



TESIS SF 092006

**OPTIMASI ADSORPSI ION NaCl PADA
ELEKTRODA *CAPASITIVE DEIONIZATION*
DENGAN *MEMBRANE ION EXCHANGE***

ELLYS KUMALA PRAMARTANINGTHYAS
1111 201 206

Dosen Pembimbing
Endarko, M. Si, Ph.D
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



THESIS SF 092006

OPTIMIZATION OF NaCl ADSORPTION ON CAPACITIVE DEIONIZATION ELECTRODE USING ION EXCHANGE MEMBRANE

ELLYS KUMALA PRAMARTANINGTHYAS
1111 201 206

SUPERVISOR
Endarko, M.Si., Ph.D
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

MAGISTER PROGRAME
STUDY ON INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

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

oleh :
Ellys Kumala Pramartaningthyas
Nrp. 1111 201 206

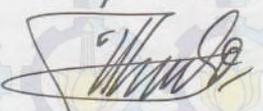
Tanggal Ujian : 27 Januari 2014
Periode Wisuda : Maret 2014

Disetujui oleh :


1. Endarko, M.Si., Ph.D (Pembimbing I)
NIP: 19741117.199903.1.001


2. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T (Pembimbing II)
NIP: 19641229.199002.2.001


3. Dr. M. Zainuri, M.Si (Penguji)
NIP: 19640130 199002.1.001


4. Dr. rer.nat. Triwikantoro, M.Sc (Penguji)
NIP: 19660114 199002.1.001

Direktur Program Pascasajana,


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

OPTIMASI ADSORPSI ION NaCl PADA ELEKTRODA *CAPASITIVE DEIONIZATION DENGAN MEMBRANE ION EXCHANGE*

Nama mahasiswa : Ellys Kumala P
NRP : 1111201206
Pembimbing I : Endarko, M.Si, Ph.D
Pembimbing II : Dr. Melania Suweni Muntini, M.T

ABSTRAK

Salah satu sumber daya air yang belum dimanfaatkan sebagai sumber daya air minum secara maksimal adalah air laut. Untuk itu dibutuhkan sistem desalinasi yang baik dalam rangka pemanfaatan air laut sebagai sumber air bersih. Salah satu metode desalinasi air laut saat ini yang berkembang adalah teknologi *capasitive deionization* (CDI). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi sistem CDI dengan elektroda CDI yang telah dibuat menggunakan metode *crosslinking* dari perpaduan bahan karbon aktif tempurung kelapa dan binder *polyvinyl alcohol* serta dengan penambahan membran untuk pertukaran ion. Selanjutnya dilakukan pengujian optimasi sistem desalinasi secara eksperimen dengan menguji konduktivitas air yang dihasilkan dalam proses desalinasi untuk mengukur perubahan kadar garam yang terjadi. Hasil desalinasi pada penelitian ini didapatkan pengurangan kadar garam maksimum sebesar 59.09% terjadi pada kapasitansi 627 μ Mho, kecepatan aliran 10 mL/menit, tegangan sumber 1.5 V, dan penggunaan *membrane ion exchange* (membran pertukaran ion). Sementara hasil optimasi yang dilakukan dengan penggunaan algoritma genetik didapatkan pengurangan kadar garam maksimum sebesar 70.34% terjadi pada kapasitansi = 627 μ Mho, laju aliran = 5.565 mL/menit, tegangan 1.8 V dan penggunaan membran pertukaran ion.

Kata kunci: *Capasitive Deionization*, Desalinasi, *Membrane Ion Exchange*, Optimasi, *Polyvinyl Alcohol (PVA)*

OPTIMIZATION OF NaCl ADSORPTION ON CAPACITIVE DEIONIZATION ELECTRODE USING ION EXCHANGE MEMBRANE

Name : Ellys Kumala P
NRP : 1111201206
Supervisor I : Endarko, M.Si, Ph.D
Supervisor II : Dr. Melania Suweni Muntini, M.T

ABSTRACT

Sea water is one of the water resources that hasn't fully utilized for drinking water. In order to utilize sea water as a source of clean water then it required a good desalination system. One method of seawater desalination is capacitive deionization (CDI). The study was to optimize CDI system with the electrodes that have been fabricated by the cross-linking method. The electrodes were synthesized with an activated carbon from coconut shell, glutaric acid and polyvinyl alcohol as a binder and the addition of ion exchange membrane. Furthermore, the study was to investigate percentage value of salt removal from system CDI that has been fabricated. Conductivity and Salinity of water were measured before and after desalination process to get a percentage value of salt removal. The result showed that the maximum of salt removal was occurred at 59.09%, with the capacitance at 627 μ Mho, and flow rate at 10 mL/minutes with voltage source of 1.5 V and the addition of ion exchange membrane. Meanwhile, the optimization of CDI system using genetic algorithm showed that the maximum of salt removal was achieved at 70.34% when the system were optimized by the capacitance at 627 μ Mho, and flow rate at 5.565 mL/minute with voltage source of 1.8 V and the addition of ion exchange membrane.

Keywords: Capacitive Deionization, Desalination, Ion Exchange Membrane, Optimization, Polyvinyl Alcohol (PVA)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmah, berkah dan nikmat-Nya yang tanpa batas. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW karena ajaran beliau menuntun kita semua pada jalan yang benar, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis dengan judul:

OPTIMASI ADSORPSI ION NaCl PADA ELEKTRODA CAPASITIVE DEIONIZATION DENGAN MEMBRANE ION EXCHANGE

Keberhasilan penyusunan tesis ini tidak terlepas dari berbagai pihak yang telah berperan membantu, karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu, bapak, kakak dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa dan motivasi.
2. Bapak Endarko, M.Si, Ph. D dan Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T selaku dosen pembimbing, atas kesabarannya dalam membimbing, memberikan motivasi serta masukan.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku ketua jurusan Fisika FMIPA ITS
4. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si dan Bapak Dr. rer.nat. Triwikantoro, M.Sc selaku dosen penguji atas bimbingan dan masukannya.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Eddy Yahya, M.Sc selaku ketua Prodi Pasca Sarjana jurusan Fisika FMIPA ITS.
6. Seluruh dosen dan civitas akademik jurusan Fisika FMIPA ITS atas ilmu dan bantuan yang diberikan, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat.
7. Aghesti Wira S, Linda Silvia, Anita W, Miftahul Huda, dan Idon J teman – teman S2 angkatan 2011 atas bantuan dan dorongan semangat yang diberikan
8. Rama Saputra, Mbak Iim Fatimah, Mbak Nurul Fadilah, Mas Triswantoro Putro, Mas Isa Albana, Mas Sungkono semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

9. Febi Prasetyo atas motivasi yang diberikan
10. Kemendiknas atas kesempatan beasiswa telah diberikan selama masa perkuliahan.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat untuk para pembaca. Amin

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
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 PVA (Polivinil Alkohol)	5
2.3 <i>Membrane Ion Exchange</i>	7
2.4 Capacitif Deionisasi	8
2.5 Voltametri siklik dan <i>Electrical Impedance Spectroscopy</i>	12
2.6 Optimasi Eksperimen sistem CDI.....	13
2.6.1 Fungsi Regresi Berganda	13
2.6.2 Optimasi Algoritma Genetik.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Peralatan dan Bahan	19
3.1.1 Peralatan	19
3.1.2 Bahan	19
3.2 Tahapan Penelitian	20
3.3 Prosedur Kerja	20

3.3.1	Pembuatan Elektroda	20
3.3.2	Pengujian Elektroda.....	21
3.3.3	Pembuatan Sistem Desalinasi.....	21
3.3.4	Optimasi Elektroda.....	22
3.3.4.1	Pembentukan Persamaan Regresi Berganda	24
3.3.4.2	Optimasi Algoritma Genetik	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil dan Pembahasan	31
4.1.1	Pembuatan Elektroda	31
4.1.2	Pengujian Elektroda	32
4.1.2.1	Morphologi Elektroda	32
4.1.2.2	Voltametri Siklik dan EIS.....	35
4.1.3	Perancangan dan Pembuatan Sistem Desalinasi	39
4.1.4	Pengujian Sistem CDI	39
4.1.5	Pengujian Sistem Desalinasi	41
4.1.5.1	Variasi Kapasitansi Elektroda	41
4.1.5.2	Variasi Kecepatan Aliran	42
4.1.5.3	Variasi Tegangan Sumber	44
4.1.5.4	Variasi Penggunaan Membran	46
4.1.6	Optimasi Eksperimen Desalinasi dengan AG	48
4.1.6.1	Persamaan Model Matematis	49
4.1.6.2	Optimasi Algoritma Genetik	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ikatan <i>Crosslinking</i> PVA-GA	7
Gambar 2.2	Membran Penukar Ion.....	8
Gambar 2.3	Prinsip Kerja Capasitif Deionisasi	9
Gambar 2.4	Diagram Skematik CDI dan MCDI	11
Gambar 2.5	Rangkaian Ekuivalen EIS	13
Gambar 3.1	Skema Kerja Penelitian.....	19
Gambar 3.2	Skema Pembuatan Elektroda	20
Gambar 3.3	Sistem Desalinasi	21
Gambar 3.4	Diagram Alir Proses Algoritma Genetik.....	27
Gambar 4.1	Tahapan Pembuatan Elektroda.....	31
Gambar 4.2	Pengujian SEM pada Elektroda Karbon dengan Variasi Konsentrasi	33
Gambar 4.3	Pengujian SEM pada Elektroda Karbon dengan Variasi Suhu ..	34
Gambar 4.4	Grafik Voltametri Siklik	36
Gambar 4.5	Kapasitansi Spesifik pada Elektroda Karbon.....	37
Gambar 4.6	Resistansi Pengisian Pada Elektroda Karbon Dengan Variasi Suhu	38
Gambar 4.7	Sel CDI dan Sistem Desalinasi	39
Gambar 4.8	Hasil Uji Pola <i>Charge</i> dan <i>Discharge</i> pada Digital Osiloskop....	40
Gambar 4.9	Uji Desalinasi dengan Variasi Tipe Elektroda.....	42
Gambar 4.10	Hasil Desalinasi Elektroda pada Variasi Kecepatan Aliran.....	43
Gambar 4.11	Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum pada Elektroda dengan Variasi Kecepatan Aliran	44
Gambar 4.12	Hasil Desalinasi Elektroda pada Variasi Kecepatan Tegangan Sumber	45
Gambar 4.13	Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum pada Variasi Tegangan Sumber	46
Gambar 4.14	Hasil Desalinasi pada Variasi Penggunaan Membran	47

Gambar 4.15	Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum pada Variasi Penggunaan Membrane	48
Gambar 4.16	Validasi Respon Model Dengan Respon Data Eksperimen	52
Gambar 4.17	Hasil Optimasi Persentase Penurunan Kadar Garam dengan Algoritma Genetik	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Variasi suhu pembentukan ikatan <i>crosslinking</i>	48
Tabel 4.1	Variable penelitian	48
Tabel 4.2	Hasil analisis statistik data regresi	51
Tabel 4.3	Implementasi Seleksi <i>Roulette wheel</i>	53
Tabel 4.4	Pemilihan Individu yang Akan Mengalami <i>Crossover</i>	54
Tabel 4.5	Pemilihan Individu yang Mengalami Mutasi.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

A.1	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda A_T120	65
A.2	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda B_T110	66
A.3	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda C_T100	66
B.1	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda A_T120	67
B.2	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda B_T110	67
B.3	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada elektroda C_T100	68
C.1	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada variasi Penggunaan membrane	68
D.1	Data pengukuran konduktivitas larutan NaCl 0,5 M pada variasi kapasitansi elektroda	69
E.1	Program Matlab Regresi Berganda	69
E.2	Program Optimasi Algoritma Genetik	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah senyawa terpenting bagi semua kehidupan di bumi. Air menutupi hampir 71% permukaan bumi terutama sumber daya air laut. Namun, kekurangan air bersih menjadi salah satu masalah bagi umat manusia di abad 21. Dua per tiga dari populasi manusia di dunia akan menghadapi kelangkaan air pada tahun 2025 (Buerkle, 2007). Salah satu sumber daya air yang belum dimanfaatkan sebagai sumber daya air minum secara maksimal adalah air laut. Teknologi desalinasi dapat digunakan untuk menghasilkan air tawar dari air laut dan air payau yang layak dikonsumsi oleh manusia. Beberapa tahun terakhir ini dikembangkan teknologi baru untuk sistem desalinasi yaitu *capasitive deionization*. Studi awal tentang teknologi ini dimulai sejak pertengahan tahun 1960an sampai awal 1970, konsep awal tentang CDI ini diperkenalkan oleh Caudle et.al yang menggunakan elektroda karbon berpori yang menggunakan serbuk karbon aktif yang dialiri arus untuk desalinasi air. Kemudian dilanjutkan oleh Johnson et al. mempelajari CDI sebagai proses reversibel (Oren, 2008).

Capasitive Deionization merupakan teknologi alternatif yang efisien dalam memisahkan ion NaCl dari air laut. CDI sel terdiri dari dua konduktif elektroda berpori, dengan material dengan luas permukaan per unit berat yang besar yaitu sekitar $1000 \text{ m}^2 / \text{g}$ dan memiliki konduktifitas yang tinggi untuk memungkinkan adanya penyerapan ion NaCl. Karbon aktif paling sering digunakan sebagai elektroda pada sistem ini, karena memiliki daya serap yang baik (Zhao et.al, 2013). Untuk semua teknologi desalinasi, sangat penting untuk memaksimalkan kinerja desalinasi, yaitu, tingkat desalinasi per satuan waktu, mengoptimalkan pemulihan air ,yang merupakan rasio dari aliran air tawar relatif terhadap aliran air laut (Zhao et.al ,2013). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Li dan Zhou pada tahun 2011 penambahan membran pertukaran ion di antara kedua elektroda meningkatkan kinerja CDI

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif (*activated carbon*) berdasarkan pada pola strukturnya merupakan suatu bahan yang berupa karbon amorf yang sekitar 85 – 95 % terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam yang luas sehingga memiliki daya serap yang tinggi. Untuk mendapatkan karbon aktif, material yang mengandung karbon misalnya batubara, kulit kelapa, dan sebagainya dilakukan proses aktivasi pada tekanan dan suhu yang tinggi, Ketika pemanasan berlangsung, bahan yang mengandung karbon tersebut diusahakan hanya mengalami karbonisasi dan tidak teroksidasi. Dengan demikian, setelah proses aktivasi karbon akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia (Lindayanti, 2006).

Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 – 3500 m²/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif mempunyai sifat sebagai adsorben. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25 - 100% terhadap berat karbon aktif (Lindayanti, 2006).

2.2 PVA (Polivinil Alkohol)

Polivinil alkohol adalah polimer plastik yang larut dalam air. Polivinil alkohol memiliki beberapa singkatan yang umum dipakai yaitu, PVOH, PVA, dan PVAL. Polivinil alkohol (PVOH) merupakan zat yang tidak berasa, tidak berbau, dapat terurai oleh alam dan biokompatibel. Selain dapat terlarut dalam air, polivinil alkohol juga dapat larut dalam etanol. Namun, zat ini tidak dapat larut dalam pelarut organik. Proses pembuatan PVA dilakukan dengan menghidrolisis polivinil asetat (PVAc). *Polyvinyl Alcohol (PVA)* merupakan salah satu polimer hidrofilik yang dapat larut dalam air, diaplikasikan dalam dunia kedokteran karena polimer ini biokompatibel

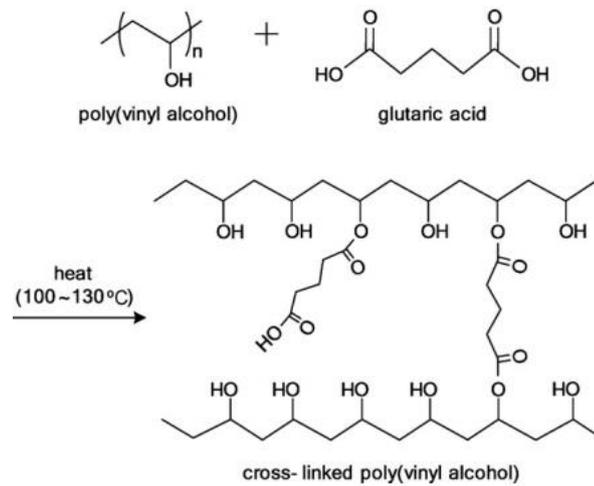
(Stasko et al, 2009; Nakaoki, 2007). PVA dapat dibentuk menjadi hidrogel dalam kandungan air tinggi dengan beberapa metode seperti crosslinking kimiawi (seperti *glutaraldehyde*, *succinyl chloride*), *freeze-thawing*, irradiasi gamma dan fotopolimerisasi (Vrana,2009).

Crosslinking adalah proses kimia menggabungkan dua atau lebih molekul oleh ikatan kovalen. Proses *crosslinking* membutuhkan *agent* untuk mengikat molekul-molekul pada polimer membentuk ikatan kovalen (Park,2011). Ketika agen *crosslinking* ditambahkan ke rantai molekul polimer yang panjang, fleksibilitas berkurang, meningkat kekerasan dan titik leleh juga mengalami peningkatan. Ketika rantai polimer dihubungkan oleh *crosslinking* agen, mereka kehilangan beberapa kemampuan mereka untuk bergerak sebagai individu rantai polimer (Kumar,2003). Misalnya, polimer cair (di mana rantai yang bebas mengalir) dapat berubah menjadi "padat" atau "gel" oleh *crosslinking* menghasilkan rantai bersama-sama (Sperling, 2006).

Hasil modifikasi sifat mekanis pada bahan sangat tergantung pada densitas *crosslink*. Densitas *crosslink* rendah akan menurunkan viskositas polimer cair. Densitas *crosslink* menengah mengubah polimer kenyal menjadi bahan yang memiliki sifat elastomer dan berpotensi memiliki kekuatan tinggi. Densitas *crosslink* yang sangat tinggi dapat menyebabkan bahan-bahan untuk menjadi sangat kaku atau seperti kaca, seperti bahan fenol-formaldehida (Beltran,1999).

Ikatan *cross-link* pada molekul polimer dapat dibentuk oleh reaksi kimia yang diinisiasi oleh panas, tekanan, perubahan pH, atau radiasi. *Cross-linking* juga dapat diinduksi pada bahan yang biasanya termoplastik melalui paparan sumber radiasi, seperti paparan berkas elektron, radiasi gamma, atau sinar UV. Kimia kovalen *crosslink* stabil secara mekanis dan termal, sehingga sekali terbentuk sulit untuk pecah (Vrana,2009).

Salah satu *crosslinking* agen dari PVA adalah asam glutarik. Pembentukan ikatan *crosslinking* ini dibantu dengan pemanasan dengan suhu 100-130 °C (Park,2011). *Crosslinking* PVA-GA akan membentuk ikatan sebagai berikut :

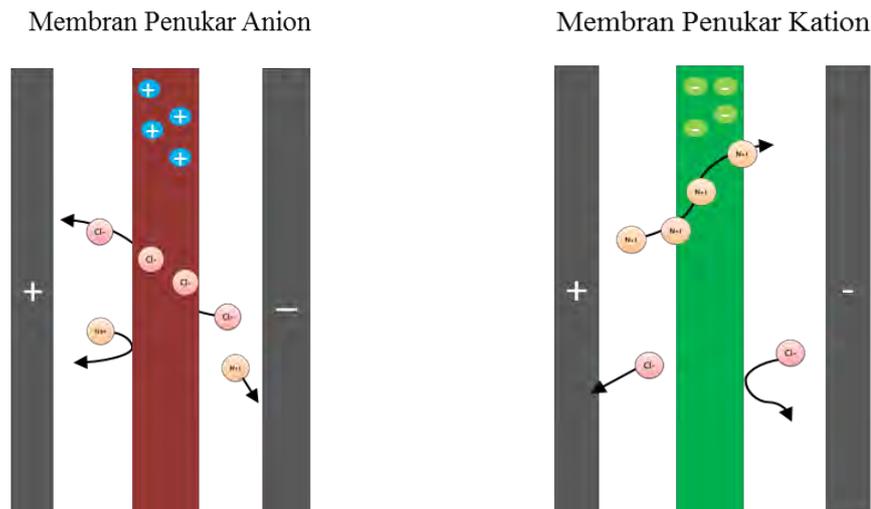


Gambar 2.1 Ikatan *Crosslinking* PVA-GA (Park et al, 2011)

2.3 Membran Ion Exchange

Pertukaran ion melibatkan pertukaran antara dua ion-ion senyawa elektrolit atau antara elektrolit solusi dan kompleks. Dalam kebanyakan kasus istilah ini digunakan untuk menunjukkan proses pemurnian, pemisahan, dan dekontaminasi air atau penukar ion mineral (Tongwen Xu, 2005).

Terdapat dua jenis membran penukar ion yaitu membran penukar kation dan membran penukar anion. Membran penukar ion umumnya dibuat dari proses *crosslinking polymer* dengan menambahkan gugus fungsi untuk masing – masing membran. Membran penukar kation diberikan gugus fungsi negatif sedangkan membran penukar anion diberikan gugus fungsi positif. Jika membran penukar ion diletakkan dalam suatu larutan elektrolit, afinitas membran penukar ion tersebut akan berbeda untuk setiap jenis ion bermuatan berbeda. Kation atau ion bermuatan positif akan bergerak menembus membran penukar kation karena adanya gugus fungsi negatif di dalam membran. Sementara untuk muatan yang sejenis dengan membran akan ditolak oleh membran untuk menembus membran (Putu, 2007).



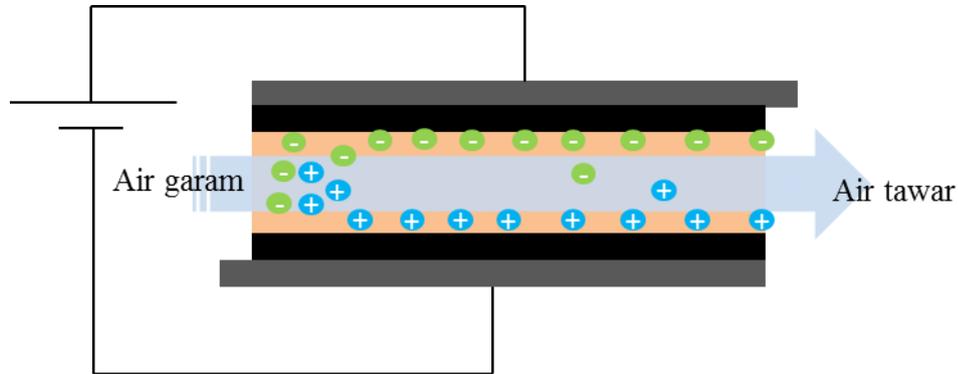
Gambar 2.2 Membran Penukar Ion

Pada Gambar 2.2 terlihat sistem dengan dua elektroda dengan membran penukar ion. Sistem diberi tegangan searah sehingga ion-ion yang melewati elektroda akan bergerak ke kutub yang berlawanan. Pada sistem dengan membran penukar anion, ion negatif akan bergerak menuju elektroda positif menembus membran dan ion negatif akan teradsorpsi pada pori-pori elektroda. Sedangkan ion positif tidak dapat menembus membran penukar anion. Pada sistem dengan membran penukar kation, ion positif akan bergerak menuju elektroda negatif menembus membran penukar kation dan ion positif akan teradsorpsi pada elektroda. Sedangkan ion negatif tidak dapat menembus membran penukar kation (Li,2011).

2.4 Kapasitif Deionisasi

Kapasitif deionisasi adalah salah satu teknologi desalinasi air laut yang menyediakan teknologi alternatif yang efisien karena hanya membutuhkan energi yang kecil dengan prinsip elektrostatis untuk membuang ion-ion dari senyawa yang terdapat pada air larutan. Secara mendasar CDI terdiri dari 2 elektroda karbon yang dihubungkan dengan arus listrik DC (Welgemoed,2005) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Pada saat air garam melalui kedua

elektroda, ion Na^+ dan Cl^- akan memisahkan diri menuju kutup-kutup elektroda yang menariknya.



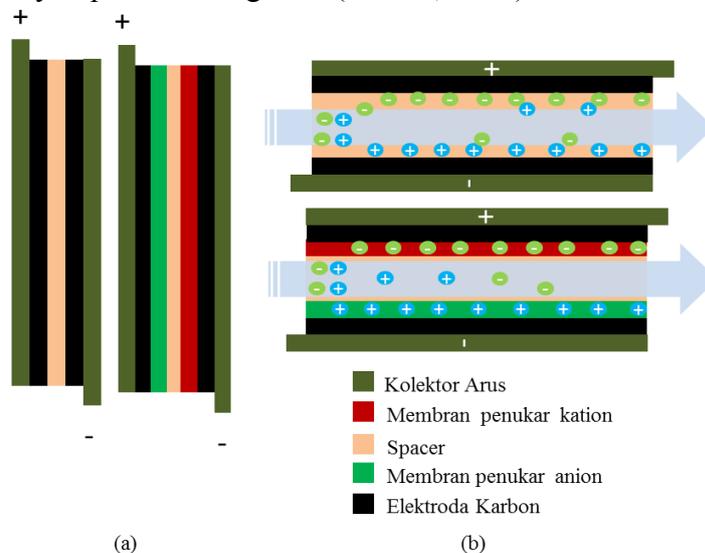
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Kapasitif Deionisasi (Porada,2013)

Sel kapasitif deionisasi (CDI) terdiri dari dua elektroda konduktif berpori. Material pada elektroda CDI harus memiliki luas permukaan spesifik (luas permukaan per satuan berat) yang tinggi ($\pm 1000 \text{ m}^2/\text{gr}$) untuk menyerap ion-ion pada air, grafit sebagai konektor arus yang berfungsi menghantarkan elektron keluar dan masuk ke dalam elektroda dan sebuah saluran pemisah (*spacer*) diantara elektroda. Selama elektroda memiliki luas area yang tinggi, desalinasi pada elektroda terdiri dari dua subproses yaitu desalinasi dimana ion teradsorpsi pada elektroda dan kedua adalah regenerasi dimana ion terdesorpsi dari elektroda. Selama proses desalinasi, potensial diberikan oleh *power supply* sehingga menimbulkan medan listrik melewati elektroda untuk memisahkan ion dari larutan sesuai dengan polaritasnya (Zhao et al, 2013). Sehingga dihasilkan aliran keluaran yang memiliki konsentrasi ion yang rendah. Gerakan partikel bermuatan menciptakan arus listrik yang berkurang sebagai elektroda berpori jenuh. Ketika desalinasi dilakukan sampai batas kapasitas elektroda maka tidak ada ion yang dapat diadsorpsi, sehingga tidak akan ada perubahan yang terjadi pada konsentrasi aliran masuk dan keluar sampai sistem diregenerasi. Regenerasi pada sistem dilakukan dengan membalik polaritas tegangan pada elektroda sehingga ion-ion akan terlepas menuju aliran (Deminer, 2013).

Salah satu modifikasi pada sistem CDI adalah penggunaan membran penukar ion. Membran kapasitif deionisasi (MCDI) mampu memberikan hasil

adsorpsi ion garam yang lebih baik dibanding dengan CDI konvensional. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4, pada CDI konvensional, ketika tegangan diberikan pada sel pada proses adsorpsi ion, *counter-ion* (ion yang berlawanan muatan dengan elektroda) diserap oleh elektroda. Sementara *co-ion* (ion yang bermuatan sama dengan elektroda) akan hanya mencapai makroporus namun dilarang masuk ke dalam mikroporus. Pada sistem CDI *co-ion* akan berakhir pada daerah *spacer* dan kembali menuju aliran larutan sehingga mengurangi hasil desalinasi (Zhao,2013).

Pada sistem MCDI, dengan membrane penukar ion ditempatkan di depan elektroda, *co-ion* yang tidak dapat masuk dalam mikroporus elektroda diblok oleh membrane penukar ion dan tidak dapat keluar dari daerah elektroda. Sehingga *co-ion* akan berakhir di daerah makroporus elektroda dan terakumulasi di makroporus elektroda, dengan bertambahnya konsentrasi *co-ion* di makroporus maka konsentrasi *co-ion* di daerah makroporus lebih besar daripada konsentrasi *co-ion* di daerah *spacer* (Porada,2013). Karena adanya penetralan di daerah makroporus, maka akumulasi *co-ion* akan menyebabkan peningkatan akumulasi *counter-ion* pada daerah makroporus. Sehingga pada MCDI tidak hanya penyerapan *counter-ion* pada daerah mikroporus namun juga penyimpanan pada daerah makroporus. Pada proses MCDI makroporus memegang peranan penting dalam proses penyerapan ion-ion garam (Porada, 2013).



Gambar 2.4 Diagram Skematik (a) CDI dan MCDI (b) Perbandingan prinsip kerja CDI dan MCDI (Li,2011)

Mekanisme elektrokimia yang terjadi pada sistem CDI terdiri dari dua proses yaitu transfer elektron dan transport massa. Transport massa pada sistem CDI terdiri dari tiga pergerakan ion yaitu difusi, konveksi dan migrasi. Konveksi merupakan perpindahan ion-ion akibat gaya mekanik dari luar seperti aliran larutan yang melalui elektroda. Karena adanya perbedaan potensial listrik, ion-ion yang mengalir diantara kedua plat elektroda akan memisahkan diri menuju permukaan elektroda. Pergerakan karena energi listrik ini merupakan pergerakan secara migrasi. Setelah mencapai permukaan elektroda, ion-ion akan mengalami difusi ke dalam elektroda. Pergerakan secara difusi ini disertai transfer elektron dari permukaan elektroda membentuk reaksi redok pada ion-ion di permukaan elektroda. Pada anoda yang merupakan elektroda positif terjadi reaksi oksidasi terhadap ion Cl^- dan pada katoda akan terjadi reduksi H_2O serta penyerapan ion Na^+ (Des Eaux, 1996).

2.5 Voltametri siklik dan *Electrical Impedance Spectroscopy*

Untuk mengevaluasi kerja sistem elektroda berpori dibutuhkan analisis elektrokimia. Salah satu metode pengukuran untuk mengevaluasi perilaku dan sifat-sifat elektrokimia pada suatu elektroda adalah menggunakan voltametri siklik. Voltametri siklik ini menyelidiki mekanisme elektrolisis pada elektroda. Voltametri siklik terdiri dari 3 elektroda antara lain elektroda kerja, elektroda referensi dan elektroda analitik (Puranto, 2010). Elektroda referensi umumnya terbuat dari Ag/AgCl yang bersifat inert sehingga memiliki potensial yang konstan dan tidak sensitif terhadap larutan elektrolit yang digunakan pada proses pengukuran. Elektroda analitik merupakan elektroda untuk menstabilkan sistem elektrokimia dan memperkecil kesalahan dari tahanan sel dalam mengontrol potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Elektroda kerja merupakan elektroda yang dianalisis, dimana pada elektroda ini merupakan target tempat merespon analit pada larutan elektrolit serta membentuk hubungan dengan larutan elektrolit sehingga arus mengalir pada elektroda kerja (Bard, 2001).

Voltametri siklik mengkarakterisasi peningkatan potensial elektroda kerja dari potensial awal menuju potensial berikutnya dan kembali lagi menuju potensial awal. Perpindahan elektron pada bagian antarmuka elektroda terjadi

pada saat potensial diubah secara linier dengan laju satuan tertentu yang memungkinkan ion-ion dalam larutan elektrolit mengalami reaksi redoks. Perpindahan elektron ini yang diukur sebagai perubahan arus listrik berdasarkan fungsi potensial pada voltammogram (Andrienko,2008).

Electrical Impedance Spectroscopy 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. Impedansi sistem dapat terukur dengan hukum ohm yang dinyatakan dalam Persamaan 2.1 (Macdonald, 1992) .

$$Z(\omega) = \frac{E(\omega)}{I(\omega)} \quad (2.1)$$

$Z(\omega)$ merupakan impedansi pada sistem dalam dibilangan kompleks dengan besar dan perubahan fasa yang bergantung dengan frekuensi sinyal. Sehingga dengan memvariasikan frekuensi pada sinyal yang diberikan dapat diperoleh impedansi sistem sebagai fungsi frekuensi. Pada umumnya untuk sel elektrokimia, range frekuensi yang digunakan adalah 100 kHz sampai dengan 0.1 Hz. Pada koordinat polar impedansi dinyatakan dalam

$$Z(\omega) = |Z(\omega)| e^{j\varphi} \quad (2.2)$$

Dimana $|Z(\omega)|$ merupakan nilai impedansi dan φ merupakan perubahan fasa. Dalam koordinat kartesian impedansi diberikan Persamaan sebagai berikut :

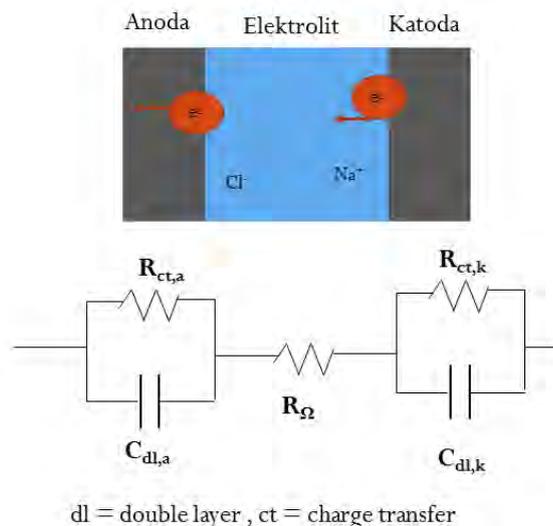
$$Z(\omega) = Z'(\omega) - j Z''(\omega) \quad (2.3)$$

Dimana $Z'(\omega)$ adalah nilai real impedansi dan $Z''(\omega)$ merupakan bagian imajiner (Lasia, 1999). Dalam bentuk Persamaan impedansi untuk rangkaian listrik impedansi total dinyatakan dalam

$$Z_T = R + j(X_L - X_C) \quad (2.4)$$

Sehingga bagian real impedansi menyatakan resistansi pada sistem elektrokimia dan bagian imajiner menyatakan nilai reaktansi pada sel elektrokimia (Macdonald, 1992).

Pada sistem pengukuran EIS, data-data impedansi hasil pengukuran dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian ekuivalen. Model rangkaian ekuivalen pada data EIS digunakan untuk menggali gejala-gejala fisika yang penting pada sistem elektro kimia dengan *modeling* data yang berhubungan dengan rangkaian listrik seperti resistansi (R), kapasitansi (C), dan induktansi (L). Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 sel elektrokimia dapat dianalogikan sebagai rangkaian listrik dengan larutan elektrolit berperan sebagai penghantar muatan. Dalam sel elektrokimia sistem CDI, resistansi merupakan tahanan pada kinetika reaksi dan difusi reaktan menuju dan menjauhi elektroda. Sementara kapasitansi permukaan elektroda menunjukkan kemampuan elektroda pada proses adsorpsi dan desorpsi muatan (Barsoukov, 2005). Untuk mendapatkan rangkaian ekuivalen sel elektrokimia ini, data impedansi real dan imajiner hasil pengukuran dibentuk dalam bentuk grafik kemudian disesuaikan dengan grafik data model pada sistem EIS untuk menentukan rangkaian yang sesuai dengan sistem elektrokimia yang diukur. Proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan nilai kapasitansi dan resistansi pada rangkaian ekuivalen berdasarkan melakukan regresi data hasil pengukuran dengan data model rangkaian pada EIS (Ivers, 2003).



Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen EIS

2.6 Optimasi Eksperimen sistem CDI

2.6.1 Fungsi Regresi Berganda

Pada umumnya, pada suatu permasalahan ada dua atau lebih variabel yang berkaitan yang dapat dibentuk dalam suatu model untuk dianalisis hubungannya. Untuk variabel bebas atau variabel respon y yang bergantung pada k variabel terikat atau variabel regresi contohnya x_1, x_2, \dots, x_k , hubungan diantara variabel-variabel ini disebut sebagai model regresi (Montgomery, 2005). Analisis regresi merupakan proses pembuatan fungsi atau model matematika yang dapat digunakan untuk memprediksi atau menentukan suatu variabel tertentu berdasarkan variabel-variabel lainnya. Untuk kasus 4 variabel terikat analisis regresi berganda dinyatakan dengan model dugaan sebagai berikut (Grandis, 2009):

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_1^2 + b_6 X_2^2 + b_7 X_3^2 + b_8 X_4^2 + b_9 X_1 X_2 + b_{10} X_2 X_3 + b_{11} X_3 X_4 + b_{12} X_1 X_4 \quad (2.5)$$

Dengan Y menyatakan variabel bebas atau respon dan $x_1, x_2, x_3,$ dan x_4 menyatakan variabel terikat atau variabel prediktor yang divariasikan dalam suatu penelitian. Model seperti pada Persamaan 2.5 disebut sebagai model regresi berganda dengan 4 variabel terikat/prediktor. Parameter b_0 disebut sebagai intersep dan b_1, b_2, \dots, b_k disebut sebagai koefisien regresi parsial karena b_1 mengukur perubahan yang diharapkan Y per unit perubahan X_1 , b_2 mengukur perubahan yang diharapkan Y per unit perubahan X_2 dan seterusnya (Montgomery, 2005). Untuk menghitung nilai koefisien b_0, b_1, b_2 dan seterusnya dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

$$S = f(b_0, b_1) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_{1i} - \dots - b_k X_{ki})^2 \quad (2.6)$$

Kemudian dideferensialkan terhadap b_0, b_1, \dots, b_k

$$\frac{\partial S}{\partial b_0} = 0, \frac{\partial S}{\partial b_1} = 0, \dots, \frac{\partial S}{\partial b_k} = 0 \quad (2.7)$$

Persamaan (2.6) menjadi :

$$\begin{aligned}
 n b_0 + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + \dots + b_k \sum_{i=1}^n X_{ki} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
 b_0 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} \dots + b_k \sum_{i=1}^n X_{ki} X_{1i} &= \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \\
 b_0 \sum_{i=1}^n X_{ki} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{ki}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{ki} \dots + b_k \sum_{i=1}^n X_{ki}^2 &= \sum_{i=1}^n X_{ki} Y_i
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Untuk mempermudah penafsiran koefisien regresi maka Persamaan diatas dapat dijadikan matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{1i} & \dots & \sum_{i=1}^n X_{1i} \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} & \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n X_{ki} X_{1i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ki} & \sum_{i=1}^n X_{ki} X_{1i} & \dots & \sum_{i=1}^n X_{ki}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ki} Y_i \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b X = Y} \tag{2.9}$$

(Mongomery, 2005). Selanjutnya diperoleh Persamaan yang menyatakan solusi regresi berikut :

$$\mathbf{b = [X^T X]^{-1} X^T Y} \tag{2.10}$$

Setelah solusi diperoleh maka parameter model tersebut dapat digunakan untuk menghitung data pada variabel bebas (x) tertentu (*forward modeling*) sehingga dihasilkan kurva regresi yang merepresentasikan variasi data terhadap respon yang diharapkan (Montgomery, 2005).

2.6.2 Optimasi Algoritma Genetik

Optimasi adalah salah satu ilmu untuk mendapatkan nilai minimum atau maksimum secara sistematis dari suatu fungsi, peluang maupun pencarian nilai lainnya. (Sugiyono,2006). Salah satu metode optimasi yang digunakan adalah metode algoritma genetik. Metode ini muncul karena diinspirasi oleh teori-teori dalam ilmu biologi, sehingga banyak istilah dan konsep biologi yang digunakan dalam algoritma genetik. Algoritma genetik juga didasarkan atas mekanisme evolusi biologi. Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi kromosom antar individu organisme. Variasi kromosom ini akan mempengaruhi laju reproduksi dan tingkat kemampuan organism untuk bertahan hidup. Pada dasarnya ada 4 kondisi yang sangat mempengaruhi proses evolusi, antara lain :

- a. Kemampuan organisme untuk melakukan reproduksi
- b. Keberadaan populasi organisme yang bisa melakukan reproduksi
- c. Keberagaman organism dalam populasi
- d. Perbedaan kemampuan untuk bertahan hidup

Individu yang lebih kuat (*fit*) akan memiliki tingkat kemampuan bertahan hidup dan tingkat reproduksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan individu yang kurang *fit*.

Dalam pemodelan matematis, populasi dalam algoritma genetik direpresentasikan oleh sejumlah model, sementara fungsi fitness menyatakan kesesuaian antara respon model dengan data. Sehingga anggota suatu populasi dipilih berdasarkan *fitnessnya* dan jumlah populasi dalam satu generasi dibuat tetap (Grandis,2009). Evolusi dari generasi ke generasi berikutnya dilakukan dengan mekanisme berikut ini :

- Seleksi

Proses seleksi ini menyatakan pemilihan individu atau model untuk dijadikan anggota populasi didasarkan pada *fitnessnya*. Model dengan respons yang dekat dengan data pengamatan memiliki probabilitas lebih besar untuk terpilih. Karakteristik individu dalam satu generasi dengan *fitness* yang besar memiliki kemungkinan lebih besar untuk bertahan sampai generasi berikutnya melalui proses reproduksi. Individu

terbaik dari satu generasi dapat secara otomatis terpilih menjadi anggota populasi pada generasi berikutnya (Grandis,2009).

- Reproduksi (*Crossover*)

Dalam proses reproduksi, sepasang individu induk dipilih berdasarkan *fitnessnya* dan keturunannya merupakan hasil pertukaran karakteristik atau parameter induk yang dipilih secara acak. Dalam proses pencarian solusi untuk model matematis, proses pertukaran menyatakan kerjasama individu untuk sampai pada titik lain dalam ruang model (Suyatno,2005).

- Mutasi

Pada proses seleksi, satu populasi yang terdiri dari individu-individu dipilih berdasarkan *fitnessnya*. Hasil seleksi kemudian dipasangkan pada proses reproduksi atau persilangan dengan hasil keturunan dengan karakteristik yang disumbangkan oleh masing-masing induk. Proses ini diulang hingga beberapa generasi dan anggota populasi memiliki *fitness* yang tinggi merepresentasikan karakteristik optimum (Suyatno,2005).

Dalam algoritma genetik, individu umumnya dikodekan sebagai bilangan biner (0 dan 1) pada sejumlah “*bit*” yang merepresentasikan harga parameter model. Pada kasus pengkodean biner, mutasi dilakukan dengan mengubah salah satu bit menjadi kebalikannya 0 menjadi 1 atau 1 menjadi 0. Parameter probabilitas mutasi digunakan untuk mengatur tingkat kejadian mutasi pada suatu populasi. Jika probabilitas reproduksi terlalu kecil, maka hampir tidak ada perbaikan individu dari satu generasi ke generasi berikutnya (Suyatno,2005). Individu yang dihasilkan dari proses reproduksi akan mengalami mutasi sesuai dengan probabilitas mutasi. Pada evolusi biologis di alam, probabilitas terjadinya mutasi sangat kecil. Pada pemodelan menggunakan algoritma genetik, probabilitas mutasi yang terlalu besar dapat mengacaukan sistem yang sudah mulai konvergen menuju populasi dengan karakteristik yang

optimum atau dekat dengan solusi fungsi persamaan matematis (Grandis, 2009).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

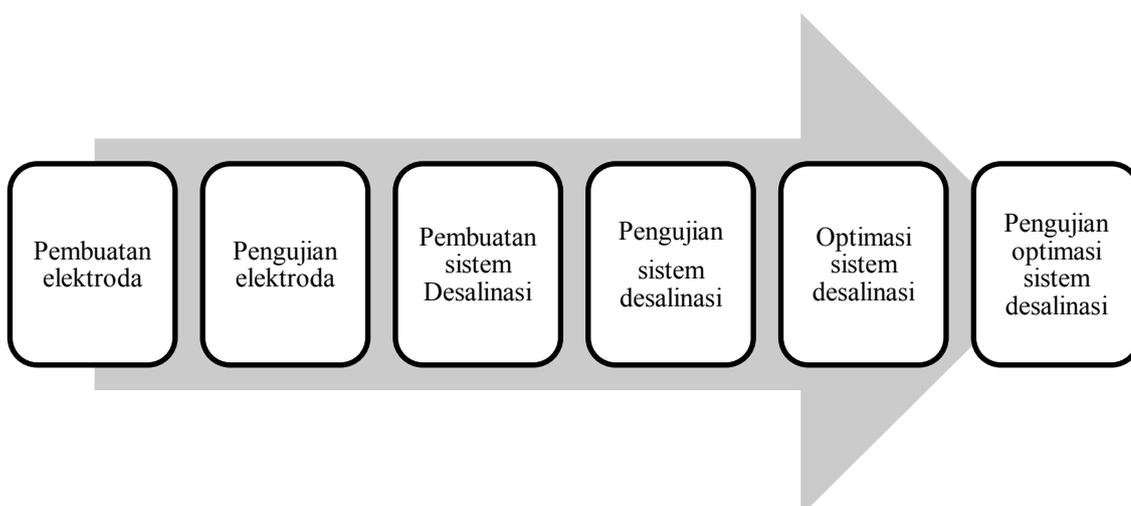
Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah gelas beker, gelas ukur, pipet, spatula, timbangan digital, dan *hotplate stirrer*. Alat uji yang digunakan dalam percobaan ini adalah *salinity meter* untuk mengetahui perubahan kadar garam, *voltametry cyclic* untuk menguji perubahan sifat elektrokimia pada elektroda yang dibuat.

3.1.2 Bahan

Material yang digunakan dalam pembuatan elektroda ini antara lain : Karbon aktif dengan ukuran 140 μm yang di terbuat dari tempurung kelapa, PVA dengan berat molekul 60000 yang difabrikasi oleh Merck Jerman, asam glutarik sebagai *crosslinking* agent yang di fabrikasi oleh Sigma Aldrich Co, 50 ml aquades untuk pelarut PVA dan membran ion exchange yang di fabrikasi oleh *Hangzhou Iontech Environmental Technology Co., Ltd* separator ion.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan diselesaikan dengan skema seperti Gambar 3.1.



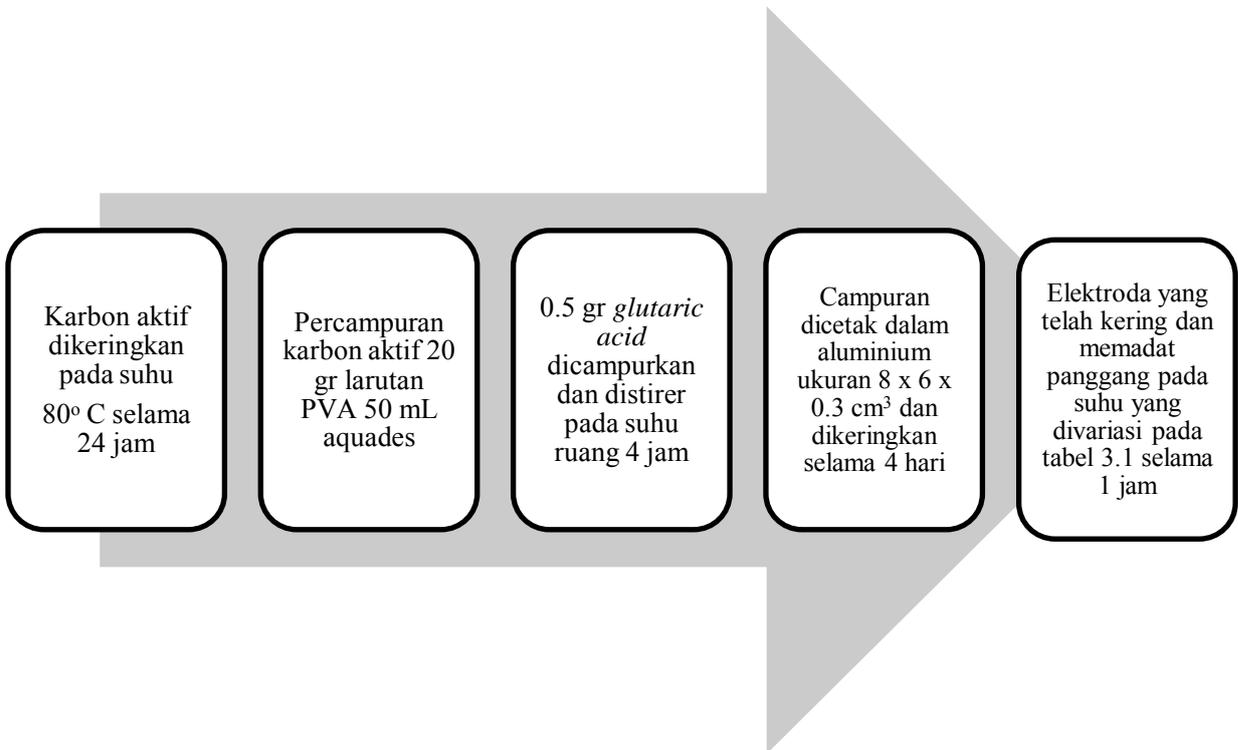
Gambar 3.1 Skema Kerja Penelitian

3.3 Prosedur Kerja

Prosedur kerja pada penelitian ini dibagi menjadi tiga, yaitu prosedur untuk pembuatan elektroda, pembuatan sistem desalinasi dan optimasi sistem desalinasi. Masing- masing prosedur tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

3.3.1 Pembuatan Elektroda

Tahapan dalam pembuatan elektroda dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2 :



Gambar 3.2 Skema Pembuatan Elektroda

Variasi pembuatan elektroda dilakukan seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi suhu pembentukan ikatan *crosslinking*

No.	Elektroda	Cross-linking temperature (°C)
1	A_T120	110
2	B_T110	120
3	C_T100	130

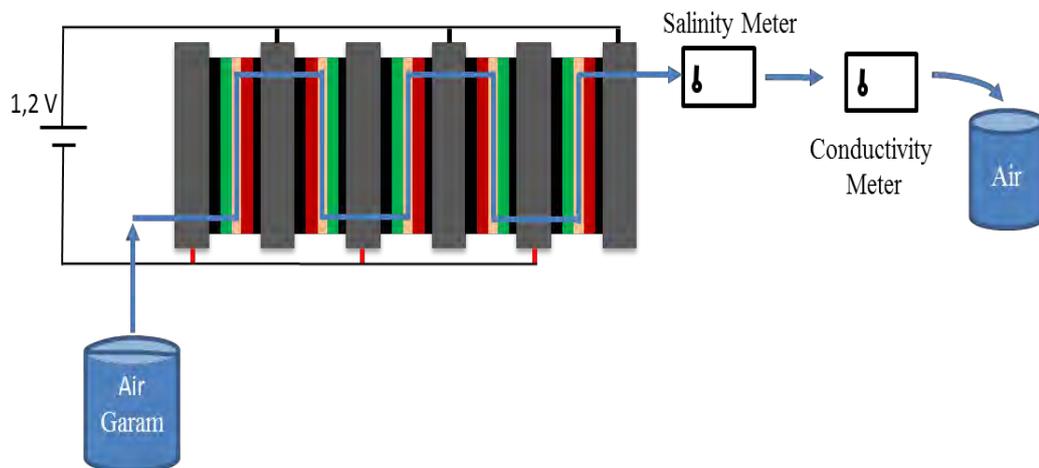
3.3.2 Pengujian Elektroda

Elektroda yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian adapun tahapan yang akan dilakukan adalah:

1. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan untuk mengetahui struktur fisik pada permukaan elektroda.
2. Untuk mengetahui sifat-sifat elektrokimia dan perilaku elektrokimia pada elektroda dilakukan pengujian dengan menggunakan metode *cyclic voltametry* dan *Electrical Impedance Spectroscopy*. Elektroda direndam dalam specimen holder dengan luas permukaan terendam sebesar 1 cm^2 . Larutan elektrolit yang digunakan adalah 0.5 M KCl . Eksperimen pengukuran dilakukan pada suhu air 25°C . Pengukuran menggunakan voltametri siklik dilakukan pada range potensial -0.5 V sampai 0.5 V (vsAg/AgCl) dengan kecepatan sapuan potensial sebesar 5 mV/s . Sedangkan pengukuran impedansi dilakukan dengan *Electrical impedance Spectroscopy* pada potensial 0.0 V dengan frekuensi 100 Hz sampai 20 MHz dan dengan sinyal sinusoidal $25 \text{ mV peak to peak}$. Dengan pengujian voltametri siklik dan EIS ini, nilai kapasitansi spesifik dan resistansi pada elektroda dapat diketahui.

3.3.3 Pembuatan sistem desalinasi

Sistem desalinasi dibuat dengan susunan seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sistem Desalinasi

NaCl murni yang sebelumnya sudah diukur kadar garam dan konduktifitasnya akan dilewatkan pada sistem. Hasil desalinasi dilakukan pengujian dengan *salinity meter* dan *conductivity meter* untuk mengetahui pengurangan kadar garam yang terjadi. Perubahan nilai konduktifitas dan kadar garam pada aliran keluaran menunjukkan perubahan jumlah ion yang teradsorpsi pada elektroda. Persentase pengurangan kadar garam NaCl dari sampel setelah proses desalinasi dengan CDI dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan Persamaan (3.1) (Park, 2007):

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

dengan :

σ_f = konduktivitas awal (mS),

σ_p = konduktivitas akhir (mS)

3.3.4 Optimasi Elektroda

Pada penelitian ini optimasi penyerapan ion pada elektroda kapasitif deionisasi dilakukan agar didapatkan peningkatan pengurangan kadar garam. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat penyerapan ion NaCl pada elektroda yang di tinjau dalam penelitian ini antara lain :

1. Kapasitansi elektroda

Kapasitansi elektroda sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem CDI. Kapasitansi ini menunjukkan kemampuan elektroda dalam penyerapan ion. Nilai kapasitansi pada elektroda sangat dipengaruhi oleh suhu pembentukan ikatan *crosslinking* pada elektroda (Park et al 2011). Untuk itu pada penelitian ini dilakukan variasi suhu seperti pada Tabel 3.1 untuk mendapatkan elektroda dengan nilai kapasitansi yang besar sehingga elektroda mampu melakukan penyerapan ion garam yang lebih banyak. Elektroda yang telah dibuat, diuji dengan *voltammetry cyclic* dan EIS untuk mendapatkan nilai kapasitansi

2. Tegangan listrik pada elektroda

Tegangan listrik pada kinetika muatan dalam sel elektrokimia merupakan energi yang dibutuhkan agar muatan dapat bergerak menuju elektroda (Zou et al, 2011). Pada dasarnya semakin besar beda potensial yang diberikan pada elektroda maka muatan-muatan akan semakin cepat bergerak menuju elektroda hal ini disebabkan energi yang diberikan pada muatan-muatan semakin besar. Untuk sistem CDI pada umumnya digunakan tegangan antara 1 - 1,8 V. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan variasi tegangan yaitu 1 ; 1,2 ; 1,4 ,1,6 dan 1,8 V untuk mendapatkan tegangan yang optimal untuk mendapatkan pengurangan kadar garam yang terbesar.

3. Laju aliran larutan garam

Dalam proses transport massa didalam sel elektrokimia, salah satu pergerakan muatan disebabkan oleh pergerakan secara konveksi, yaitu pergerakan karena laju aliran pada sel elektrokimia (Deminer et al, 2013) . Namun aliran larutan yang cepat belum tentu secara optimal menghasilkan air keluaran dengan pengurangan kadar garam yang besar ,karena hal ini masih terkait dengan mobilitas ion teradsorp menuju elektroda yaitu difusi ion-ion menuju pori-pori elektroda. Jika aliran larutan terlalu cepat, dikhawatirkan ion belum sempat terabsorb menuju elektroda. Untuk itu perlu dilakukan variasi laju aliran larutan garam untuk mengetahui pengaruh laju aliran larutan dengan penyerapan ion NaCl. Pada penelitian laju aliran divariasasi dengan laju aliran 5 , 10, 15 , 20, dan 25 mL/menit.

4. Penggunaan membran penukar ion pada sistem desalinasi.

Penambahan *membran ion exchange* ini memberikan dua keuntungan pada sistem: yang pertama membran akan mengbloking *co-ion* meninggalkan elektroda. Pada CDI tanpa membran *co-ion* masih dapat mencapai daerah macropore pada elektroda, karena *co-ion* tidak dapat masuk kedalam micropore elektroda secara elektrosatik karena muatan yang sejenis maka memungkinkan *co-ion* tidak teradsorp kemudian keluar menuju aliran output (Zhao et al, 2013) . Namun dengan adanya membran, *co-ion* akan di blok sehingga *co-ion* tidak dapat

masuk kembali ke aliran. Keuntungan yang kedua adalah selama proses desorpsi, dimana tegangan yang berlawanan diberikan pada elektroda, *counter ion* 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.

Berdasarkan data-data yang diperoleh dengan kombinasi semua variasi yang telah ditentukan yaitu variasi jenis elektroda, laju aliran, tegangan sumber, dan penggunaan membran, kemudian dilakukan proses optimasi secara matematis. Dari perolehan data ini kemudian dibentuk pemodelan matematis dengan metode berganda. Dari pemodelan matematis ini digunakan sebagai fungsi objektif dalam optimasi menggunakan metode algoritma genetik dengan menggunakan program matlab. Dengan optimasi ini didapatkan nilai pengurangan kadar garam maksimum dan parameter-parameter yang berpengaruh. Langkah-langkah dalam proses optimasi ini dapat di jelaskan sebagai berikut :

3.3.4.1 Pembentukan Persamaan regresi berganda

Untuk mendapatkan persamaan model dengan 4 variabel bebas yaitu laju aliran X_1 , tegangan sumber X_2 , kapasitansi X_3 dan penggunaan membran X_4 digunakan model regresi berganda yang dinyatakan dalam Persamaan (3.2).

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_1^2 + b_6 X_2^2 + b_7 X_3^2 + b_8 X_4^2 + b_9 X_1 X_2 + b_{10} X_1 X_3 + b_{11} X_2 X_3 + b_{12} X_2 X_4 + b_{13} X_3 X_4 + b_{14} X_1 X_4 \quad (3.2)$$

Apabila dimisalkan $X_1^2 = X_5$, $X_2^2 = X_6$, $X_3^2 = X_7$, $X_4^2 = X_8$, $X_1 X_2 = X_{10}$, $X_2 X_3 = X_{11}$.. dan seterusnya maka didapatkan persamaan regresi linier sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_6 X_6 + b_7 X_7 + b_8 X_8 + b_9 X_9 + b_{10} X_{10} + b_{11} X_{11} + b_{12} X_{12} + b_{13} X_{13} + b_{14} X_{14} \quad (3.3)$$

Persamaan (3.3) merupakan model regresi linier dan dapat disederhanakan dalam bentuk :

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \epsilon_i \quad (3.4)$$

Dalam bentuk persamaan matrik dinyatakan dalam

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \mathbf{B} + \epsilon \quad (3.5)$$

Dengan matrik masing-masing :

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Untuk mendapatkan vektor kuadrat terkecil (*Least Square*) \mathbf{B} dengan meminimalkan error digunakan Persamaan (3.7)

$$L = \sum_{j=1}^k \epsilon_i^2 = \epsilon' \epsilon = (\mathbf{Y} - \mathbf{X} \mathbf{B})' (\mathbf{Y} - \mathbf{X} \mathbf{B}) \quad (3.7)$$

Sehingga L dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L &= \mathbf{Y}' \mathbf{Y} - \mathbf{B}' \mathbf{X}' \mathbf{Y} - \mathbf{Y}' \mathbf{X} \mathbf{B} + \mathbf{B}' \mathbf{X}' \mathbf{X} \mathbf{B} \\ L &= \mathbf{Y}' \mathbf{Y} - 2 \mathbf{b}' \mathbf{X}' \mathbf{Y} + \mathbf{B}' \mathbf{X}' \mathbf{X} \mathbf{B} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Persamaan *Least Square* harus memenuhi Persamaan (3.9) berikut ini :

$$\left. \frac{\partial L}{\partial b} \right|_b = -2 \mathbf{X}' \mathbf{Y} + 2 \mathbf{X}' \mathbf{X} \mathbf{B} = 0$$

$$\mathbf{X} \mathbf{X}' \mathbf{B} = \mathbf{X}' \mathbf{Y}$$

$$\mathbf{B} = (\mathbf{X}\mathbf{X}')^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (3.9)$$

Data-data hasil eksperimen sistem CDI dibentuk dalam matrik \mathbf{X} dan \mathbf{Y} . Matrik \mathbf{X} merupakan matrik variasi variabel prediktor yaitu laju aliran X_1 , tegangan sumber X_2 , kapasitansi X_3 dan penggunaan membran X_4 sejumlah data yang diperoleh, dengan anggota matrik \mathbf{X} dibentuk seperti ditunjukkan pada persamaan matrik (3.9). Sedangkan matrik \mathbf{Y} merupakan hasil presentase pengurangan kadar garam berdasarkan variasi variabel prediktor. Matrik \mathbf{B} menunjukkan matrik koefisien regresi parsial yang dicari untuk mendapatkan persamaan regresi. Matrik \mathbf{X} , \mathbf{B} dan \mathbf{Y} dinyatakan sebagai berikut :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & \dots & X_4 & X_1X_2 & \dots & X_2X_3 & \dots & X_3X_4 & X_1^2 & \dots & X_4^2 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & (X_1)_n & \dots & (X_4)_n & (X_1X_2)_n & \dots & (X_2X_3)_n & \dots & (X_3X_4)_n & (X_1^2)_n & \dots & (X_4^2)_n \end{bmatrix}$$

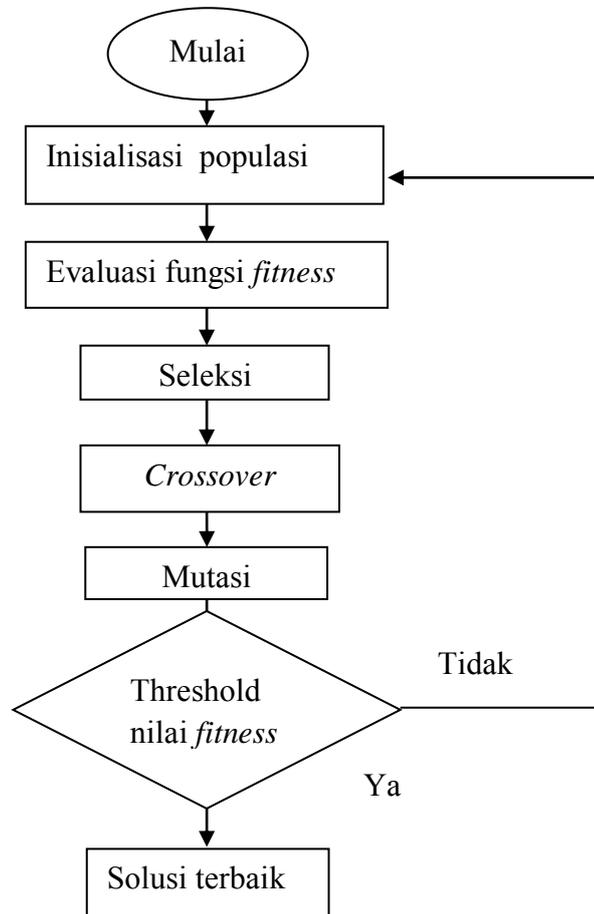
$$\mathbf{B} = [b_0 \quad b_1 \quad \dots \quad b_{14}]$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Dengan matrik \mathbf{X} dan \mathbf{Y} dari data hasil eksperimen ini, dengan menggunakan Persamaan (3.8) maka dapat diperoleh nilai-nilai pada matrik koefisien regresi parsial \mathbf{B} . Dengan nilai-nilai pada matrik \mathbf{B} ini dapat dibentuk persamaan regresi berganda sesuai dengan Persamaan (3.2). Persamaan hasil regresi berganda ini kemudian digunakan sebagai fungsi *fitness* dalam optimasi algoritma genetik.

3.3.4.2 Optimasi Algoritma Genetik

Gambar 3.4 adalah diagram alir proses algoritma genetik yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Algoritma Genetik

a. Inisialisasi Populasi

Proses optimasi algoritma genetik diawali dengan pembuatan himpunan (inisialisasi) yang terdiri atas sejumlah *string* kromosom dan ditempatkan pada suatu populasi. Pada penelitian ini dibangkitkan sejumlah ukuran populasi atau jumlah kromosom dalam populasi kromosom, masing-masing kromosom ini berisi bilangan biner (0 dan 1) yang merupakan sejumlah gen dalam kromosom. Keluaran dari proses inisialisasi ini adalah populasi dengan berupa kumpulan kromosom dalam matriks berukuran ukuran populasi \times jumlah gen. Ukuran

populasi yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 50 populasi dengan panjang gen sebesar 20.

b. Fungsi *fitness*

Fungsi *fitness* berfungsi untuk mengevaluasi setiap individu dalam suatu populasi. Pada masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi h maka nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai dari fungsi h tersebut, yakni $f = h$ (di mana f adalah nilai *fitness*).

Penentuan fungsi *fitness* pada penelitian ini berdasarkan tujuan untuk mendapatkan presentase kadar garam maksimum. Sehingga fungsi *fitness* yang digunakan persamaan hubungan parameter-parameter variabel prediktor (X_1 , X_2 , X_3 dan X_4) dengan nilai pengurangan kadar garam. Variabel prediktor yang diberikan pada batasan range variabel yang telah diberikan. Batasan yang diberikan pada masing-masing variabel prediktor adalah 627-100 μMho untuk kapasitansi X_1 , 1,2 - 1.8 V untuk variabel tegangan X_2 , 5 - 25 mL/menit untuk variabel laju aliran X_3 , serta 0 - 1 untuk penggunaan membran X_4 .

c. Seleksi

Proses seleksi ini dilakukan dengan menggunakan metode roda rollet (*roullte wheel*). Pemilihan ini dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai *fitnessnya*. Sebelum melakukan proses seleksi, terlebih dahulu harus dihitung nilai probabilitas kumulatif masing-masing individu dengan Persamaan (3.11).

$$P = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (3.11)$$

Setelah itu nilai kumulatif probabilitasnya dibandingkan dengan nilai random antara 0-1 yang dibangkitkan pada masing-masing individu. Nilai probabilitas kumulatif dan bilangan acak ini dibandingkan berdasarkan Persamaan (3.12). Individu yang lolos adalah individu yang memenuhi Persamaan (3.12). Sedangkan individu yang tidak memenuhi Persamaan (3.12) maka individu tersebut akan mati dan tidak dapat mengikuti proses selanjutnya.

$$C[k-1] < R[k] < C[k] \quad (3.12)$$

d. *Crossover*

Salah satu cara untuk mendapatkan individu baru adalah dengan proses *crossover*. *Crossover* merupakan operasi pindah silang antar kromosom yang dilakukan untuk membentuk individu baru yang lebih baik. Penentuan kromosom yang akan dikenai operator *crossover* dipilih dengan menentukan probabilitas *crossover* P_c . Probabilitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.7. Proses *crossover* dimulai dengan membangkitkan bilangan acak sejumlah populasi, kemudian bilangan random dibandingkan dengan konstanta *crossover*, bila bilangan random lebih kecil dari pada konstanta *crossover* maka individu tersebut akan dipilih untuk dilakukan *crossover*, tetapi jika nilai bilangan acaknya lebih besar dari konstanta *crossover* maka individu tersebut tidak mengalami *crossover*.

e. Mutasi

Jumlah gen yang mengalami mutasi dalam satu populasi ditentukan oleh parameter *mutation rate* P_m . P_m yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,1. Proses mutasi dilakukan dengan mengganti satu gen yang dipilih secara acak dengan suatu nilai yang baru. Untuk memilih posisi gen yang mengalami mutasi dilakukan dengan cara membangkitkan bilangan acak antara [0,1] pada setiap gen. Jika bilangan random yang dibangkitkan lebih kecil dari nilai P_m maka gen tersebut dipilih sebagai gen yang mengalami mutasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan 4.1.1 Pembuatan Elektroda

Tahapan pembuatan elektroda dengan metode *crosslinking* dari karbon aktif tempurung kelapa, PVA, dan *crosslinker glutaric acid* ditunjukkan pada Gambar 4.1



50 mL aquades dipanaskan hingga suhu 100 °C



1 gr PVA di tambahkan ke dalam aquades



Larutan PVA & aquades di stirrer di selama 30 menit hingga homogen



Pemanasan dimatikan. 20 gr karbon aktif ditambahkan ke dalam larutan hingga suhu ruang



Setelah elektroda memadat dan kering. Elektroda kemudian di furnace dengan suhu sesuai tipe elektroda



Campuran dicetak dalam cetakan aluminium ukuran 8×6×0.5 cm³ di keringkan selama 4 hari



Campuran di stirrer selama 4 jam pada suhu ruang



0.5 Glutaric Acid ditambahkan ke dalam campuran



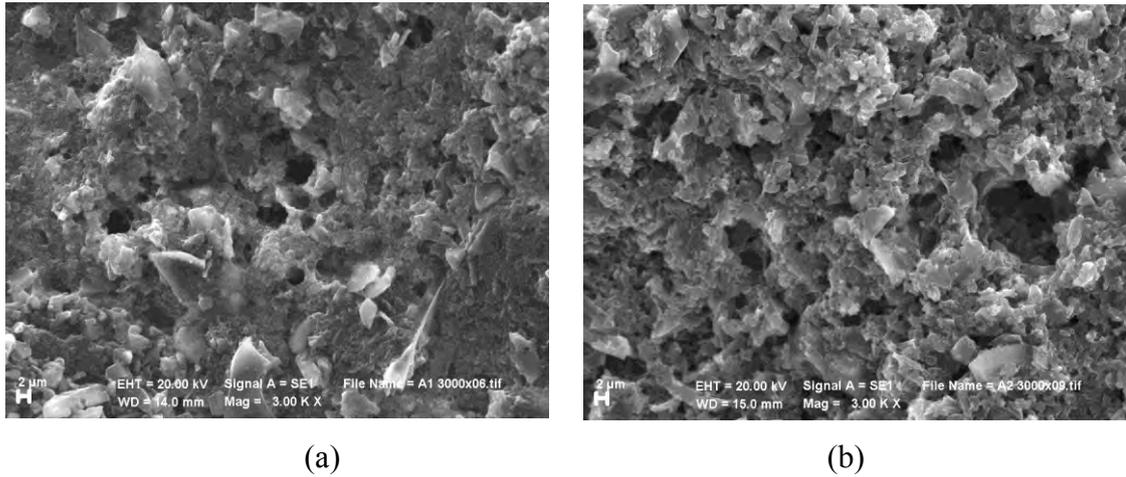
Gambar 4.1 Tahapan Pembuatan Elektroda

Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini digunakan merupakan karbon aktif tempurung kelapa dengan daya serap sebesar 93,57 %. Daya serap karbon aktif tempurung kelapa ini lebih baik dibandingkan karbon aktif yang berasal dari kaya dengan daya serap 69,21% (Asri,1995). Pembuatan elektroda karbon CDI ini menggunakan metode *crosslinking*. Metode ini menggabungkan dua atau lebih molekul dengan ikatan kovalen. Proses pembentukan ikatan *crosslinking* membutuhkan *crosslinking agent* (*Gluratic Acid*) untuk mengikat molekul-molekul polimer PVA. Ikatan *crosslinking* terbentuk berdasarkan reaksi esterifikasi yaitu reaksi pepadatan antara molekul alkohol dengan molekul asam karbositat membentuk suatu ester (Park,2011). Proses pembentukan ikatan antara polimer dan *crosslinking agent* diinisiasi oleh panas yaitu dengan suhu antara 100 – 120 °C. Dengan terbentuknya ikatan *crosslinking* ini, akan meningkatkan kekerasan dan titik leleh pada campuran polimer dan *crosslinking agent*. Pada penelitian ini dibuat tiga jenis elektroda dengan variasi suhu pembentukan *crosslinking* yaitu pada suhu 120 °C (A_T120), 110 °C (B_T110) dan 100 °C (C_T100). Suhu pembentukan ikatan *crosslinking* ini berpengaruh terhadap pembentukan struktur pori di dalam elektroda. Perbedaan struktur didalam elektroda ini sangat mempengaruhi performa desalinasi untuk sistem CDI yang dapat ditunjukkan dari perbedaan nilai kapasitansi dan resistansi pada elektroda (Park,2011).

4.1.2 Pengujian Elektroda

4.1.2.1 Morphologi Elektroda

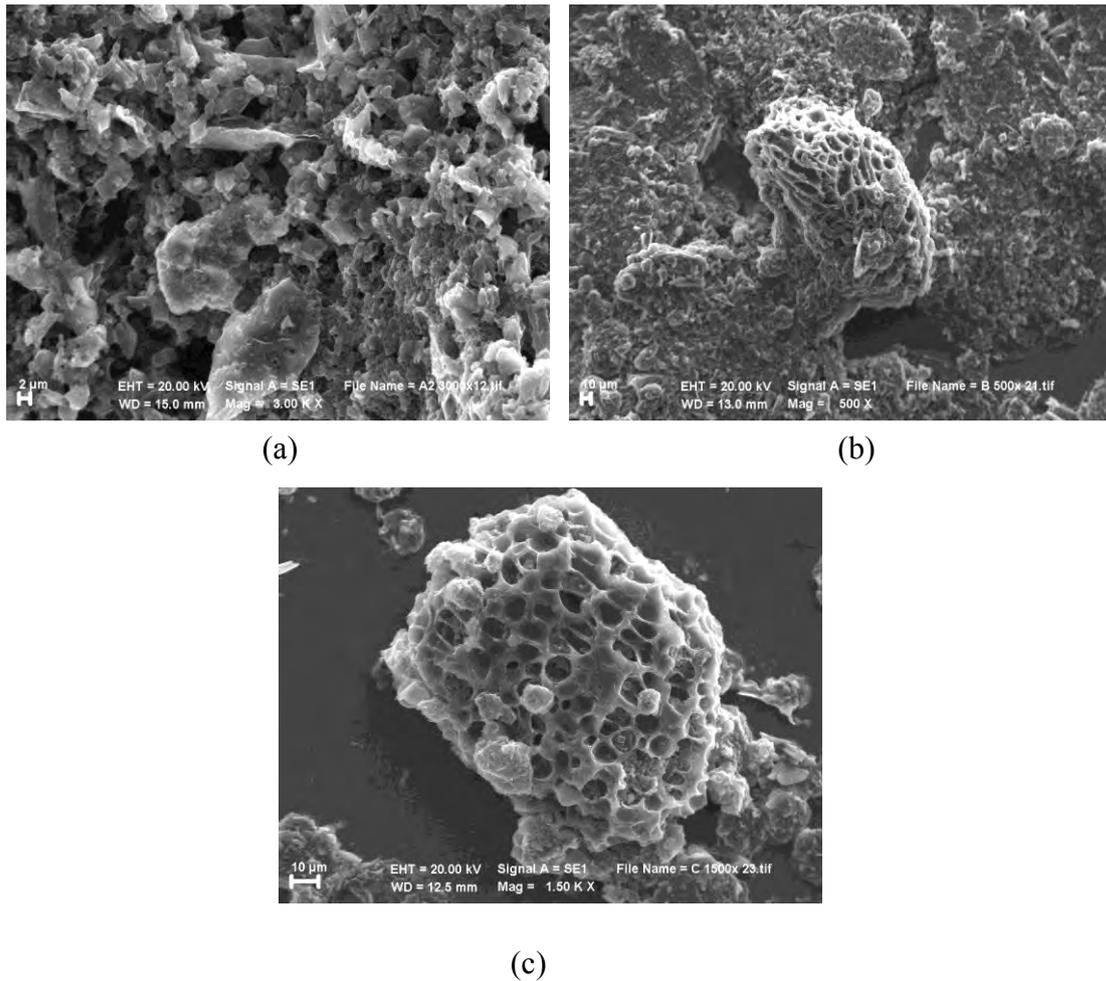
Salah satu alat uji untuk mengamati morfologi permukaan material/bahan tertentu adalah *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan tujuan mendapatkan bentuk yang lebih detail (struktur mikro dan makro material). Morphologi permukaan elektroda karbon dengan binder PVA dipengaruhi oleh konsentrasi *crosslinker* dan suhu pembentukan ikatan *crosslinking*. Gambar 4.2 menunjukkan struktur permukaan elektroda karbon dengan variasi komposisi glutaric acid 0.1 dan 0.5 gr yang merupakan hasil dari uji SEM. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 a, pada elektroda dengan 0.1 gr *glutaric acid*, ikatan PVA dan GA tersebar membentuk jaringan. Sementara pada elektroda dengan 0.5 gr GA (Gambar 4.2 b) berbentuk partikel diskrit.



Gambar 4.2 Pengujian SEM pada Elektroda Karbon a) 0.1 gr GA b) 0.5 GA

Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Park et al pada tahun 2011 bahwa struktur permukaan elektroda karbon dengan konsentrasi *crosslinking agent* yang lebih besar akan membentuk struktur permukaan elektroda berbentuk partikel diskrit atau batang-batang kecil. Sedangkan elektroda dengan konsentrasi *crosslinking agent* kecil akan jaringan polimer PVA tersebar membentuk lapisan tipis atau jaring-jaring (Park, 2011).

Untuk hasil SEM elektroda tipe A_T120, B_T110, dan C_T00 dengan variasi suhu pemanasan ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 memperlihatkan struktur permukaan elektroda karbon dengan komposisi GA dan PVA yang sama namun dengan variasi suhu pematangan ikatan *crosslinking* yang berbeda yaitu a) 120 °C b) 110 °C c) 100 °C. Pada elektroda dengan suhu 120 °C tampak memiliki lebih banyak pori dibandingkan elektroda lain, sedangkan pada elektroda dengan suhu 110 °C dan 100 °C pori terbentuk hanya pada bagian tertentu.



Gambar 4.3 Pengujian SEM pada Elektroda Karbon dengan Variasi Suhu

a) 120°C b) 110 °C c) 100 °C

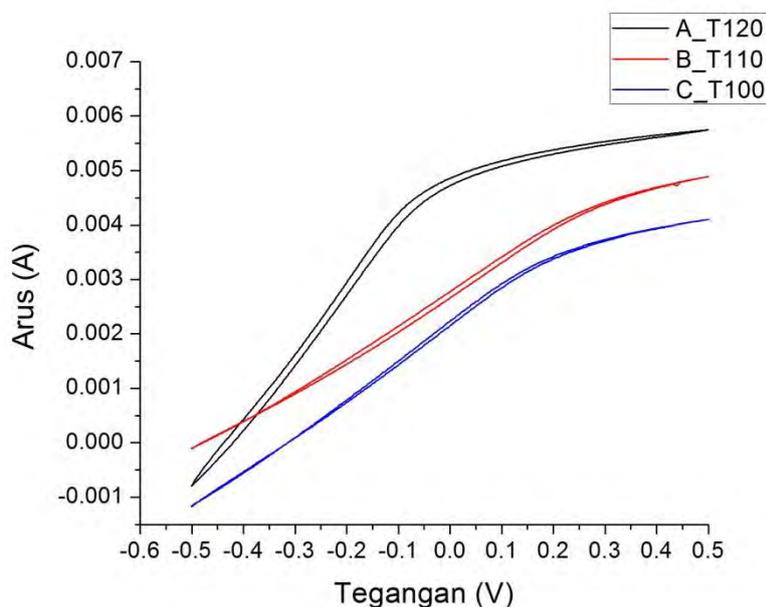
Ikatan *crosslinking* antara GA dan PVA menghasilkan padatan yang tidak dapat larut dalam air. Pada penambahan *crosslinker* (GA) dengan konsentrasi kecil akan menyebabkan ikatan PVA-GA terbentuk seperti membran / jaringan sementara semakin banyak *crosslinker* yang ditambahkan maka struktur ikatan akan semakin kompak. Sedangkan pengaruh suhu pemanas pada proses pembentukan *crosslinking* menunjukkan pada suhu yang lebih rendah ikatan *crosslinking* belum terbentuk sempurna pada semua bagian elektroda sementara untuk suhu lebih tinggi ikatan *crosslinking* tersebar lebih merata dan lebih banyak terbentuk porous.

4.1.2.2 Voltametri siklik dan *Electrical Impedance Spectroscopy*

Analisis elektrokimia sangat penting untuk mengevaluasi kerja sistem elektroda karbon. Salah satu teknik pengujian elektrokimia untuk menyelidiki proses elektrolisis adalah voltametri siklik. Pengukuran ini dilakukan dengan menerapkan suatu potensial ke dalam sel elektrokimia dengan elektroda standar (Ag/AgCl), kemudian respon arus yang dihasilkan dari proses oksidasi dan reduksi diukur. Dari hasil pengujian voltametri siklik dapat dianalisis nilai resistansi dan kapasitansi elektroda menggunakan pengujian *Electrical Impedance Spectroscopy*.

Pada pengujian voltametri siklik sel elektrokimia terdiri dari 3 elektroda yaitu elektroda referensi, elektroda bantu dan elektroda kerja. Elektroda referensi dibentuk dari Ag/AgCl yang merupakan elektroda inert sehingga memiliki potensial konstan dan tidak terpengaruh oleh larutan elektrolit yang digunakan. Sedangkan elektroda kerja adalah elektroda yang kita analisis sifat-sifat elektrokimianya terhadap larutan elektrolit. Pengukuran pada voltametri siklik dilakukan dengan memberikan potensial pada sistem elektrokimia, dari potensial V_1 menuju V_2 kemudian kembali menuju potensial V_1 dengan kecepatan sapuan potensial tertentu. Dengan adanya potensial yang diterapkan pada elektroda, akan memberikan energi listrik pada muatan ion-ion pada larutan elektrolit untuk bergerak menuju elektroda. Perpindahan elektron pada bagian antar muka elektroda karena perubahan potensial listrik secara siklik ini memungkinkan senyawa elektroaktif pada larutan elektrolit mengalami reaksi redoks (Wang et al, 2007). Pada saat potensial diterapkan pada elektroda, reaktan akan bergerak menuju antar muka elektroda kerja sehingga mengalami reduksi dengan menerima elektron dari elektroda. Ketika potensial dibalik dengan arah sebaliknya, hasil reaksi akan bergerak menjauhi elektroda sehingga mengalami proses oksidasi dengan melepaskan elektron. 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 sebagai fungsi potensial. Berdasarkan voltammogram ini dapat dianalisis proses adsorpsi dan desorpsi pada elektroda yang digunakan pada penelitian ini.

Pengujian voltametri siklik pada tiga tipe elektroda yang digunakan pada penelitian ini dilakukan pada pada range potensial -0.5 V sampai 0.5 V dan kecepatan sapuan potensial 5 mV/s. Elektroda direndam dalam larutan elektrolit KCl 0.5 M dengan luas permukaan yang terendam sebesar 1 cm². Eksperimen pengukuran voltametri siklik dilakukan pada suhu ruang 25 °C. Hasil pengujian voltametri siklik dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4.



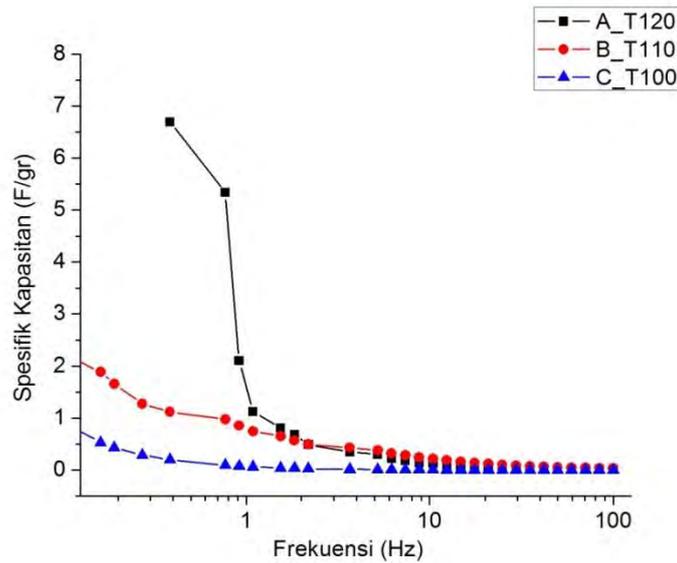
Gambar 4.4 Grafik Voltametri siklik

Pada grafik voltammogram, pola kenaikan arus menunjukkan perpindahan elektron dari elektroda menuju larutan elektrolit membentuk reaksi redoks yang melibatkan perpindahan ion-ion elektrolit berdasarkan perubahan potensial yang diberikan pada sel elektrokimia, sehingga pola kenaikan arus ini menunjukkan peningkatan kapasitas penyerapan ion dan kecepatan penyerapan ion pada potensial yang disediakan. Arus puncak pada masing-masing elektroda didapatkan sebagai berikut $5,75$ mA untuk elektroda A_T120, $4,89$ mA untuk elektroda B_T110 dan $4,1$ mA untuk elektroda C_T100 hal ini menunjukkan elektroda A_T120 memiliki kapasitas penyerapan ion lebih besar dibanding B_T110 dan C_T110 (Wang et al,2007). Selain dikarakterisasi dari nilai arus maksimumnya, lebar kurva pada masing-masing voltammogram menunjukkan nilai jumlah arus anodik dan katodik didalam sistem elektrokimia (Park,2011). Pada saat tegangan

diberikan dari 0.5 V menuju -0.5 V, $2\text{H}_2\text{O}$ akan mulai mengalami reduksi menghasilkan gas H_2 dan ion OH^- dengan pelepasan elektron dari elektroda sehingga terjadi penurunan arus katodik. Apabila tegangan dibalik dari -0.5 V menuju 0.5 V maka 2Cl^- akan mengalami oksidasi menjadi Cl_2 dan pelepasan 2 elektron. Elektron ini kemudian ditangkap oleh anoda sehingga terjadi peningkatan arus anodik. Pada keadaan ekuilibrium dimana tidak terjadi reaksi kimia jumlah arus anodik dan arus katodik bernilai nol ($I_a + I_k = 0$). Keadaan ini terjadi ketika tegangan elektroda sama dengan nol (des aux, 1996). Pada keadaan ini nilai I_a sama dengan I_k namun memiliki arah yang berlawanan. Sehingga dapat dikatakan pada saat tegangan sel elektrokimia sama dengan nol lebar kurva menunjukkan nilai arus anodik atau katodik. Semakin lebar kurva voltammogram maka nilai arus anodik semakin besar. Pada Gambar 4.4 menunjukkan pada saat tegangan sama dengan nol, kurva elektroda A_T120 memiliki lebar yang lebih besar daripada elektroda B_T110 dan C_T100. Hal ini menunjukkan reaksi redoks yang terjadi di elektroda A_T120 lebih besar daripada elektroda B_T110 dan C_T100.

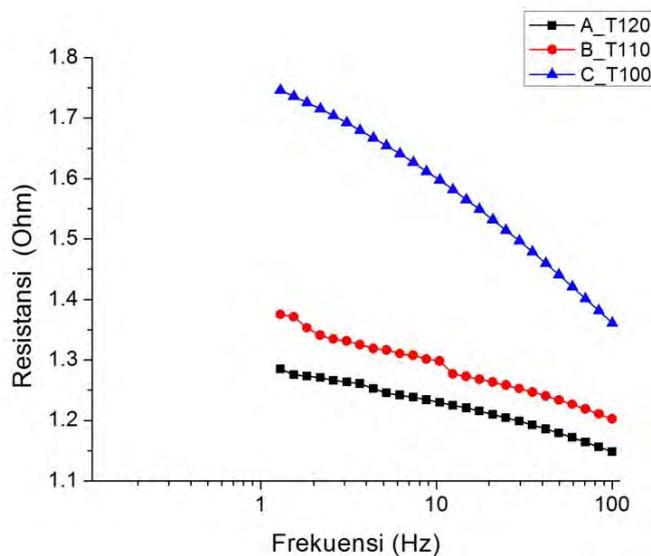
EIS (*Electrical Impedance Spectroscopy*) merupakan salah satu metode untuk menganalisis respon elektroda terhadap sinyal potensial AC pada amplitudo rendah (~ 10 mV) dengan rentang frekuensi yang lebar. Pada prinsipnya EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia yang berkaitan dengan besaran-besaran listrik seperti kapasitansi, resistansi dan induktansi. Impedansi elektrokimia diukur melalui potensial AC dalam bentuk sinyal sinusoidal yang diterapkan pada sel elektrokimia untuk mengukur arus yang dihasilkan. Untuk menganalisis resistansi dan kapasitansi pada karbon elektroda, nilainya diturunkan dari nilai impedansi elektroda berdasarkan pengujian EIS. Kapasitansi spesifik dapat diturunkan dan data impedansi imaginari dari spectral impedansi menggunakan Persamaan (4.1) berikut (Park et al, 2011) :

$$C = \left| \frac{1}{\omega Z''} \right| \quad (4.1)$$



Gambar 4.5 Kapasitansi Spesifik pada Elektroda Karbon

Dengan ω menunjukkan frekuensi angular pada sinyal potensial AC. Berdasarkan Gambar 4.5 spesifik kapasitan meningkat dengan peningkatan frekuensi dan cenderung konstan pada frekuensi rendah. Pada Gambar 4.5 dapat diamati bahwa kapasitan sebagai fungsi frekuensi menurun dengan penurunan suhu reaksi pada elektroda. Misalkan pada frekuensi 0.384 Hz, elektroda A_T120 memiliki kapasitan spesifik 6.7 F/gr lebih tinggi dibanding elektroda B_T110 dan C_T100 yang masing-masing memiliki kapasitansi spesifik 1,15 F/gr dan 0,197 F/gr. Kedua kondisi ini sesuai hasil penelitian yang dilakukan Park et al (2011)



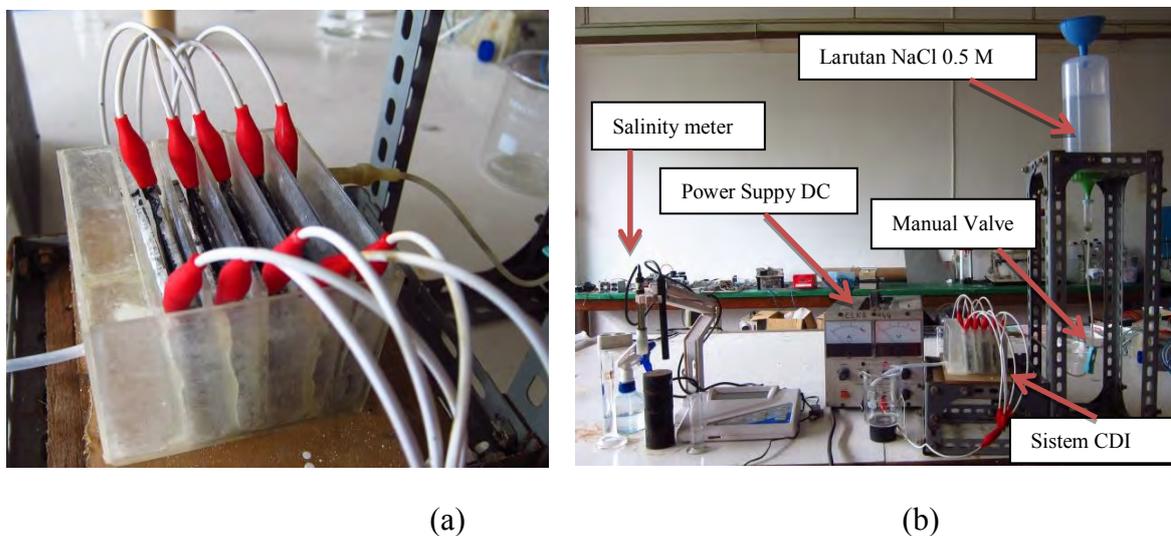
Gambar 4.6 Resistansi pada Elektroda Karbon dengan Variasi Suhu

Gambar 4.6 menunjukkan resistansi pada masing-masing elektroda sebagai fungsi frekuensi. Seperti penelitian Park et al (2011), terlihat bahwa pada kenaikan frekuensi maka resistansi semakin turun dengan kenaikan suhu reaksi *crosslinking* pada elektroda. Resistansi ini sangat dipengaruhi oleh derajat pembentukan ikatan *crosslinking* yang bisa terbentuk karena suhu pemanasan reaksi *crosslinking*. Semakin rendah suhu pembentukan ikatan *crosslinking*, maka derajat pembentukan ikatan *crosslinking* pada elektroda akan semakin berkurang. Hal ini mempengaruhi pembentukan struktur permukaan elektroda. Ikatan *crosslinking* yang tidak terbentuk sempurna akibat kurangnya suhu pembentukan ikatan akan mengakibatkan ion-ion sulit teradsorpsi ke dalam permukaan elektroda. Hal ini menyebabkan resistansi pada elektroda semakin besar.

Pengujian EIS diperoleh data nilai impedansi pada masing-masing elektroda serta diperoleh rangkaian ekuivalen yang menunjukkan nilai-nilai besaran listrik pada elektroda yaitu nilai kapasitansi dan nilai resistansi elektroda. Berdasarkan rangkaian ekuivalen ini diperoleh nilai kapasitansi elektroda A_T120, B_T110 dan C_T100 masing-masing sebesar 627 μMho , 362 μMho , dan 100 μMho .

4.1.3 Perancangan dan Pembuatan Sistem Desalinasi

Sistem desalinasi terdiri dari tangki untuk larutan garam NaCl 0,5 M, manual *valve* untuk mengontrol laju aliran, sel CDI yang terdiri dari 5 sel dan tangki untuk menampung hasil desalinasi.

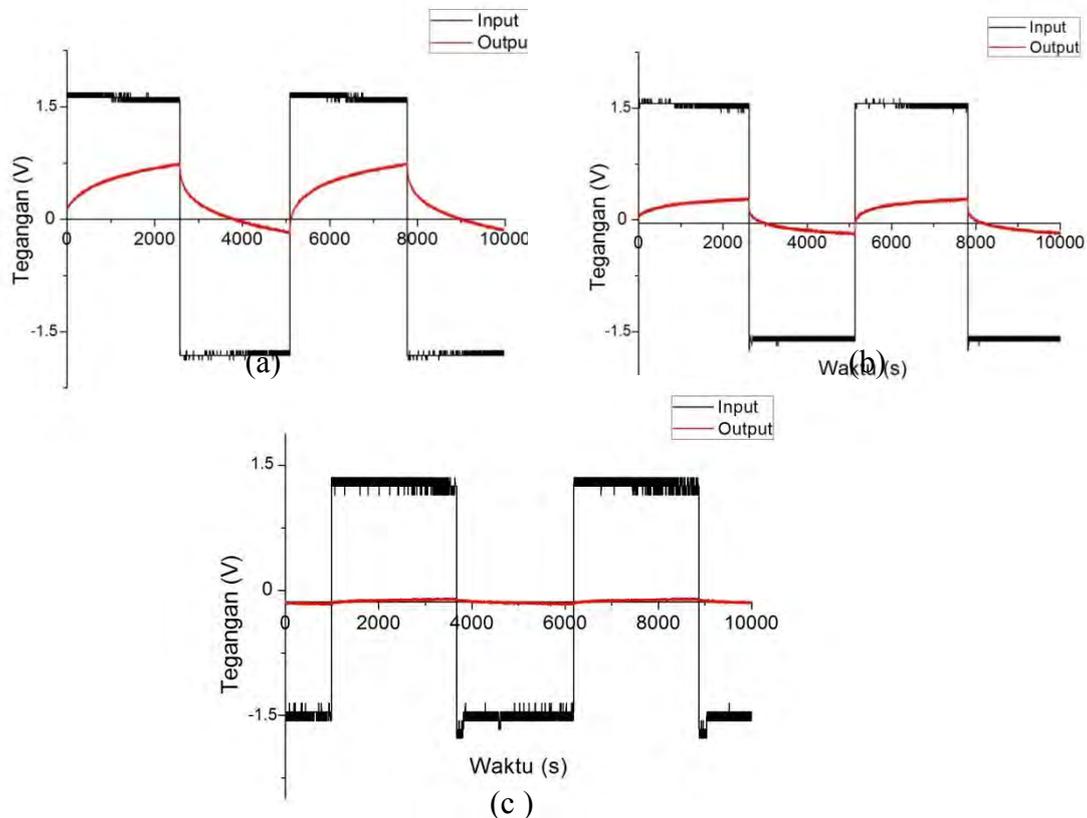


Gambar 4.7 a. Sel CDI b. Sistem Desalinasi

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 sel CDI terdiri dari 5 pasang elektroda yang masing-masing memiliki dimensi $8 \times 6 \times 0.5 \text{ cm}^3$ yang dipisahkan oleh *spacer*. Sel CDI ini menggunakan aluminium sebagai kolektor arus yang dihubungkan dengan kabel pada DC *power supply* sehingga dapat memberikan tegangan pada elektroda karbon untuk menyerap ion-ion garam.

4.1.4 Pengujian Sistem CDI

Pengujian pada sistem CDI dilakukan dengan menggunakan osiloskop untuk mengetahui pola sinyal *charge* dan *discharge* pada sistem CDI. Sistem CDI diberi tegangan input 1.5 V berupa sinyal kotak periodik yang dibangkitkan oleh alat generator fungsi. Selanjutnya diamati pola sinyal masukan dan sinyal keluaran pada sistem CDI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Hasil uji pola *charge* dan *discharge* pada digital Osiloskop DL 1640 Yokogawa a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100

Dengan adanya perbedaan pola sinyal masukan dan dan keluaran pada sistem maka dapat terlihat sifat kapasitor pada sistem CDI. Pola sinyal pada

Gambar 4.8 dapat merepresentasikan pola *charge* dan *discharge* pada masing-masing sistem CDI. Pada saat potensial masukan berupa siklus positif maka sistem CDI akan melakukan pengisian muatan dimana ion-ion garam akan tertarik secara elektrostatis oleh elektroda sebaliknya pada saat sinyal dengan polaritas yang berlawanan diterapkan pada sistem CDI maka sistem CDI akan merespon dengan melepaskan ion-ion garam kembali menuju aliran larutan garam. Pada Gambar terlihat pola *charge* dan *discharge* semakin menurun dengan penurunan kapasitansi elektroda dimana nilai kapasitansi elektroda A_T120, B_T110 dan C_T100 masing-masing sebesar 627 μMho , 362 μMho , dan 100 μMho berdasarkan pengujian EIS yang telah dilakukan.

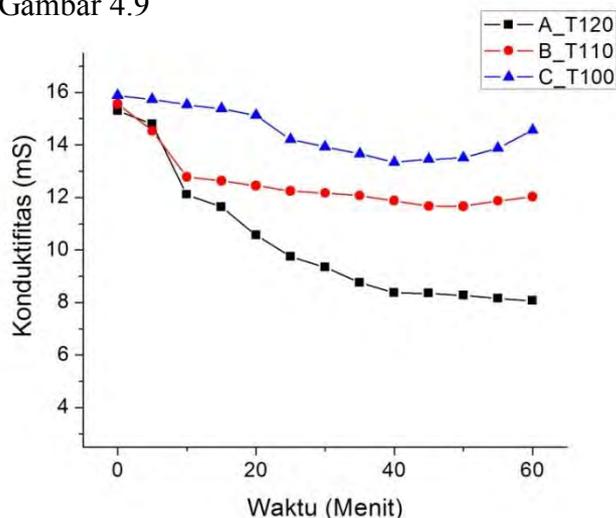
4.1.5 Pengujian Sistem Desalinasi

Untuk mengevaluasi kemampuan desalinasi pada elektroda karbon, eksperimen desalinasi dilakukan dengan elektroda tipe A_T120, B_T110, dan C_T100. Eksperimen desalinasi dilakukan dengan variasi kapasitansi masing-masing elektroda, kecepatan aliran larutan garam, potensial sumber listrik dan penggunaan membran penukar ion.

4.1.5.1 Variasi Kapasitansi Elektroda

Nilai kapasitansi pada elektroda menunjukkan kemampuan elektroda dalam penyimpanan muatan. Semakin besar nilai kapasitansi pada elektroda maka semakin banyak muatan yang akan diserap. Pada sistem CDI ini, sel CDI bertindak sebagai kapasitor. Sehingga jika elektroda CDI memiliki nilai kapasitansi yang tinggi maka akan semakin banyak ion yang akan teradsorpsi oleh elektroda. Pada elektroda karbon dengan binder PVA ini, nilai kapasitansi sangat dipengaruhi oleh suhu pembentukan ikatan *crosslinking* (Park et al, 2011). Pengaruh suhu ini sangat mempengaruhi pembentukan ikatan antara polimer dan *crosslinking* agent sehingga akan berpengaruh terhadap pembentukan pori pada permukaan elektroda. Semakin banyak terbentuk pori pada elektroda maka nilai kapasitansi elektroda akan semakin besar sehingga ion-ion garam yang terserap akan semakin besar. Berdasarkan hasil pengujian EIS didapatkan nilai kapasitansi elektroda untuk A_T120, B_T110 dan C_T100 masing-masing sebesar 627

μMho , $362 \mu\text{Mho}$ dan $100 \mu\text{Mho}$. Hasil uji desalinasi dengan parameter kecepatan aliran 10 mL/menit dan tegangan 1.5 V pada masing-masing elektroda diperlihatkan pada Gambar 4.9



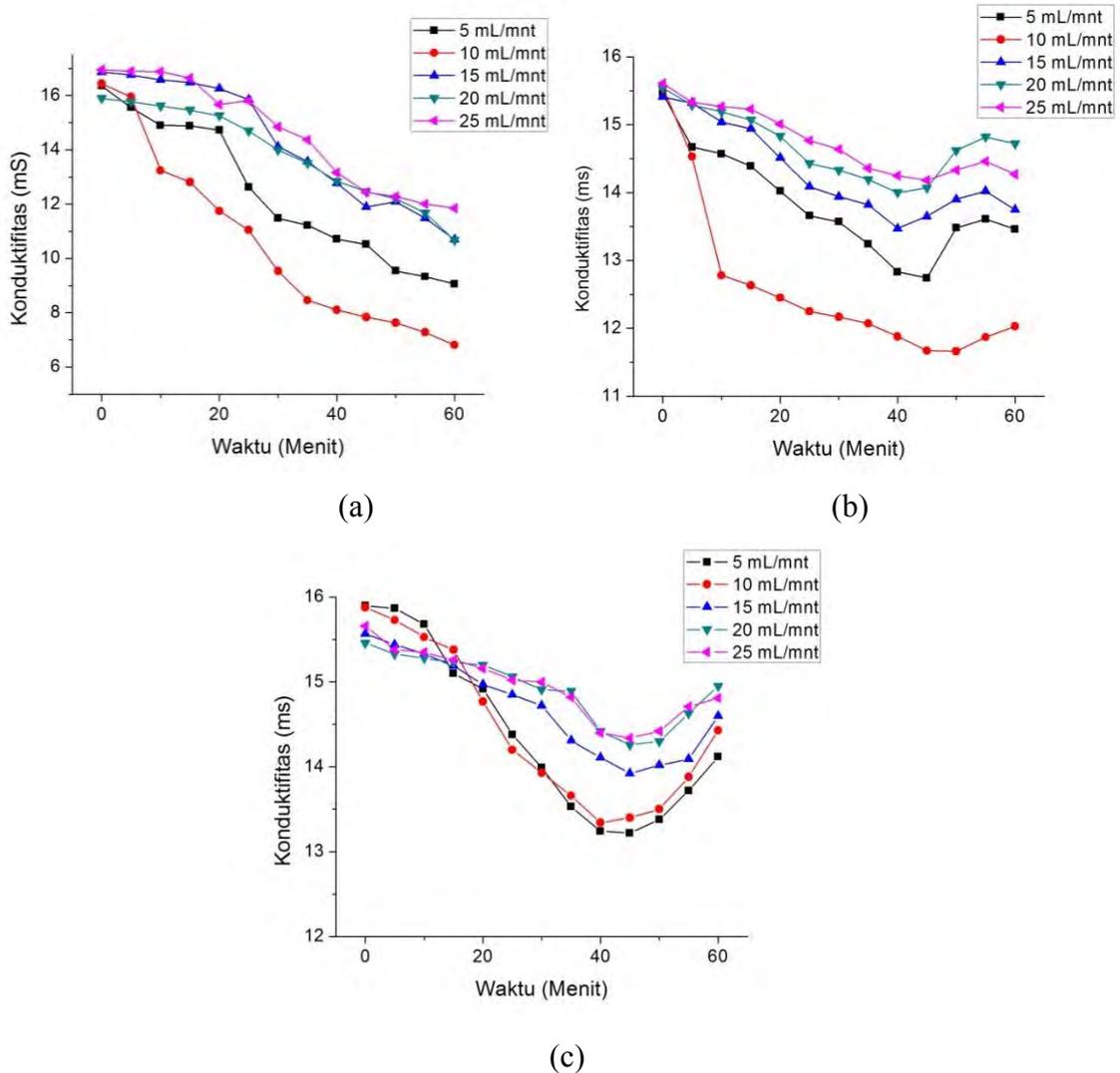
Gambar 4.9 Uji Desalinasi dengan Variasi Tipe Elektroda

Pada Gambar 4.9 memperlihatkan performa desalinasi semakin baik apabila elektroda yang digunakan memiliki kapasitansi yang semakin besar. Elektroda A_T120 dengan kapasitansi $627 \mu\text{Mho}$ dapat mengurangi kadar garam sebesar 58.58% sementara untuk elektroda B_T110 dan C_T100 dengan kapasitansi masing-masing $362 \mu\text{Mho}$ dan $100 \mu\text{Mho}$ mampu mengurangi kadar garam masing-masing hingga 25.06% dan 15.99% . Hal ini menunjukkan elektroda dengan kapasitansi yang besar memiliki kemampuan desalinasi yang lebih baik dibandingkan elektroda dengan nilai kapasitansi yang lebih kecil.

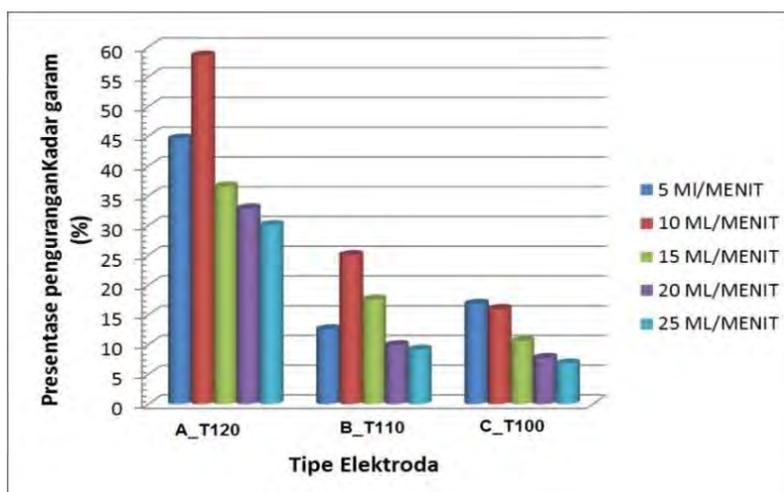
4.1.5.2 Variasi Kecepatan Aliran

Dalam proses transport massa pada saat ion-ion garam bergerak secara elektrostatik dalam sistem CDI, pergerakan ion dibagi menjadi 3 yaitu difusi, konveksi dan migrasi. Difusi merupakan perpindahan yang disebabkan karena perbedaan konsentrasi antara larutan dan elektroda. Migrasi merupakan perpindahan muatan karena adanya perbedaan potensial listrik diantara elektroda. Sedangkan konveksi merupakan perpindahan massa akibat aliran pada larutan. Sehingga kecepatan aliran larutan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses penyerapan ion (Deminer,2013). Aliran larutan ini menentukan

kecepatan mobilitas ion-ion ketika teradsorp dalam elektroda, Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur pada kecepatan aliran yang divariasikan dengan kecepatan 5 , 10, 15, 20 dan 25 mL/ menit pada sistem CDI dengan tipe A_T120, B_T110 dan C_T100



Gambar 4.10 Hasil Desalinasi dengan Variasi Kecepatan Aliran pada Elektroda
a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100



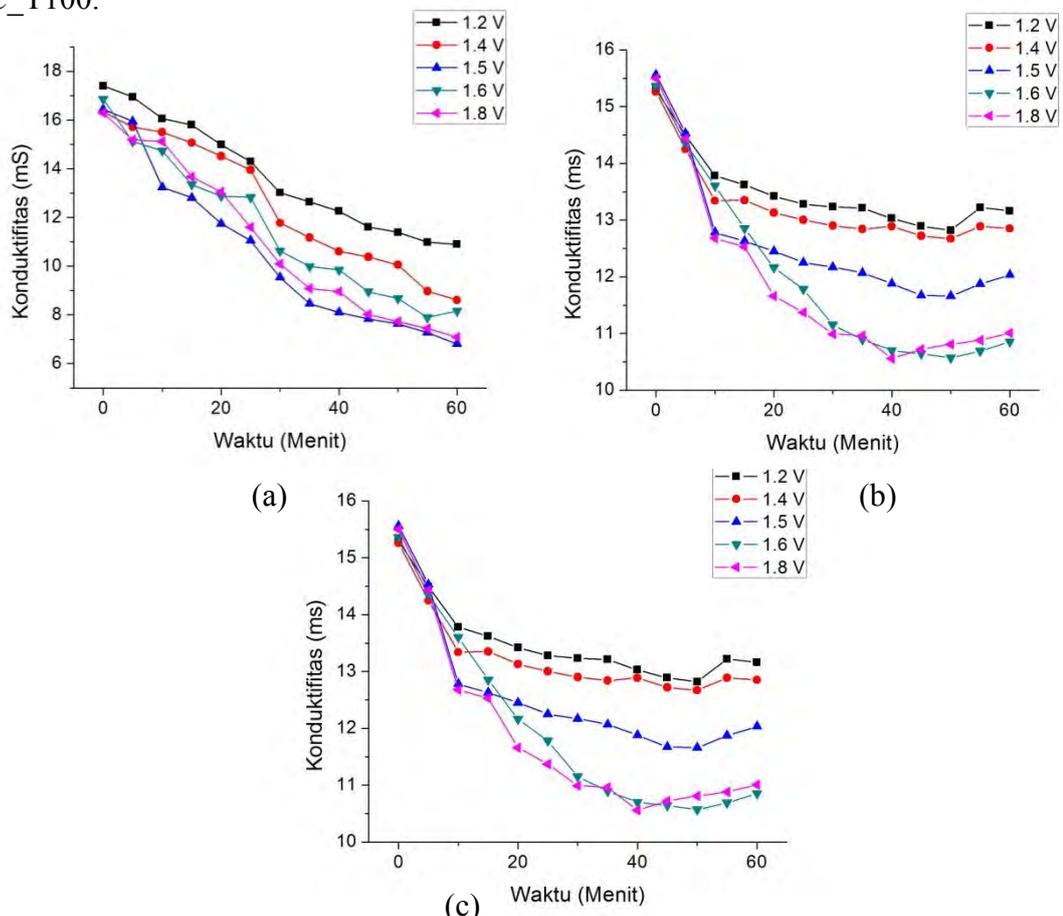
Gambar 4.11 Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum dengan Variasi Kecepatan Aliran pada elektroda a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100

Hasil desalinasi dengan variasi kecepatan menunjukkan pola semakin cepat aliran larutan garam yang diberikan pada sistem CDI maka menunjukkan penurunan kadar garam yang semakin kecil. Namun pada elektroda A_T120 dan B_T110 sistem CDI bekerja dengan baik pada kecepatan aliran 10 ML/menit yang menghasilkan penurunan kadar garam sebesar 58.58 % dan 25,06 %. Sementara pada elektroda C_T100 mampu mengurangi kadar garam sebesar 16.86 % dengan kecepatan 5 mL/ menit. Kecepatan aliran yang besar akan menyebabkan mobilitas aliran ion-ion garam pada larutan akan semakin besar. Hal ini akan mempengaruhi kecepatan ion-ion terserap dalam elektroda. Semakin cepat aliran larutan maka semakin banyak ion-ion yang terlepas kembali ke dalam aliran larutan garam sebelum teradsorpsi ke dalam elektroda. Berdasarkan penelitian Linda Zhou tahun 2011, R. Zhao et al pada tahun 2013, Lee et al pada tahun 2012 menyatakan kenaikan laju aliran akan menyebabkan presentase penurunan kadar garam pada larutan semakin kecil. Pola yang sama dapat diamati pada hasil desalinasi untuk elektroda C_T100 dan variasi laju aliran 15 – 25 mL/menit untuk elektroda A_T120 dan B_T110. Pada elektroda A_T120 dan B_T110 untuk laju rendah (5 – 10 mL/ menit) terjadi pola yang berbeda dimana laju aliran 10 mL/menit memiliki hasil desalinasi yang lebih baik daripada hasil desalinasi pada laju 5 mL/menit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhou et al tahun 2011 digunakan

peristaltic pump yang dapat menjaga agar laju aliran tetap konstan pada laju aliran rendah, pada penelitian ini laju aliran di atur oleh *manual valve* yang cenderung kurang baik pada laju aliran rendah ($\leq 5\text{mL}/\text{menit}$).

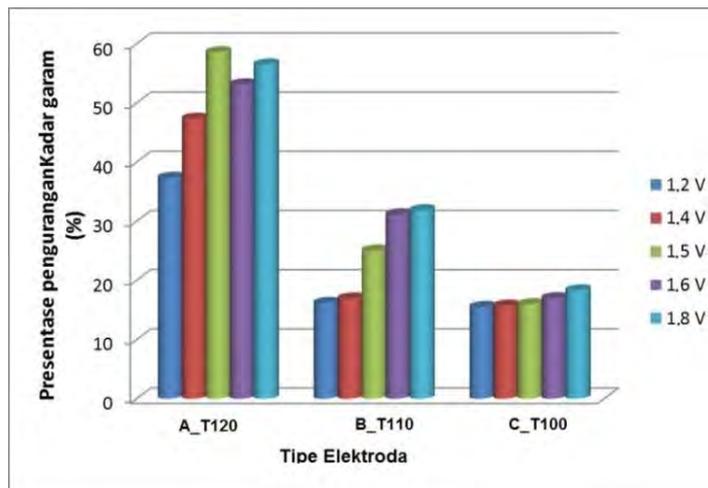
4.1.5.3 Variasi Tegangan Sumber

Dalam kinetika transport ion pada elektroda karbon perbedaan potensial antara kedua elektroda memegang peranan penting. Perbedaan potensial pada pergerakan muatan merupakan energi yang dibutuhkan agar muatan dapat bergerak menuju elektroda. Pada dasarnya semakin besar beda potensial yang diberikan pada elektroda maka muatan-muatan akan semakin cepat bergerak menuju elektroda hal ini disebabkan energi yang diberikan pada muatan-muatan semakin besar (Zhou et al , 2011). Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur pada tegangan sumber yang divariasikan dengan kecepatan 1.2 ; 1.4 ; 1.5 ;1.6 dan 1.8 V pada sistem CDI dengan tipe A_T120, B_T110 dan C_T100.



Gambar 4.12 Hasil Desalinasi dengan Variasi Tegangan Sumber pada Elektroda

a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100



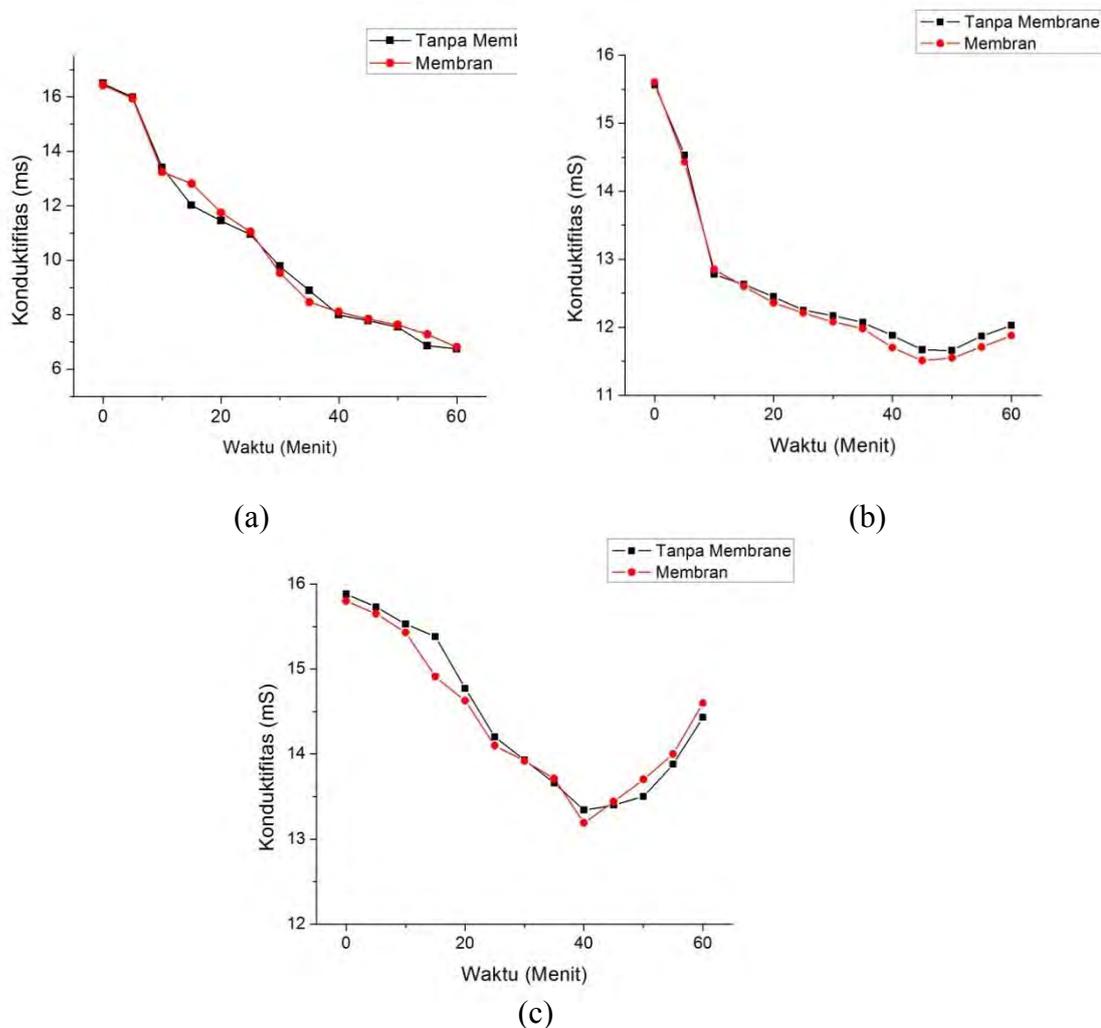
Gambar 4.13 Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum dengan Variasi Tegangan Sumber pada Elektroda a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100

Hasil desalinasi dengan variasi tegangan menunjukkan pola semakin besar tegangan yang diberikan pada sistem CDI maka menunjukkan penurunan kadar garam yang semakin besar. Elektroda A_T120 sistem CDI bekerja dengan baik pada 1,5 V yang menghasilkan penurunan kadar garam sebesar 58,58 % , sementara pada elektroda B_T110 dan C_T100 mampu mengurangi kadar garam sebesar 31,87 % dan 18,32 % dengan tegangan sumber 1,8 V. Pada penelitian Porada pada tahun 2012, Hun Lee at al pada tahun 2012 dan Linda Zhou pada tahun 2011 menunjukkan bahwa kenaikan tegangan sumber akan menyebabkan persentase pengurangan kadar garam akan semakin naik. Pola tersebut dapat ditunjukkan pada hasil desalinasi untuk elektroda B_T110 dan C_T100 serta A_T120 pada tegangan 1,2 ; 1,4 ; 1,6 dan 1,8 V. Hasil yang berbeda ditunjukkan pada hasil desalinasi A_T120 pada tegangan 1,5 V yang menghasilkan desalinasi yang maksimum, hasil ini diyakini dipengaruhi oleh elektroda yang masih kosong dari ion teradsorp ketika dilakukan eksperimen desalinasi, sementara untuk variasi tegangan 1,2 ; 1,4 ; 1,6 dan 1,8 V elektroda telah terisi ion-ion garam karena proses desalinasi sebelumnya.

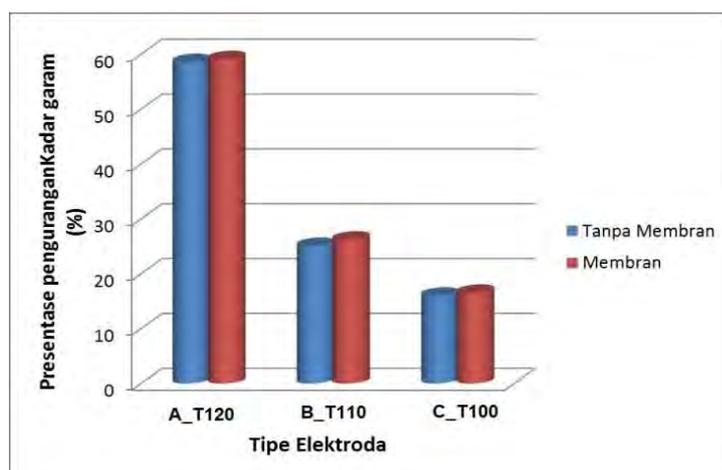
4.1.5.4 Variasi Penggunaan Membran

Penambahan membran pada sistem CDI akan menyebabkan *co-ion* tidak dapat keluar kembali dari elektroda ketika telah teradsorp ke dalam elektroda. Hal

ini diharapkan proses adsorpsi muatan berjalan lebih maksimal. Karena ion-ion tidak bergerak kembali menuju aliran larutan garam ketika proses desalinasi terjadi (Zhao,2012). Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan hasil desalinasi yang diukur dengan penggunaan membran dan tanpa penggunaan membran pada ketiga tipe sistem CDI dengan parameter tegangan 1,5 V dan kecepatan aliran 10 mL/menit. Berdasarkan grafik didapatkan hasil desalinasi dengan penggunaan membran sebesar 59.09 % sedangkan tanpa membran pengurangan kadar garam terjadi sebesar 58.58 % untuk elektroda A_T120. Sedangkan pada elektrodan B_T110 dan C_T100 masing-masing didapatkan hasil desalinasi dengan penggunaan membran sebesar 26.21 % dan 16.52 %sedangkan tanpa membran pengurangan kadar garam terjadi sebesar 25.06 % dan 15.99 %.



Gambar 4.14 Hasil Desalinasi dengan Variasi Penggunaan Membran pada Elektroda a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100



Gambar 4.15 Presentase Pengurangan Kadar Garam Maksimum dengan Variasi Penggunaan Membran pada Elektroda a) A_T120 b) B_T110 dan c) C_T100

Penelitian Linda Zhou pada tahun 2011 tentang penggunaan membran pada sistem CDI akan meningkatkan jumlah ion teradsorp pada elektroda. Hasil yang sama ditunjukkan pada ketiga tipe elektroda yang digunakan pada penelitian ini. Namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar penggunaan membran penukar ion pada sistem CDI memberikan hasil pengurangan kadar garam yang lebih besar.

4.1.6 Optimasi Eksperimen Desalinasi dengan Algoritma Genetik

Proses optimasi pada penelitian ini, dilakukan dengan memodelkan data hasil eksperimen yang diperoleh ke dalam bentuk persamaan matematis. Variabel bebas yang divariasi dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Variable penelitian

No.	Variable Bebas	Variasi				
1	Kapasitansi (μMho) (X_1)	627	362	100		
2	Tegangan (Volt) (X_2)	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8
3	Laju Aliran (mL/ mnt) (X_3)	5	10	15	20	25
4	Membran (X_4)	0	1			

Data diperoleh dengan mengkombinasikan seluruh variabel yang telah ditentukan sesuai Tabel 4.1.

4.1.6.1 Persamaan Model Matematis

Pada suatu permasalahan ada dua atau lebih variabel yang berkaitan yang dapat dibentuk dalam suatu model matematis untuk di analisis hubungannya. Penelitian ini terdapat 4 variabel bebas (X_1, X_2, X_3 dan X_4) sesuai Tabel 4.1 mendapatkan variabel respon Y yang berupa persentase pengurangan kadar garam. Untuk mendapatkan Persamaan model matematis yang menghubungkan keempat variabel dibutuhkan data eksperimen hasil seluruh kombinasi variasi yang telah ditentukan. Adapun langkah-langkahnya dapat diperlihatkan sebagai berikut :

Untuk kasus 4 variabel terikat analisis regresi berganda polynomial dinyatakan dengan model dugaan sebagai berikut :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_1^2 + b_6 X_2^2 + b_7 X_3^2 + b_8 X_4^2 + b_9 X_1 X_2 + b_{10} X_1 X_3 + b_{11} X_2 X_3 + b_{12} X_2 X_4 + b_{13} X_3 X_4 + b_{14} X_1 X_4 \quad (4.2)$$

Persamaan diatas dapat dibentuk matrik perkalian antara 4 variabel bebas dengan intersep b_0 dan koefisien parsial regresi b_1, b_2, \dots, b_k seperti diperlihatkan pada matrik berikut :

$$Y = [1 \quad X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_1 X_2 \quad X_1 X_3 \quad X_1 X_4 \quad X_2 X_3 \quad X_2 X_4 \quad X_3 X_4 \quad X_1^2 \quad X_2^2 \quad X_3^2 \quad X_4^2] [b_0 \quad b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4 \quad b_5 \quad b_6 \quad b_7 \quad b_8 \quad b_9 \quad b_{10} \quad b_{11} \quad b_{12} \quad b_{13} \quad b_{14}]^T \quad (4.3)$$

Matrik diatas menghubungkan antara matrik variabel respon y dengan matrik variabel bebas X dan matrik koefisien parsial regresi b . Sehingga matrik pada Persamaan (4.3) dapat dinyatakan dalam bentuk perkalian :

$$y = X b \quad (4.4)$$

Berdasarkan Montgomery tahun 2005, solusi regresi berganda didapatkan dengan Persamaan (4.5) :

$$b = [X^T X]^{-1} X^T y \quad (4.5)$$

Persamaan ini dilakukan dengan program matlab untuk mendapatkan matrik b yang merupakan matrik koefisien parsial regresi. Hasil program matlab diperoleh matriks sebagai berikut. :

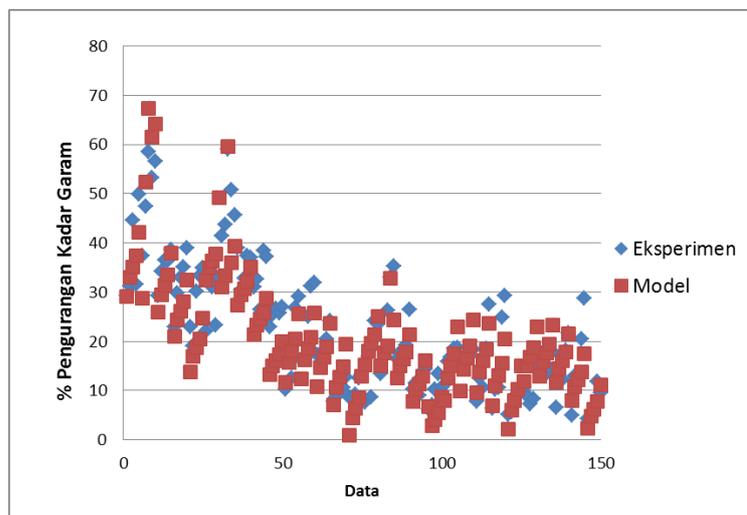
b =

5.00203
 -0.03899
 13.53859
 0.51229
 10.96482
 0.02791
 -0.00069
 0.00053
 0.20669
 -14.53473
 0.28427
 0.00005
 -2.04441
 -0.03998
 10.96482

Persamaan model matematis untuk respon Y presentase pengurangan kadar garam berdasarkan Persamaan (4.2) dengan koefisien regresi parsial yang telah diperoleh menggunakan program matlab diperoleh

$$\begin{aligned}
 Y = & 5.00203 - 0.03899X_1 + 13.53859 X_2 + 0.51229X_3 + 10.96482 X_4 + \\
 & 0.02791 X_1 X_2 - 0.00069 X_1 X_3 - 0.00053 X_1X_4 - 0.20669 X_2 X_3 - \\
 & 14.53473 X_2X_4 + 0.28427 X_3X_4 + 0.00005X_1^2 - 2.04441 X_2^2 - 0.03998 X_3^2 + \\
 & 10.96482 X_4^2
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Berdasarkan Persamaan (4.6) kemudian dilakukan validasi terhadap data eksperimen yang telah dilakukan. Validasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.16



Gambar 4.16 Validasi respon model dengan respon data eksperimen

Berdasarkan Gambar 4.16 terlihat data respon hasil model telah cukup mewakili data respon hasil eksperimen. Namun masih terdapat beberapa eror yang terjadi antara data model dan data eksperimen. Analisa error regresi untuk keempat variable yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil analisis statistik regresi data

<i>Standard Error</i>		<i>Regression Statistics</i>	
Intercept	0	Multiple R	0.97
X		R Square	0.95
Variable 1	0.0028	Adjusted R Square	0.94
X		Standard Error	6.89
Variable 2	1.2196	Observations	150
X			
Variable 3	0.0971		
X			
Variable 4	0.1288		

Tabel 4.2 menunjukkan analisis statistik data regresi terhadap Persamaan regresi yang didapatkan dengan menggunakan program matlab. Berdasarkan analisis tersebut terlihat standar error yang cukup kecil pada masing-masing

variabel X_1 , X_2 , X_3 dan X_4 . Dengan error yang kecil ini dapat disimpulkan Persamaan model matematis (4.2) yang didapatkan dapat merepresentasikan data hasil eksperimen yang dilakukan berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan. Dengan Persamaan regresi ini dapat dianalisis optimasi eksperimen sistem CDI dengan menggunakan algoritma genetik.

4.1.6.2 Optimasi Algoritma Genetik

Optimasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah optimasi dengan metode algoritma genetik. Proses optimasi algoritma genetik yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut

A. Inisiasi Populasi

Tahap awal dalam proses optimasi algoritma genetik adalah insialisasi populasi. Proses insialisasi dilakukan dengan mengkodekan kandidat solusi berdasarkan batasan-batasannya. Insialisasi ini membangkitkan matrik berukuran ukuran populasi x jumlah gen berisi bilangan biner 0 dan 1. Ukuran populasi yang digunakan dalam penelitian ini sejumlah 50 individu dalam satu populasi dan dengan gen berjumlah 20.

Pengkodean gen dilakukan pada batas bawah dan batas atas masing-masing variabel prediktor yang digunakan dengan pengkodean biner.

B. Evaluasi Individu

Pada tahap ini nilai *fitness* masing-masing individu dihitung. Fungsi *fitness* adalah suatu fungsi untuk mengevaluasi dan mengukur kualitas dari suatu individu dalam algoritma genetik. Fungsi *fitness* ini sangat bergantung pada permasalahan yang akan diselesaikan.

Pada penelitian ini optimasi algoritma genetik bertujuan untuk mendapatkan nilai presentase pengurangan kadar garam maksimum dan parameter-parameter yang berpengaruh, sehingga permasalahan penelitian ini merupakan permasalahan maksimasi dengan tujuan mendapatkan presentase pengurangan kadar garam maksimum. Fungsi *fitness* yang digunakan adalah Persamaan hubungan parameter-parameter variabel prediktor (X_1, X_2, X_3 dan X_4) dengan nilai pengurangan kadar garam. Hubungan ini didapatkan dengan menggunakan regresi berganda berdasarkan data-data yang digunakan dalam eksperimen CDI. Individu yang memiliki fitness yang lebih tinggi akan lebih

mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya. Proses pencarian nilai optimum pada algoritma genetik ini yaitu dengan merandom variabel prediktor yang diberikan pada batasan range variabel yang telah diberikan. Batasan yang diberikan pada masing-masing variabel prediktor adalah 627 - 100 μ Mho untuk kapasitansi X_1 , 1,2 -1.8 V untuk variabel tegangan X_2 , 5 - 25 mL/menit untuk variabel laju aliran X_3 , serta 0 - 1 untuk penggunaan membran. Semakin tinggi presentase pengurangan kadar garam yang didapatkan pada suatu range variabel yang diberikan maka semakin besar peluang set solusi tersebut terpilih menjadi model yang mewakili. Batas iterasi pada algoritma genetik ini ditentukan oleh presentase kadar garam yang ditargetkan dan jumlah generasi yang diberikan

C. Seleksi

Proses ini dilakukan untuk mendapatkan calon induk yang baik. Pemilihan dua kromosom sebagai orang tua yang akan dipindahsilangkan ini dilakukan sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Hal ini dilakukan agar didapatkan orang tua yang baik agar mendapatkan keturunan yang baik pula. Semakin tinggi nilai *fitness* suatu individu semakin besar kemungkinannya untuk terpilih. Proses seleksi ini menggunakan metode *roulette wheel* dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap yang pertama adalah menghitung probabilitas seleksi masing-masing kromosom dengan menggunakan Persamaan (3.10).

Setelah probabilitas seleksi masing-masing kromosom dihitung, tahap berikutnya adalah menghitung probabilitas kumulatifnya serta membangkitkan bilangan random sesuai dengan jumlah populasi. Untuk menyatakan suatu individu terpilih maka digunakan aturan pada Persamaan (3.11). Proses seleksi *roulette wheel* dapat digambarkan pada Table 4.3.

Tabel 4.3 Implementasi Seleksi *Roulette wheel*

Kromosom	<i>Fitness</i>	Pi	Ci	Ri
1	56.85	0.1469	0.1469	0.1854
2	56.85	0.1432	0.2901	0.2455
3	62.30	0.1422	0.4323	0.3674
4	62.30	0.1420	0.5743	0.4453
5	70.09	0.1419	0.7162	0.6456
6	70.29	0.1419	0.8581	0.9871
7	70.33	0.1419	1.0000	0.876

Kromosom yang terpilih sebagai orang tua pada Tabel 4.3 di atas adalah kromosom ke-2, ke-3, ke-4, ke-5, ke-7. Individu yang terpilih ini akan menjadi orang tua untuk menghasilkan keturunan untuk generasi berikutnya.

a. Pindah Silang (*Crossover*)

Operasi algoritma genetik bertujuan untuk mendapatkan individu baru atau keturunan yang lebih baik. Proses operasi algoritma genetik ini terdiri dari proses *crossover* dan proses mutasi. Pada dasarnya tidak ada ketentuan khusus operasi mana yang akan dilakukan terlebih dahulu *crossover* atau mutasi. Karena kedua keduanya memiliki probabilitas masing-masing. Pindah silang (*cross over*), merupakan salah satu operator dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. Pindah silang dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Pindah silang dilakukan dengan suatu probabilitas tertentu. P_c . Artinya, pindah silang bisa dilakukan jika suatu bilangan random $[0,1]$ dibangkitkan kurang dari P_c yang ditentukan. Pada penelitian ini digunakan nilai $P_c = 0.7$.

Proses *crossover* dilakukan dengan memilih individu-individu orang tua dengan membangkitkan bilangan random sejumlah individu yang telah diseleksi pada seleksi *roulette wheel*. Bila nilai random kurang dari probabilitas *crossover* maka individu tersebut tidak mengalami pindah silang. Berikut ditunjukkan pada Tabel 4.4 pemilihan individu yang akan mengalami *crossover*.

Tabel 4.4 pemilihan individu yang akan mengalami *crossover*.

Kromosom	R_c	$P_c = 0.7$
1=1'	0.8450	Tidak
2=2'	0.4363	<i>Crossover</i>
3=3'	0.6758	<i>Crossover</i>
4=4'	0.8587	Tidak
5=5'	0.9456	Tidak
7=6'	0.5670	<i>Crossover</i>
7=7'	0.6834	<i>Crossover</i>

Pada Tabel 4.4 menunjukkan bilangan random di sebarakan pada individu-individu yang terpilih melalui seleksi *roulette wheel*. Individu ke-1, ke-4 dan ke-5 tidak dapat melakukan *crossover* karena memiliki nilai random lebih dari

probabilitas *crossover*-nya. Sedangkan individu-individu yang melakukan *crossover* adalah individu ke-2, ke-3, ke-6 dan ke-7.

b. Mutasi

Pada proses mutasi dilakukan modifikasi satu atau lebih gen dalam kromosom yang sama dengan nilai probabilitas mutasi tertentu. Probabilitas mutasi merupakan presentase dari jumlah total gen yang mengalami mutasi. Individu-individu yang mengalami mutasi adalah individu yang terpilih dengan seleksi *roulette wheel* dan individu yang terpilih melalui seleksi pada *crossover*. Hal ini diharapkan populasi akhir nanti terdiri dari individu-individu baru hasil *crossover*, populasi hasil mutasi dan populasi hasil dari *crossover* dan mutasi. Proses mutasi diawali dengan pemilihan individu-individu yang akan mengalami mutasi. Pada tahap ini dibangkitkan bilangan random sejumlah individu. Jika nilai random ini lebih kecil dari probabilitas mutasi maka individu itulah yang terpilih untuk melakukan mutasi. Sebaliknya bilangan random yang dibangkitkan lebih dari probabilitas mutasi maka individu tersebut tidak terpilih menjadi individu yang akan mengalami proses mutasi. Pemilihan individu ini dapat ditunjukkan pada Tabel 4.5 :

Tabel 4.5 Pemilihan individu yang mengalami mutasi

Kromosom	R_c	$P_m = 0,1$
1	0.0045	Mutasi
2	0.5648	tidak
3	0.4326	tidak
4	0.5632	tidak
5	0.0210	Mutasi
6	0.2651	tidak
7	0.3254	tidak
8	0.5437	tidak
9	0.0043	Mutasi
10	0.4523	tidak

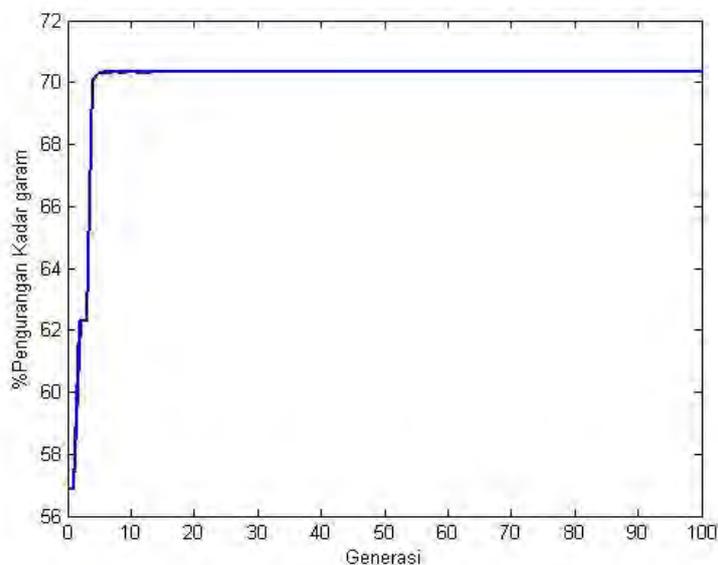
Proses mutasi pada dasarnya akan mengubah secara acak nilai suatu bit pada posisi tertentu. Kemudian kita mengganti bit 1 dengan 0 atau 0 dengan 1. Pada mutasi ini sangat dimungkinkan munculnya kromosom baru yang semula

belum muncul pada populasi awal. Pada penelitian ini digunakan probabilitas mutasi sebesar 0,1.

4.1.5.3 Analisa Hasil Optimasi Algoritma Genetik

Dalam algoritma genetik populasi atau kumpulan individu direpresentasikan oleh sejumlah model, sedangkan fungsi fitness dinyatakan kesesuaian antara respons model terhadap data. Permasalahan penelitian ini merupakan permasalahan maksimasi dengan tujuan mendapatkan % penurunan kadar garam maksimum dan mendapatkan nilai parameter-parameternya. Fungsi *fitness* yang digunakan adalah model matematis sistem respon % penurunan kadar garam terhadap variabel kapasitasansi X_1 , kecepatan aliran X_2 , tegangan sumber X_3 , dan penggunaan membran X_4 yang ditunjukkan pada Persamaan 4.6. Parameter-parameter operator algoritma genetik yang digunakan adalah nilai probabilitas mutasi sebesar 0,1 dan probabilitas *crossover* sebesar 0,7. Jumlah maksimum generasi yang digunakan dalam optimasi ini adalah 100 generasi dengan ukuran populasi 50. Hasil optimasi menggunakan algoritma genetik pada dapat dilihat pada Gambar 4.16 terlihat bahwa nilai fitness (presentase pengurangan kadar garam) mengalami kenaikan dari nilai fitness 56.85 kemudian mengalami perbaikan pada generasi ke- 9 dan 13 dengan nilai fitness 70,33 dan optimasi algoritma genetik konvergen pada generasi ke-18 dengan nilai *fitness* maksimum 70.34 % dengan parameter-parameter yang didapatkan kapasitasansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 5.565 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.8 \text{ V}$, dan penggunaan membran $X_4 (1)$. Hasil ini diperoleh karena optimasi algoritma genetik mengikuti pola pada data hasil penelitian. Seperti dijelaskan pada sub Bab 4.1.4 data hasil eksperimen menunjukkan bahwa kapasitasansi (X_1) dan tegangan sumber (X_3) yang besar serta penggunaan membran (X_4) akan meningkatkan pengurangan kadar garam (Zhou,2011). Sementara laju aliran (X_2) kecil juga akan meningkatkan nilai pengurangan kadar garam. Pada hasil optimasi algoritma genetik tersebut, nilai parameter hasil optimasi algoritma genetik $627 \mu\text{Mho}$, 1.8 V , 1 merupakan batas atas range untuk variable kapasitasansi (X_1), tegangan sumber (X_3) dan penggunaan membran (X_4). Sementara 5.565 mL/menit termasuk dalam batas bawah untuk range variabel laju aliran (X_2). Berdasarkan nilai

parameter-parameter hasil optimasi algoritma genetik tersebut didapatkan nilai maksimum pengurangan kadar garam sebesar 70,34%.



Gambar 4.17 Hasil Optimasi Persentase Penurunan Kadar Garam

Eksperimen sistem CDI dilakukan dengan menvarisikan kombinasi seluruh variabel-variabel yang telah ditentukan pada sistem CDI yang telah dibuat. Sehingga didapatkan data-data hasil desalinasi dengan kombinasi variabel yang berbeda-beda. Berdasarkan data eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan presentase pengurangan kadar garam maksimum sebesar 59.09 % dengan parameter pada kapasitansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 10 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.5 \text{ V}$, dan penggunaan membran X_4 . Hasil eksperimen ini memiliki perbedaan dengan hasil optimasi algoritma genetik dengan hasil optimasi sebesar 70,34 %. Perbedaan ini dapat dianalisis dari perbedaan parameter yang didapatkan pada hasil eksperimen dan pada optimasi algoritma genetik, pada hasil eksperimen penggunaan tegangan listrik 1,5 V akan menghasilkan pengurangan kadar garam yang lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan tegangan 1,8 V sebab penggunaan tegangan listrik yang lebih kecil akan menyebabkan mobilitas ion-ion menuju elektroda akan semakin berkurang karena energi listrik untuk pergerakan ion-ion kecil. Serta pada laju aliran 10 mL/menit akan menghasilkan pengurangan garam yang lebih kecil daripada laju aliran 5.565 mL/menit. Hal ini disebabkan laju aliran yang semakin cepat akan

mengurangi pergerakan ion-ion yang akan menuju elektroda atau dapat dikatakan ion-ion telah terpengaruh oleh aliran larutan sebelum dapat terserap dalam elektroda akibat aliran yang besar (Zhou, 2011). Oleh sebab itu hasil eksperimen dengan parameter kapasitansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 10 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.5 \text{ V}$, dan penggunaan membran X_4 memiliki hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil optimasi menggunakan algoritma genetik dengan parameter kapasitansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 5.565 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.8 \text{ V}$, dan penggunaan membran X_4 .

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembuatan elektroda untuk *capacitive deionization* dapat menggunakan metode pembentukan ikatan *crosslinking* dengan komposisi karbon aktif dari tempurung kelapa, PVA dan glutaric acid adalah 20: 1: 0,5 gr. Hasil pengujian SEM menunjukkan struktur elektroda dengan suhu pembentukan ikatan *crosslinking* lebih besar cenderung memiliki pori yang lebih banyak. Karakter elektroda ini mempunyai kapasitansi berdasarkan uji EIS untuk elektroda A_T120, B_T110 dan C_T100 masing-masing sebesar 627 μMho , 362 μMho , dan 100 μMho .

Pengujian desalinasi pada elektroda yang telah dibuat dilakukan dengan variasi kapasitansi elektroda, laju aliran larutan garam, tegangan sumber dan penggunaan membran penukar ion. Perhitungan prosentase penurunan kadar garam NaCl dapat ditentukan dengan membandingkan perubahan nilai konduktivitas larutan setelah desalinasi pada sistem CDI terhadap nilai konduktivitas awal larutan garam.

Persentase pengurangan kadar garam pada larutan NaCl 0,5 M berdasarkan pengukuran konduktivitas untuk variasi kapasitansi diperoleh untuk elektroda A_T120, B_T110, dan C_T100 masing-masing sebesar 58.58 %, 25.06 % dan 15.99 %. Pada variasi laju aliran diperoleh presentase pengurangan kadar garam terbesar untuk elektroda A_T120 dan B_T110, masing-masing sebesar 58.88 % dan 25,06 % pada laju aliran 10 mL/menit dan C_T100 berkurang 16.86 % untuk laju 5 mL/menit. Pada variasi tegangan sumber diperoleh presentase pengurangan kadar garam terbesar untuk elektroda A_T120 sebesar 58.88 % , pada tegangan 1.5 V , B_T110, dan C_T100 masing-masing sebesar 31,87 % dan 18.32 % dengan tegangan sumber 1.8 V. Serta untuk variasi penambahan membran elektroda A_T120 , B_T110, dan C_T100 masing-masing sebesar 59.09 %, 26.21 % dan 16.52 % sedangkan ketika tanpa membrane diperoleh presntase pengurangan kadar garam sebesar 58.58 %, 25.06 % dan 15.99 %.

Berdasarkan optimasi model matematis menggunakan algoritma genetik didapatkan pengurangan kadar garam sebesar 70.34 % dengan kapasitasansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 5.565 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.8 \text{ V}$, dan dengan menggunakan membrane. Sementara hasil eksperimen diperoleh pengurangan kadar garam maksimum terjadi pada kapasitasansi $X_1 = 627 \mu\text{Mho}$, kecepatan aliran $X_2 = 10 \text{ mL/menit}$, tegangan sumber $X_3 = 1.5 \text{ V}$, dan penggunaan membrane X_4 dengan perolehan presentase penurunan kadar garam sebesar 59.09 % .

5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan beberapa hal tentang pengembangan teknologi CDI, yaitu :

1. Pembuatan Elektroda CDI dengan penggunaan arus kolektor yang lebih baik misalnya menggunakan bahan-bahan inert seperti grafit sheet agar memiliki daya tahan yang lama terhadap proses elektrokimia yang terjadi didalam sel CDI.
2. Desain sistem CDI dengan penambahan membran perlu diperbaiki agar didapatkan pengurangan kadar garam yang lebih besar.
3. Penggunaan pompa peristaltik diperlukan agar dapat menjaga aliran larutan garam konstan sesuai laju aliran yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- A.M. Johnson ,A.W Venolia, J. Newman, R.G Wilbourne, C.M Wong, W.S Gillam, S. Jonhson, and R.H Horowitz, Electrosorb process for desalting water, Office of Saline Water Research and Development, Progress Report No. 5160, US Departement of the Interior, Pubication 200 056,1970
- A.M. Johnson and J. Newman, Desalting by means of porous carbon electrodes. J. Electrochemical. Soc., 118(3) (1971) 510–517
- Andrienko, D., (2008) , Chapter 1 Cyclic Voltametry‘
- Asri, Rahma Yuni (1995), *–Kemampuan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Kayu sebagai Media Saring dalam Penurunan Kadar Warna Limbah Cair Industri Tekstil PR. Sandratek di Kotamadia Semarang’*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Badan Litbang Pertanian, (2011), *–Arang aktif meningkatkan kualitas lingkungan’*, *Agroinovasi*, No.3400 Tahun XLI
- Barsoukov ,E, and J.R Macdounal, Eds., Impedance Spectroscopy –Theory, Experiment, and Applications, Wiley-Interscience (2005).
- Bard,J, L.R. Faulkner, *Electrochemical Methods :Fundamental and Aplication*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., 2001
- Beltran, M.L., Gracia, J.C, et al. (1999), Thermal Decomposition Behaviour of Crosslinked Plasticized PVC. *Polymer Degradation and Stablility*, 65,65-73
- Buerkle, T., 14 Feb. 2007. Making Every Drop Count.
<http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000494/index.html>.
- D.D. Caudle, J. H. Tucker, J.L. Cooper,B.B Arnold and A. Papastamataki, Electrochemical demineralization of water with carbon electrodes, Research Report, Oklahoma University Research Institute, 1966.

- Des Eaux, Lyonnaise, Water Treatment Membrane Processes, American Water Works Association Research Foundation, , McGraw-Hill, 1996.
- Deminer , Onur N. et al , 2013, Characterization of ion Transport and –Sorption in Carbon Based Porous Electrode for Desalination Porpuse , *Jurnal of Fluid Engineering ASME* ,Vol.135 /041201-1
- Grandis, H.,2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Gonzalez, J. S. dan V. A. Alvarez (2011). –The effect of the annealing on the poly(vinyl alcohol) obtained by freezing–thawing." *Thermochimica Acta*, No. 521(1–2), hal 184-190.
- Li, Haibo, Zou, Linda, 2011, Ion-Exchange Membrane Capacitive Deionization: A New Strategy For Brackish Water Desalination, *Desalination*, 275, 62–66
- Heinner Strathmann, Lidietta Giorno, Enrico Drioli,2006, An Introduction to Membran Science and Technology, Institute on Membrane Technology, CNR-ITM University of Calabria,Italy
- Ivers-Tiffée, A. Weber, H. Schichlein, Chapter 17- Electrochemical Impedance Spectroscopy in Handbook of Fuel Cells, Vol. 2, John Willey & Sons (2003).
- Kumar, Anil, . Gupta , Rakesh K, 2003, *Fundamental Of Polimer*, Indian Institute of Technology , McGraw-Hill, Madison Avenue, New York USA
- Lasia, A, *Electrochemical Impedance Spectroscopy and Its Aplication, Modern Aspects of Electrochemistry*, B.E. Conway, J. Bockris , and R.E White, Edts,. Kluwer Academic/ Plenum Publishers, New York, 1999, Vol. 32, p.143-248.
- Lee ,Hun, Jae, Jae-Hwan Choi,2012,The Production Of Ultrapure Water By Membrane Capacitive Deionization (MCDI) Technology, *Journal of Membrane Science*, 409–410 , 251–256

- Lee, J.K., Kim, Y.E., Kim, J.W., Chung, S.H., Ji, Dukjin & Lee Jaeyoung (2012), "Comparable mono and bipolar connection of capacitive deionization stack in NaCl treatment". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* Vol. 18, pp. 763-766.
- Li, Haibo, Zou, Linda, 2011, Ion-Exchange Membrane Capacitive Deionization: A New Strategy For Brackish Water Desalination, *Desalination*, 275, 62–66
- Lindayanti (2006), "Teknologi Pembuatan Arang Tempurung Kelapa". *Liptan Agdex:161/78 No. 01/BPTP Jambi/2006*.
- Jolanta Stasko, Mārtiņš Kalniņš, Anda Dzene, and Velta Tupureina , 2009, Poly(vinyl alcohol) hydrogels, *Polimer Science* 58, 1, 63–66
- Macdonald, J. Ross, 1992, *Impedance Spectroscopy*, Department of Physics and Astronomy, University of North California, USA
- Montgomery, D.C., *Design and Analysis of experiment*, in *John Willey and Son*: 2005, New York
- Nakaoki, Takahiko, Hiroyuki Yamashita, 2007, "Bound states of water in poly(vinyl alcohol) hydrogel prepared by repeated freezing and melting method", *Molecular Structure* 875 282–287
- Oren, Y. (2008), "Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review)", *Desalination*, 228, 10–29.
- Park, K.K., Lee, J.B., Park, P.Y., Yoon, S.W., Moon, J.S., Eum, H.M. & Lee, C.W. (2007), "Development of a Carbon Sheet Electrode for Electrosorption Desalination", *Desalination*, 206, 86-91.
- Park Byeong-Hee et al, 2011, Capacitive deionization using a carbon electrode prepared with water-soluble poly(vinyl alcohol) binder, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* , 717–722
- Patachia, S; Friedric , C r; Florea, C; Croitoru, C. (2011), "Study of the PVA hydrogel behaviour in 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquid", *eXPRESS Polymer Letters*, Vol.5, No.2, hal 197–207.

- Porada,S, Zhao,R, Van Der Wal, A, Presser, V, P.M Biesheuvel, 2013 ,—Review on the Science and Technology of Water Desalination by Capacitive Deionization—, *Progress in Material Science* ,S0079-6425(13)0034-0
- Puranto, p., Imawan, C,. (2010), _Pengembangan Instrumen Pengkarakterisasi Sensor Elektrokimia Menggunakan Metode Voltametri Siklik’, Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Vol 28.
- Putu Doddy Strisna, (2007), Bipolar Membrane Electrodialysis : Teknologi Atraktif Untuk Produksi Asam dan Basa, Jurusan Teknik Kimia , Universitas Surabaya, Surabaya
- Sperling ,L.H ,2006, *Intruduction to Physical Polymer Science*, Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, USA
- Sugiyono.Agus, 2006, *Perkembangan dan Aplikasi Teknik Optimasi untuk Perencanaan Energi*, prosiding semiloka teknologi simulasi dan komputasi,Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Suyatno,2005, *Algoritma genetik dengan Matlab*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Tongwen Xu, 2005, Ion exchange membranes: State of their development and perspective, *Jurnal of Membrane Science*, 263 ,1–29
- Vrana, Nihal, Engin,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
- Wang, Shou DaZhi Wang , LiJun Ji, Qianming Gong, YueFeng Zhu, Ji Liang, 2007,—Equilibrium and Kinetik Studies on the removal of NaCl from aqueous Solution by electrosorption on Carbon Nanotube Electrodes”, *Seperation Purification Technology*, 58(2007) 12-16
- Welgemoed, T.J. (2005), —*Capacitive Deionization TechnologyTM : Development and Evaluation of An Industrial Prototype System*”, Dissertation Doctoral Engineering, Faculty of Engineering, The Built Environment and Information Technology, University of Pretoria, Pretoria.

Zhao, R ,O Satpradit, H.H.M Rijanaarts, P.M Biesheuvel, A. van del val, 2013
,"Optimization Of Salt Adsorption Rate In Membrane Capacitive
Deionization —*Water Research* ,47, 1941-1952

Zhou, Linda, Li, Haibo & Mossad Mohamed (2011), "Capacitive Deionisation As
a Useful Tool for Inland Brackish Water Desalination", *IDA World
Congress – Perth Convention and Exhibition Centre (PCEC), Perth,
Western Australia September 4-9.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI



Penulis dilahirkan di Ngawi pada 24 Nopember 1988, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara anak pasangan Ayah, Bapak Prawoto dan Ibu Marsetyani. Penulis mulai menempuh pendidikan formal di SD Negeri I Karangjati, setelah lulus pada tahun 2001 penulis melanjutkan ke SMPN I Karangjati Ngawi, dan kemudian melanjutkan ke SMAN I Ngawi pada tahun 2004. Setelah menyelesaikan studi tingkat menengah atas, penulis menempuh pendidikan di Jurusan Fisika – FMIPA ITS Surabaya melalui jalur PMDK reguler pada tahun 2007. Penulis mengambil bidang Instrumentasi dan Elektronika. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan Magister Fisika dengan bidang minat yang sama pada tahun 2012 melalui program beasiswa Kemendiknas. Kritik dan saran mengenai penelitian tesis ini dapat disampaikan melalui email : ellys.kumala@gmail.com