4% dan 38.7% pada elektroda tipe 3, 4 dan 5 *cycle* dan untuk garam KCl berturut-turut sebesar 56.4%, 64,1% dan 61,4% pada elektroda tipe 3, 4 dan 5 *cycle*. Penambahan *membrane ion exchange* dapat menambah efisiensi desalinasi dengan mengurangi kadar garam NaCl sebesar 66.36% yang berarti efisiensi desalinasi bertambah sebesar 12%. Penambahan jumlah cell CDI dapat digunakan untuk proses desalinasi dengan kadar garam lebih besar, penggunaan 10 cell CDI mampu mengurangi kadar garam 73.5% pada konsentrasi larutan 320  $\mu\text{s/cm}$ .

**Kata kunci :** *capacitive deionization* (CDI), desalinasi, elektroda karbon, *Polyvinyl Alcohol*, *Freezing Thawing* .



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

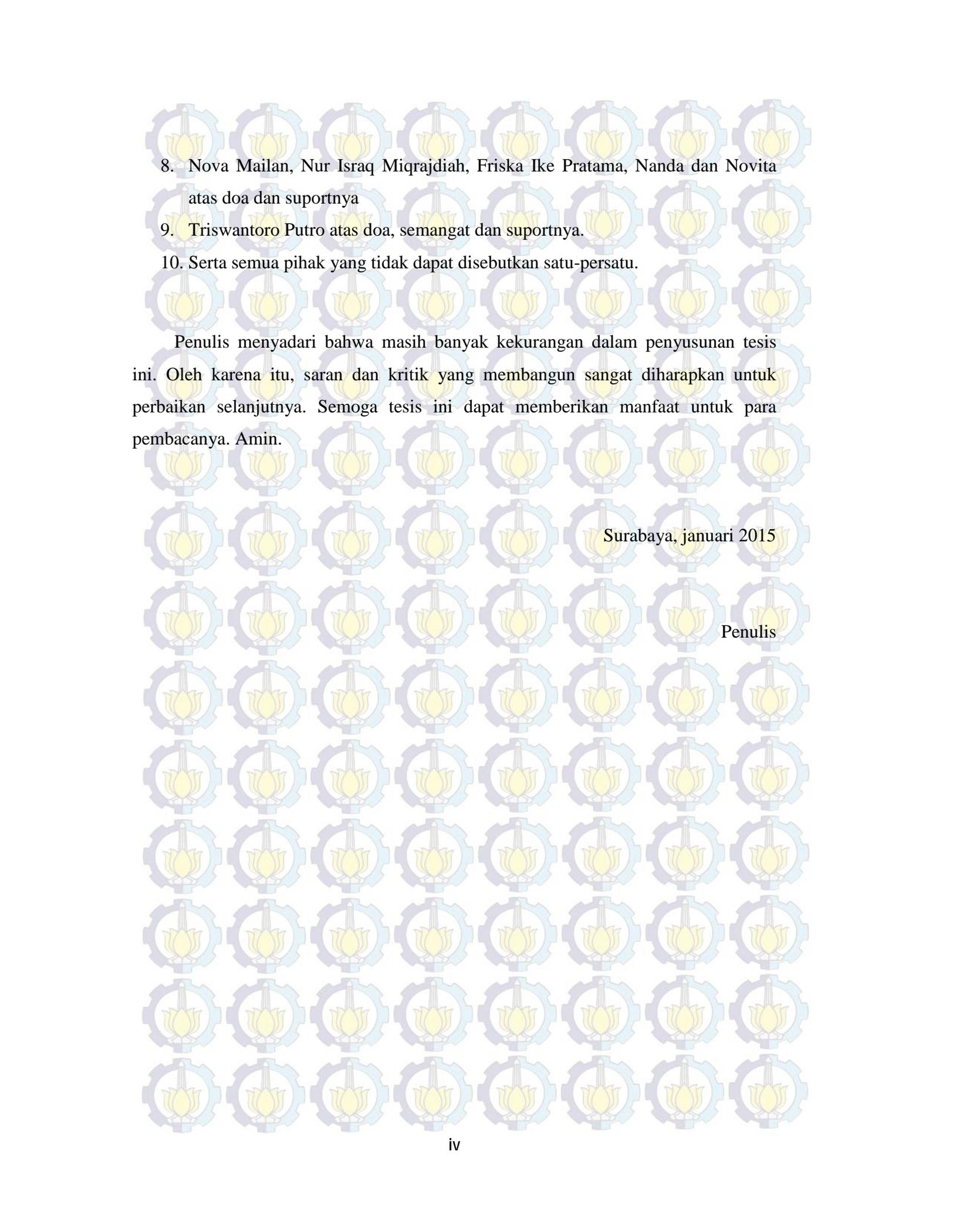
## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Hidayah-Nya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW. Hanya dengan bimbingan dan karunia-Nya, penulis mampu menyelesaikan tesis yang berjudul:

### **FABRIKASI DAN KARAKTERISASI ELEKTRODA KARBON DENGAN METODE *FREEZING THAWING* UNTUK SISTEM DESALINASI LARUTAN NaCl, MgCl dan KCl BERBASIS *CAPACITIVE DEIONIZATION***

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Ayah, adik, kakak, nenek dan kakek serta seluruh keluarga yang telah memberikan motivasi dan doa.
2. Bapak Endarko, M.Si., Ph. D selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan motivasinya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Eddy Yahya, M.Sc selaku ketua Prodi Pascasarjana Fisika FMIPA ITS sekaligus dosen penguji.
4. Bapak Dr Bintoro Anang Subagyo M.si selaku dosen penguji.
5. Seluruh dosen dan civitas akademika jurusan Fisika ITS atas ilmu yang telah diberikan selama ini. Semoga bisa menjadi ilmu yang bermanfaat.
6. Teman – teman seperjuangan Siti Dyah Ayu, Heri Indria, Khoirun Nisa, Susi Anggraini, Indrawati Wilujeng dan Pelangi Eka Y atas doa dan suportnya.
7. Khoirul Ahmadi, Oktavianus, Umi Nuraini, Zuffa Anisa, Risqa Damayanti dan semua teman Lab Instrumentasi, Material dan Optik atas doa, bantuan dan kebersamaan di Lab. Instrumentasi.



8. Nova Mailan, Nur Israq Miqrajdiah, Friska Ike Pratama, Nanda dan Novita

atas doa dan suportnya

9. Triswanto Putro atas doa, semangat dan suportnya.

10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat untuk para pembacanya. Amin.

Surabaya, januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman

**HALAMAN JUDUL**

**HALAMAN JUDUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

i

**KATA PENGANTAR**

iii

**ABSTRAK**

v

**ABSTRACT**

vii

**DAFTAR ISI**

ix

**DAFTAR GAMBAR**

xiii

**DAFTAR TABEL**

xv

**DAFTAR LAMPIRAN**

xvii

**BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang

1

1.2 Perumusan Masalah

2

1.3 Tujuan Penelitian

3

1.4 Manfaat Penelitian

3

**BAB II KAJIAN PUSTAKA**

2.1 Karbon Aktif

5

2.2 Modifikasi Karbon Aktif

5

2.3 *Polyvinil Alcohol (PVA)*

6

2.4 *Capasitive Deinozation (CDI)*

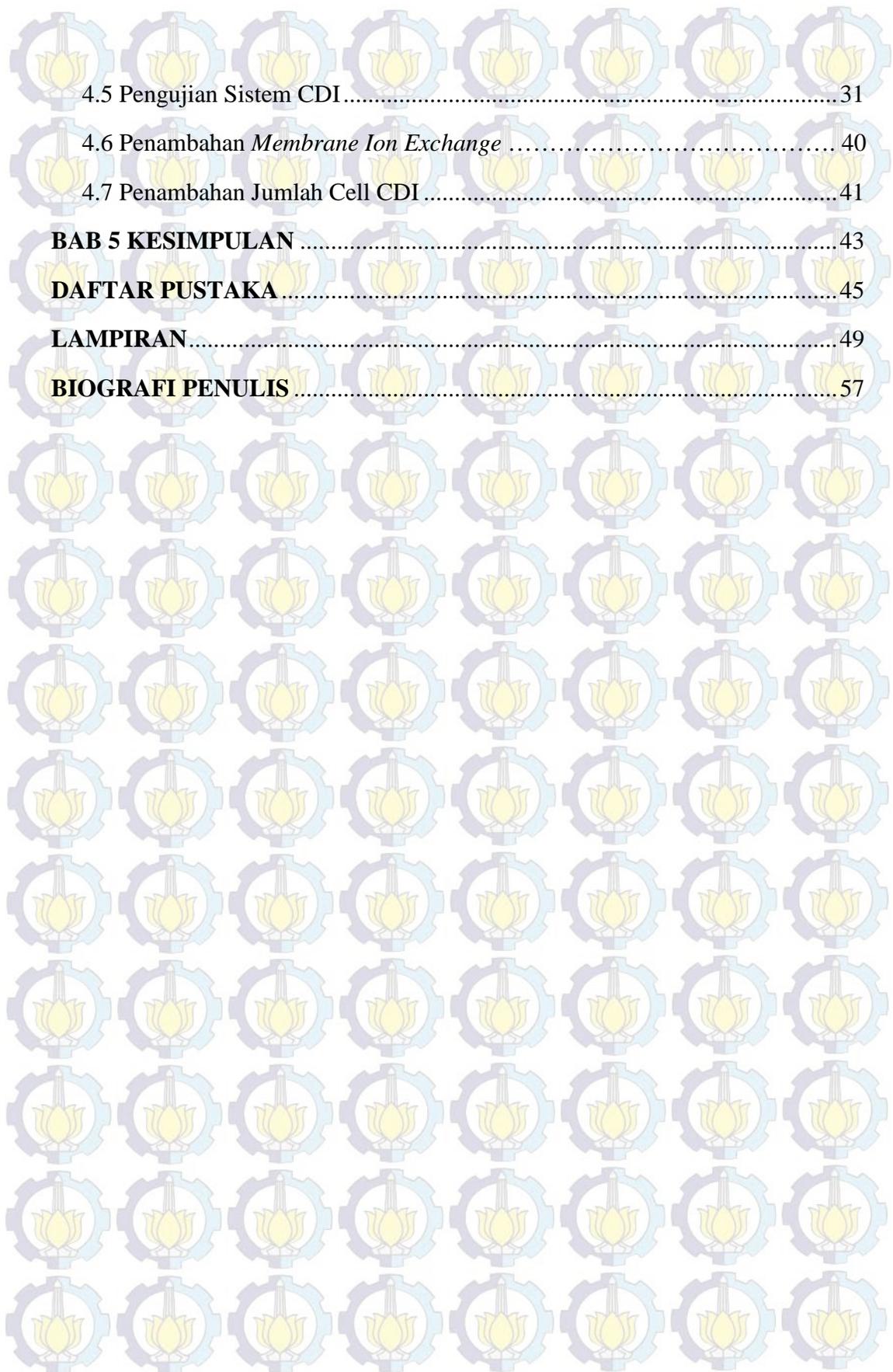
7

2.5 *Membrane Capasitive Deinozation (MCDI)*

8

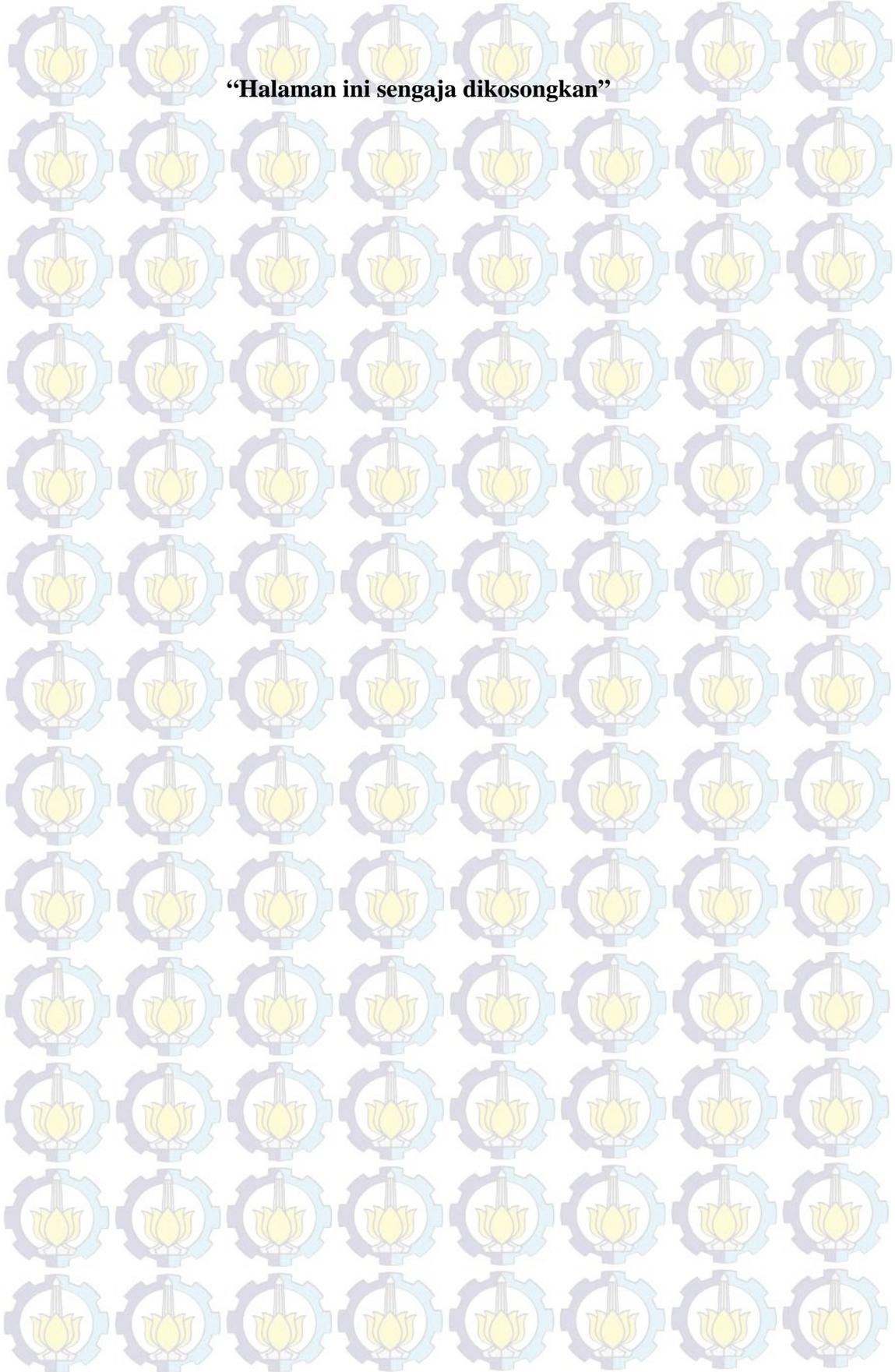
2.6 Pengujian Elektroda

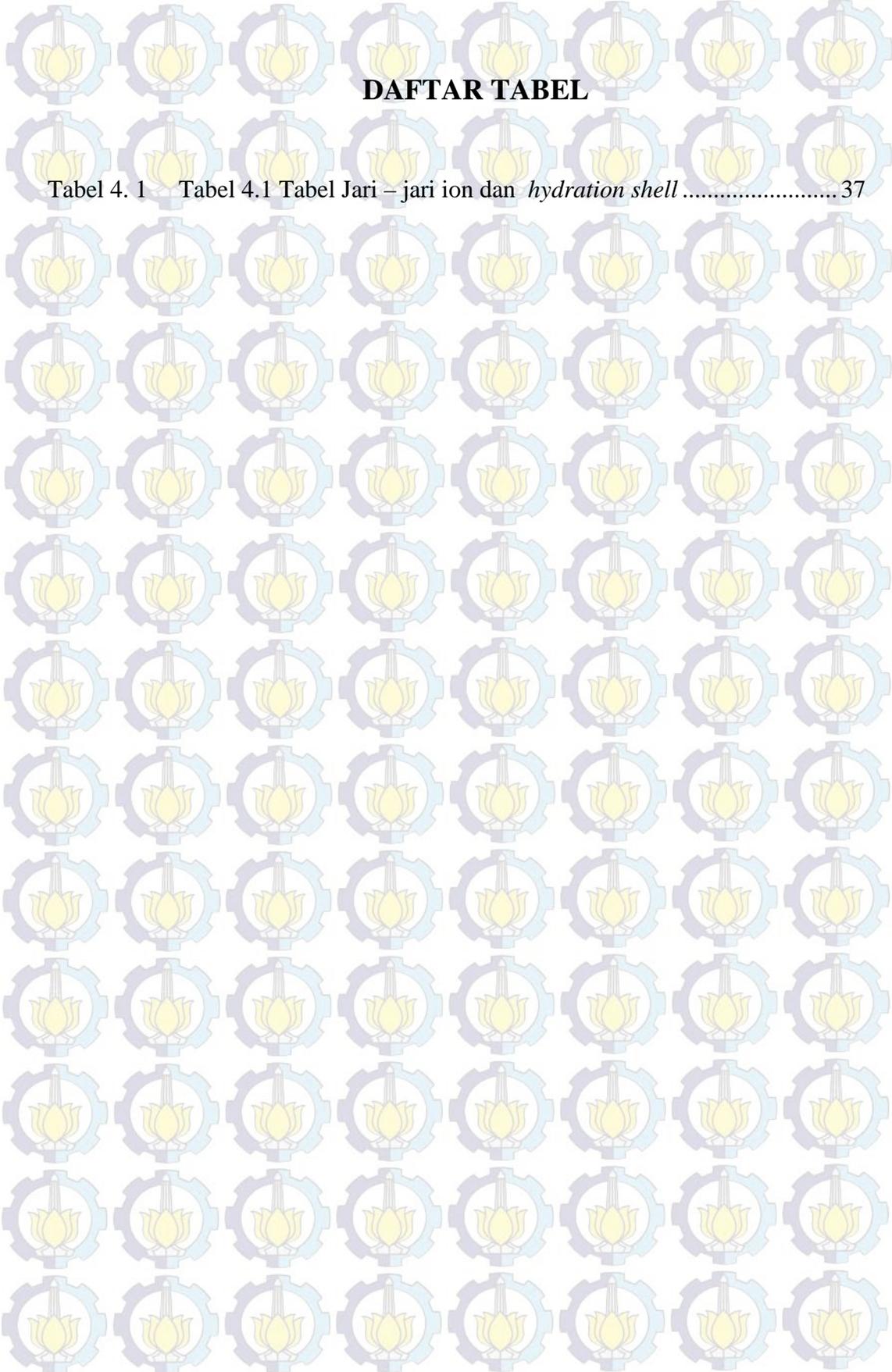
2.6.1 Scanning Elektron Microscope (SEM).....	9
2.6.2 Cyclic Voltametri (CV) and Electrical Impedance spectroscopy (EIS).....	10
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tahapan Penelitian .....	13
3.2 Peralatan dan Bahan	
3.2.1 Peralatan .....	13
3.2.2 Bahan .....	14
3.3 Prosedur Kerja	
3.3.1 Pembuatan Elektroda <i>Capacitive Deionisation</i> .....	14
3.3.2 Pengujian Elektroda <i>Capacitive Deionization</i> .....	16
3.3.3 Perancangan Sistem <i>Capacitive Deionization</i> .....	16
3.3.4 Pengujian Sistem Desalinasi <i>Capacitive Deionization</i> .....	17
3.3.5 <i>Membrane Ion Exchange</i> pada <i>Capacitive Deionisation</i> .....	18
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pembuatan Elektroda Karbon .....	19
4.2 Pengujian Karbon Aktif .....	22
4.3 Pengujian Elektroda Karbon .....	24
4.3.1 Analisis Morfologi Elektroda .....	24
4.3.2 Analisis Elektrokimia .....	27
4.3.2.1 Pengujian Cyclic Voltametri (CV) .....	27
4.3.2.2 Pengujian <i>Electrical Impedance Spectroscopy</i> (EIS).....	29
4.4 Perancangan dan Pembuatan Sistem Desalinasi .....	30



4.5 Pengujian Sistem CDI.....	31
4.6 Penambahan <i>Membrane Ion Exchange</i> .....	40
4.7 Penambahan Jumlah Cell CDI.....	41
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45
<b>LAMPIRAN</b> .....	49
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	57

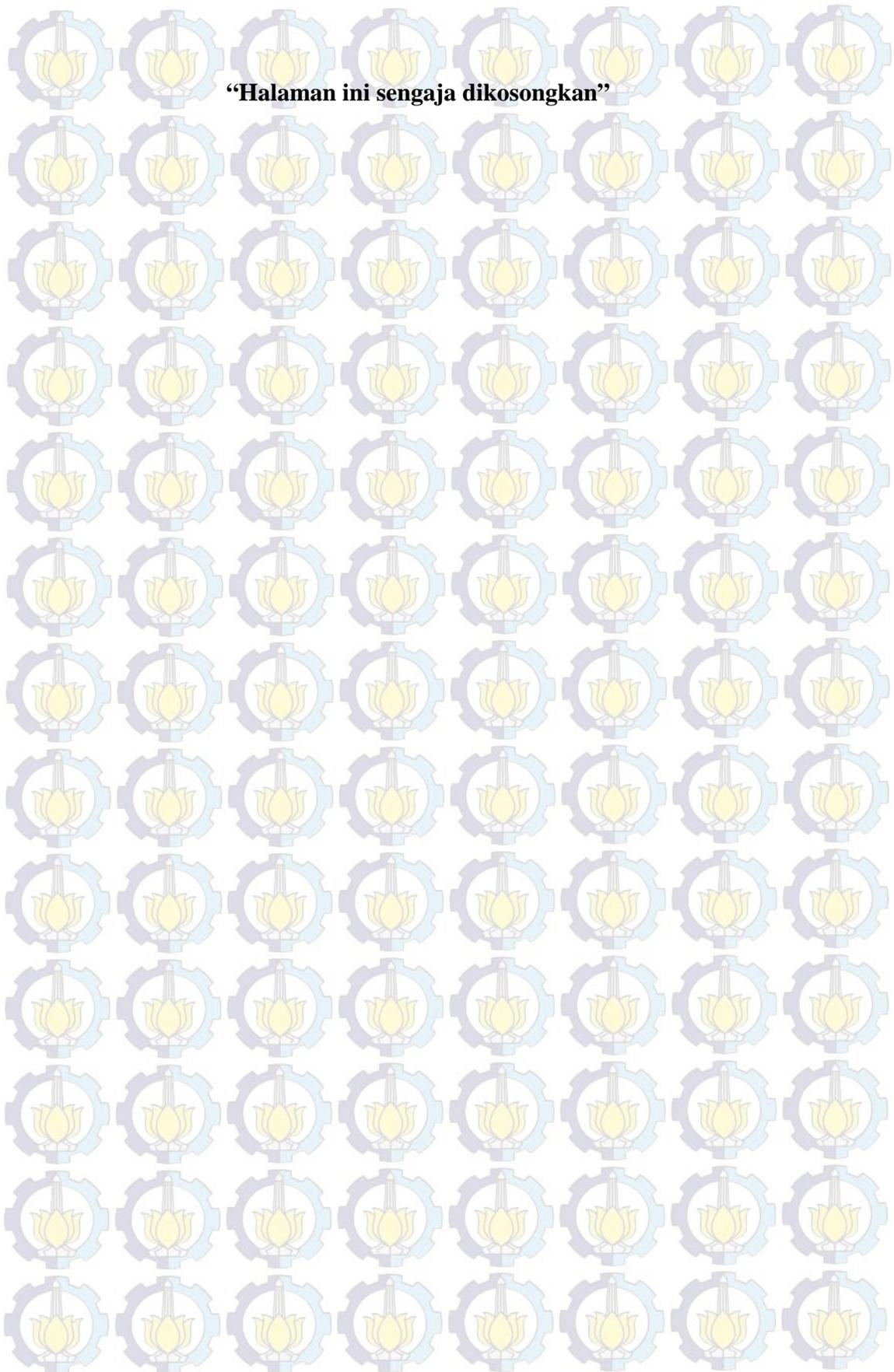
**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



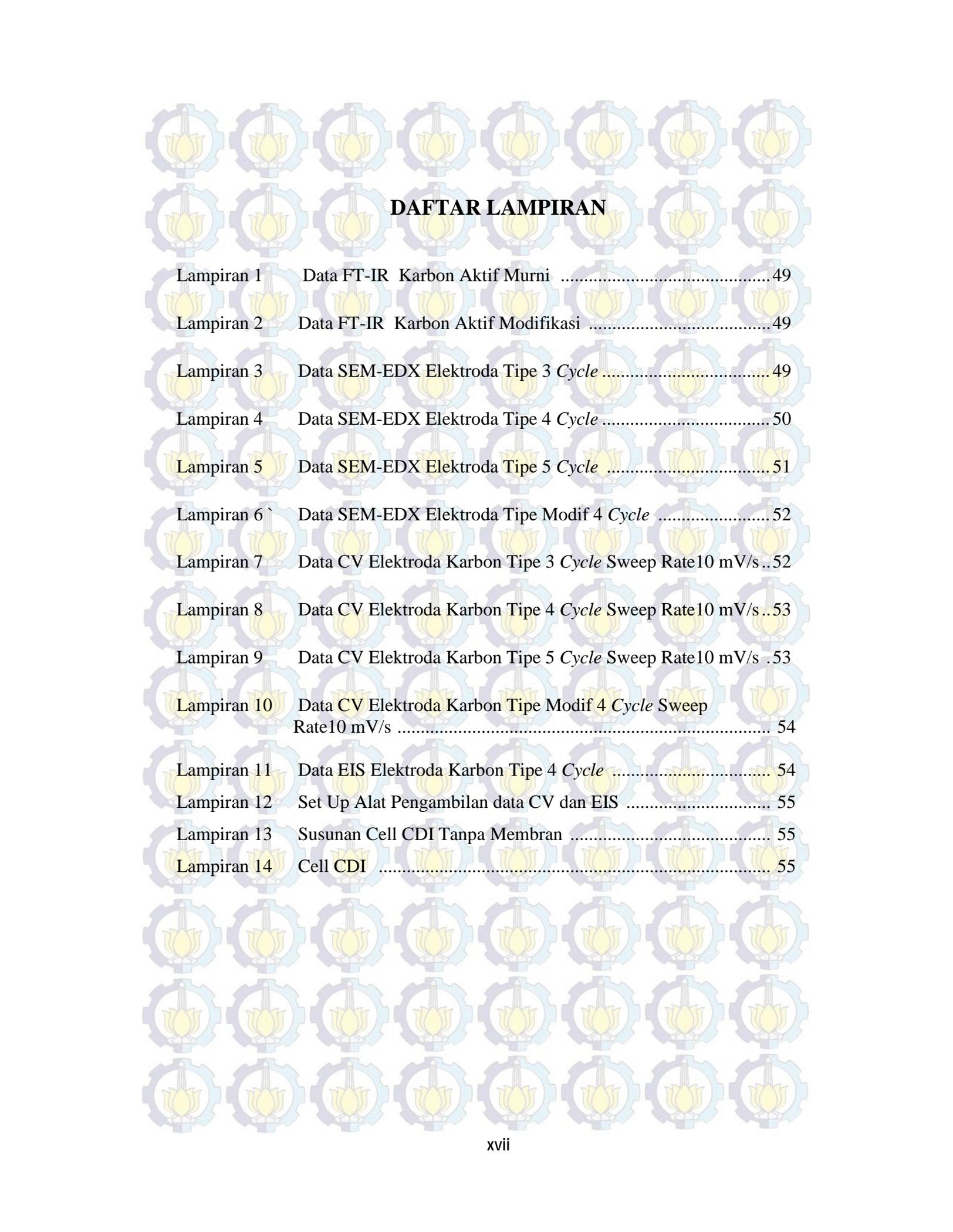


## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel 4.1 Tabel Jari – jari ion dan <i>hydration shell</i> .....	37
-----------	--	----

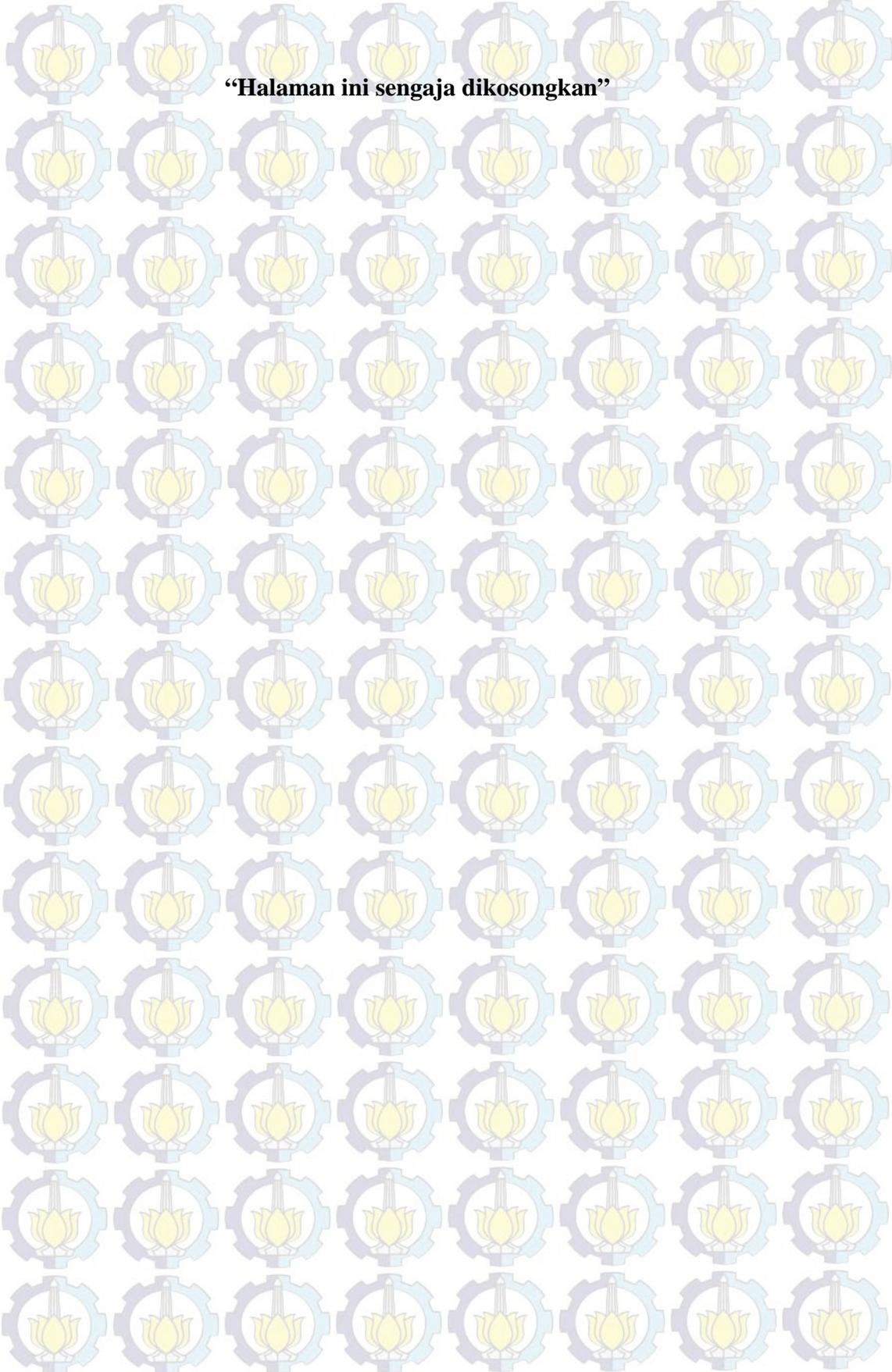


**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data FT-IR Karbon Aktif Murni .....	49
Lampiran 2	Data FT-IR Karbon Aktif Modifikasi .....	49
Lampiran 3	Data SEM-EDX Elektroda Tipe 3 <i>Cycle</i> .....	49
Lampiran 4	Data SEM-EDX Elektroda Tipe 4 <i>Cycle</i> .....	50
Lampiran 5	Data SEM-EDX Elektroda Tipe 5 <i>Cycle</i> .....	51
Lampiran 6`	Data SEM-EDX Elektroda Tipe Modif 4 <i>Cycle</i> .....	52
Lampiran 7	Data CV Elektroda Karbon Tipe 3 <i>Cycle</i> Sweep Rate 10 mV/s ..	52
Lampiran 8	Data CV Elektroda Karbon Tipe 4 <i>Cycle</i> Sweep Rate 10 mV/s ..	53
Lampiran 9	Data CV Elektroda Karbon Tipe 5 <i>Cycle</i> Sweep Rate 10 mV/s ..	53
Lampiran 10	Data CV Elektroda Karbon Tipe Modif 4 <i>Cycle</i> Sweep Rate 10 mV/s .....	54
Lampiran 11	Data EIS Elektroda Karbon Tipe 4 <i>Cycle</i> .....	54
Lampiran 12	Set Up Alat Pengambilan data CV dan EIS .....	55
Lampiran 13	Susunan Cell CDI Tanpa Membran .....	55
Lampiran 14	Cell CDI .....	55



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Kerja CDI.....	7
Gambar 2.2	Diagram skematik (a) CDI dan MCDI (b) Prinsip Kerja CDI dan MCDI (Li and Zou, 2011) .....	9
Gambar 3.1	Skema Tahapan Penelitian.....	13
Gambar 3.1	Skema Tahapan Modifikasi Karbon Aktif.....	15
Gambar 3.3	Skema Tahapan Pembuatan Elektroda .....	15
Gambar 3.4	Susunan Cell <i>Capacitive Deionization</i> .....	16
Gambar 3.5	Sistem Desalinasi <i>Capacitive Deionization</i> .....	17
Gambar 4.1	Tahapan Pembuatan Elektroda (a) Pemanasan 100mL air aquades hingga suhu 100°C (b) Penimbangan PVA sebanyak 1 gr (c) Pencampuran PVA dengan Aquades yang telah dipanaskan selama 1 jam (d) Penimbangan karbon aktif sebanyak 20 gr (e) Pencampuran karbon aktif dan larutan PVA selama 20 menit (f) Pencetakan elektroda pada 10 lembar <i>graphite sheet</i> (g) Proses <i>Freezing</i> selama 12 jam (h) Proses <i>Thawing</i> selama 12 jam	20
Gambar 4.2	Hasil Fabrikasi elektroda karbon .....	20
Gambar 4.3	Tahapan Modifikasi Karbon Aktif (a) menyiapkan 100ml HNO <sub>3</sub> (b) penimbangan 10 gr karbon aktif (c) pencampuran larutan dengan karbon aktif selama 4jam pada suhu 90°C (d) filtrasi karbon aktif dengan aquades hingga PH normal (e) pengeringan karbon aktif dengan <i>furnace</i> pada suhu 60°C (f) karbon aktif modifikasi... ..	22
Gambar 4.4	Hasil Uji FTIR Karbon Aktif (KA = Karbon Aktif, KAM = Karbon Aktif Modifikasi).....	23
Gambar 4.5	Hasil Uji SEM Elektroda Karbon (a) 3cycle (b) 4 cycle (c) 5cycle (d) Modif 4 cycle .....	25
Gambar 4.6	Komposisi elektroda karbon dengan variasi 3, 4, 5 dan modif 4 cycle .....	26
Gambar 4.7	Hasil Uji <i>Voltametry Cyclic</i> .....	28
Gambar 4.8	Hasil Uji <i>Electrical Impedance Spectroscopy</i> .....	29
Gambar 4.9	(a) Penyusunan Cell CDI (b) 4 Cell CDI yang telah dibuat...	30
Gambar 4.10	Penyusunan Sistem CDI .....	31
Gambar 4.11	Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl .....	32

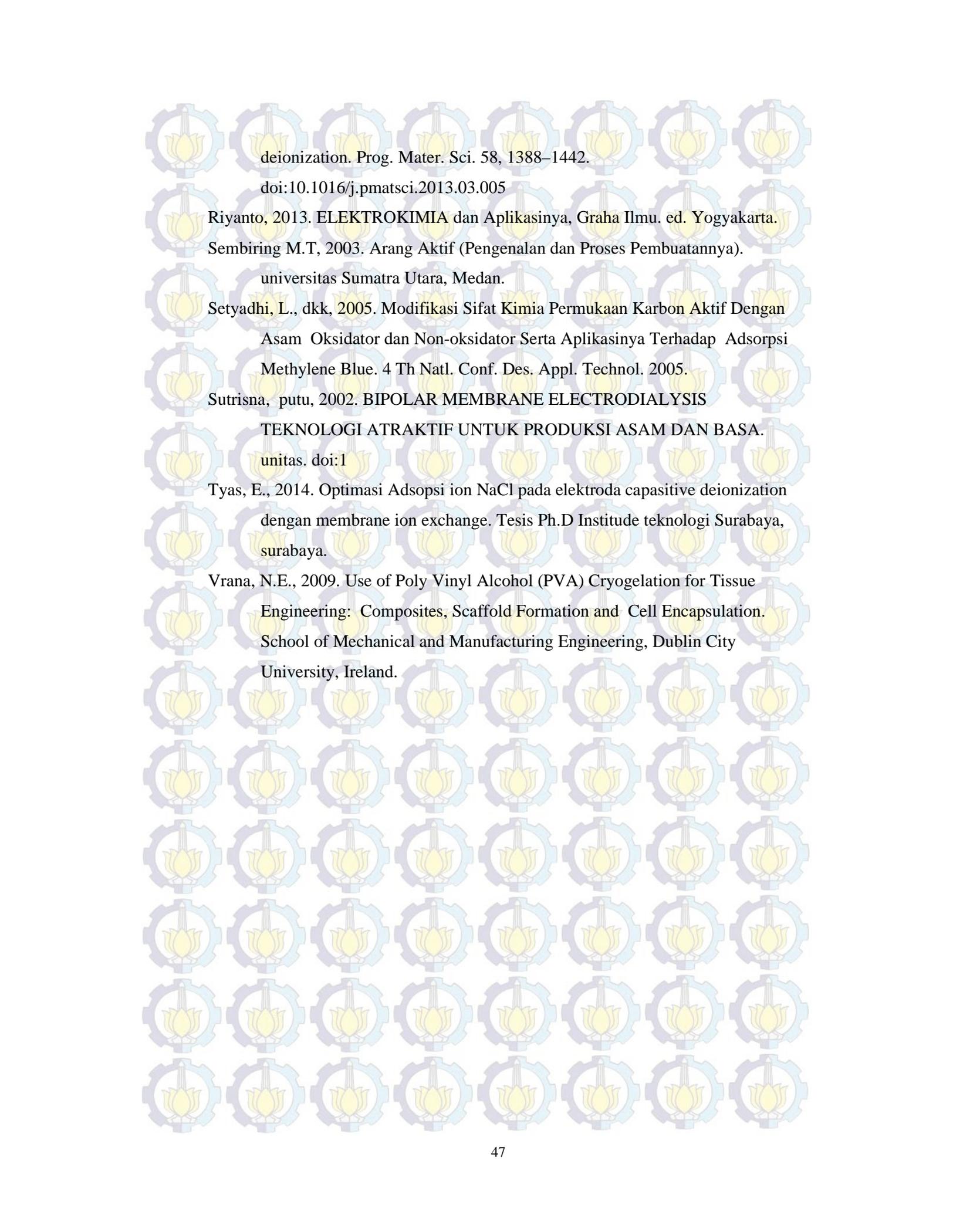


Gambar 4.12	Hasil Desalinasi Larutan Garam MgCl .....	34
Gambar 4.13	Hasil Desalinasi Larutan Garam KCl .....	35
Gambar 4.14	Hasil Desalinasi Elektroda 4 <i>Cylce</i> .....	36
Gambar 4.15	Hasil Desalinasi Elektroda 4 dan modif 4 <i>cycle</i> .....	38
Gambar 4.16	Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl dengan Variasi Penggunaan Membran.....	40
Gambar 4.17	Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl 10 Cell CDI.....	41

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M.A., Cudero, A.L., Palma, J., (2010). Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices. *Electrochimica Acta* 55, 3845–3856. doi:10.1016/j.electacta.2010.02.012
- Chang, L.M., Duan, X.Y., Liu, W., (2011). Preparation and electrosorption desalination performance of activated carbon electrode with titania. *Desalination* 270, 285–290. doi:10.1016/j.desal.2011.01.008
- Gilar S, yulianto, R., 2013. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang TempurungKelapa Dengan Aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.* 2, 2301–9721.
- Gileadi, E., 2011. *Physical Electrochemistry Fundamental, Techniques and Application*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, israel.
- Gokce, Y., Aktas, Z., 2014. Nitric acid modification of activated carbon produced from waste tea and adsorption of methylene blue and phenol. *Appl. Surf. Sci.* 313, 352–359. doi:10.1016/j.apsusc.2014.05.214
- Hou, C.-H., Liu, N.-L., Hsu, H.-L., Den, W., 2014. Development of multi-walled carbon nanotube/poly(vinyl alcohol) composite as electrode for capacitive deionization. *Sep. Purif. Technol.* 130, 7–14. doi:10.1016/j.seppur.2014.04.004
- Huang, W., Zhang, Y., Bao, S., Cruz, R., Song, S., 2014. Desalination by capacitive deionization process using nitric acid-modified activated carbon as the electrodes. *Desalination* 340, 67–72. doi:10.1016/j.desal.2014.02.012
- Jia, B., Zou, L., 2012a. Wettability and its influence on graphene nanoheets as electrode material for capacitive deionization. *Chem. Phys. Lett.* 548, 23–28. doi:10.1016/j.cplett.2012.06.016

- Jia, B., Zou, L., 2012b. Graphene nanosheets reduced by a multi-step process as high-performance electrode material for capacitive deionisation. *Carbon* 50, 2315–2321. doi:10.1016/j.carbon.2012.01.051
- Kim, J.-S., Choi, J.-H., 2010. Fabrication and characterization of a carbon electrode coated with cation-exchange polymer for the membrane capacitive deionization applications. *J. Membr. Sci.* 355, 85–90. doi:10.1016/j.memsci.2010.03.010
- Kim, S.-J., Choi, J.-H., Kim, J.-H., 2012. Removal of acetic acid and sulfuric acid from biomass hydrolyzate using a lime addition–capacitive deionization (CDI) hybrid process. *Process Biochem.* 47, 2051–2057. doi:10.1016/j.procbio.2012.07.020
- Lee, J.-H., Choi, J.-H., 2012. The production of ultrapure water by membrane capacitive deionization (MCDI) technology. *J. Membr. Sci.* 409–410, 251–256. doi:10.1016/j.memsci.2012.03.064
- Li Haibo, 2010. Using grapheme nano-flakes as electrodes to remove ferric ion by capasitive deionization. *Separation and purification technology* 75, 8–14.
- Marcus, Y., 1994. A simple empirical model describing the thermodynamics of hydration of ions of widely varying charges, sizes, and shapes. *Biophys. Chem.* 51, 111–127. doi:10.1016/0301-4622(94)00051-4
- Maun, S., 2010. *Dasar - Dasar kimia Organik*, syarifudin S.T. ed. Binarupa Aksara, Tangerang.
- Oren, Y., 2008. Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment — past, present and future (a review). *Desalination* 228, 10–29. doi:10.1016/j.desal.2007.08.005
- Park, B.-H., Kim, Y.-J., Park, J.-S., Choi, J., 2011. Capacitive deionization using a carbon electrode prepared with water-soluble poly(vinyl alcohol) binder. *J. Ind. Eng. Chem.* 17, 717–722. doi:10.1016/j.jiec.2011.05.015
- Pekala, R.W., Farmer, J.C., Alviso, C.T., Tran, T.D., Mayer, S.T., Miller, J.M., Dunn, B., 1998. Carbon aerogels for electrochemical applications. *J. Non-Cryst. Solids* 225, 74–80. doi:10.1016/S0022-3093(98)00011-8
- Porada, S., Zhao, R., van der Wal, A., Presser, V., Biesheuvel, P.M., 2013. Review on the science and technology of water desalination by capacitive



deionization. Prog. Mater. Sci. 58, 1388–1442.

doi:10.1016/j.pmatsci.2013.03.005

Riyanto, 2013. ELEKTROKIMIA dan Aplikasinya, Graha Ilmu. ed. Yogyakarta.

Sembiring M.T, 2003. Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya).

universitas Sumatra Utara, Medan.

Setyadi, L., dkk, 2005. Modifikasi Sifat Kimia Permukaan Karbon Aktif Dengan Asam Oksidator dan Non-oksidator Serta Aplikasinya Terhadap Adsorpsi Methylene Blue. 4 Th Natl. Conf. Des. Appl. Technol. 2005.

Sutrisna, putu, 2002. BIPOLAR MEMBRANE ELECTRODIALYSIS

TEKNOLOGI ATRAKTIF UNTUK PRODUKSI ASAM DAN BASA.

unitas. doi:1

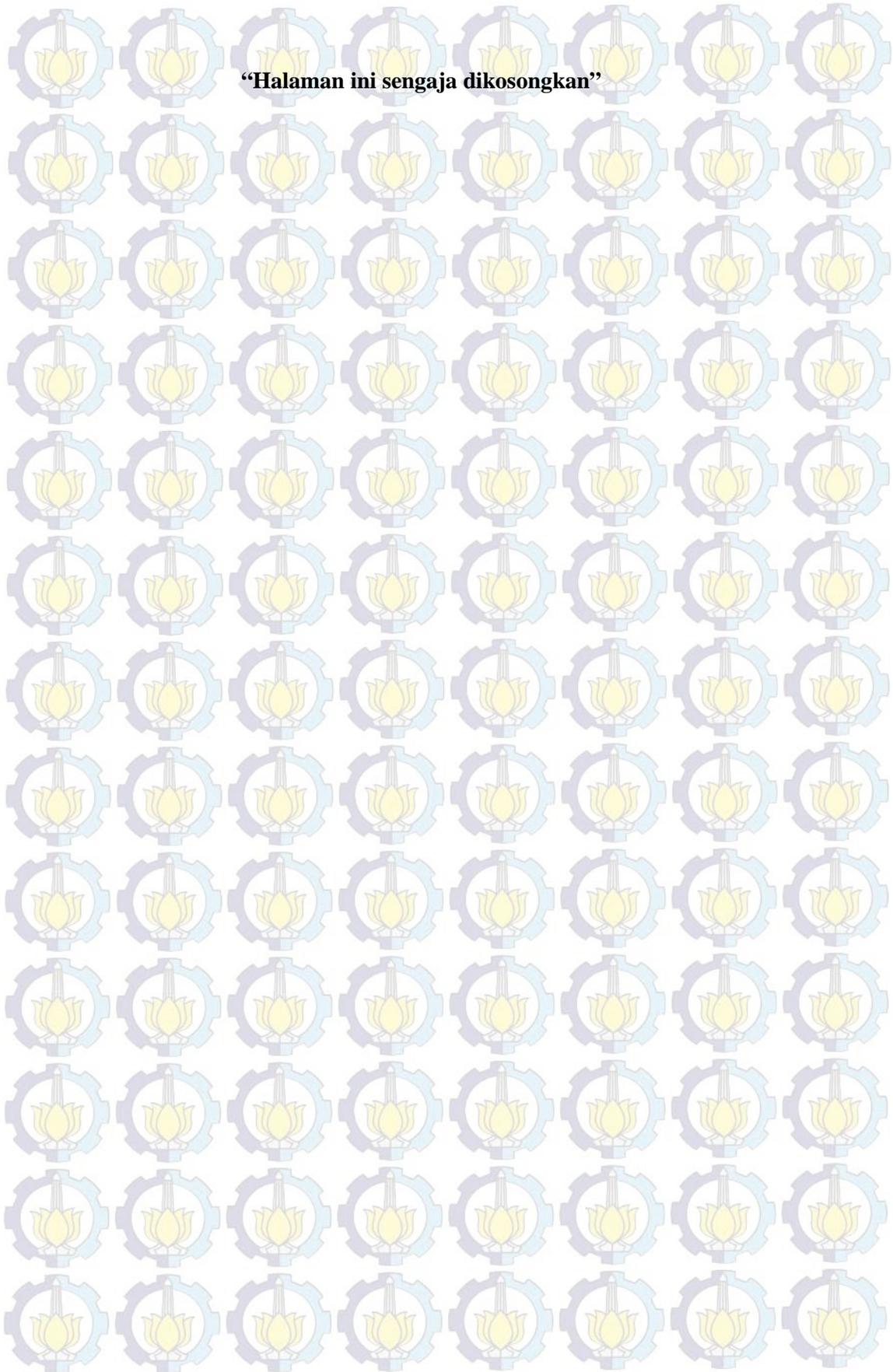
Tyas, E., 2014. Optimasi Adsorpsi ion NaCl pada elektroda capacitive deionization dengan membrane ion exchange. Tesis Ph.D Institute teknologi Surabaya, surabaya.

Vrana, N.E., 2009. Use of Poly Vinyl Alcohol (PVA) Cryogelation for Tissue Engineering: Composites, Scaffold Formation and Cell Encapsulation.

School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin City

University, Ireland.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BIOGRAFI PENULIS



Intan Permata Sari lahir di Malang, 29 September 1990, adalah anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Jendral Sudirman, SLTPN 2 Malang SMAN 2 Malang dan S1 Jurusan Fisika FMIPA UM Malang. Penulis diterima di Jurusan Fisika UM Malang pada tahun 2008 melalui jalur PMDK. Bidang minat yang ditekuni oleh penulis selama kuliah adalah bidang Fisika Instrumentasi.

Penulis mengambil S2 pada jurusan dan bidang minat yang sama di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013. Selama kuliah, penulis sempat aktif mengikuti seminar dan publikasi ilmiah. Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait topik tesis ini dapat menghubungi penulis melalui: [intan.permata13@physics.its.ac.id](mailto:intan.permata13@physics.its.ac.id).

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan di dunia. Kekeringan yang sering melanda beberapa wilayah Indonesia akibat musim kemarau membuat ketersediaan air bersih semakin berkurang. Pemurnian air garam dan air payau menjadi air bersih merupakan salah satu solusi yang dapat dilaksanakan untuk mengatasi keterbatasan air bersih. Beberapa tahun ini berbagai teknologi dikembangkan untuk menciptakan air garam menjadi air tawar dalam jumlah yang besar, seperti *electrodialysis (ED)*, *reverse osmosis (RO)*, *Multi-stage flash evaporation (MSF)*, *vapor compression distillation (VCD)*. Metode ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan energi yang besar dan biaya operasi yang tinggi (Anderson et al., 2010)

Teknologi alternatif yang dapat digunakan dalam pemurnian air garam dan air payau adalah menggunakan metode *Capasitive deionization (CDI)*. Metode CDI dikenal sebagai metode yang hemat energi karena menggunakan sumber tegangan kecil serta ramah lingkungan (Pekala et al., 1998). Studi awal tentang teknologi ini dimulai oleh Caudle et.al pada pertengahan tahun 1960-an sampai awal tahun 1970 yang menggunakan elektroda karbon berpori (serbuk karbon aktif) yang dialiri arus untuk desalinasi air (Oren, 2008).

Teknologi CDI ini memanfaatkan prinsip dasar kapasitor untuk menghilangkan ion terlarut. Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda karbon, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif (Anderson et al., 2010). *Capasitive deionization (CDI)* dapat menghapus anion yang tidak teroksidasi dan kation yang tidak direduksi oleh air dengan menggunakan gaya elektrostatis (Lee and Choi, 2012). Karbon aktif dengan binder *Poly(vinyl alkohol) (PVA)* merupakan salah satu komposisi yang dipilih dalam pembuatan elektroda, karena karbon aktif memiliki daya serap yang baik dan PVA merupakan polimer hidrofilik yang dapat digunakan sebagai perekat antar karbon sehingga tidak larut dalam air (Hou et al., 2014). *Hydrogel PVA* dapat dibentuk dari proses *cryogelation* melalui beberapa siklus pembekuan dan

pencairan (*freezing-thawing*), gel yang dibentuk dengan metode ini kuat dan tahan lama. Optimasi sistem CDI adalah salah satu parameter terpenting dalam proses desalinasi air garam agar dapat meningkatkan efisiensi energi yang digunakan selama proses berlangsung. Berdasarkan penelitian (Huang et al., 2014) modifikasi karbon aktif menggunakan *nitric acid* dapat meningkatkan adsorpsi air garam dalam proses desalinasi hingga 15% dan mempercepat desorpsi. Selain itu menurut Kim dan Choy pada tahun 2010 (Kim and Choi, 2010) dengan menambahkan membran pada kedua elektroda dapat meningkatkan adsorpsi garam 20 – 56 % dari sistem CDI tanpa membran.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan karakterisasi elektroda pada sistem *capacitive deionization (CDI)* menggunakan metode *freezing thawing* dengan binder PVA dari bahan karbon aktif tempurung kelapa tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi menggunakan *nitric acid*. Pengurangan kadar NaCl, KCl dan MgCl dalam proses desalinasi dihitung berdasarkan turunnya nilai konduktifitas. Kerja CDI ditingkatkan dengan menambahkan *membrane ion exchange*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan beberapa masalah

1. Bagaimana membuat elektroda karbon tanpa modifikasi dan dimodifikasi dengan menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* dengan metode *freezing thawing*?
2. Bagaimanakah bentuk morfologi antara elektroda tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi menggunakan *nitric acid*?
3. Berapakah nilai kapasitansi elektroda karbon tanpa modifikasi dan yang dimodifikasi dengan menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* pada uji elektrokimia?
4. Bagaimanakah performa sistem CDI dengan elektroda karbon karbon dalam mengurangi nilai konduktivitas sampel NaCl, KCl dan MgCl?

5. Bagaimana pengaruh penambahan *membrane ion exchahange* terhadap sistem desalinasi berbasis *capacitive deonization*.

### 1.3 Tujuan Penelitian

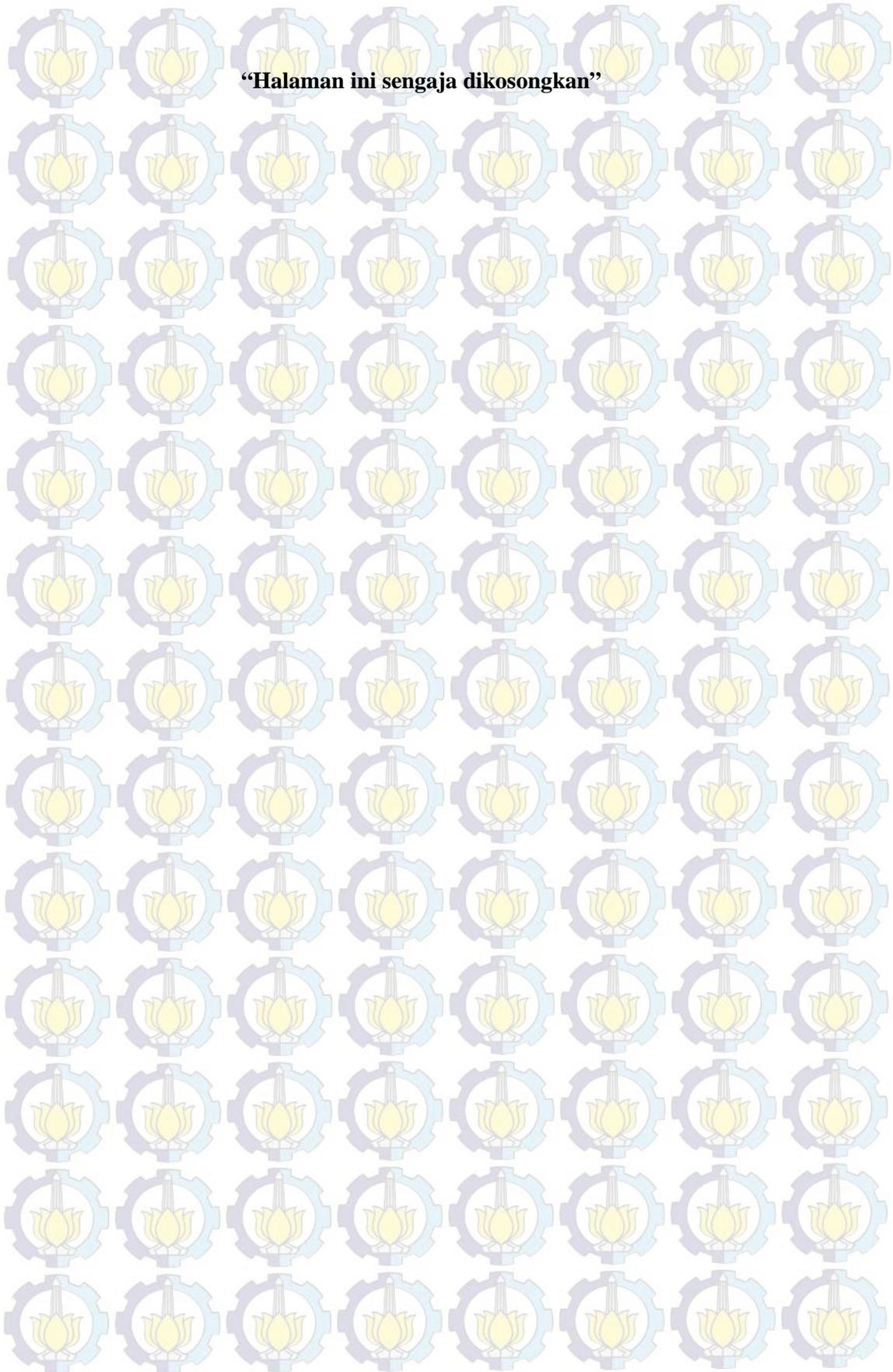
Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Membuat elektroda karbon tanpa modifikasi dan dimodifikasi dengan *nitric acid* dengan menggunakan binder *polyvinyl alcohol*
2. Membandingkan bentuk morfologi permukaan elektroda karbon tanpa modifikasi dan dimodifikasi dengan *nitric acid* dengan menggunakan binder *polyvinyl alcohol* dengan uji SEM EDX.
3. Menghitung nilai kapasitansi elektroda karbon tanpa modifikasi dan dimodifikasi dengan *nitric acid* dengan menggunakan binder *polyvinyl alcohol* melalui uji *Cyclic Voltametry (CV)* serta *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*
4. Menghitung penurunan nilai konduktifitas larutan NaCl, KCl dan MgCl pada sistem CDI.
5. Menambahkan *membrane ion exchahange* pada sistem CDI.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah meningkatkan kinerja CDI sebagai teknologi desalinasi yang hemat energi dan ramah lingkungan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang terdiri dari 87 – 97 persen karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses aktivasi dengan aktivator bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon seperti kayu, tempurung kelapa, limbah batu bara, limbah pengolahan kayu dan limbah pertanian seperti kulit buah kopi, kulit buah coklat, sekam padi, jerami, tongkol dan pelepah jagung (Rumidatul, 2006).

Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 – 3500 m<sup>2</sup>/gram, luas permukaan karbon ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai *adsorben*. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa – senyawa kimia tertentu dalam fase cair maupun gas. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25 – 1000% terhadap berat arang aktif (Sembiring M.T, 2003).

Karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki mikropori yang banyak, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi dan reaktivitas yang tinggi . Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gilar S pada tahun 2003 karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki karakteristik Kadar air 0,382 – 1,619%, maksimum 15% , Kadar abu 2,28 – 7,79%, maksimum 10% , Iodine number 448,02 – 1599,72 mg/g, minimum 200 mg/g *Surface area* 189,630 – 1900,69 m<sup>2</sup>/gram dan dapat mengadsorpsi fenol 99,745% atau kapasitas serapan sebesar 220, mg fenol/gram karbon aktif (Gilar S and yulianto, 2013). Berdasarkan karakteristik tersebut karbon aktif dari tempurung kelapa merupakan salah satu adsorben yang baik.

#### 2.2 Modifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu *adsorben* yang paling banyak digunakan dalam berbagai proses pemisahan. Antara lain pada proses pemurnian

gas, pengolahan limbah cair dan air, penghilangan polutan organik, namun karbon aktif biasa memiliki kapasitas yang rendah sehingga daya adsorbennya terhadap ion juga rendah. Hal ini membatasi skala industri untuk menggunakan dalam skala besar (Huang et al., 2014).

Kemampuan *adsorpsi* dari karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh porositas (luas permukaan maupun distribusi ukuran pori), tetapi juga ditentukan oleh gugus – gugus fungsi yang ada pada permukaan suatu karbon aktif. Gugus fungsi pada permukaan karbon aktif tidak hanya dapat diidentifikasi ataupun dihitung secara kuantitas, tetapi gugus fungsi ini juga dapat dimodifikasi. Modifikasi karbon aktif dapat dilakukan secara kimia dengan melarutkan karbon aktif dalam suasana asam atau basa. Penggunaan bahan karbon aktif yang dimodifikasi dengan  $\text{HNO}_3$  dapat meningkatkan efisiensi desalinasi 15% (Huang et al., 2014). Perlakuan modifikasi dengan  $\text{HNO}_3$  dapat meningkatkan jumlah oksigen pada gugus fungsi sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitas secara elektrokimia. Selain itu, peningkatan pada gugus fungsi dapat meningkatkan hidrofisilitas elektroda pada bidang kontak ion elektrolit yang akan bermanfaat untuk *adsorpsi* ion dalam proses CDI (Huang et al., 2014).

### **2.3 Polyvinyl Alcohol (PVA)**

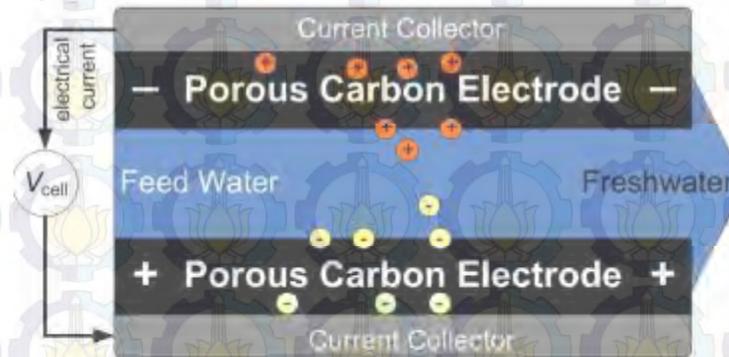
*Polyvinyl Alcohol (PVA)* adalah polimer sintesis yang memiliki afinitas terhadap air atau disebut dengan hidrofilik dan larut dalam air, berasal dari proses hidrolisis *polivinil acetat (PVAc)*. PVA adalah polimer sintesis dengan gugus – OH yang dapat dibentuk menjadi hidrogel dalam kandungan air tinggi dengan beberapa metode seperti *crosslinking* kimiawi (menggunakan *glutaraldehyde*, *succinyl chloride*), *freeze-thawing*, irradiasi gamma dan fotopolimerisasi (Vrana, 2009).

Hidrogel adalah jaringan terhidrasi dari satu atau lebih polimer yang bercampur satu sama lain dari belitan rantai polimer. *Polyvinyl Alcohol (PVA)* cryogel merupakan hidrogel PVA yang dibentuk dari proses cryogelasi, melalui beberapa siklus pembekuan dan pencairan (*freezing-thawing*). Metode cryogelasi memiliki keuntungan dibandingkan dengan metode kimiawi yaitu tidak ada risiko dari sisa bahan kimia yang mungkin membahayakan biokompatibilitas dari

hidrogel akhirnya dikarenakan kemurnian fisis alaminya. Selain itu, gel yang dibentuk dengan metode ini sangat elastis dan tahan lama. Proses cryogelasi dilakukan dalam 3 -5 cycle (1 cycle = 12 jam freezing dan 12 jam thawing).

#### 2.4 Capacitive Deionization (CDI)

Teknologi *Capacitive Deionization* (CDI) adalah salah satu metode desalinasi dengan mengalirkan air garam melalui celah antara 2 elektroda karbon. Pada prinsipnya CDI terbentuk dari dua elektroda karbon yang dialiri oleh tegangan DC dengan grafit sebagai *current collector* yang menghantarkan elektron keluar dan masuk elektroda seperti pada Gambar 2.1. Ketika tegangan diberikan pada elektroda karbon, senyawa ion seperti natrium, klorida, ammonium dan nitrat tertarik dan terserap ke dalam permukaan elektroda. Ion bermuatan negatif akan tertarik kedalam elektroda positif dan sebaliknya (Porada et al., 2013).



Gambar 2.1 Prinsip Kerja CDI (Porada et al., 2013)

Proses CDI adalah dianggap sebagai proses hemat energi karena beroperasi pada tegangan relatif rendah (sekitar 1,2 - 2 V), dan ramah lingkungan karena proses regenerasi elektroda cukup dengan membalik polaritas elektroda tidak memerlukan bahan kimia tambahan (Pekala et al., 1998). Tanpa adanya kontribusi bahan lain maka kapasitansi dari sistem adalah (Anderson et al., 2010):

$$C = \int \frac{dq}{dV} = I \int \frac{dt}{dV} = \frac{I}{v} \quad (2.1)$$

Dengan:

$q$  = muatan (coulomb)

$V$  = beda potensial (volt)

$t$  = waktu (sekon)

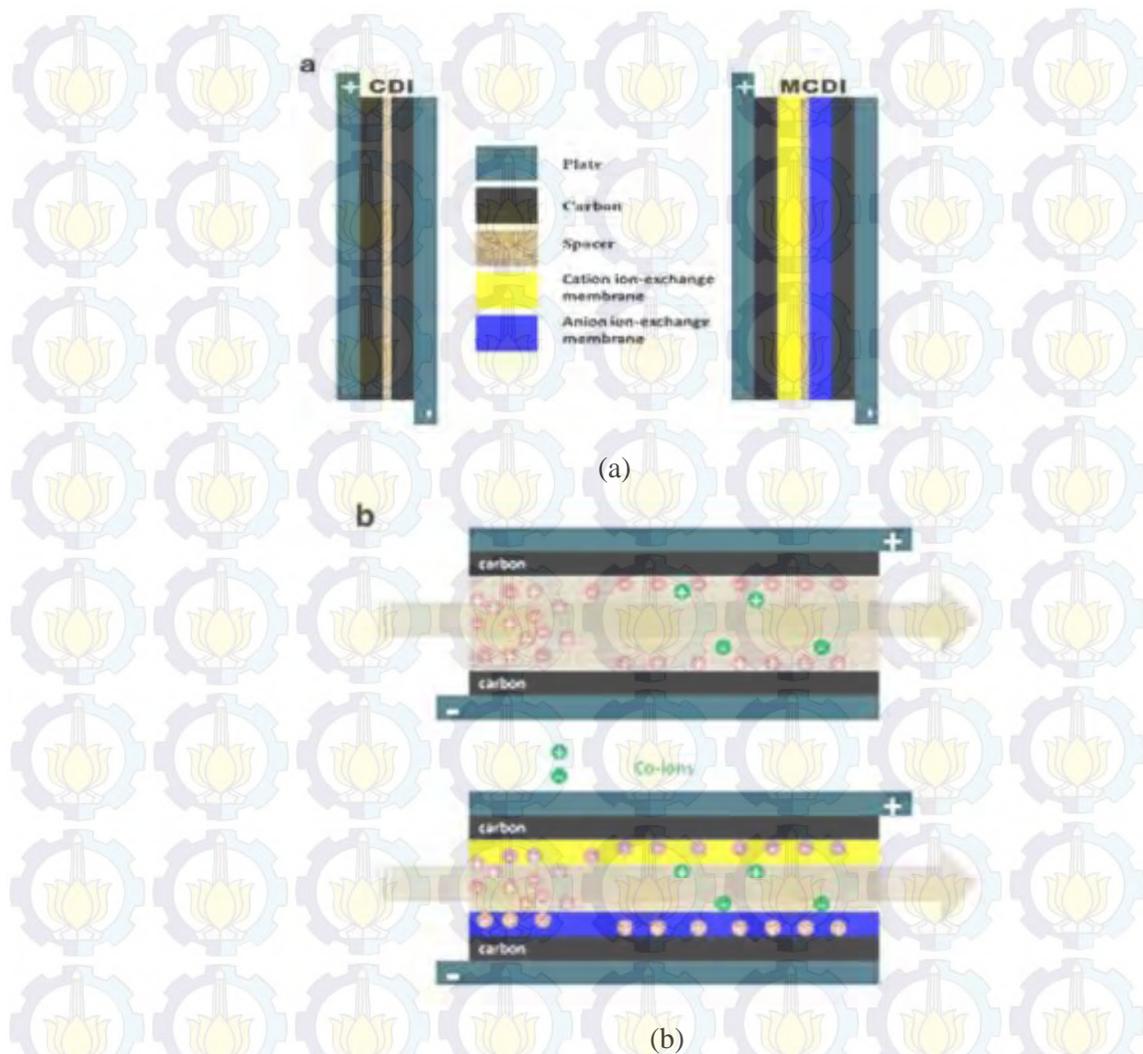
$I$  = kuat arus (Ampere)

$v$  = laju penyapuan (v/s).

### **2.5 Membrane Capacitive Deionization (MCDI)**

Karakteristik fisik dan kimia dari elektroda sistem *capacitive deionization (CDI)* adalah salah satu faktor penting untuk mengetahui kinerja CDI. Optimasi dilakukan untuk meningkatkan efisiensi desalinasi (Lee and Choi, 2012). Salah satu optimasi sistem CDI adalah menggunakan *membrane ion exchange* yang ditempatkan diantara kedua elektroda. Fungsi membran adalah untuk memisahkan ion positif dan negatif. Hasil penelitian Yu-Jin Kim pada tahun 2010 dengan menambahkan *membrane capacitive deionization (MCDI)* yang terbuat dari bahan polimer PVA dan SSA pada elektroda mampu meningkatkan hasil adsorpsi garam 27 – 56% dari CDI tanpa membran (Kim et al., 2012).

Pada sistem MCDI, dengan *membrane ion exchange* ditempatkan di depan elektroda, *kation exchange membrane* diletakkan didepan elektroda negatif dan *anion exchange membrane* diletakkan didepan elektroda positif. co-ion (ion yang bermuatan sama dengan elektroda ) tidak dapat masuk dalam makroporus elektroda sedangkan counter ion (ion yang bermuatan berbeda dengan elektroda) akan tertarik pada bagian makroporus elektroda dan terblok oleh *membrane ion exchange*. Penambahan *membrane ion exchange* membuat counter ion terakumulasi pada daerah diantara elektroda antara makroporus elektroda sehingga konsentrasi ion lebih meningkat pada daerah tersebut daripada daerah spaser (Li and Zou, 2011).



Gambar 2.2 Diagram skematik (a) CDI dan MCDI (b) Prinsip Kerja CDI dan MCDI (Li and Zou, 2011)

## 2.6 PENGUJIAN ELEKTRODA

Untuk mengetahui performa elektroda karbon diperlukan pengujian bentuk morfologi elektroda menggunakan SEM EDX dan sifat- sifat kimia untuk mengetahui nilai kapasitansi serta nilai resistansi elektroda menggunakan *Cyclic Voltametry (CV)* dan *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*.

### 2.6.1 Scanning Elektron Microscopi (SEM)

*Scanning Elektron Microscopi (SEM)* adalah merupakan sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat karakteristik benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk

melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto yang secara umum diperbesar antara 1.000 - 40.000 kali.

Prinsip kerja dari alat ini adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (spesimen) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Scanning pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur scanning generator dan scanning coils. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor SE (Secondary Electron) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT).

#### **2.6.2 Cyclic Voltametry (CV) dan Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)**

Selain analisa morfologi elektroda menggunakan SEM, analisa elektrokimia juga dibutuhkan untuk mengevaluasi sistem kerja elektroda karbon berpori. *Cyclic Voltametry (CV)* adalah salah satu analisa elektrokimia yang dapat mengukur arus sebagai fungsi potensial dari berbagai kecepatan scan. Respon arus diukur dari potensial awal sampai akhir dan kembali ke potensial awal. Dengan demikian arus katodik dan anodic dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat scanning dari arus yang paling besar menuju yang paling kecil dan arus anodik adalah sebaliknya.

Metoda voltametrik siklik menggunakan tiga elektroda yaitu elektroda kerja (*working elektroda*), elektroda pembanding (*reference elektroda*) dan elektroda bantu (*counter elektroda*). Elektroda kerja adalah elektroda yang dianalisis, dimana pada elektroda ini merupakan target tempat merespon analit pada larutan elektrolit yang menyebabkan arus mengalir pada elektroda kerja. Elektroda pembanding terbuat dari logam yang *inert* sehingga memiliki potensial yang konstan pada saat pengukuran serta tidak sensitive pada larutan elektrolit yang digunakan. Elektroda bantu adalah elektroda yang berperan sebagai sumber atau tempat masuknya elektron – elektron sehingga arus dapat dilewatkan melalui

sel. Umumnya elektroda bantu terbuat dari bahan yang inert seperti logam mulia atau karbon dan grafit.

Teknik voltametri siklik menggunakan dua pendekatan yaitu yang pertama scan satu siklik grafik arus dan tegangan direkam, yang kedua teknik dengan banyak scan (lebih dari satu siklik) dan mendapatkan beberapa grafik yang direkam. Perubahan hasil reaksi pada elektroda dari satu siklik ke siklik yang lain digunakan untuk mempelajari kestabilan senyawa dan elektroda (Riyanto, 2013). Adapun cara untuk menghitung spesifik kapasitansi pada beberapa *scan rate* dapat menggunakan rumus matematis (H. Li et al, 2010)

$$C = \frac{(q_a + |q_c|)}{m_c \Delta v_d} \quad (2.2)$$

Dengan :

$C$  = spesifik kapasitansi (F/g)

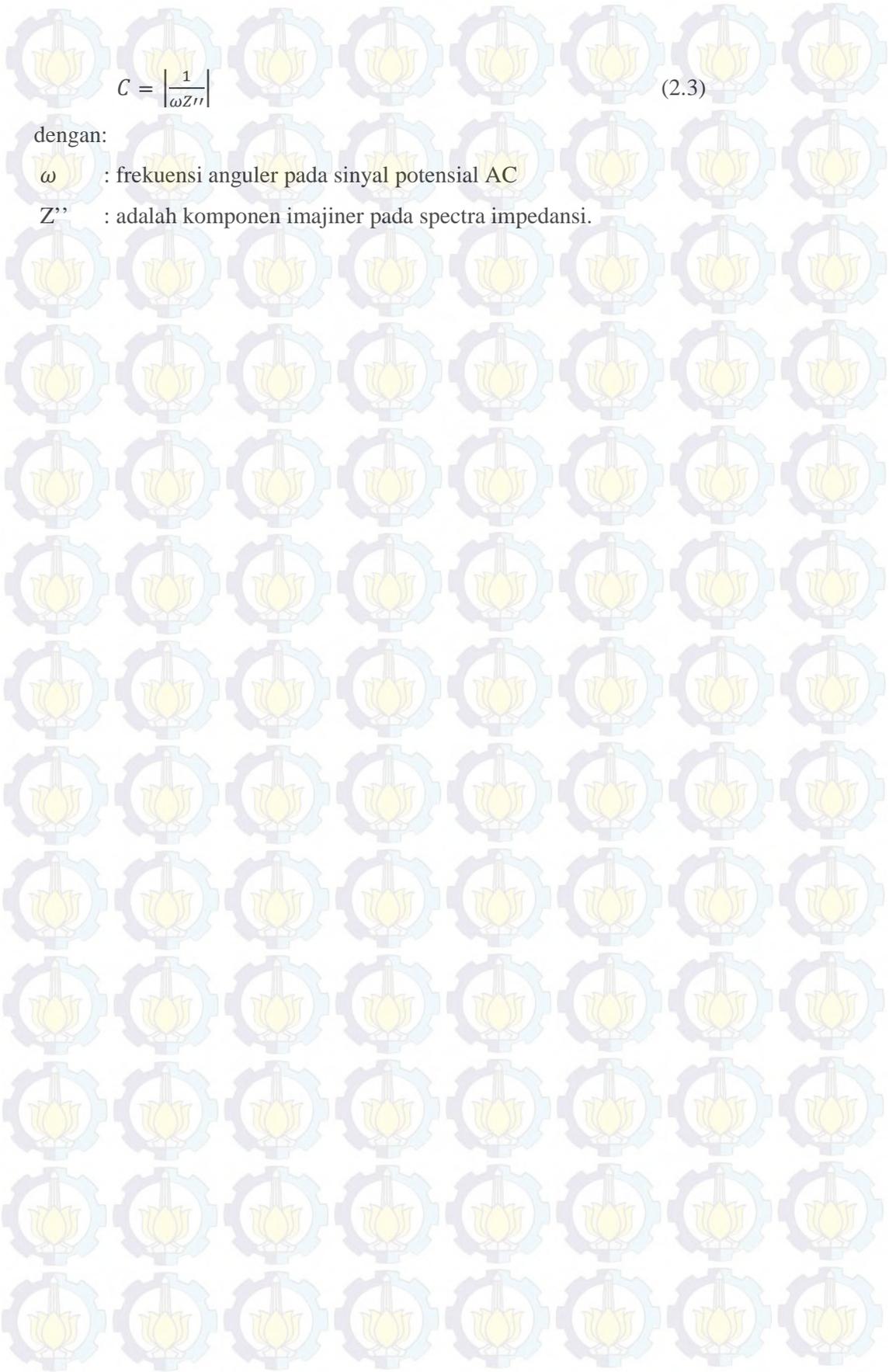
$q_a$  = muatan anodic (C)

$q_c$  = muatan katodik (C)

$v$  = jangkauan potensial (m/s)

$m$  = massa karbon aktif (g)

Selain *voltametri siklik*, *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS) adalah salah satu pengujian secara elektrokimia. EIS merupakan salah satu teknik untuk mengkarakterisasi besaran-besaran listrik dalam sel elektrokimia. Prinsip dasar dalam pengukuran EIS ini adalah dengan memberikan sinyal sinusoidal dengan amplitude rendah pada sistem yang diinvestigasi dan mengukur respon yang berupa arus maupun tegangan dari sistem yang dievaluasi sehingga didapatkan nilai impedansi sistem. Nilai impedansi sistem bergantung pada frekuensi sinyal yang diberikan. Sehingga dengan memvariasikan frekuensi pada sinyal yang diberikan dapat diperoleh impedansi sistem sebagai fungsi frekuensi. Frekuensi pengukuran EIS sebaiknya berada pada selang frekuensi antara (0.01 – 50000) Hz (Geladi, 2011). Adapun cara untuk menghitung nilai kapasitansi yakni menggunakan rumus (Li Haibo, 2010).


$$C = \left| \frac{1}{\omega Z''} \right| \quad (2.3)$$

dengan:

$\omega$  : frekuensi anguler pada sinyal potensial AC

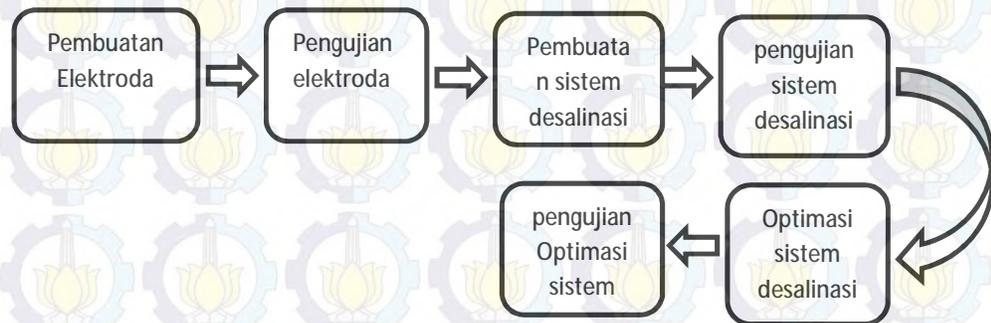
$Z''$  : adalah komponen imajiner pada spectra impedansi.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini secara umum akan diselesaikan dengan tahapan seperti pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Skema Tahapan Penelitian

#### 3.2 Peralatan dan Bahan

##### 3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ayakan, timbangan digital, gelas ukur, beker glass, pipet, pompa air. Pengadukan bahan dilakukan diatas *hot plate* menggunakan *magnetic stirrer* dan dicetak menggunakan metode *doctor balde* menggunakan spatula. Pemanasan karbon menggunakan *furnace* (oven vakum).

Pengujian elektroda menggunakan SEM EDX Merk FEI tipe Inspect S25 untuk menguji morfologi elektroda, metode *cyclic voltametry* menggunakan alat Autolab PG-Stat 302 Methrom untuk menguji nilai kapasitansi elektroda. Pengukuran dan Pengambilan data menggunakan sumber tegangan DC, *amperemeter* dan *voltmeter*. Pengujian desalinasi meliputi pengukuran nilai konduktivitas dan salinitas air menggunakan alat ukur tipe Benchtop pH/ORP/Conductivity/ TDS/Salinity Meter 86505.

### 3.2.2 Bahan

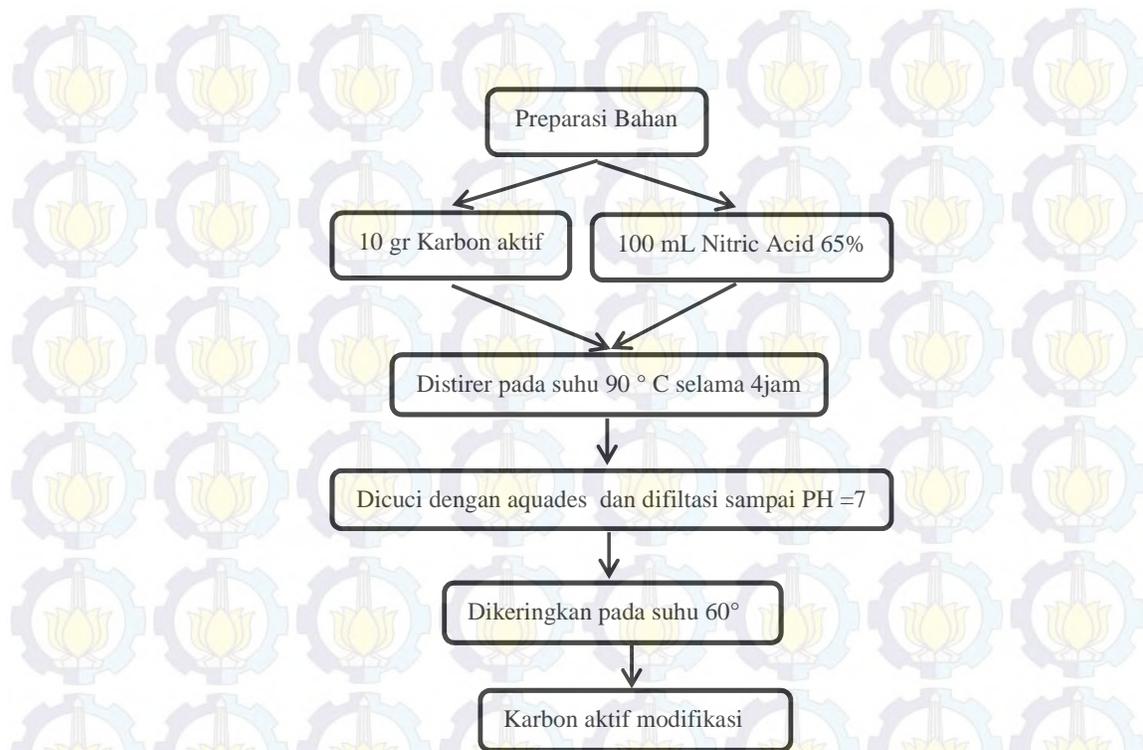
Dalam pembuatan sistem *capacitive deionization* komponen utamanya adalah elektroda. Material pembuatan elektroda meliputi : karbon aktif dengan mesh 140  $\mu\text{m}$  (CV Mitra Usaha Mandiri) dari tempurung kelapa yang telah dimodifikasi dengan *nitric acid* 65% , *graphit sheet* (Changyi Dongfeng Materials) sebagai *Current Collector*, *Polyvinyl Alcohol* (Merk) sebagai binder, *Aquadest* dan garam NaCl, KCl, MgCl produksi LIPI untuk pembuatan larutan uji (sampel).

### 3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja dalam penelitian ini meliputi pembuatan elektroda, pengujian elektroda, perancangan dan pembuatan sistem desalinasi *capacitive deionization*, pengujian sistem desalinasi *capacitive deionization*.

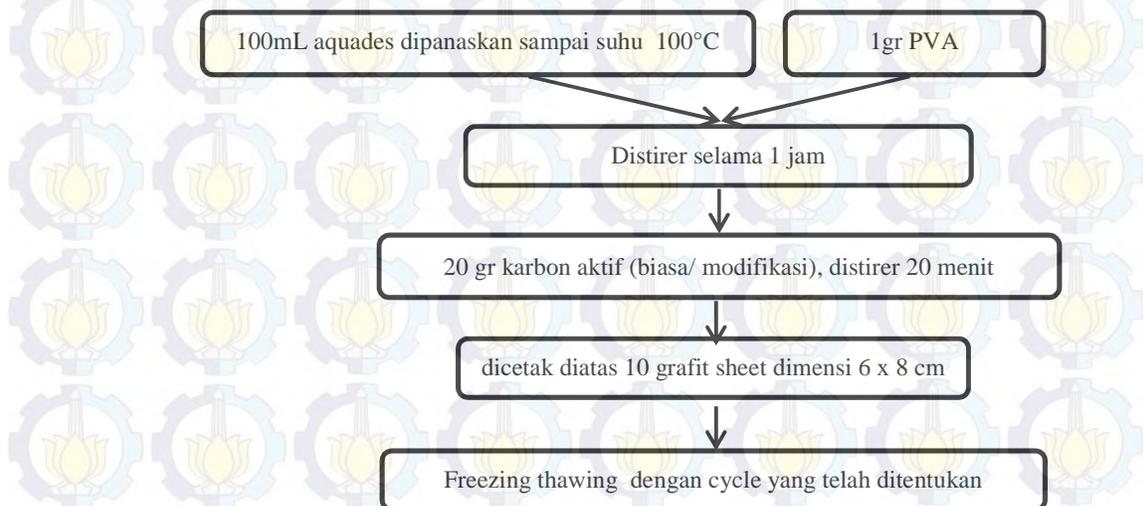
#### 3.3.1 Pembuatan Elektroda *Capacitive Deionisation*

Proses pembuatan elektroda pada penelitian ini meliputi proses pembuatan karbon elektroda berbinder PVA dengan karbon aktif tanpa modifikasi dan karbon aktif modifikasi. Modifikasi karbon aktif dilakukan dengan tahapan seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Skema Tahapan Modifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif biasa dan yang dimodifikasi selanjutnya digunakan dalam membuat elektroda berbinder PVA dengan tahapan seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema Tahapan Pembuatan Elektroda

Sebelum melalui proses *freezing thawing* elektroda didiamkan hingga temperaturnya mencapai suhu ruang, lalu dimasukkan dalam *freezer* dengan suhu  $-14^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam dan dicairkan dalam suhu ruang 12 jam Proses gelasi

elektroda yang telah dibuat menggunakan sistem *freezing thawing* dengan variasi 3 cycle, 4 cycle dan 5 cycle (1 cycle = 12 jam *freezing* dan 12 jam *thawing*)

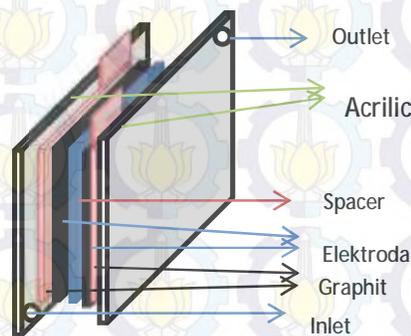
### 3.3.2 Pengujian Elektroda *Capacitive Deionisation*

Elektroda yang telah dibuat akan dilakukan beberapa pengujian yaitu

1. Pengujian morfologi permukaan elektroda menggunakan alat *Scanning electron microscope (SEM EDX)*
2. Pengujian sifat-sifat elektrokimianya untuk mengetahui nilai resistansi dan kapasitansi elektroda dengan menggunakan metode *cyclic voltametry* dan *Electrical Impedance Spectroscopy (EIS)*.

### 3.3.3 Perancangan dan Pembuatan Sistem Desalinasi *Capacitive Deionization*

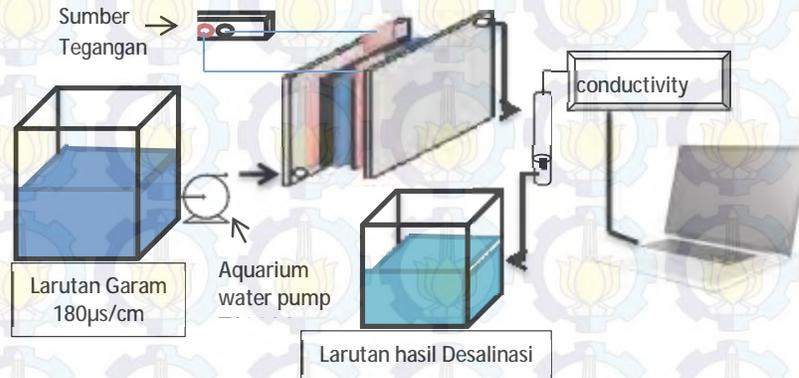
Cell CDI dalam Sistem *Capacitive Deionization* terdiri dari 5 pasang elektroda yang disusun seperti Gambar 3.4 aliran air dari pompa masuk kedalam *cell* lewat bagian bawah sebelah kanan, selanjutnya air mengalir dalam *cell* betikutnya melalui bagian atas sebelah kiri, begitu seterusnya hingga air hasil desalinasi keluar dari *cell*.



Gambar 3.4 Susunan *Cell Capacitive Deionization*

Sistem *Capacitive Deionization* dalam desalinasi air garam digambarkan pada Gambar 3.5 yang meliputi wadah untuk menampung garam, pompa air untuk mengalirkan air garam kedalam *cell* CDI yang telah dialiri tegangan DC. Larutan garam dipompa dari tangki penampungan menuju *cell* CDI, setelah air keluar dari *cell* diukur nilai konduktifitasnya. Nilai konduktifitas yang terukur direkam secara

*real time* pada komputer dengan pengambilan data per detik, Selanjutnya air ditampung dalam wadah.



Gambar 3.5 Sistem Desalinasi *Capacitive Deionization*

### 3.3.4 Pengujian Sistem Desalinasi *Capacitive Deionization*

Larutan garam  $180\mu\text{S}/\text{cm}$  diuji nilai konduktifitas dan salinitasnya sebelum dialirkan dalam sistem dengan kelajuan  $25\text{ mL}/\text{menit}$  pada tegangan  $2\text{ volt}$ . Pengujian sistem desalinasi dilakukan dengan mengukur nilai konduktifitas dan salinitas larutan dengan menggunakan alat ukur tipe Benchtop pH/ORP/Conductivity/TDS/Salinity Meter 86505. Perubahan nilai konduktifitas dan kadar garam pada aliran keluaran menunjukkan perubahan jumlah ion yang teradsorp pada elektroda. Persentase pengurangan kadar garam NaCl dari sampel setelah proses desalinasi dengan CDI dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan Persamaan (3.1) (Park et al., 2011):

$$\% \Delta \text{Garam} = \frac{\sigma_f - \sigma_p}{\sigma_f} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan:

$\sigma_f$  = konduktifitas awal ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

$\sigma_p$  = konduktifitas akhir ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### 3.3.5 Membrane Ion Exchange pada Capacitive Deionisation

*Membrane ion exchange* ditambahkan pada kedua elektroda pada sistem ini, diharapkan dengan adanya *Membrane ion exchange co-ion* (ion yang sejenis) akan di blok sehingga *co-ion* tidak dapat masuk kembali ke aliran selain itu selama proses desorpsi, dimana tegangan yang berlawanan diberikan pada elektroda, *counter ion* (ion yang tdk sejenis) akan lebih banyak terlepas dari elektroda. Pada proses desorpsi untuk sistem CDI tanpa membran, counter ion dapat kembali teradsorpsi kembali pada elektroda yang berlawanan, namun dengan adanya membran counter ion akan diblok masuk kembali pada elektroda. Sehingga dengan menambahkan membran diharapkan akan meningkatkan pengurangan kadar garam dalam sistem CDI.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Elektroda

Elektroda dibuat dengan perbandingan komposisi karbon aktif dan PVA 20:1. Metode yang digunakan adalah *freezing thawing* disajikan dalam Gambar 4.1



(a)

(b)

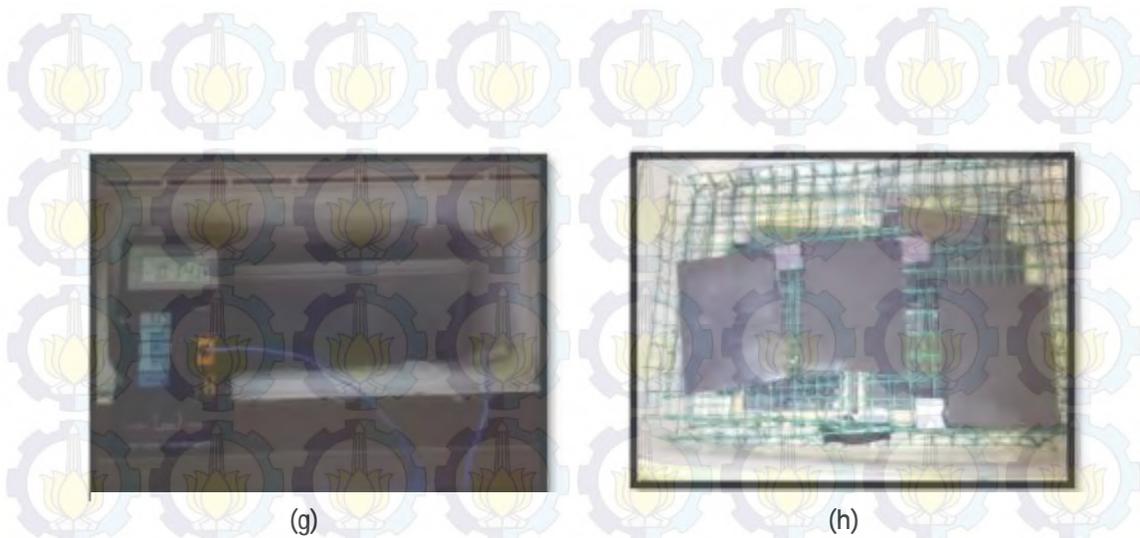
(c)

(d)



(e)





Gambar 4.1 Tahapan Pembuatan Elektroda (a) Pemanasan 100mL air aquades hingga suhu 100°C (b) Penimbangan PVA sebanyak 1 gr (c) Pencampuran PVA dengan Aquades yang telah dipanaskan selama 1 jam (d) Penimbangan karbon aktif sebanyak 20 gr (e) Pencampuran karbon aktif dan larutan PVA selama 20 menit (f) Pencetakan elektroda pada 10 lembar *graphite sheet* (g) Proses *Freezing* selama 12 jam (h) Proses *Thawing* selama 12 jam



Gambar 4.2 Hasil Fabrikasi Elektroda Karbon

Fabrikasi elektroda dengan metode *freezing thawing* yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pada penelitian ini menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa (CV. Mitra Usaha mandiri) sebagai bahan utama. binder berupa PVA (Merck) dan pelarut berupa aquades. Karbon aktif dari tempurung kelapa dipilih

karena mempunyai daya serap tinggi (Sembiring M.T, 2003). Binder PVAdipilih karena PVA merupakan polimer yang bersifat hidrofilik sehingga mudah bersatu dengan air dan karbon. Pembuatan elektroda dalam sistem CDI ini menggunakan metode *freezing thawing* yang menggabungkan dua fase *freezing* (pengkristalan) dan *thawing* (pencairan) masing- masing selama 12 jam dengan tujuan untuk membuat elektroda menjadi kuat dan tidak larut dalam air (Vrana, 2009). Penelitian dilakukan dengan membuat empat jenis elektroda dengan variasi *cycle* fase *freezing* dan *thawing* yaitu dalam 3, 4, 5 dan modif 4 *cycle*. Banyaknya *cycle* berpengaruh terhadap pembentukan struktur pori dalam elektroda. Struktur pori dalam elektroda mempengaruhi performa elektroda dalam proses desalinasi dalam sistem CDI (Park et al., 2011) yang dapat ditunjukkan dari perbedaan nilai kapasitansi dan resistansi pada elektroda.

Modifikasi karbon aktif telah dilakukan menggunakan  $\text{HNO}_3$  yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi karbon aktif.  $\text{HNO}_3$  adalah asam oksidator yang dapat menghilangkan pengotor pada karbon aktif, mengadsorb atom oksigen sehingga membentuk gugus – gugus oksida pada permukaan karbon (Setyadhi and dkk, 2005). Adapun proses modifikasi karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 4.3.



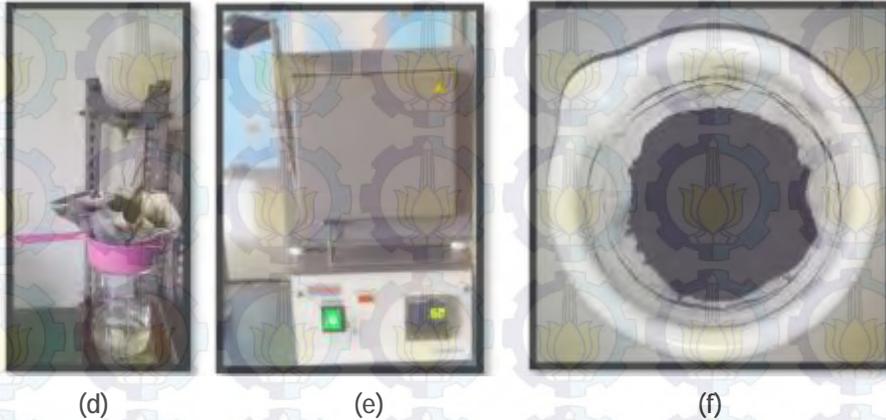
(a)



(b)



(c)



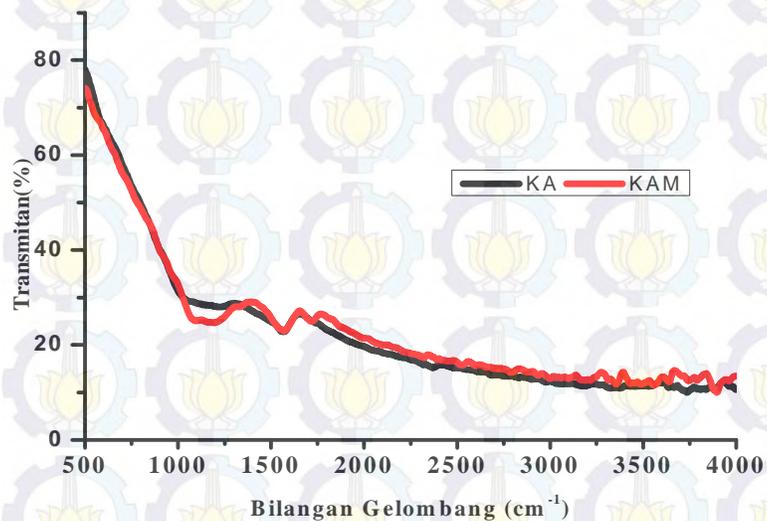
Gambar 4.3 Tahapan Modifikasi Karbon Aktif (a) menyiapkan 100ml  $\text{HNO}_3$  (b) penimbangan 10 gr karbon aktif (c) pencampuran larutan dengan karbon aktif selama 4jam pada suhu  $90^\circ\text{C}$  (d) filtrasi karbon aktif dengan aquades hingga PH normal (e) pengeringan karbon aktif dengan *furnace* pada suhu  $60^\circ\text{C}$  (f) karbon aktif modifikasi

Setelah dimodifikasi karbon aktif menjadi lebih halus secara struktur jika dilihat kasat mata, namun untuk mengetahui ukuran pori perlu dilakukan uji BET. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gocke dan Aktas pada tahun 2014 hasil pengujian BET karbon aktif yang dimodifikasi mempunyai ukuran pori yang lebih kecil dari pada yang tidak dimodifikasi. Hal ini dimungkinkan karena  $\text{HNO}_3$  adalah asam oksidator kuat sehingga selain menghilangkan pengotor juga merusak dinding karbon sehingga porus karbon menjadi lebih kecil (Gokce and Aktas, 2014).

#### 4.2 Pengujian Karbon Aktif

Karbon aktif yang digunakan sebagai bahan utama pembuatan elektroda adalah karbon yang terbentuk dari aktivasi kimia maupun fisika bertujuan memperbanyak pori dan membuat porositas baru sehingga karbon aktif mempunyai daya serap tinggi (Sembiring M.T, 2003). Kemampuan adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur pori tetapi juga dipengaruhi oleh

sifat kimia permukaannya. Sifat kimia permukaan karbon aktif dapat secara selektif dimodifikasi dengan tujuan untuk lebih meningkatkan kapasitas adsorpsi (Setyadhi and dkk, 2005). Hasil modifikasi karbon aktif dengan  $\text{HNO}_3$  dapat dilihat melalui uji FTIR yang ditampilkan pada Gambar 4.4. Uji FTIR prinsipnya menggunakan radiasi gelombang inframerah yang berada pada rentang bilangan gelombang ( $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ) dialirkan dalam sampel uji kemudian prosentase transmisinya diukur. Apabila sampel yang diuji tidak menyerap radiasi pada suatu panjang gelombang maka memiliki transmisi 100% dan sebaliknya apabila semua radiasi diserap maka memiliki transmisi 0%. Apabila sampel yang diuji menyerap radiasi inframerah, energi yang diserap meningkatkan amplitudo vibrasi atom-atom yang saling berikatan sehingga menimbulkan puncak tiap lekukan panjang gelombang, puncak yang timbul menandai adanya ikatan pada sampel yang diuji (Maun, 2010)



Gambar 4.4 Hasil Uji FTIR Karbon Aktif (KA = Karbon Aktif, KAM = Karbon Aktif Modifikasi).

Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui ikatan molekul (gugus unsur) yang ada pada karbon aktif. Pengujian FTIR menunjukkan setelah dimodifikasi adanya penambahan gugus eter (C-O) pada bilangan gelombang 1190, gugus karboksilat pada bilangan gelombang 1570 dan gugus karbonil  $\text{C}=\text{O}$  pada bilangan gelombang 1713. Banyaknya penambahan gugus yang mengandung oksigen dimungkinkan dapat meningkatkan daya serapan untuk meningkatkan

nilai kapasitif secara elektrokimia (Huang et al., 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gokce dan Atas pada tahun 2014 meningkatnya gugus karboksilat dapat meningkatkan adsorpsi cairan *metylen blue* dan fenol karena gugus karboksilat menambah Interaksi elektrostatik pada permukaan karbon yang menentukan peran dalam proses *adsorpsi*.

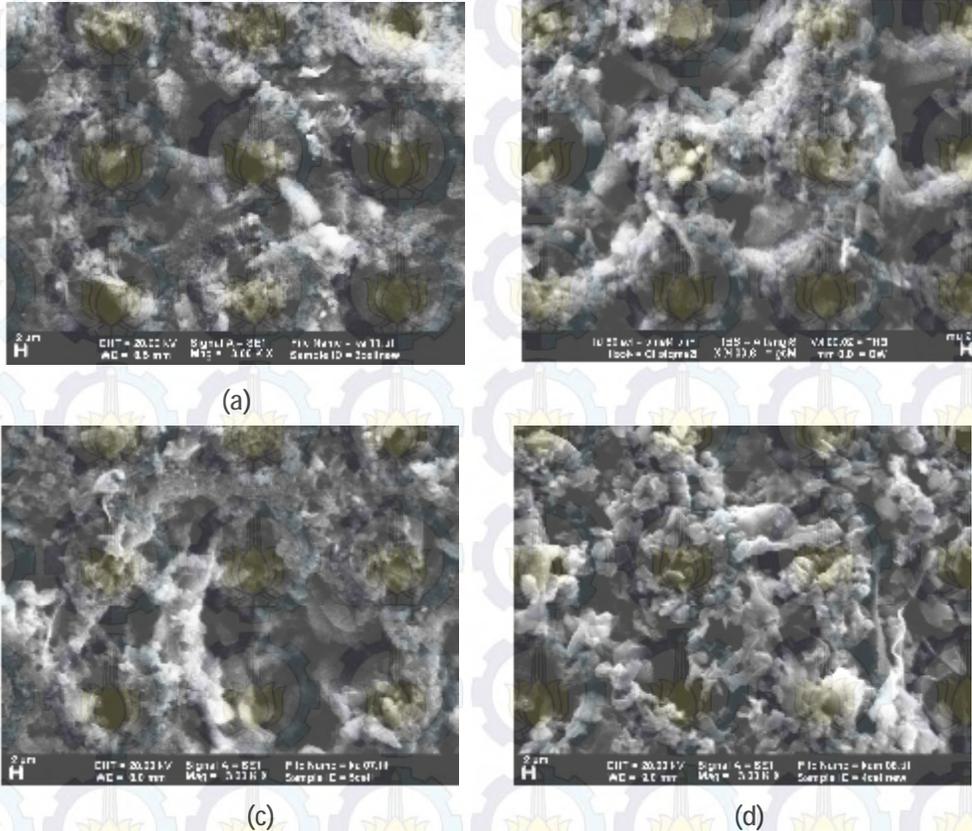
### 4.3 Pengujian Elektroda Karbon

Elektroda karbon dikatakan baik jika memiliki luas spesifik yang dapat menyerap ion dalam jumlah yang besar (Porada et al., 2013) serta memiliki nilai kapasitansi yang tinggi. Luas spesifik bergantung pada struktur pori yang dapat memudahkan ion bergerak keluar masuk pori elektroda. Struktur pori elektroda yang terbentuk saat proses *freezing thawing* dapat dilihat menggunakan uji SEM-EDX. Untuk mengetahui nilai spesifik kapasitansi dapat dilakukan dengan uji elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltametri* (CV) dan EIS.

#### 4.3.1 Analisis Morfologi Elektroda

Pengujian morfologi elektroda dilakukan dengan tujuan agar dapat melihat struktur pori yang terbentuk pada permukaan elektroda setelah proses *freezing thawing* dijalankan. Salah satu metode pengujian morfologi elektroda adalah menggunakan SEM-EDX. Pengujian dengan metode ini dapat memberikan informasi mengenai struktur porositas dan bahan penyusun pada elektroda. Morfologi permukaan elektroda dengan binder PVA dipengaruhi oleh kondisi karbon dan jumlah *cycle* pada proses *freezing thawing*. Gambar 4.3 menunjukkan struktur permukaan karbon dengan variasi 3, 4 5 dan modif 4 *cycle*. Seluruh permukaan elektroda membentuk porositas diantara kristal pelarut ketika proses *freezing thawing* dijalankan. Pada Gambar 4.5(a) dapat dilihat elektroda dengan variasi 3 *cycle* memiliki jumlah pori yang lebih sedikit dibandingkan dengan elektroda dengan variasi 4 dan 5 *cycle* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3(b) dan 4.3(c). Pada elektroda dengan variasi 4 *cycle* terbentuk pori yang cukup merata dengan luas yang relatif sama sedangkan pada elektroda dengan variasi 5 *cycle* pori yang terbentuk cukup luas tapi tidak merata pada seluruh bagian elektroda.

Hal ini menunjukkan bahwa proses gelasi terjadi dengan baik pada elektroda dengan variasi 4 *cycle*.

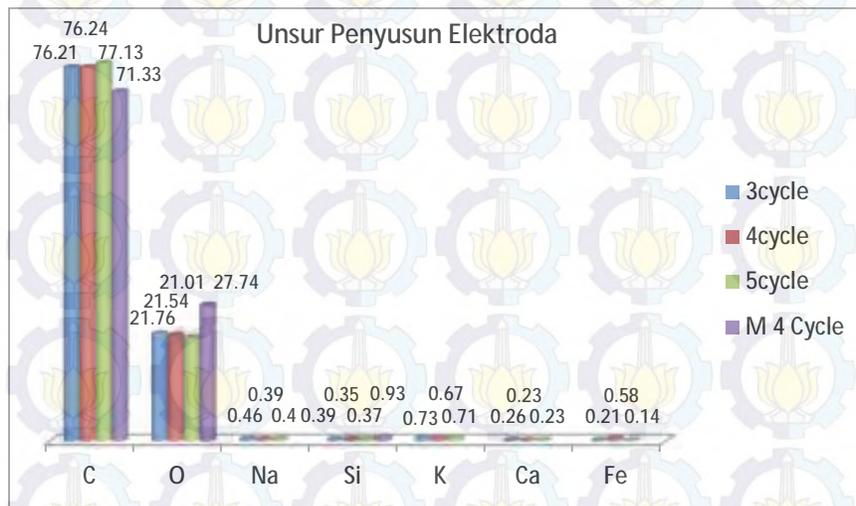


Gambar 4.5 Hasil Uji SEM Elektroda Karbon (a) 3cycle (b) 4 cycle (c) 5cycle (d) Modif 4 cycle

Proses gelasi yang berlangsung dalam sistem *freezing thawing* bertujuan untuk membentuk elektroda yang kuat dan tidak larut dalam air. Pada proses *freezing* pelarut akan membeku membentuk Kristal disepanjang mikrofasa zat terlarut karbon dan PVA yang tidak beku, karena konsentrasi cairan menjadi sangat kecil maka konsentrasi gel meningkat memicu terjadinya pembentukan gel. Saat membeku, kristal pelarut berkembang hingga menyentuh bagian terluar kristal yang lain, sehingga setelah pencairan sistem interkoneksi dari porus muncul di dalam gel. Gelasi dapat terjadi pada setiap fasa dari proses pembekuan – pencairan (*freeze-thawing*). Saat mencair tegangan permukaan di antara pelarut cair dan fasa gel menyebabkan pori-pori kasar karbon tersusun. Konversi antara

*cryogel spongy* (bentuk seperti sepon) dan *non-spongy* bergantung pada rezim pembekuan serta konsentrasi dan komposisi zat terlarut (Vrana, 2009).

Gambar 4.5 (d) mewakili morfologi elektroda dengan bahan dasar karbon aktif yang telah dimodifikasi. Terlihat dalam gambar elektroda memiliki banyak porositas tetapi ukuran porositas relatif kecil tidak seluas elektroda dengan variasi 4 *cycle*. Hal ini dimungkinkan karena setelah modifikasi porus karbon menjadi lebih kecil sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Huang et al pada tahun 2014 dimana modifikasi karbon aktif dengan  $\text{HNO}_3$  mendapatkan hasil ukuran porus lebih kecil dari pada karbon aktif tanpa modifikasi, sehingga pada saat proses *freezing thawing* pada pembuatan elektroda porus yang terbentuk tidak maksimal.



Gambar 4.6 Komposisi elektroda karbon dengan variasi 3, 4, 5 dan modif 4 *cycle*

Komposisi elektroda dapat diketahui melalui pengujian EDX yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hasil pengujian komposisi elektroda tidak mengalami perubahan yang cukup banyak untuk elektroda dengan bahan dasar karbon aktif tanpa modifikasi dengan variasi *cycle*, hal ini menunjukkan bahwa variasi *cycle* tidak mempengaruhi komposisi elektroda karbon. Namun setelah dilakukan modifikasi dengan  $\text{HNO}_3$  komposisi oksigen dalam elektroda meningkat sebesar 25% selain itu komposisi elektroda hanya ada karbon dan silika. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi karbon aktif berfungsi untuk

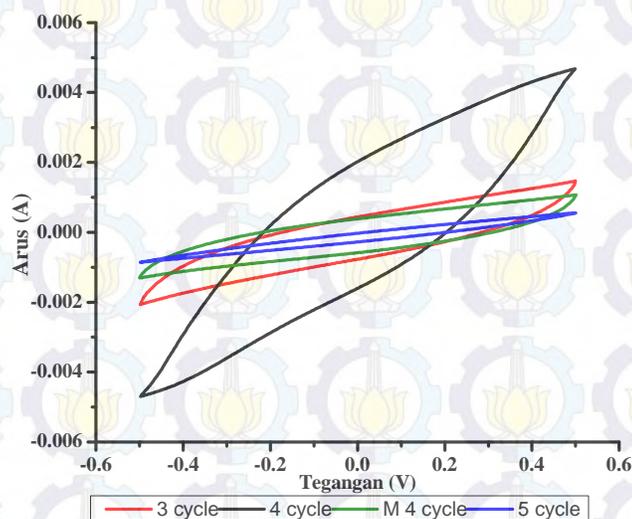
menghilangkan pengotor dan meningkatkan oksigen dalam elektroda. Menurut Huang pada tahun 2014 meningkatnya oksigen dimungkinkan dapat meningkatkan daya serap dan kapasitansi secara elektrokimia (Huang et al., 2014).

### **4.3.2 Analisis Elektrokimia**

#### **4.3.2.1 Pengujian Cyclic Voltametri (CV)**

Pengujian elektrokimia menggunakan metode voltametri siklik bertujuan untuk mengetahui nilai spesifik kapasitansi yang dimiliki elektroda. Nilai spesifik kapasitansi yang terukur menunjukkan kemampuan elektroda untuk menarik ion garam yang melalui elektroda. Pengujian voltametri siklik menggunakan sel elektrokimia yang terdiri dari tiga elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektroda bantu. Elektroda kerja adalah elektroda yang menjadi tempat reaksi oksidasi dan reduksi. Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya dibuat tetap sehingga dapat digunakan sebagai pembanding elektroda pembanding yang terbuat dari bahan inert seperti Ag/AgCl, sedangkan elektroda bantu adalah elektroda yang digunakan untuk membantu transfer elektron sehingga arus dapat dilewatkan melalui sel.

Adapun hasil voltametri dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7. Pengukuran CV ini dilakukan dengan memberikan potensial tertentu pada sel elektrokimia yang diuji, dari potensial tinggi ke rendah dan kembali lagi ke tinggi. Pada saat potensial diterapkan pada elektroda, reaktan akan bergerak menuju antar muka elektroda kerja sehingga mengalami oksidasi dengan menerima elektron dari elektrolit. Ketika potensial dibalik dengan arah sebaliknya, hasil reaksi akan bergerak menjauhi elektroda sehingga mengalami proses reduksi dengan melepaskan electron (Tyas, 2014). Perpindahan elektron secara siklik ini menyebabkan kenaikan arus sampai pada nilai tertentu kemudian turun kembali sesuai dengan potensial yang diberikan. Perubahan arus ini yang terukur dalam voltammogram dalam fungsi potensial. Pengujian dilakukan pada range tegangan -0.5 sampai 0.5 V dengan larutan elektrolit KCl 0.5 M yang disuplai kepada elektroda dengan *scanrate* 10 mV/s dalam 10 siklus.



Gambar 4.7 Hasil Uji *Voltametry Cyclic*

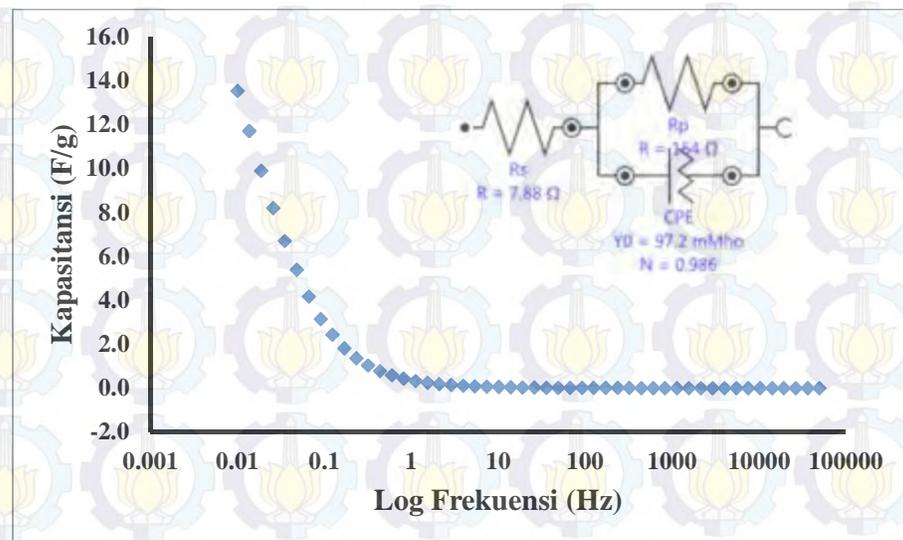
Pengujian elektroda dilakukan dalam 10 siklus bertujuan untuk mendapatkan nilai arus reduksi dan oksidasi ketika elektroda dalam kondisi stabil yang ditandai dengan selisih perubahan kapasitansi antara siklus disekitarnya tidak berubah jauh (Jia and Zou, 2012a). Dari hasil yang terlihat pada Gambar 4.7 terlihat nilai spesifik kapasitansi elektroda dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1) dibagi dengan massa elektroda uji didapatkan nilai pada tipe 3, 4 dan 5 cycle berturut turut yaitu 3.06, 9.10 dan 0.52 F/g serta 2.45 F/g untuk tipe modif 4 cycle pada siklus ke-10. Nilai kapasitansi terbesar adalah 9.10 F/g yang dimiliki oleh elektroda 4 cycle, hal ini dikarenakan bentuk voltamogram elektroda 4 cycle menunjukkan selisih arus reduksi dan oksidasi lebih besar dari pada elektroda yang lain, idealnya bentuk kuva voltamogram untuk elektroda berbentuk persegi panjang (Nadakatti et al., 2011), yang menunjukkan arus reduksi dan oksidasi jelas dan stabil. Semakin besar nilai kapasitansi yang dimiliki elektroda maka semakin besar kemampuan elektroda untuk mengurangi kadar garam karena ion – ion garam lebih mudah tertarik dan tertahan pada permukaan elektroda. Hasil pengujian siklik voltametri menunjukkan bahwa elektroda dengan tipe modif 4 cycle memiliki performa yang kurang baik yang ditandai dengan kecilnya nilai kapasitansi yaitu sebesar 2.45 F/g dibandingkan dengan elektroda 4 cycle. Hal ini menunjukkan saat potensial diterapkan pada elektroda perpindahan

electron secara siklik tidak berlangsung dengan baik karena dimungkinkan pori elektroda yang terbentuk relatif kecil dan sedikit sehingga menutupi jalannya transfer electron menuju elektroda saat proses reduksi maupun oksidasi dijalankan(Tyas, 2014).

#### 4.3.2.2 Pengujian *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS)

Pengujian dengan sistem EIS bertujuan untuk mengetahui nilai besaran listrik seperti kapasitansi, resistansi dan induktasi. Pada prinsipnya pengukuran EIS adalah dengan memberikan sinyal sinusoidal dengan amplitude rendah pada sistem lalu respon berupa arus maupun tegangan diukur dari sistem yang dievaluasi sehingga didapatkan nilai impedansi sistem. Nilai impedansi sitem bergantung pada frekuensi sinyal yang diberikan. Sehingga dengan memfariasi frekuensi pada sinyal yang diberikan dapat diperoleh impedansi sistem sebagai fungsi frekuensi. Frekuensi pegukuran EIS sebaiknya berada pada selang frekuensi antara (0.01 – 50000) Hz (Gileadi, 2011).

Karena hasil CV terbaik adalah pada elektroda dengan variasi 4 *cycle* maka pengujian EIS dilakukan pada elektroda dengan variasi 4 *cycle* dengan amplitudo yang digunakan dari puncak ke puncak sebesar 10 mV pada rentang frekuensi 0.01- 100.000 Hz.

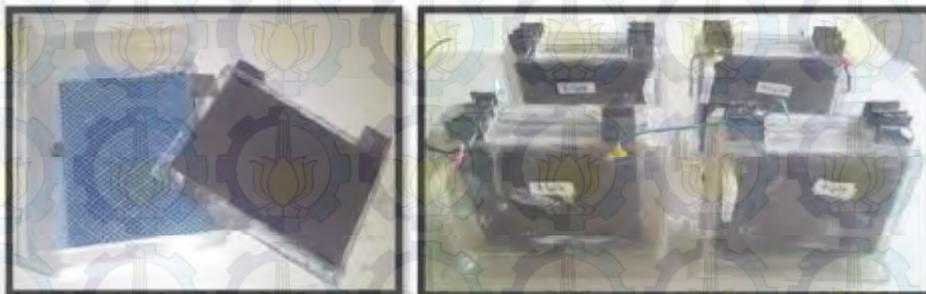


Gambar 4.8 Hasil Uji *Electrical Impedance Spectroscopy*

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai spesifik kapasitansi terbesar yang terukur sebesar 13,5 F/g pada frekuensi 0.01 Hz. Nilai spesifik kapasitansi menurun seiring dengan bertambahnya frekuensi dan konstan pada frekuensi tinggi, hal ini dikarenakan saat frekuensi rendah diterapkan maka transfer electron tidak terganggu oleh frekuensi. Saat pengujian EIS akan muncul rangkaian ekivalen yang dicocokkan dengan kurva nyquist hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Rangkaian ekivalen berupa rangkaian sederhana dimana tahanan larutan  $R_s$  disusun secara seri dengan tahanan transfer muatan  $R_{ct}$  yang diparalel dengan kapasitor  $C_{dl}$ . Rangkaian listrik ekivalen tersebut menggambarkan keadaan listrik elektroda pada saat direndam dalam larutan elektrolit. Nilai kapasitansi terukur karena adanya pengkutupan permukaan elektroda dan orientasi larutan menunjukkan bahwa rangkaian bersifat dominan kapasitif. Rangkaian ekivalen menunjukkan nilai kapasitansi sebesar 97.2 mFho.

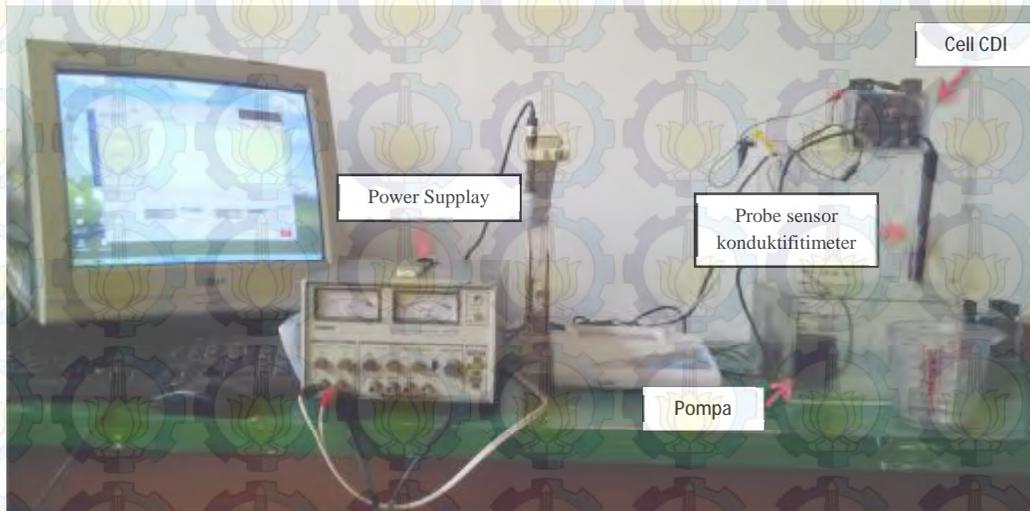
#### 4.4 Perancangan dan Pembuatan Sistem Desalinasi

Elektroda penyusun sistem CDI terdiri dari 10 elektroda yang dibentuk menjadi lima *cell* CDI. Setiap satu *cell* CDI yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 terdiri dari *acrylic* sebagai pemisah antar *cell* dan pelindung *cell*, *graphite sheet* yang berfungsi sebagai *current collector* yang memiliki ketebalan 0.3mm, elektroda karbon sebagai tempat *adsorpsi* dan *desorpsi*, *spacer* yang berfungsi sebagai pemisah elektroda.



Gambar 4.9 (a) Penyusunan Cell CDI (b) 4 Cell CDI yang telah dibuat

Sistem desalinasi berbasis CDI ditampilkan pada Gambar 4.9 terdiri dari cell CDI, bak penampung larutan, pompa air yang berfungsi mengalirkan larutan kedalam elektroda, power supply yang berfungsi untuk memberikan tegangan pada elektroda sehingga elektroda mampu menarik ion garam, konduktivitas meter yang berfungsi untuk mengukur nilai konduktivitas larutan yang diuji, dan komputer yang digunakan untuk merekam nilai konduktivitas yang terukur selama proses desalinasi berlangsung secara *real time*.

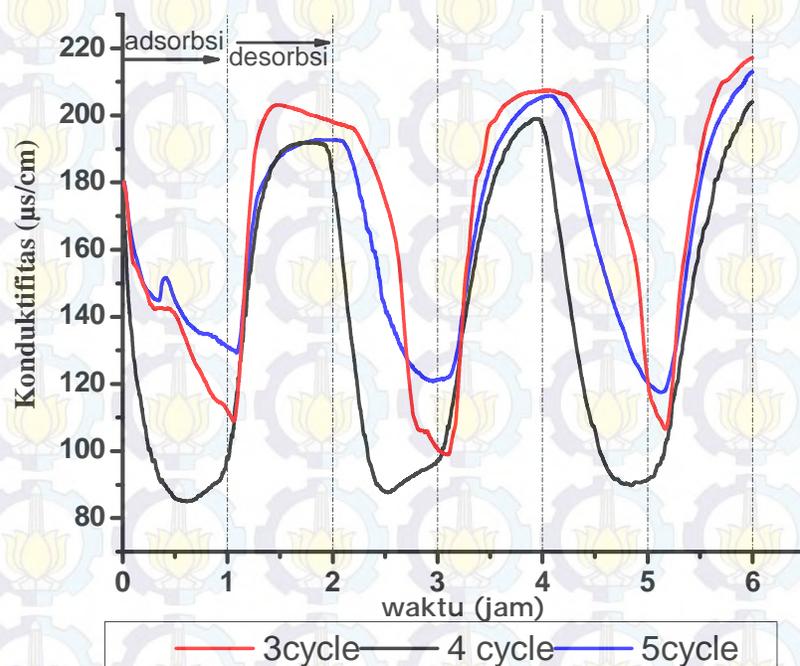


Gambar 4.10 Penyusunan Sistem CDI

#### 4.5 Pengujian Sistem CDI

Pengujian sistem CDI dilakukan dengan mengalirkan larutan garam dengan kecepatan 25 mL/menit pada cell CDI yang telah diberi tegangan 2V. Pada penelitian ini tidak dilakukan variasi kecepatan dan tegangan. Tegangan 2V dipilih karena Menurut penelitian yang dilakukan oleh Huang pada tahun 2014 elektroda mampu bekerja maksimum dalam tegangan 0.5 – 2V dan pada tegangan 2V menunjukkan pengurangan kadar garam maksimum. Proses desalinasi berlangsung selama 6 jam dengan 3 siklus *adsorpsi* dan *desorpsi* masing-masing 1 jam. Selama proses *adsorpsi* elektroda akan menarik ion garam yang ditandai dengan berkurangnya nilai konduktivitas yang terukur pada sampel larutan yang

telah dialirkan dalam cell CDI. Selanjutnya proses *desorpsi* adalah pelepasan ion garam kembali menuju aliran yang ditandai dengan bertambahnya nilai konduktifitas yang terukur pada sampel larutan. Hasil pengukuran nilai konduktifitas selama proses *adsorpsi* dan *desorpsi* direkam secara *real time* pada komputer. Proses *adsorpsi* dan *desorpsi* larutan NaCl yang mempunyai nilai awal 180  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ditunjukkan oleh Gambar 4.11. Pengurangan Nilai konduktifitas larutan NaCl dalam setiap siklus tidak sama, pengurangan terbesar terjadi pada siklus ke-2 yaitu 49.16% untuk elektroda tipe 3 *cycle*, pada siklus ke-3 yaitu 54.3% untuk elektroda tipe 4 *cycle* dan pada siklus ke-3 yaitu 41.38% untuk elektroda tipe 5 *cycle*. Hal ini menunjukkan bahwa performa terbaik ada pada elektroda 4 *cycle* karena mampu mengurangi kadar garam lebih banyak daripada elektroda yang lain.

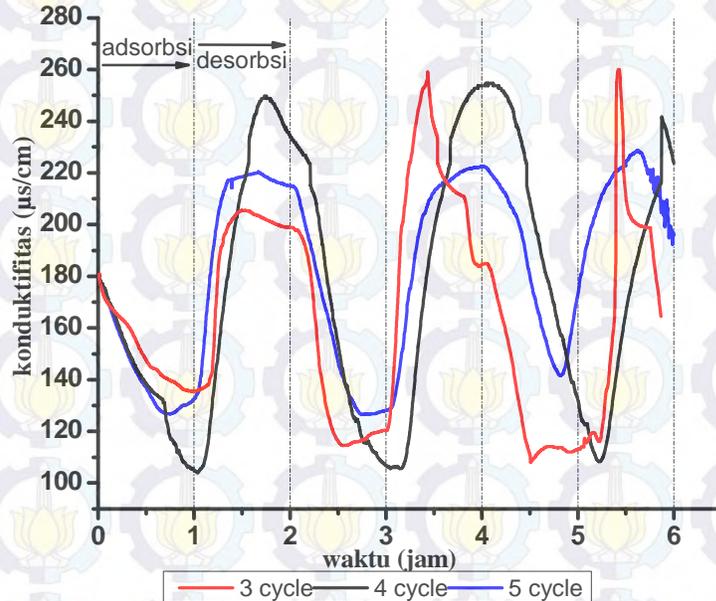


Gambar 4.11 Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl

Pada Gambar 4.11 pada elektroda tipe 3 dan 5 *cycle* terlihat proses desalinasi terbaik ada pada siklus kedua dan ketiga, pada siklus pertama elektroda tidak mampu mengurangi kadar garam dengan maksimal, hal ini diyakini

dikarenakan pada siklus pertama tidak seluruh bagian elektroda terbasahi sehingga proses *adsorpsi* tidak merata pada seluruh bagian elektroda. Proses desalinasi pada elektroda 4 *cycle* berlangsung relatif stabil dari siklus pertama hingga siklus ketiga. Kestabilan ditandai dengan pengurangan kadar garam saat *adsorpsi* dan proses *desorpsi* berlangsung relatif sama yaitu sekitar 54.3% dalam tiga siklus. Kestabilan elektroda menunjukkan bahwa performa elektroda dengan tipe 4 *cycle* cukup baik sehingga dapat digunakan berulang- ulang dalam waktu yang lama (Jia and Zou, 2012b)

Pada elektroda 4 *cycle* pada saat proses *adsorpsi* diterapkan selama satu jam, pengurangan kadar garam berlangsung kurang dari satu jam yang ditandai dengan turunnya nilai konduktivitas yang terukur dan naik lagi sebelum satu jam. Hal ini menunjukkan bahwa gaya elektrostatis antara ion  $\text{Na}^+$  dengan elektroda negatif dan ion  $\text{Cl}^-$  dengan elektroda positif berlangsung dengan baik sehingga elektroda memiliki respon yang cepat dalam mengurangi kadar garam. Namun proses *desorpsi* berlangsung lebih lama dari pada *adsorpsi* hal ini dimungkinkan karena ketika proses *desorpsi* diterapkan yaitu dengan memberikan tegangan 0 V elektroda masih menyimpan muatan. sisa tegangan yang diberikan saat *adsorpsi*, maka ketika proses *desorpsi* diterapkan masih banyak ion yang menempel pada permukaan elektroda dalam kurun waktu tertentu hingga elektroda kehilangan muatan ion mengalir kembali menuju aliran. Untuk mengatasi hal ini menurut (Porada et al., 2013) proses *desorpsi* dapat dilakukan dengan membalik polaritas agar tidak ada sisa muatan dan proses *desorpsi* dapat berlangsung dengan cepat.

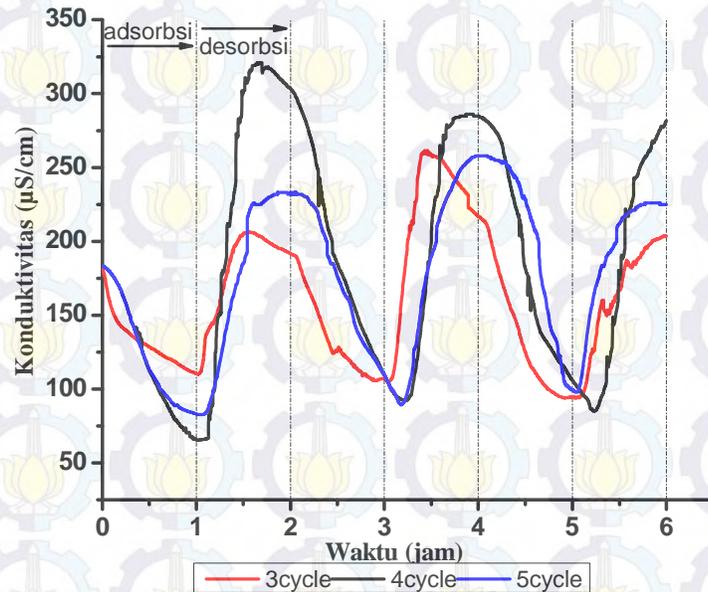


Gambar 4.12 Hasil Desalinasi Larutan Garam MgCl

Proses *adsorpsi* dan *desorpsi* larutan MgCl yang mempunyai nilai awal 180  $\mu\text{s/cm}$  ditunjukkan oleh Gambar 4.12. Pengurangan kadar garam pada larutan MgCl tidak sama dalam setiap siklus. Pengurangan terbesar terjadi pada siklus ke-2 yaitu 40.41% untuk elektroda tipe 3 *cycle*, pada siklus ke-2 yaitu 54.47% untuk elektroda tipe 4 *cycle* dan pada siklus ke-2 yaitu 38.73% untuk elektroda tipe 5 *cycle*. Proses *adsorpsi* dan *desorpsi* pada elektroda tipe 3 *cycle* untuk siklus pertama pengurangan kadar garam tidak maksimal, hal ini dimungkinkan karena masih ada sisa garam pada saat desalinasi sebelumnya. Sedangkan pada siklus kedua proses *adsorpsi* menghasilkan nilai yang lebih baik daripada siklus lainnya, namun proses *desorpsi* tidak berlangsung dengan stabil sama pada saat *adsorpsi* pada siklus ketiga. Hal ini dapat disimpulkan bahwa elektroda tipe 3 *cycle* tidak baik digunakan dalam jangka waktu yang lama karena tidak memiliki kestabilan yang baik.

Pada elektroda tipe 5 *cycle* penurunan kadar garam terbaik ditunjukkan pada *cycle* pertama dan kedua yaitu sebesar 38.73%, namun pada *cycle* ketiga performa elektroda menurun. Hal ini disebabkan karena pada siklus sebelumnya proses *desorpsi* tidak berlangsung dengan sempurna sehingga masih terdapat sisa

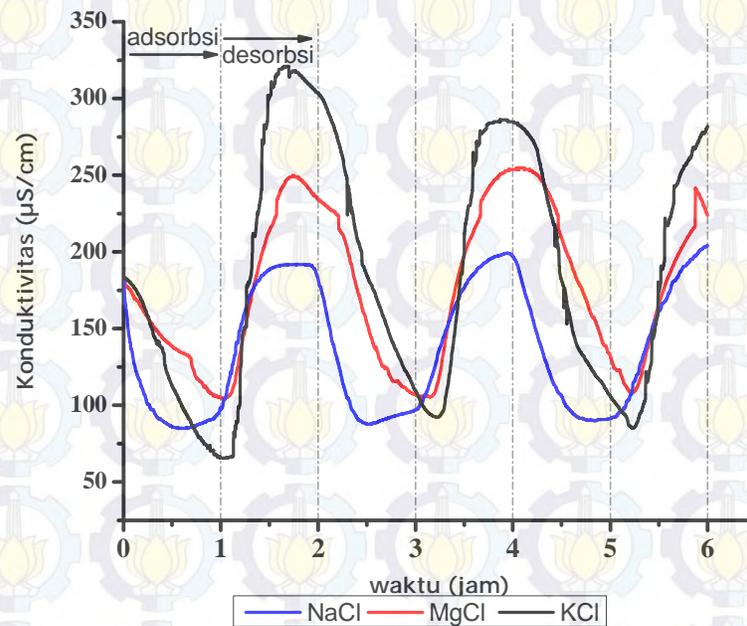
garam dari proses *adsorpsi* pada siklus sebelumnya. Elektroda tipe 4 *cycle* menunjukkan proses *desorpsi* dan *adsorpsi* yang relatif stabil dalam 3 siklus dengan mengurangi kadar garam sebesar 53.4%.



Gambar 4.13 Hasil Desalinasi Larutan Garam KCl

Proses *adsorpsi* dan *desorpsi* larutan KCl yang mempunyai nilai awal 180  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ditunjukkan oleh Gambar 4.12. Pengurangan kadar garam pada pada larutan KCl tidak sama dalam setiap siklus. Pengurangan terbesar terjadi pada siklus ke-3 yaitu 56.4% untuk elektroda tipe 3 *cycle*, pada siklus ke-1 yaitu 64.1% untuk elektroda tipe 4 *cycle* dan pada siklus ke-3 yaitu 61.4% untuk elektroda tipe 5 *cycle*. Elektroda tipe 3 dan 5 *cycle* tidak memiliki kestabilan yang baik, hal ini ditandai dengan proses *adsorpsi* dan *desorpsi* tidak berlangsung dengan baik dalam setiap siklus yang diterapkan. Hal ini dimungkinkan karena masih ada garam lain sisa proses desalinasi sebelumnya sehingga mengakibatkan performa elektroda menjadi menurun. Untuk elektroda 4 *cycle* Jika dilihat dari Gambar 4.12 saat proses *adsorpsi* dan *desorpsi* pada setiap siklus menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil terbaik ditunjukkan pada saat siklus 1 dengan pengurangan kadar garam sebesar 64,1%. Untuk siklus ke 2 dan ke 3 performa elektroda menurun tetapi stabil pada kondisi yang sama. Bentuk grafik ini sama dengan penelitian

yang dilakukan oleh Li Min Chang pada tahun 2011 grafik hasil *adsorpsi* dan *desorpsi* elektroda menggunakan  $\text{TiO}_2$  menunjukkan penyerapan ion terbaik pada siklus 1 dan menurun pada siklus berikutnya tetapi stabil dalam siklus ke-2 sampai ke-4. Hal ini disebabkan karena proses desorpsi pada siklus 1 tidak berlangsung dengan baik (Chang et al., 2011), sehingga masih ada garam tersisa pada permukaan elektroda yang menyebabkan pada siklus berikutnya performa elektroda menurun.



Gambar 4.14 Hasil Desalinasi Elektroda 4 *Cycle*

Proses desalinasi dilakukan dengan menggunakan 3 sample larutan garam yaitu NaCl, KCl dan MgCl yang memiliki nilai konduktivitas awal 180  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . dari hasil penelitian elektroda tipe 4 *cycle* memiliki performa yang paling baik dalam mengurangi kadar garam. Namun pengurangan kadar garam masing – masing larutan tidak sama walaupun nilai konduktivitas awal larutan sama. Hal ini dikarenakan setiap larutan memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pengurangan garam terbesar adalah KCl yaitu sebesar 64.1 %, berikutnya NaCl yaitu sebesar 54.4%. Dan berikutnya adalah MgCl yaitu sebesar 53.4%. Penyusun garam adalah unsur alkali golongan IA dan IIA yang berikatan dengan unsur Cl. Na merupakan unsur alkali golongan 1A dengan nomor atom 11. unsur Mg adalah

golongan IIA yang memiliki nomor atom 12 letaknya disebelah kanan Na dan unsur K adalah golongan IA yang memiliki nilai atom 19 terletak dibawah Na pada tabel periodik. Berdasarkan urutan tabel periodik unsur semakin kekanan jari- jari (r) atom semakin kecil dan kebawah memiliki jari –jari semakin besar. Dalam hal ini berarti gaya elektrostatis ion  $Mg^{2+}$  yang memiliki jari- jari paling kecil jika dibandingkan dengan ion  $Na^+$  dan  $K^+$  memiliki nilai terbesar karena gaya elektrostatis berbanding terbalik dengan jari- jari ion. Gaya elektrostatis berikatan dengan kemampuan menarik sejumlah molekul  $H_2O$  (n). semakin besar gaya elektrostatis maka semakin banyak molekul yang  $H_2O$  yang terikat. ion dikatakan mengalami hidrasi ketika berikatan dengan molekul  $H_2O$ . Kation dan anion terhidrasi secara berbeda bergantung pada orientasi molekul air yang berbeda-beda di dalam kulit hidrasi. Ion akan dikelilingi lapisan yang berupa interaksi ion dengan dipol  $H_2O$ . kation dan anion dengan jari- jari mereka (r) yang terhidrasi akan membentuk suatu lapisan hidrasi (*hydration shell*) yang menahan bergabungnya ion – ion menjadi molekul lagi (Marcus, 1994).

Tabel 4.1 Tabel Jari – jari ion dan *hydration shell*

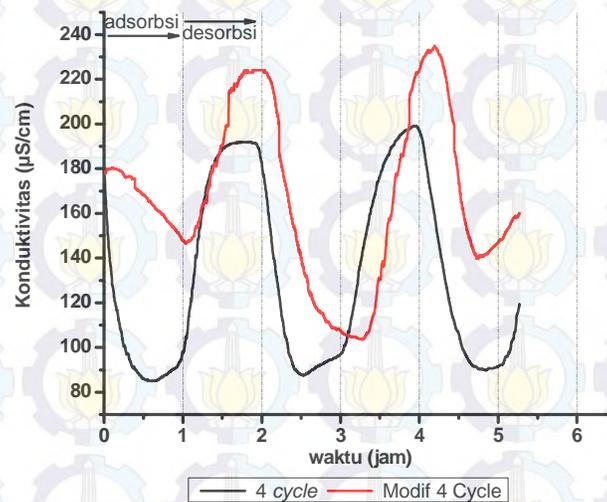
Jenis Ion	*r(pm)	*Δr(pm)	*n	Δh <sub>dy</sub> (H) KJ/mol	Pengurangan kadar garam (%)
Mg <sup>2+</sup>	72	227	16	1945	53.4
Na <sup>+</sup>	102	116	3.5	415	54.4
K <sup>+</sup>	138	74	2.6	330	64.1

\*(Marcus, 1994)

Jari-jari *hydration shell* (Δr) berkaiatan ditunjukkan pada tabel 4.1. terlihat bahwa setiap ion memiliki jari- jari hidrasi dan jumlah molekul air yang mengelilinginya, bergantung pada ukuran ion itu sendiri. Pada tabel tersebut juga ditunjukkan energy hidrasi dari masing- masing ion. Semakin besar energy hidrasi suatu ion maka semakin kuat interaksi yang terjadi antara ion dan molekul air maka medan listrik diantara elektroda semakin sulit untuk melemahkan interaksi tersebut. Karena ion  $Mg^{2+}$  memiliki jari- jari terkecil maka memiliki gaya elektrostatis terbesar sehingga memiliki jari- jari *hydration shell* terbesar berikutnya  $Na^+$  dan  $K^+$  yang ditunjukkan pada tabel 4.1 maka medan listrik

diantara elektroda sukar memecah *hydration shell* dan menarik ion  $Mg^{2+}$  menuju elektroda yang berlawanan muatan. Sedangkan *hydration shell* ion  $K^+$  memiliki jari-jari *hydration shell* lebih kecil sehingga medan listrik diantara elektroda mudah untuk memecah *hydration shell* ion  $K^+$  dan menarik ion  $K^+$  menuju elektroda negatif. Sehingga hasil pengurangan kadar garam KCl lebih banyak dibandingkan garam NaCl dan MgCl.

Penelitian selanjutnya adalah membandingkan performa elektroda tipe 4 *cycle* dengan elektroda dari bahan dasar karbon aktif modifikasi yang melalui proses *freezing thawing* selama 4 *cycle* selanjutnya elektroda ini disebut tipe modif 4 *cycle*. Hasil desalinasi ditunjukkan oleh Gambar 4.14



Gambar 4.15 Hasil Desalinasi Elektroda 4 dan modif 4 *cycle*

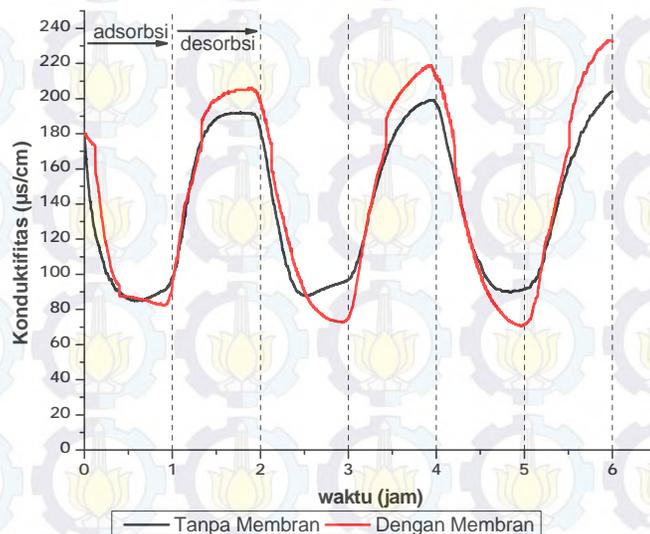
Elektroda tipe modif 4 *cycle* menunjukkan pengurangan garam yang tidak sama pada setiap siklus. Pada siklus pertama dan ketiga pengurangan kadar garam tidak berlangsung maksimal, Pengurangan kadar garam terbaik pada siklus ke-2 yaitu sebesar 51,9%. Namun hasil ini tidak sebaik elektroda tipe 4 *cycle* yang mampu mengurangi kadar garam sebesar 54,4% pada siklus ke-3. Selain itu terlihat dari grafik dalam proses adsorpsi, penyerapan garam relatif sedikit namun saat *desorpsi* konduktivitas mengalami kenaikan yang tidak sebanding dengan proses adsorpsinya. Hal ini dikarenakan ketika proses desorpsi kemungkinan elektroda mengalami kerusakan yang ditandai dengan berubahnya warna larutan

menjadi berwarna kuning saat proses desalinasi. Kerusakan ini dimungkinkan saat proses cryogelasi dijalankan komponen PVA tidak mampu merekatkan karbon dengan baik karena struktur karbon yang sangat halus.

Penelitian yang dilakukan Huang pada tahun 2014 menyebutkan bahwa karbon aktif yang telah dimodifikasi dengan  $\text{HNO}_3$  dapat meningkatkan desalinasi hingga 15% karena bertambahnya gugus oksigen yang dimungkinkan menambah kereaktifan karbon aktif dalam mengadsorb ion yang melewati ruang diantara elektroda. Hasil yang tidak sama ditunjukkan dalam penelitian ini, performa elektroda menggunakan karbon aktif modifikasi tidak lebih baik dari pada elektroda yang menggunakan karbon aktif tanpa modifikasi. Hasil uji FTIR menunjukkan setelah dimodifikasi ada penambahan gugus yang mengandung oksigen serta pada uji EDX jumlah oksigen meningkat 25% yang diharapkan mampu menambah kemampuan elektroda dalam mengadsorb ion garam. Namun bentuk karbon aktif setelah dimodifikasi menjadi lebih halus jika dilihat secara kasat mata serta hasil SEM menunjukkan ukuran pori pada elektroda modif lebih kecil sehingga dimungkinkan tidak dapat menahan ion yang teradsorb pada permukaan elektroda saat proses *adsorpsi* dijalankan. Kecilnya ukuran porus pada elektroda dimungkinkan proses *freezing thawing* tidak berlangsung dengan baik pada saat pembuatan elektroda. Saat membeku zat pelarut membeku disekitar zat terlarut, gel pva yang terbentuk tidak dapat menyusun karbon dengan baik karena ukuran karbon relatif kecil sehingga porus karbon tidak terbentuk dengan sempurna. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gocke and Atlas pada tahun 2014  $\text{HNO}_3$  merupakan oksidator kuat yang dapat menghilangkan pengotor dalam karbon aktif serta dapat merusak dinding karbon sehingga porus karbon menjadi rusak dan berukuran kecil. Hasil pengujian dengan CV juga menunjukkan nilai kapasitansi elektroda juga lebih kecil jika dibandingkan dengan elektroda tipe 3 dan 4 *cycle*. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh porositas dan kapasitansi elektroda lebih berpengaruh terhadap efisiensi proses desalinasi air garam daripada penambahan gugus oksigen pada karbon aktif hasil modifikasi.

#### 4.6 Penambahan Membrane Ion Exchange

Penambahan *membrane ion exchange* bertujuan untuk memperbesar efisiensi penyerapan ion garam. Pada penggunaan *membrane ion exchange* kation atau ion bermuatan positif akan bergerak menembus membran penukar kation karena adanya gugus fungsi negatif di dalam membran. Sedangkan anion dalam larutan elektrolit akan tertolak oleh membran penukar kation karena memiliki muatan yang sama dengan gugus fungsi negatif yang dimiliki oleh membran penukar kation dan sebaliknya (Sutrisna, 2002), *counter-ion* (ion yang tidak sejenis dengan elektroda) akan terperangkap dalam daerah makroporus dan *membrane* (Porada et al., 2013). sehingga diharapkan proses adsorpsi garam menjadi lebih banyak. Penggunaan *membrane ion exchange* pada elektroda dengan variasi 4 *cycle* menghasilkan pengurangan kadar garam sebesar 66.36% pada siklus ke-3.



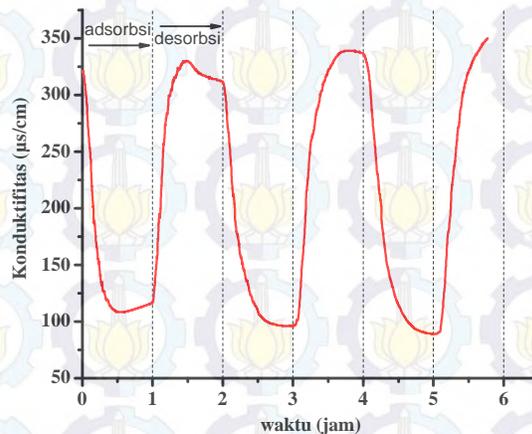
Gambar 4.16 Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl dengan Variasi Penggunaan Membran

penelitian yang dilakukan oleh Kim dan Choi pada tahun 2009 menunjukkan penggunaan membran dapat mengurangi kadar garam lebih banyak daripada tanpa membrane. Hasil yang sama pada penelitian ini sistem yang menggunakan *membrane ion exchange* berhasil mengurangi kadar garam lebih

baik yaitu 12% lebih banyak daripada tanpa menggunakan *membrane*, namun hasil penambahan membran perlu dipelajari lebih lanjut agar mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

#### 4.7 Penambahan Jumlah Cell CDI

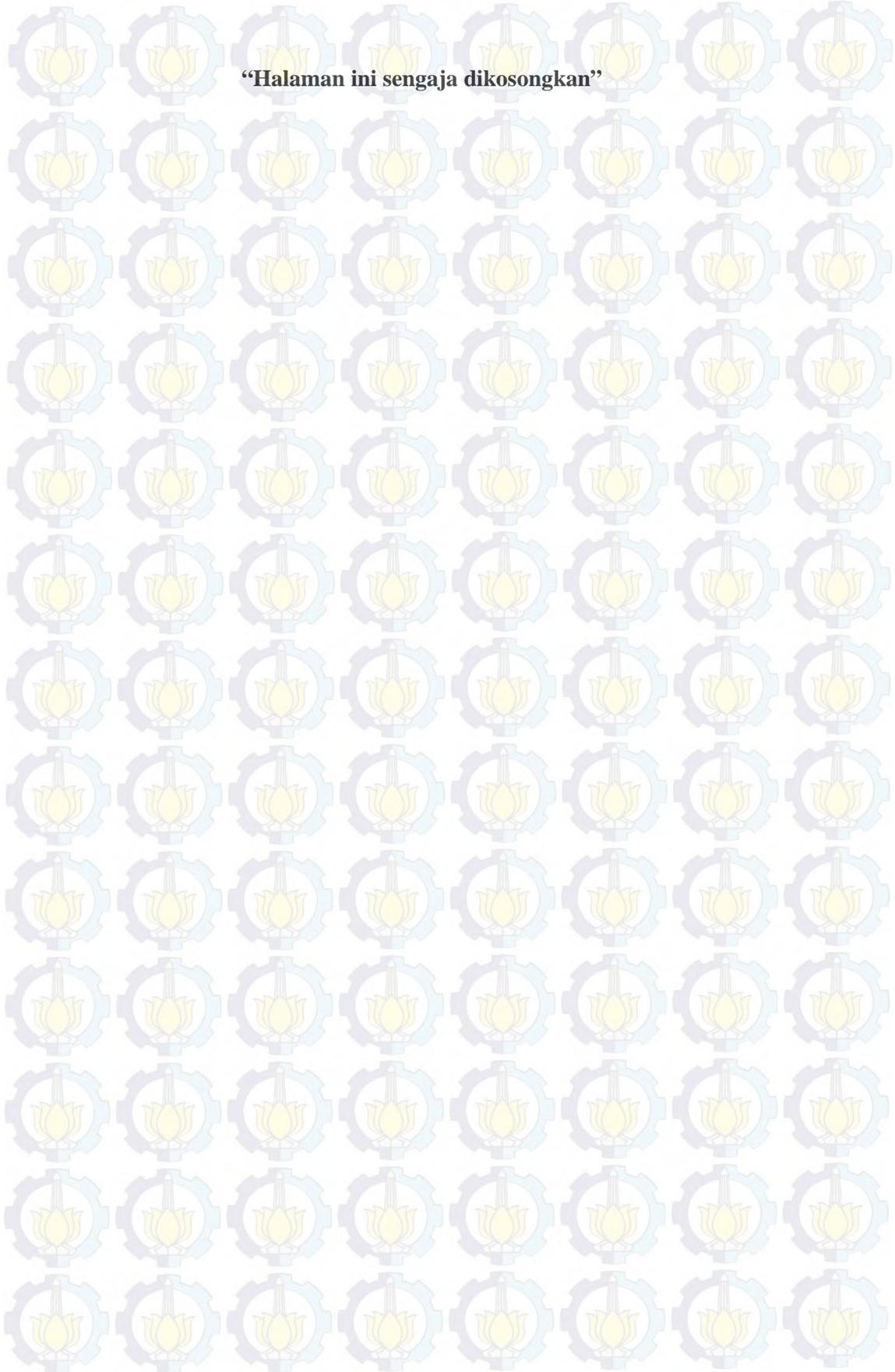
Pada penelitian sebelumnya hasil terbaik ditunjukkan oleh elektroda tipe 4 *cycle* dengan menghasilkan pengurangan kadar garam sebesar 54.3%. Berikutnya dilakukan penelitian untuk menambah optimasi CDI dengan menambah jumlah pasang elektroda untuk mengurangi kadar garam yang lebih tinggi. Penambahan cell CDI dilakukan cara membuat 1 cell CDI dengan jumlah elektroda 10 pasang cell tipe 4 *cycle*. Pengurangan kadar garam dilakukan dengan membuat larutan awal 320  $\mu\text{s/cm}$ . Hasil desalinasi yang ditampilkan dalam Gambar 4.17 menunjukkan sistem CDI yang menggunakan 10 pasang cell tipe 4 *cycle* mengalami pengurangan kadar garam sebesar 73.5 % pada siklus ke-3.



Gambar 4.17 Hasil Desalinasi Larutan Garam NaCl 10 Cell CDI

Jika dibandingkan hasil pengurangan kadar garam dengan 5 cell CDI yang memiliki pengurangan kadar garam 54.3% elektroda dengan 10 cell CDI memiliki efisiensi lebih baik dengan pengurangan kadar garam 73.5%. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kadar garam yang lebih tinggi dapat digunakan jumlah pasang elektroda yang lebih banyak.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



LAMPIRAN

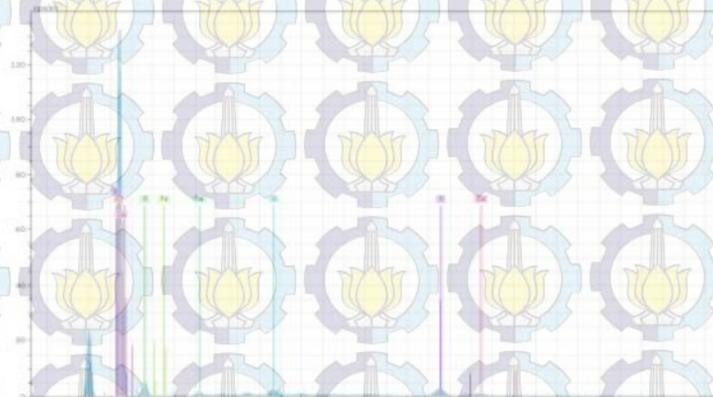
Lampiran 1 Data FT-IR Karbon Aktif Murni

no	Peak	intensity	Corr inte	Base (H)	Base (L)	area	Corr.Are
1	460.96	81.1898	1.5369	464.81	399.24	2.9716	0.0843
2	1064.63	29.1605	0.3159	1068.49	588.25	164.486	1.5636
3	1566.09	22.7596	0.048	1571.88	1560.3	7.4337	0.005

Lampiran 2 Data FT-IR Karbon Aktif Modifikasi

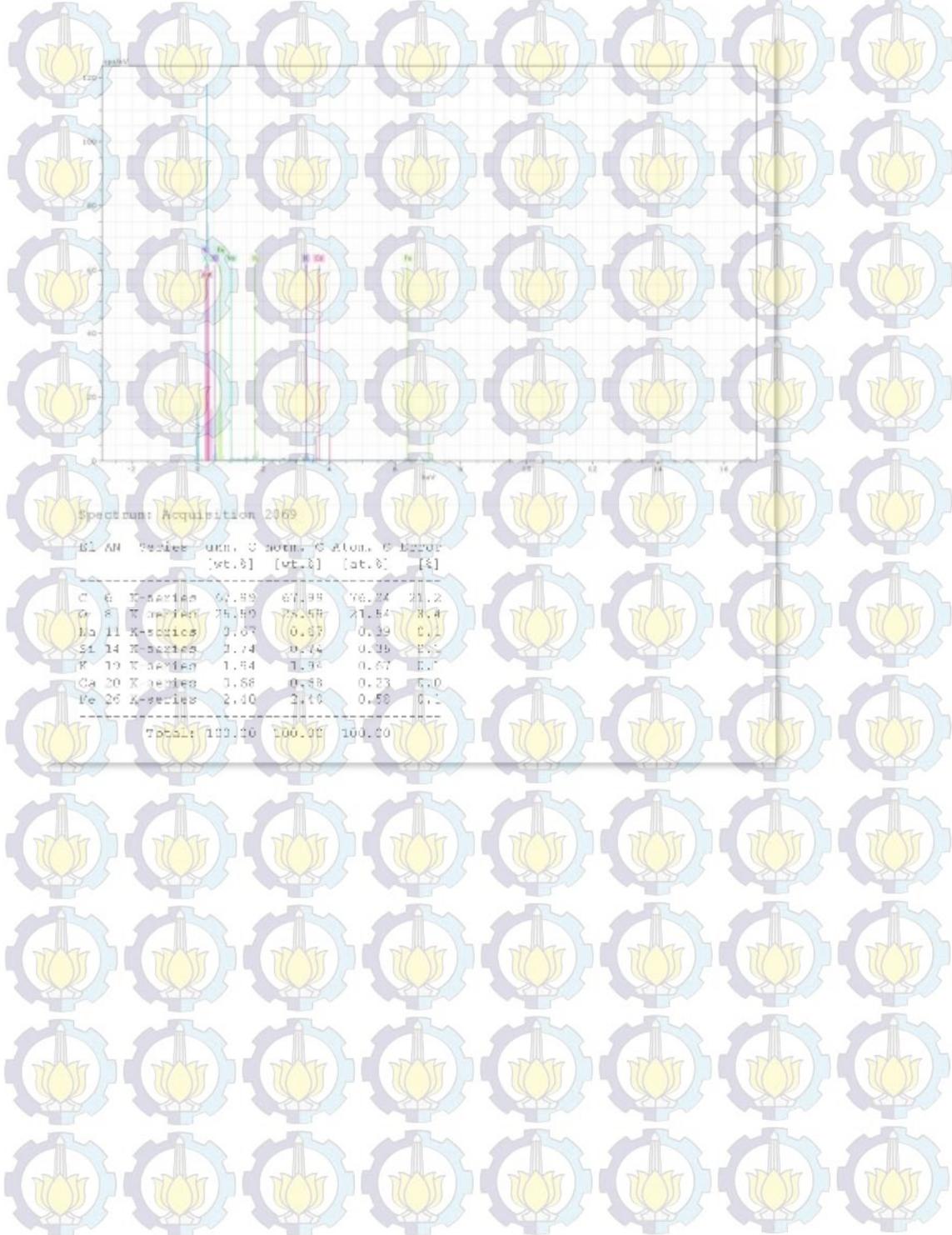
no	Peak	intensity	Corr inte	Base (H)	Base (L)	area	Corr.Are
1	464.81	72.6242	1.6145	468.67	399.24	7.0186	2.2164
2	1097.42	25.0553	2.203	1122.49	491.81	213.9488	1.8529
3	1566.09	24.6483	0.4923	1313.43	1174.57	81.1979	0.8277
4	1569.95	22.9454	4.8288	1652.88	1392.51	152.89	9.404
5	1712.67	25.0017	1.8196	1764.75	1652.88	65.6235	1.7283

Lampiran 3 Data SEM-EDX Elektroda Tipe 3 Cycle

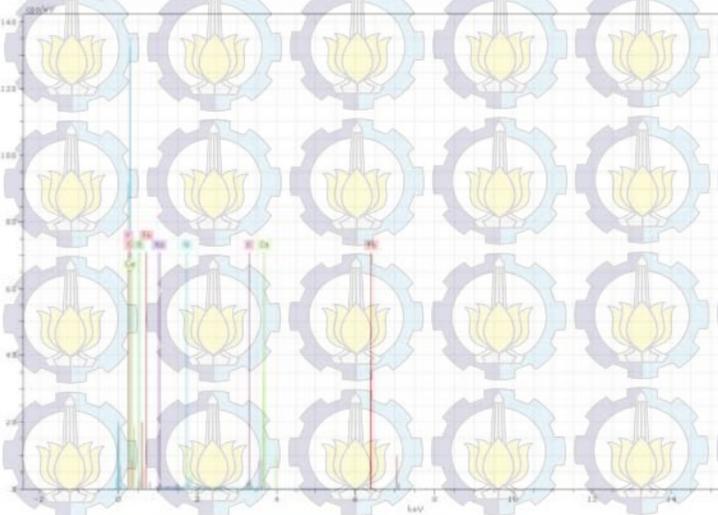


El	AK	Swirl	ash	T	Atom	T	Alus	T	Element
keV	keV	keV	keV	keV	keV	keV	keV	keV	keV
0	0	0	68.54	68.55	75.01	21.4			C
0	0	0	18.00	18.00	21.00	0.15			O
0	0	0	0.70	0.70	0.46	0.1			N
0	0	0	0.02	0.02	0.00	0.1			S
0	0	0	2.14	2.14	0.77	0.1			K
0	0	0	0.77	0.77	0.20	0.1			Ca
0	0	0	0.88	0.88	0.01	0.1			Fe

Lampiran 4 Data SEM-EDX Elektroda Tipe 4 Cycle



Lampiran 5 Data SEM-EDX Elektroda Tipe 5 Cycle



Spectrum Acquisition ZED0

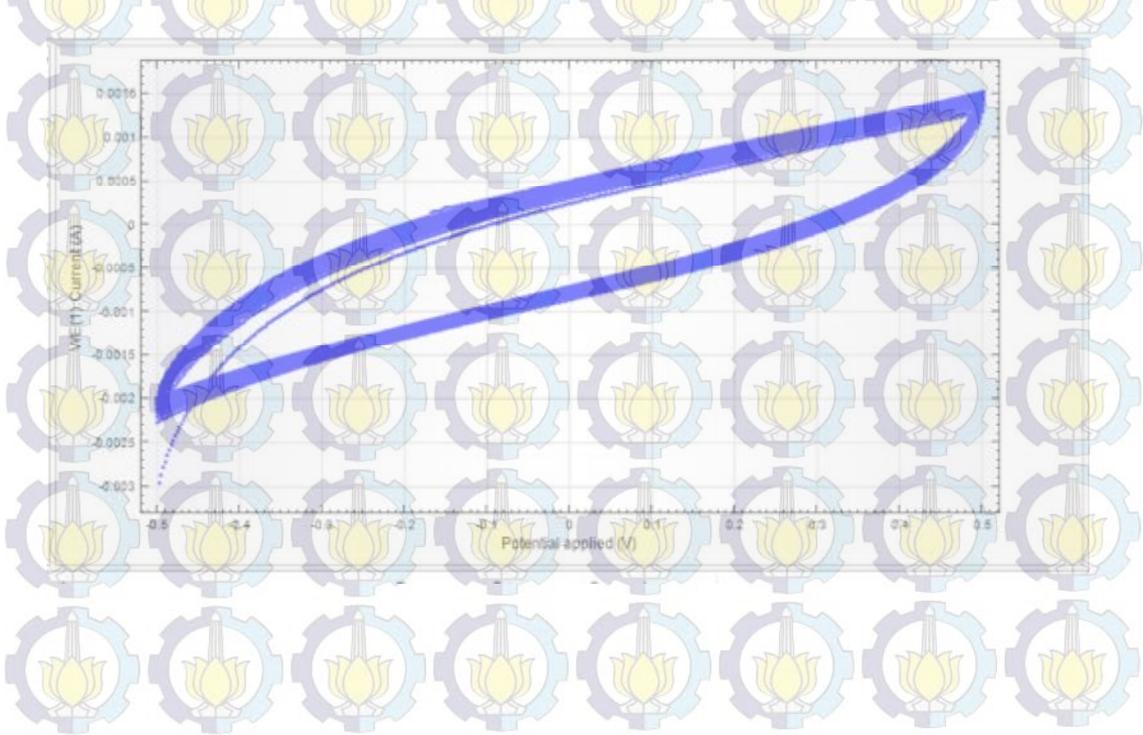
El	AN	Series	unl.	C norm.	C norm.	1 Error
			[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]	(%)
C	6	K-series	69.89	69.00	77.13	21.3
O	8	K-series	26.01	26.00	27.01	8.1
Ni	11	K-series	0.73	0.70	0.40	0.1
Si	14	K-series	0.73	0.74	0.39	0.1
N	15	K-series	2.11	2.10	0.71	0.1
Cu	29	K-series	0.73	0.70	0.23	0.3
Pb	82	K-series	0.57	0.57	0.14	0.3

Refs: 100.00 100.00 100.00

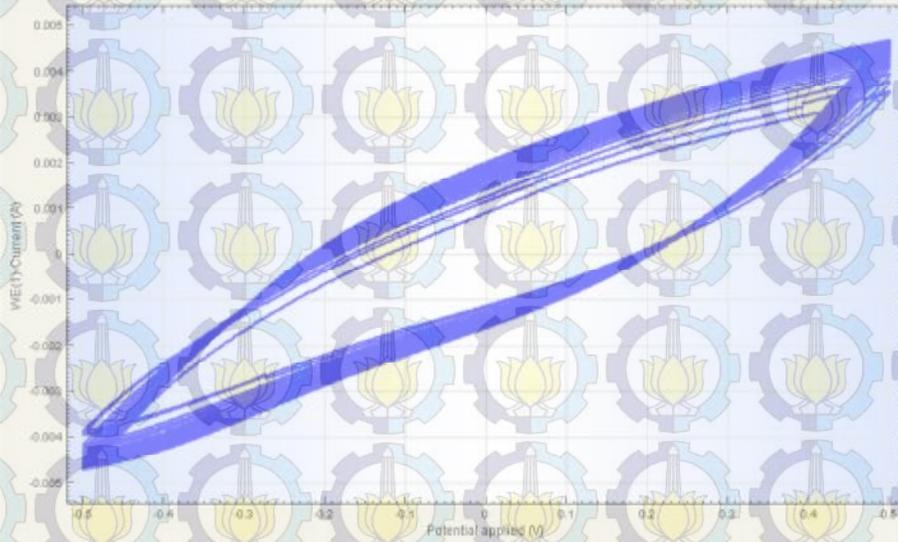
Lampiran 6 \ Data SEM-EDX Elektroda Tipe Modif 4 Cycle



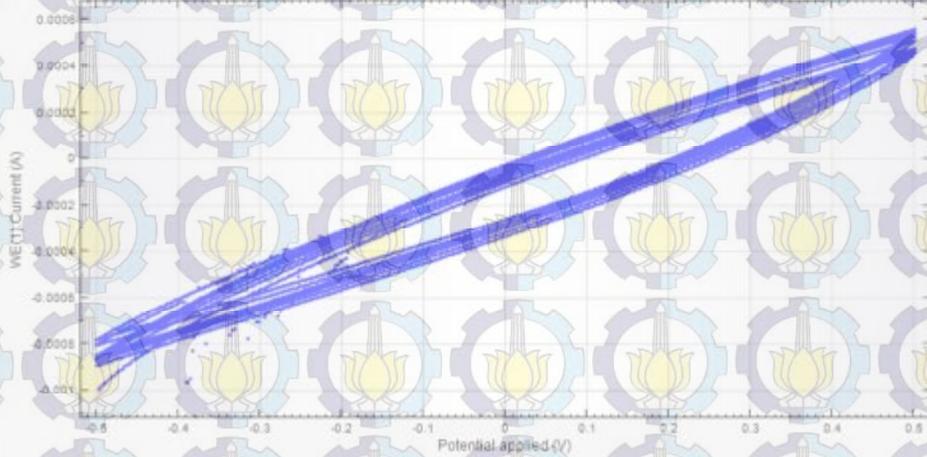
Lampiran 7 \ Data CV Elektroda Karbon Tipe 3 Cycle Sweep Rate 10 mV/s



Lampiran 8 Data CV Elektroda Karbon Tipe 4 Cycle Sweep Rate 10 mV/s

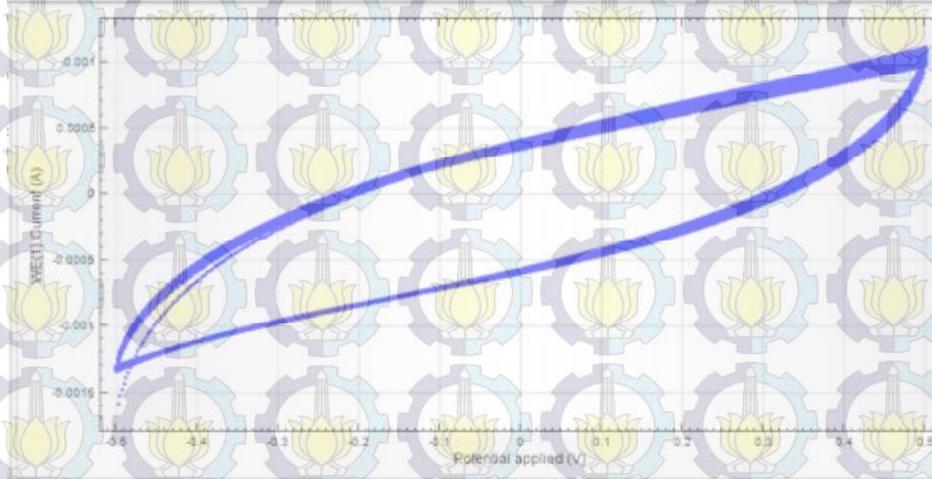


Lampiran 9 Data CV Elektroda Karbon Tipe 5 Cycle Sweep Rate 10 mV/s

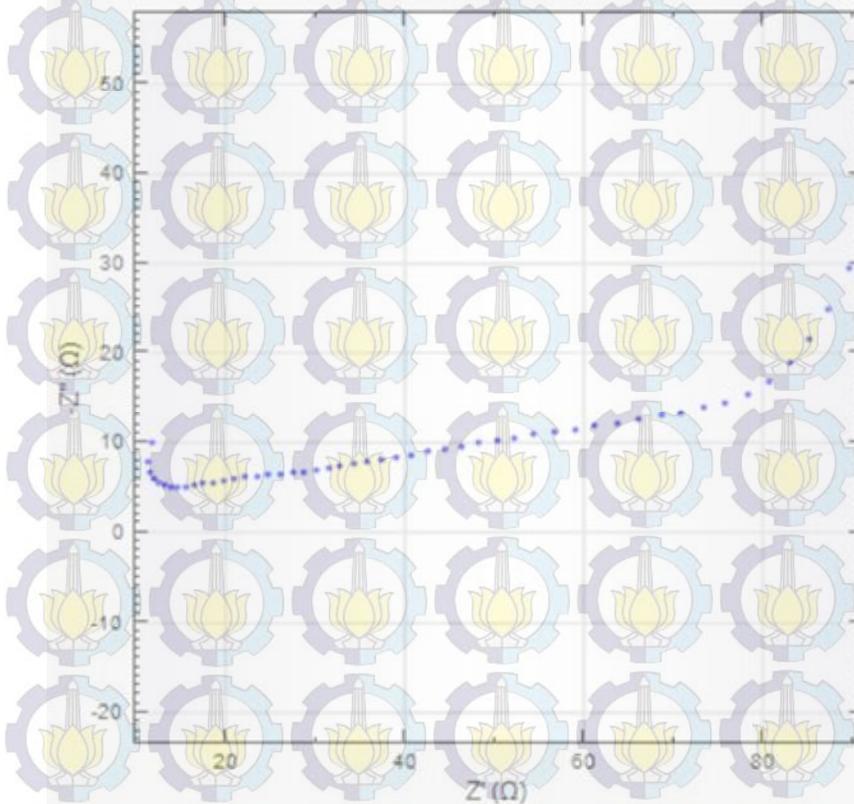


Lampiran 10 Data CV Elektroda Karbon Tipe Modif 4 Cycle Sweep Rate

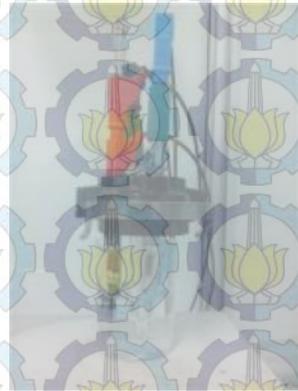
10 mV/s



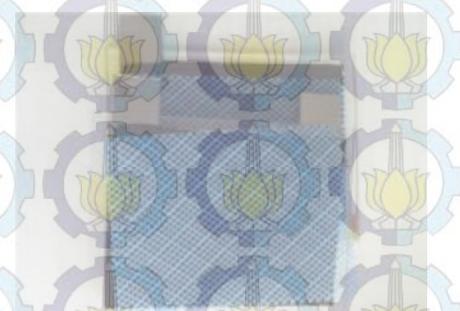
Lampiran 11 Data EIS Elektroda Karbon Tipe 4 Cycle



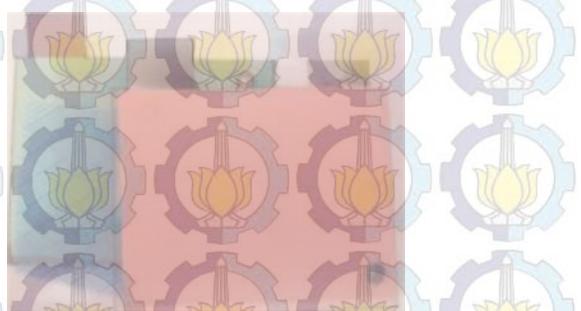
Lampiran 12 Set Up Alat Pengambilan data CV dan EIS



Lampiran 13 Susunan Cell CDI

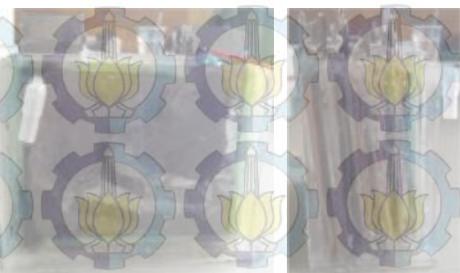


a. Tanpa Menggunakan Mebran

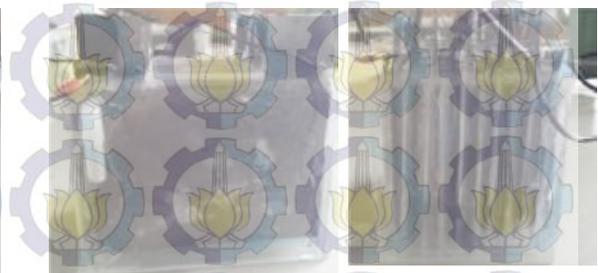


b. Dengan Menggunakan Membran

Lampiran 14 Cell CDI



a. Susunan Cell CDI Menggunakan Mebran



b. Susunan Cell CDI 10 Pasang

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

