



TUGAS AKHIR - RE141581

**DESALINASI AIR PAYAU MENGGUNAKAN
ELEKTRODIALISIS DENGAN VARIASI TEGANGAN
DAN UKURAN ELEKTRODA**

**CHIENDY F. RATNA JULIA
NRP 3311 100 006**

**Dosen Pembimbing
ALFAN PURNOMO, S.T., M.T**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RE141581

**DESALINATION FOR BRACKISH WATER USING
ELECTRODIALYSIS WITH VARIATION OF
VOLTAGE AND SIZE OF ELECTRODE**

**CHIENDY F. RATNA JULIA
NRP 3311 100 006**

**Supervisor
ALFAN PURNOMO, S.T, M.T**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty Of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Desalinasi Air Payau Menggunakan Elektrodialisis Dengan Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda

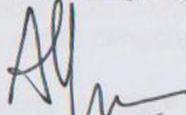
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

CHIENDY F. RATNA JULIA
NRP. 3311100006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Alfian Purnomo, S.T., M.T
NIP. 19830304 200604 1 002



DESALINASI AIR PAYAU MENGGUNAKAN ELEKTRODIALISIS DENGAN VARIASI TEGANGAN DAN UKURAN ELEKTRODA

Nama : Chiendy F. Ratna Julia
NRP : 3311100006
Jurusan : Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
Pembimbing : Alfian Purnomo, S.T, M.T

ABSTRAK

Elektrodialisis digunakan untuk desalinasi dalam memproduksi air yang memiliki kadar garam, seperti sebagai produksi air minum terutama dari air payau, air laut, air tanah dan limbah industri. Pada penelitian ini menggunakan variasi tegangan (6V, 9V, dan 12V) dan ukuran elektroda (5x2,5 cm, 5x5 cm, dan 5x10 cm). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mendapatkan tegangan serta ukuran elektroda yang optimum berdasarkan efisiensi energi yang digunakan. Sampel dalam penelitian ini adalah sampel buatan (NaCl murni) dengan kadar TDS 2000 ± 100 mg/l, luasan efektif membran 100 cm^2 , dan waktu pengolahan selama 72 jam.

Pada penentuan optimum, penggunaan tegangan 12V dan elektroda 5x10 cm tidak dilakukan perbandingan karena hasil analisis yang menunjukkan tidak konsisten dengan variasi lain. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum yaitu 6V dan ukuran elektroda 5x5 cm. Nilai optimum diperoleh dari penggunaan efisiensi energi yang terendah yang menunjukkan keefektifan kinerja elektrodialisis. Efisiensi energi didapatkan dari perbandingan antara kebutuhan energi dengan persen removal yang dihasilkan selama 72 jam ($\text{kWh/m}^3/\% \text{removal}$). Efisiensi energi yang dihasilkan tegangan 6V dan elektroda 5x5 cm adalah $3.67 \text{ kWh/m}^3/\% \text{removal}$.

Kata kunci: *air payau, ED, ukuran elektroda, tegangan, TDS*

Desalination for Brackish Water Using Electrodialysis with Variation of Voltage and Size of Electrode

Name : Chiendy F. Ratna Julia
NRP : 3311100006
Department : Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
Coach : Alfian Purnomo, S.T, M.T

ABSTRACT

Electrodialysis is used for desalination in producing water with salinity, such as drinking water production, especially of brackish water, sea water, ground water, and industrial waste. In this study, using a variation of voltage (6V, 9V, and 12V) and the size of the electrode (5x2,5cm, 5x5cm, and 5x10 cm). The purpose of this study was to analyze and get the voltage and electrode size optimum based on the efficiency of energy used. The sample in this research is artificial samples (pure NaCl) with TDS levels 2000 ± 100 mg/l, the effective area of membrane is 100 cm^2 , and the processing time for 72 hours.

In the determination of the optimum, 12V and electrode 5x10 cm can't use for a comparison because of the result of analysis indicate inconsistent with the other variations. From this research, voltage and electrode size optimum is 6V and 5x5 cm . The optimum value is obtained from the use of the lowest efficiency of energy. It shows the effectiveness of the performance of electrodialysis. Efficiency of energy is obtained from the comparison between energy and percent removal for 72 hours ($\text{kWh/m}^3/\% \text{removal}$). The result of efficiency of energy for 6V and electrode 5x5 cm is $3.67 \text{ kWh/m}^3/\% \text{removal}$.

Keywords: *brackish water, ED, size of electrode, voltage, TDS*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa dimana atas limpahan rahmat dan berkat-Nya, Tugas Akhir yang berjudul “Desalinasi Air Payau Menggunakan Elektrodialisis dengan Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda” dapat terselesaikan. Dalam penyusunan proposal ini, penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Alfan Purnomo, S.T, M.T, sebagai dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan proposal tugas akhir ini.
2. *Arseto Yekti* Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D, sebagai dosen yang telah membimbing dan memberikan saran serta kritik yang membangun dalam pelaksanaan penelitian.
3. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc, Ph.D, Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng, dan *Arie* Dipareza Syafei, S.T, MEPM, sebagai dosen pengarah yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir.
4. Bapak Hadi selaku Laboran di Laboratorium Pemulihan Air dan Bapak Edi selaku Laboran di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, sebagai laboran yang telah dengan sabar menyiapkan fasilitas kebutuhan praktikum sehingga mempermudah jalannya praktikum dan terima kasih atas saran yang membangun.
5. Almh. Mama dan Papa yang selalu mendoakan dan memberi dukungan.
6. Kakak dan semua keluarga yang selalu mendukung dan memberikan motivasi.
7. Teman-teman angkatan 2011 Teknik Lingkungan FTSP-ITS atas segala bantuan, dukungan, kritik, dan saran yang membangun.

Penyusunan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penyusun sangat mengharapakan kritik dan saran yang membangun.

Surabaya, Juli 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air Payau.....	5
2.2 Karakteristik Air Minum.....	6
2.2.1 Total Dissolved Solid (TDS).....	6
2.2.2 pH.....	7
2.2.3 Salinitas.....	7
2.3 Pengertian Desalinasi.....	7
2.4 Proses Elektrodialisis.....	8
2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi ED.....	9
2.5.1 DC Supply.....	9
2.5.2 Elektroda.....	10
2.5.3 Membran.....	11
2.5.4 Elektrolit.....	12
2.6 Hukum Ohm.....	12
2.7 Medan Listrik.....	13
2.8 Kebutuhan Energi.....	14
2.9 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Umum.....	19
3.2 Kerangka Penelitian.....	19
3.2.1 Ide Penelitian.....	24
3.2.2 Studi Literatur.....	25
3.2.3 Pengumpulan Data.....	25
3.2.4 Pelaksanaan Penelitian.....	26
3.2.5 Tahap Persiapan Penelitian.....	26
3.2.6 Perakitan Alat.....	27
3.2.7 Pengambilan Sampel.....	30

3.2.8 Tahap Penelitian Inti.....	30
3.3 Analisis Data dan Pembahasan.....	31
3.4 Kesimpulan dan Saran.....	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Penelitian Pendahuluan.....	33
4.1.1 Penentuan Sampel.....	33
4.1.2 Penentuan Ukuran Elektroda.....	34
4.2 Pengaruh Tegangan Terhadap Proses Desalinasi Air Payau.....	34
4.3 Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Proses Desalinasi Air Payau.....	52
4.4 Analisis Kebutuhan Energi.....	69
4.4.1 Penggunaan Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda Terhadap Kebutuhan Energi.....	69
4.4.2 Penentuan Penggunaan Tegangan dan Ukuran Elektroda Optimum.....	75
4.5 Uji ANOVA.....	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Air Berdasarkan TDS.....	6
Tabel 2.2 Kajian Penelitian Terdahulu Mengenai ED.....	15
Tabel 3.1 Perbandingan Variabel.....	30
Tabel 3.2 Metode Untuk Parameter Ukur.....	31
Tabel 4.1 Hasil Removal Ukuran Elektroda 5x5 cm dan 5x10 cm.....	34
Tabel 4.2 Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x2,5 cm....	70
Tabel 4.3 Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x5 cm.....	71
Tabel 4.4 Kebutuhan Energi Uukuran Elektroda 5x10 cm..	71
Tabel 4.5 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 6V.....	72
Tabel 4.6 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 9V.....	73
Tabel 4.7 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 12V...	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Elektrodialisis.....	9
Gambar 3.1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Cara Perakitan Reaktor Elektrodialisis.....	28
Gambar 3.3 Reaktor Elektrodialisis 7 Kompartemen.....	23
Gambar 4.1 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Persen Removal TDS.....	36
Gambar 4.2 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Removal Salinitas.....	37
Gambar 4.3 Pengaruh Tegangan 6V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades....	37
Gambar 4.4 Pengaruh Tegangan 9V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades....	38
Gambar 4.5 Pengaruh Tegangan 12V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades....	38
Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Persen Removal TDS.....	42
Gambar 4.7 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Persen Removal Salinitas....	43
Gambar 4.8 Pengaruh Tegangan 6V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	44
Gambar 4.9 Pengaruh Tegangan 9V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	44
Gambar 4.10 Pengaruh Tegangan 12V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	45
Gambar 4.11 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Persen Removal TDS.....	48
Gambar 4.12 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Removal Salinitas.....	48
Gambar 4.13 Pengaruh Tegangan 6V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades....	49
Gambar 4.14 Pengaruh Tegangan 9V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades....	49
Gambar 4.15 Pengaruh Tegangan 12V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades. 50	

Gambar4.16	Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS Pada Penggunaan Tegangan 6V.....	53
Gambar4.17	Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas Pada Penggunaan Tegangan 6V....	54
Gambar4.18	Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades..	54
Gambar4.19	Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	55
Gambar4.20	Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades...	55
Gambar 4. 21	Garis-garis Medan Listrik	55
Gambar4.22	Pengaruh Variasi 9 V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS.....	60
Gambar4.23	Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas.....	60
Gambar4.24	Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades..	60
Gambar4.25	Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	59
Gambar4.26	Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades...	61
Gambar4.27	Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS.....	61
Gambar4.28	Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas.....	62
Gambar4.29	Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades..	64
Gambar4.30	Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades.....	66
Gambar4.31	Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades...	68
Gambar4.32	Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x2,5 cm.....	76
Gambar4. 33	Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x5 cm..	77
Gambar4.34	Efisiensi Energi pada Penggunaan Tegangan 6V.....	77
Gambar 4.35	Efisiensi Energi pada Penggunaan Tegangan 9V.....	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengolahan air menggunakan membran menjadi salah satu hal penting dalam kehidupan saat ini, baik dalam bidang industri maupun kehidupan sehari-hari. Penggunaan membran telah dikembangkan untuk pengolahan air dengan *reverse osmosis* (RO), nano filtrasi, microfiltrasi, evaporasi dan elektrodialisis (Kariduraganavar *et al.*, 2006). Salah satu teknologi membran yang digunakan dalam pengolahan air payau saat ini adalah elektrodialisis (ED). ED merupakan teknologi pengolahan air yang memanfaatkan membran dengan melibatkan transportasi ion dan dipengaruhi oleh medan listrik. Sistem ED terdiri dari susunan sel dengan letak *Anion Exchange Membrane* (AEM) dan *Cation Exchange Membrane* (CEM) diantara anoda dan katoda (Moon dan Yun, 2014). ED digunakan untuk desalinasi dalam memproduksi air yang memiliki kadar garam, seperti sebagai produksi air minum terutama dari air payau, air laut, air tanah dan limbah industri (Strathmann, 2010).

Penelitian mengenai desalinasi air payau menjadi air tawar dengan menggunakan teknologi elektrodialisis telah dilakukan oleh Mirfada (2014). Penelitian yang beliau lakukan adalah mengenai desalinasi air payau dengan menggunakan variabel variasi tegangan (6, 9, dan 12V) dan jumlah kompartemen dalam reaktor (5 dan 7 kompartemen). Air baku yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah air payau dengan kadar TDS sebesar 2000 mg/l. Hasil penelitian membuktikan bahwa untuk mencapai baku mutu persyaratan kualitas air minum Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010 dibutuhkan waktu 72 jam dengan penggunaan tegangan optimum sebesar 6V dan jumlah kompartemen yang efektif sebanyak 7 buah kompartemen. Hasil persen removal yang telah memenuhi baku mutu yaitu TDS 92%, salinitas 79%, konsentrasi Cl⁻ 71%, dan pH akhir 8,0.

Pengolahan menggunakan ED dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tegangan, waktu, konsentrasi elektrolit, jarak antar elektroda, luas permukaan membran, elektroda dan volume yang akan diolah (Banasiak *et al*, 2007); (Fathurrahman dan Wahyono, 2000). Menurut Huang *et al* (2006), salah satu faktor yang mempengaruhi dalam aplikasi elektrodialisis adalah *DC supply* dan elektroda. *DC supply* berfungsi untuk mempercepat perpindahan ion ke arah elektroda. Sadrzadeh dan Mohammadi (2008) mengolah air payau menggunakan elektrodialisis dengan debit 0,5 mL/detik dapat menurunkan konsentrasi Na^+ hingga 100% dengan tegangan 9 V, pada tegangan 7 V dapat menurunkan hingga 75% dan pada tegangan 5V dapat menurunkan hingga 55%. Semakin besar tegangan listrik yang digunakan maka akan semakin besar pula penurunan kadar ion dalam larutan.

Elektroda menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja teknologi elektrodialisis. Pada proses ED, elektroda yang digunakan terdiri atas elektroda dengan muatan positif (anoda) dan muatan negatif (katoda). Perbedaan muatan kutub pada elektroda berfungsi sebagai pengikat ion-ion yang bermuatan positif dan negatif. Menurut Riyanto (2013), elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrolisis. Luasan penampang dan jenis bahan elektroda merupakan hambatan listrik yang mempengaruhi besarnya arus listrik yang melewati elektroda (Iftita, 2012). Berdasarkan hukum Ohm, semakin besar hambatan pada suatu sistem maka arus yang diberikan akan semakin kecil. Pengaruh ukuran elektroda dan peningkatan besar removal ion ditunjukkan dari beberapa hasil penelitian yaitu dengan membandingkan antara luasan elektroda dengan luasan penampang membran dan persen removal ion yang dihasilkan.

Costa *et al* (2002), melakukan pemisahan ion logam pada air limbah dengan elektrodialisis. Luas penampang membran reaktor dan luasan elektroda yang digunakan adalah sebesar 14,5 cm². Pada tegangan 5V dan selama 5 jam menghasilkan removal ion Fe 16%, ion Cu 49,8%, ion Ni 40,5%, dan ion Al 67,7%. Cifuentes *et al* (2009), menggunakan metode elektrodialisis dalam pemisahan logam

dan pemulihan air dari larutan $\text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Fe}$. Reaktor elektrodialisis mempunyai luas penampang membran 50 cm^2 dan luasan elektroda $4,8 \times 4,8 \text{ cm}$. Penggunaan tegangan sebesar $5,1 \text{ V}$ selama 24 jam menghasilkan pemisahan ion Cu(II) sebesar $96,6\%$ dan ion Fe(II) sebesar $99,5\%$. Sadrzadeh dan Mohammadi (2008) mengolah air payau menggunakan elektrodialisis dengan luasan elektroda $4,2 \times 4,2 \text{ mm}^2$ dan luasan membran 3900 mm^2 . Pada penggunaan tegangan 9 V removal ion Na^+ mencapai hingga 100% .

Hasil penelitian tersebut kemudian masing-masing dibandingkan antara luasan elektroda dan luasan penampang membran dengan persen removal yang dihasilkan, hal ini bertujuan untuk memperoleh luasan elektroda yang akan digunakan dalam penelitian. Penelitian tugas akhir ini akan melakukan analisis mengenai kemampuan kinerja elektrodialisis dalam mengolah air payau menjadi air tawar dengan parameter ukur berupa TDS, salinitas, dan pH. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggunaan tegangan ($6, 9, \text{ dan } 12\text{V}$) dan ukuran elektroda berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran ($1:0,5; 1:1; \text{ dan } 1:2$). Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk memperoleh penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum dalam proses desalinasi air payau berdasarkan efisiensi penggunaan energi terhadap removal yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini diperoleh dari perumusan latar belakang. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran terhadap proses desalinasi air payau dengan menggunakan elektrodialisis.
2. Tegangan dan ukuran elektroda optimum yang digunakan dalam proses desalinasi air payau dengan menggunakan elektrodialisis.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian berfungsi untuk menjawab perumusan masalah. Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran terhadap proses desalinasi air payau dengan menggunakan teknologi elektrodialisis.
2. Menentukan tegangan dan ukuran elektroda optimum dalam proses desalinasi air payau dengan menggunakan elektrodialisis.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Menyampaikan informasi mengenai salah satu metode alternatif desalinasi air payau yaitu elektrodialisis.
2. Sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya dari penggunaan variasi tegangan dan elektroda dalam proses desalinasi air payau dengan elektrodialisis.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup bertujuan untuk membatasi bahasan dalam melakukan penelitian sehingga penelitian lebih terarah.

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel merupakan sampel buatan yaitu NaCl murni.
2. Reaktor elektrodialisis adalah reaktor sistem *batch*.
3. Jenis elektroda yang digunakan adalah tembaga sebagai katoda dan *stainless steel* sebagai anoda.
4. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi tegangan dan ukuran elektroda.
5. Penentuan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum terhadap proses desalinasi berdasarkan efisiensi penggunaan energi terhadap removal yang dihasilkan.
6. Parameter ukur yang digunakan adalah TDS, salinitas, dan pH.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Payau

Menurut Soedjono (2002) dalam Yusuf dkk. (2009), air payau terjadi karena intrusi air asin ke air tawar. Hal ini dikarenakan adanya degradasi lingkungan. Air dikategorikan sebagai air payau bila konsentrasinya 0,05 sampai 3% atau menjadi *saline* bila konsentrasinya 3 sampai 5%, dan lebih dari 5%, disebut *brine*. Air payau adalah air yang salinitasnya lebih rendah dari pada salinitas rata-rata air laut normal (<35 permil) dan lebih tinggi daripada 0,5 permil, dan terjadi karena pencampuran antara air laut dengan air tawar baik secara alamiah maupun buatan.

Air payau mempunyai karakteristik atau sifat-sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

1. Karakteristik fisik
 - a. Merupakan cairan tak bewarna
 - b. Mempunyai densitas = 1,02 dengan pH 7,8-8,2
 - c. Mempunyai titik beku $-2,78^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $101,1^{\circ}\text{C}$
 - d. Suhu rata-rata $\pm 25^{\circ}\text{C}$
 - e. Rasanya pahit dan aromanya tergantung ada kemurniannya
2. Karakteristik kimia
 - a. Derajat keasaman (pH) antara 6 - 8,5
 - b. CO_2 agresif tinggi
 - c. Kandungan unsur kimiawi seperti yang banyak terkandung dalam air sumur payau adalah Fe^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , Mn^{2+} , dan Zn^{2+}
3. Karakteristik biologi

Termasuk karakteristik biologi adalah ganggang, lumut, dan mikroorganisme lainnya yang dapat mengganggu kesehatan, walaupun terdapat dalam jumlah kecil (Yusuf E. dkk, 2009).

Karakteristik air dapat dibedakan berdasarkan kandungan TDS didalamnya, Klasifikasi air berdasarkan TDS dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Air Berdasarkan TDS

No.	Kriteria Air	Kadar TDS (mg/L)
1	Air tawar	< 1.000
2	Air Tawar-Payau	1.000-3.000
3	Air Payau-Tawar	3.000-10.000
4	Air asin	10.000-35.000
5	Air Hipersalin	>35.000

Sumber: (Davis dan De Wiest dalam Balachandar , 2010)

Air juga dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan klorida yang terlarut didalamnya. Berdasarkan kandungan kloridanya air dibedakan atas:

1. Air tawar (< 1.000 mg/l)
2. Air payau (1.000 – 35.000 mg/l)
3. Air asin (35.000 mg/l)
4. *Brine* (berkadar garam tinggi : Laut Mati)

2.2 Karakteristik Air Minum

Kriteria air layak minum harus memenuhi beberapa syarat-syarat sesuai dengan kualitas baku mutu air minum. Baku mutu yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/Menkes/Per/IV/2010, mengenai syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum. Air minum merupakan air yang melewati proses pengolahan maupun tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan sehingga dapat langsung diminum. *Total Dissolved Solid* (TDS) dan pH merupakan parameter wajib (Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/Menkes/Per/IV/2010).

2.2.1 Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved solid (TDS) adalah suatu ukuran kandungan kombinasi terlarutnya zat padat, baik berupa ion, senyawa, koloid, zat organik, zat anorganik dan garam yang terlarut di dalam air (Scannel *et al*, 2007). Kekeruhan air sangat bergantung pada kandungan zat padat. Total zat padat air terdiri dari *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS). TDS merupakan salah satu penyebab kekeruhan air yang sifatnya terlarut. TDS mampu tertahan di permukaan kertas saring dengan ukuran pori <2 µm. TDS dalam air tanah mengandung 90% ion-ion mayor berupa Na⁺,

Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , dan SO_4^{2-} yang sangat dibutuhkan untuk kehidupan makhluk hidup khususnya manusia. Unsur-unsur Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^+ termasuk unsur alkali dan alkali tanah yang mudah terbentuk ion maka mudah larut dalam air sehingga kation-kation tersebut mendominasi air tanah (Djuhariningrum, 2005). Analisis TDS pada sampel dapat dilakukan dengan menggunakan pH ion lab.

2.2.2 pH

pH merupakan salah satu karakteristik fisik air yang menyatakan tingkat keasaman atau basa dari suatu larutan. Dalam ED, perubahan pH terjadi saat proses oksidasi-reduksi pada katoda dan anoda. Perubahan pH terjadi karena terjadi pembentukan gas hidrogen (H_2) pada katoda. Kenaikan pH disebabkan oleh katoda yang memproduksi ion hidroksi (OH^-) secara berlebihan. Selain itu pada proses elektrodialisis, air baku yang akan diolah memiliki batas pH 2 sampai pH 10 (Strathmann, 2010). Dalam menganalisis pH air digunakan alat berupa pH meter.

2.2.3 Salinitas

Salinitas adalah tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air yang dinyatakan dalam satuan per mil yaitu jumlah berat total NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (Wibisono, 2004). Salinitas air payau menggambarkan kandungan garam dalam suatu air payau. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air termasuk garam dapur (NaCl). Pada umumnya salinitas disebabkan oleh 7 ion utama yaitu natrium, kalium, kalsium, magnesium, klorida, sulfat, dan bikarbonat. Salinitas dinyatakan dalam satuan gram/kg atau permil (‰) (Yusuf E. dkk 2009).

2.3 Pengertian Desalinasi

Desalinasi adalah proses untuk menyisihkan mineral dalam air laut, air payau maupun pengolahan air limbah (Sadrazadeh dan Mohammadi, 2007). Desalinasi merupakan proses untuk menghilangkan kandungan garam di air yang terdiri dari kation (ion positif) dan anion (ion negatif). Desalinasi bertujuan untuk mendapatkan air dengan

kemurnian tinggi atau untuk memperoleh air bersih dari air yang memiliki kadar garam tinggi, seperti air laut.

Desalinasi merupakan salah satu teknologi yang memanfaatkan perubahan fase atau melibatkan membran semipermeabel untuk memisahkan zat terlarut. Ada beberapa metode desalinasi air laut yang banyak digunakan saat ini antara lain dengan cara distilasi, evaporasi, desalinasi dengan menggunakan membran yaitu *reverse osmosis* (RO), distilasi membran dan elektrodialisis (ED).

2.4 Proses Elektrodialisis

Elektrodialisis telah diterapkan sejak 50 tahun yang lalu untuk memproduksi air dengan air baku berupa air payau. Prinsip dari elektrodialisis adalah terdapat dua membran yaitu *anion exchange membrane* dan *cation exchange membrane* yang terletak diantara dua elektroda. Membran akan membentuk kompartemen yang akan dilewati oleh larutan. Apabila larutan elektrolit melewati kompartemen dan terdapat beda potensial diantara kedua elektroda maka kation akan bergerak menuju katoda melewati *cation-exchange membrane* (Strathmann, 2010).

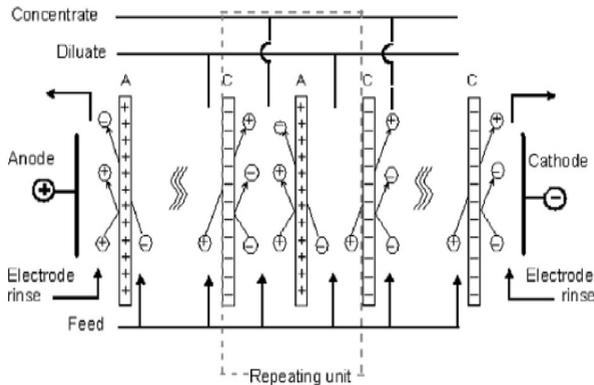
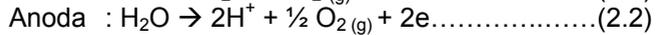
Akibat adanya pergerakan anion menuju anoda dan kation menuju katoda melewati membran, beberapa kompartemen ada yang teraliri oleh larutan yang kaya akan ion atau disebut konsentrat. Sehingga kompartemen lain yang teraliri larutan yang miskin akan ion disebut diluat. Proses elektrodialisis sangat bergantung pada hal-hal prinsip sebagai berikut :

1. Garam yang terlarut dalam air adalah terdiri dari ion-ion (positif maupun negatif)
2. Ion-ion dalam larutan bergerak ke arah elektroda yang memiliki muatan listrik yang berlawanan dengan muatan ion tersebut.
3. Membran yang digunakan dibuat agar bersifat selektif terhadap anion atau kation. (Sutrisna, 2002)

Pada pengaplikasian ED, ED dapat dilakukan dengan sistem *batch* dan kontinyu. ED dengan sistem kontinyu adalah air baku dialirkan melalui sejumlah kompartemen dan dihasilkan air produk sebagai output. Sistem *batch* pada ED

yaitu air baku diresirkulasi setelah air memenuhi reaktor ED dengan waktu pengolahan tertentu hingga diperoleh produk akhir sesuai yang diinginkan (Starthmann, 2004).

Pada ED terjadi proses reaksi oksidasi dan reduksi. Reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron (memberikan elektron kepada atom lain) sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi pelepasan oksigen dari suatu zat atau reaksi menerima elektron. Reaksi oksidasi dan reduksi pada ED terjadi pada elektroda. Reaksi yang terjadi pada elektroda dalam proses ED sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Ilustrasi Proses Elektrodialisis

Sumber : Strathmann, 2010

2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi ED

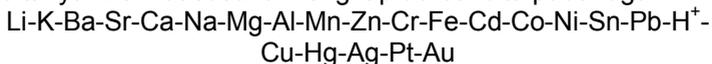
2.5.1 DC Supply

Arus *DC* merupakan jenis arus searah yang berfungsi untuk mempercepat pergerakan perpindahan kation dan anion menuju elektroda. ED adalah suatu proses elektrokimia yang memisahkan ion dengan melewatkannya melalui membran dan menggunakan tegangan yang mengalir searah (Valero *et al*, 2011). Proses elektrodialisis menggunakan arus searah

supaya arus elektron berjalan dari kutub negatif ke kutub positif.

2.5.2 Elektroda

Elektroda terdiri atas dua jenis yaitu elektroda inert dan tidak inert (aktif). Elektroda inert adalah elektroda yang tidak bereaksi sebagai katoda maupaun anoda, sehingga dalam elektrolisis yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut atau air sebagai pelarut. Contoh elektroda inert adalah karbon (C), dan platina (Pt). Sedangkan elektroda aktif adalah elektroda yang ikut bereaksi terutama jika digunakan sebagai anoda karena akan mengalami reaksi oksidasi. Contoh elektroda aktif adalah besi (Fe), aluminium (Al), tembaga (Cu), seng (Zn), perak (Ag), dan emas (Au). Elektroda memiliki kriteria yang dapat dilihat dari deret voltanya. Berikut susunan lengkap deret volta pada logam:



Semakin ke kiri, maka nilai E°_{red} semakin kecil (semakin negatif). Hal ini menandakan bahwa logam-logam tersebut semakin sulit mengalami reduksi dan cenderung mengalami oksidasi. Semakin ke kanan, maka nilai E°_{red} semakin besar (semakin positif). Hal ini menunjukkan bahwa logam-logam tersebut semakin mudah mengalami reduksi dan sulit mengalami oksidasi.

Potensial elektroda adalah potensial listrik yang ada pada sebuah elektroda yang berhubungan dengan bentuk oksidasi dan reduksi dari beberapa zat. Suatu elektroda mengandung partikel yang dapat menarik elektron (tereduksi). Kekuatan tarikan itu disebut potensial reduksi. Elektroda yang memiliki potensial besar maka akan tereduksi (katoda) dan yang akan teroksidasi disebut anoda (Petrucci, 1999).

Pemilihan bahan elektroda yang tepat juga turut diperhitungkan. Hal ini berguna sebagai bahan pertimbangan sifat ekonomis dan tahan lama (Junaidi dan Seprianto, 2011). Salah satu bahan yang umum digunakan karena sifat ekonomis dan tahan lama yaitu tembaga. Tembaga adalah logam merah muda yang lunak, dapat ditempa, dan liat. Tembaga dapat melebur pada 1.038°C . Sifatnya yang tidak

mudah korosif dan tahan pada pH ekstrim (tidak larut dalam HCl maupun H₂SO₄). Selain bahan tembaga, baja tahan karat (*stainless steel*) juga merupakan bahan elektroda yang umum digunakan. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Purwanti dan Pilarian (2013), *stainless steel merupakan* logam campuran dengan Fe yang mendominasi yaitu 69,9%. *Stainless steel* mempunyai keunggulan yaitu tahan korosi, tahan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi sehingga tingkat kekerasan juga tinggi (Retnoningsih dan Murdianti, 2010).

2.5.3 Membran

Membran yang digunakan dalam proses elektrodialisis adalah *ion exchange membranes*. Membran penukar ion ada dua, 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. Sedangkan anion dalam larutan elektrolit akan tertolak oleh membran penukar kation karena memiliki muatan yang sama dengan gugus fungsi negatif yang dimiliki oleh membran penukar kation (Sutrisna, 2002).

Kedua membran tersebut memiliki hambatan listrik rendah, tidak larut dalam air, tahan terhadap pH (1-10), mudah pengantiannya, dapat digunakan pada suhu hingga 46°C, tahan terhadap tekanan osmosis, tahan lama, tahan terhadap potensi penyumbatan, dan mudah dibersihkan. Membran tersebut sangat selektif terhadap ion-ion yang lewat, sehingga mampu menahan ion-ion yang seharusnya tidak melewati membran tersebut (Valero *et al.*, 2011).

2.5.4 Elektrolit

Elektrolit adalah zat yang terlarut dalam bentuk ion-ion. Zat yang jumlahnya lebih sedikit di dalam larutan disebut zat terlarut atau *solute*, sedangkan zat yang jumlahnya lebih banyak dalam larutan disebut pelarut atau *solven* (Riyanto, 2013). Komposisi zat terlarut dinyatakan dalam konsentrasi larutan. Larutan terdiri atas larutan elektrolit yang mudah menghantarkan listrik, dan larutan non elektrolit yang tidak dapat menghantarkan listrik. Ion-ionnya merupakan atom-atom yang bermuatan elektrik seperti senyawa garam atau asam. Senyawa elektrolit adalah senyawa yang memiliki ikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit. Contoh garam dapur (NaCl) dalam bentuk larutan dan lelehan dapat menjadi larutan elektrolit, namun dalam padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit. Apabila senyawa ion berdisosiasi dalam air, maka ion-ionnya akan terhalang oleh molekul-molekul air sehingga akan terhidrasi. Terbentuknya ion-ion dalam bentuk larutan tidak hanya untuk senyawa ion saja. Banyak juga zat terbentuk molekul yang bereaksi dengan air sehingga menghasilkan ion-ion yang merupakan elektrolit. Contoh HCl bila dilarutkan dalam air akan terjadi reaksi sebagai berikut



Reaksi tersebut disebut reaksi ionisasi karena menghasilkan ion-ion yang sebelumnya tidak ada (terdisosiasi). Reaksi terjadi karena adanya perpindahan proton atau hidrogen (H^+) dari molekul HCl ke molekul air menghasilkan ion hidronium (H_3O^+) dan ion klorida (Cl^-). Sehingga walaupun hidrogen klorida murni berada sebagai molekul yang kelistrikiannya netral (cairan HCl tak menghantarkan listrik), bila dilarutkan dalam air akan terjadi reaksi kimia dan menghasilkan ion dan menjadi suatu elektrolit (Brady, 1999).

2.6 Hukum Ohm

Hubungan antara beda potensial dalam elektrolit dan kekuatan arus listrik yang mengalir menurut Hukum Ohm yaitu:

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- I = Kuat arus listrik (A)
- V = Beda Potensial (V)
- R = Hambatan (ohm)

Kuat arus listrik dan tegangan berbanding lurus, jika tegangan listrik yang dialirkan besar maka arus listrik yang mengalir juga akan semakin besar. Selain itu, arus listrik mempunyai korelasi terhadap reaktif atau tidaknya elektron. Semakin besar kuat arus listrik yang digunakan pada elektrolisis, maka akan menyebabkan elektron lebih reaktif sehingga mudah bergerak. Hal ini juga akan menyebabkan porsi akumulasi pergerakan elektron dan transfer material pada kedua elektroda semakin besar (Topayung, 2011).

Hambatan listrik merupakan ukuran dari kecenderungan bahan untuk menahan aliran arus listrik. Dalam proses elektrodialisis, besarnya hambatan akan mempengaruhi pergerakan perpindahan ion yang melewati membran menuju elektroda. Menurut Banasiak *et al* (2010), dalam satu kompartemen dalam elektrodialisis, hambatan listrik yang terjadi merupakan jumlah dari hambatan di membran (AEM dan CEM) dan larutan (larutan dilut dan konsentrat). Penggunaan arus listrik yang semakin besar, akan mempercepat terjadinya penumpukan ion (*fouling*), baik pada permukaan membran dan pori-pori membran, sehingga luasan membran semakin berkurang. Selain itu juga, hambatan yang terjadi juga disebabkan oleh listrik itu sendiri yang berfungsi untuk mendorong dan menggerakkan elektron pada konduktor, setiap jenis bahan konduktor memiliki kerapatan elektron yang berbeda-beda sehingga akan mempengaruhi aliran arus listrik yang dihasilkan.

2.7 Medan Listrik

Menurut Strathmann (2004), dalam ED polaritas medan listrik diterapkan sebagai gaya tarik untuk perpindahan ion dalam interval waktu tertentu. Sehingga akibat adanya perpindahan ion, beberapa kompartemen ED ada yang teraliri oleh larutan yang kaya ion (konsentrat) dan larutan miskin ion

(diluat). Medan listrik merupakan sesuatu yang ditimbulkan oleh muatan listrik dan mempengaruhi ruang di sekitar muatan listrik tersebut, di mana pengaruh medan listrik hanya dirasakan oleh muatan listrik lainnya. Ketika muatan listrik lain berada dalam medan listrik yang ditimbulkan oleh suatu muatan listrik maka muatan listrik lain merasakan pengaruh berupa gaya listrik.

Garis-garis medan listrik adalah sekumpulan garis yang digambarkan di sekitar suatu muatan listrik untuk menunjukkan keberadaan medan listrik. Rumus kuat medan listrik yaitu:

$$E = \frac{k \cdot q}{r^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- E = kuat medan listrik (N/C)
- k = konstanta Coulomb ($9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$)
- q = besar muatan listrik (Coulomb)
- r = jarak antara muatan listrik (m)

Berdasarkan rumus kuat medan listrik menunjukkan bahwa kuat medan listrik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Jika jarak semakin kecil (dari sumber muatan) maka kuat medan listrik semakin besar dan bila jarak semakin besar (dari sumber muatan) maka kuat medan listrik yang dihasilkan semakin kecil.

2.8 Kebutuhan Energi

Dalam proses elektrokimia kelayakan proses dievaluasi dari persentase penurunan polutan, sedangkan dari segi ekonomi kelayakan ditentukan oleh konsumsi energi spesifik. Penurunan konsentrasi polutan selama proses elektrokimia selama proses tersebut, dapat direpresentasikan dengan waktu atau sebagai fungsi dari muatan listrik spesifik.

$$Q = \frac{I \cdot A \cdot t}{v} \dots \dots \dots (2.3)$$

Sedangkan kerapatan arus (J) adalah kuat arus listrik yang mengalir di area elektroda.

$$J = \frac{I}{A} \dots \dots \dots (2.4)$$

Oleh karena itu, muatan listrik spesifik dapat pula dicari melalui persamaan berikut.

$$Q = \frac{I \cdot t}{v} \dots\dots\dots(2.5)$$

Konsumsi energi spesifik (W) secara langsung berkaitan dengan muatan listrik spesifik (Q) dan tegangan listrik tertentu (V). Berikut persamaan konsumsi energi selama elektrolisis.

$$W = Q \cdot V \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- W = konsumsi energi spesifik (kWh/m³)
 - Q = muatan listrik spesifik (kAh/m³)
 - I = kuat arus listrik (A)
 - J = kerapatan arus (A/m²)
 - V = tegangan listrik (V)
 - A = luas elektroda (m²)
 - t = waktu operasi (s)
 - v = volume elektrolit (L)
- (Anglada dkk., 2009)

2.9 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian tentang ED telah banyak dilakukan. Beberapa kajian penelitian terdahulu yang menggunakan prinsip ED dalam pemisahan ion-ion positif maupun negatif dengan berbagai variasi ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kajian Penelitian Terdahulu Mengenai ED

No	Nama	Tahun	Kajian
1	Sadrzadeh dan Mohammadi	2007	Mengolah air payau menggunakan elektrodialisis dengan debit 0,5 mL/detik, luasan elektroda 0,176 cm ² , dan luasan membran 39 cm ² dapat menurunkan konsentrasi Na ⁺ hingga 100% dengan tegangan 9 V, pada tegangan 7 V dapat menurunkan hingga 75% dan pada tegangan 5V dapat menurunkan

No	Nama	Tahun	Kajian
			hingga 55%.
2	Mirfada	2014	Dengan penggunaan tegangan sebesar 6 V dan kompartemen reaktor sejumlah 7 buah. Selama 72 jam, hasil persen removal telah memenuhi baku mutu yaitu TDS 92%, salinitas 79%, konsentrasi Cl^- 71%, dan pH akhir 8,0.
3	Cifuentes <i>et al</i>	2009	Pemisahan logam dan pemulihan air dari larutan $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$ menggunakan metode elektrodialisis. Reaktor elektrodialisis mempunyai luas penampang membran 50 cm^2 dan luasan elektroda 4,8x4,8 cm. Penggunaan tegangan sebesar 5,1 V selama 24 jam menghasilkan pemisahan ion Cu(II) sebesar 96,6% dan ion Fe(II) sebesar 99,5%.
4	Costa <i>et al</i>	2002	Pemisahan ion logam pada air limbah dengan elektrodialisis. Luas penampang membran reaktor dan luasan elektroda (<i>stainless steel</i> dan platina) yang digunakan adalah sebesar 14,5 cm^2 . Pada

No	Nama	Tahun	Kajian
			tegangan 5 V menghasilkan removal ion Fe 16%, ion Cu 49,8%, ion Ni 40,5%, dan ion Al 67,7%.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Metode penelitian merupakan kerangka berpikir yang dijadikan dasar sebagai acuan dalam melakukan suatu penelitian. Dalam tahap ini akan disusun langkah-langkah dalam melaksanakan suatu penelitian secara detail sehingga mampu menjawab tujuan dari suatu penelitian dan penelitian dapat berjalan secara efektif dan terarah sehingga dapat mengurangi kesalahan yang timbul dalam melakukan penelitian.

Penelitian ini dilakukan untuk mengolah air payau menjadi air tawar dengan menggunakan metode elektrodialisis dengan sistem *batch* reaktor. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan 2 jenis variabel yaitu variasi tegangan (6, 9, dan 12 V) dan ukuran elektroda berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran (1:0,5; 1:1; 1:2). Parameter ukur yang digunakan adalah TDS, salinitas, dan pH. Hasil penelitian ini akan didapatkan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum berdasarkan efisiensi penggunaan energi terhadap removal ion.

3.2 Kerangka Penelitian

Metode penelitian disusun dalam bentuk kerangka penelitian. Kerangka penelitian memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Sebagai gambaran awal tahapan penelitian sehingga memudahkan dalam melakukan penelitian dan penulisan laporan.
2. Sebagai pedoman awal dalam pelaksanaan penelitian, sehingga dapat meminimisasi kesalahan yang terjadi pada penelitian.
3. Untuk mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian sehingga tujuan penelitian tercapai dan memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang dilakukan.

Kerangka penelitian merupakan gambaran keseluruhan tahapan penelitian secara umum yang sistematis dan terencana. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Latar Belakang	
<ul style="list-style-type: none"> • Sadrzadeh dan Mohammadi (2007) dengan luasan elektroda 0,176 cm² dan membran 39 cm² dapat menurunkan konsentrasi Na⁺ hingga 100% (9 V), 75% (7 V), dan menurunkan hingga 55% (5 V) • Mirfada (2014) dengan luasan penampang membran 100 cm² dan luasan elektroda 25 cm² menghasilkan removal TDS 92%, salinitas 79%, konsentrasi Cl⁻ 71%, dan pH akhir 8,0. • Costa <i>et al</i> (2002) menggunakan luas penampang membran reaktor dan luasan elektroda yang digunakan adalah sebesar 14,5 cm² menghasilkan removal ion Fe 16%, ion Cu 49,8%, ion Ni 40,5%, dan ion Al 67,7%. • Cifuentes (2009) menggunakan luas penampang membran 50 cm² dan luasan elektroda 23,04 cm² menghasilkan pemisahan ion Cu(II) sebesar 96,6% dan ion Fe(II) sebesar 99,5%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menurut Huang <i>et al</i> (2006), <i>DC supply</i> berfungsi untuk mempercepat perpindahan ion ke arah elektroda • Menurut Banasiak <i>et al</i> (2007) dan Fathurrahman dan Wahyono (2000), elektroda merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja ED

LATAR BELAKANG



Ide Penelitian

Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran pada proses desalinasi air payau dengan menggunakan elektrodialisis



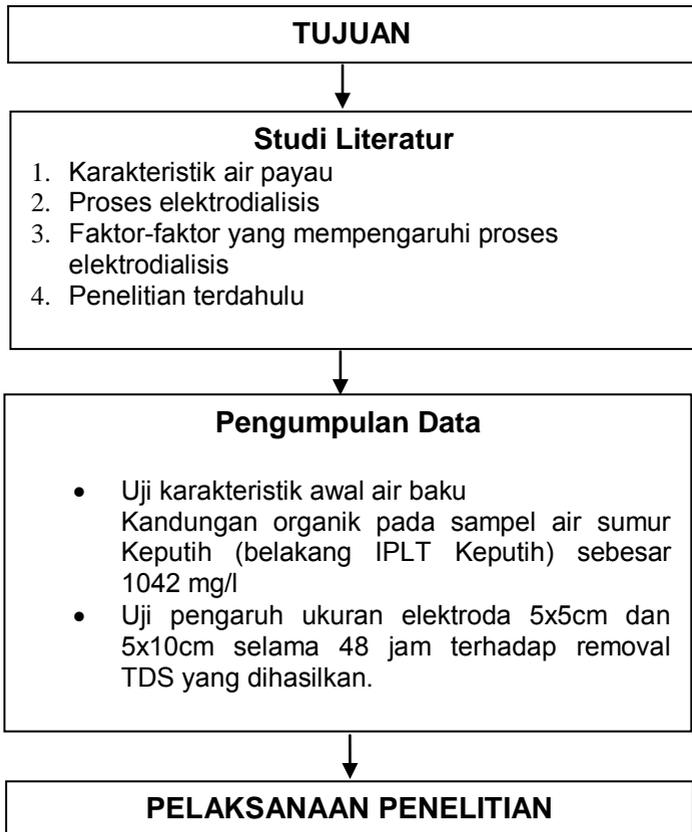
Rumusan Masalah

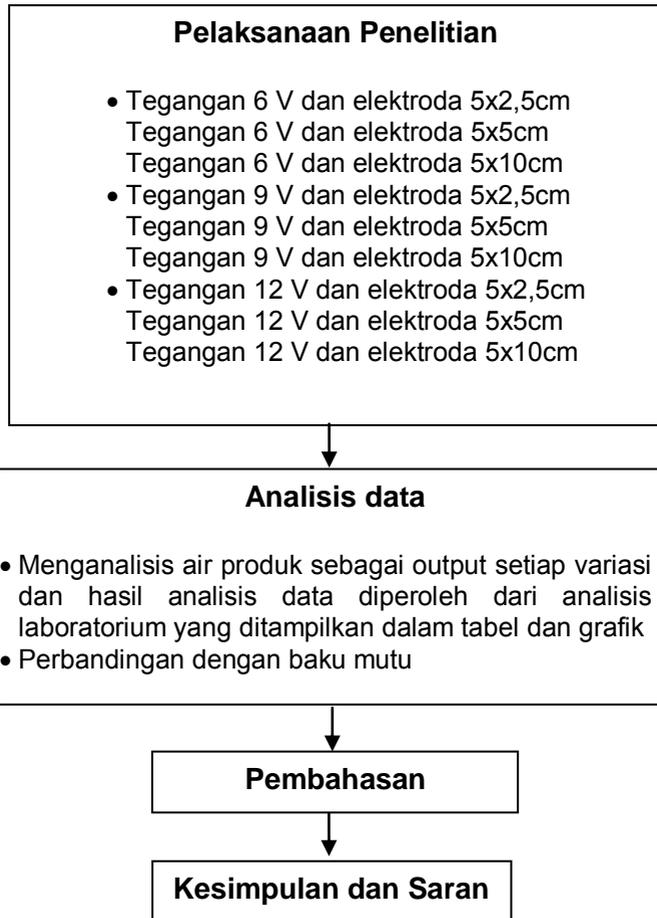
1. Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda terhadap proses desalinasi air payau menjadi air tawar dengan menggunakan elektrodialisis.
2. Tegangan dan ukuran elektroda optimum yang digunakan dalam proses desalinasi air payau menjadi air tawar dengan menggunakan elektrodialisis.



Tujuan

1. Menganalisis pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda terhadap proses desalinasi air payau menjadi air tawar dengan menggunakan teknologi elektrodialisis.
2. Menentukan tegangan dan ukuran elektroda optimum dalam proses desalinasi air payau menjadi air tawar dengan menggunakan elektrodialisis.





Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan Mirfada (2014), pengolahan air payau menggunakan elektrodialisis. Luasan penampang membran yang digunakan adalah 100 cm^2 . Jenis elektroda yang digunakan adalah tembaga sebagai katoda dan *stainless steel* sebagai anoda dengan luasan 25 cm^2 . Dengan tegangan 6 V, menghasilkan removal TDS 92%, salinitas 79%, konsentrasi Cl^- 71%, dan pH akhir 8,0. Salah satu penelitian lanjutan yang dapat dijadikan bahan untuk penelitian adalah variasi ukuran elektroda. Elektroda merupakan salah satu faktor penting dalam pengaplikasian elektrodialisis. Elektroda merupakan konduktor untuk mengalirkan arus listrik.

Costa *et al* (2002), melakukan pemisahan ion logam pada air limbah dengan menggunakan elektrodialisis. Luas penampang membran reaktor dan luasan elektroda yang digunakan adalah sebesar $14,5 \text{ cm}^2$. Pada tegangan 5 V menghasilkan removal ion Fe 16%, ion Cu 49,8%, ion Ni 40,5%, dan ion Al 67,7%. Cifuentes (2009), menggunakan metode elektrodialisis dalam pemisahan logam dan pemulihan air dari larutan $\text{CuSO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Fe}$. Reaktor elektrodialisis mempunyai luas penampang membran 50 cm^2 dan luasan elektroda $23,04 \text{ cm}^2$. Penggunaan tegangan sebesar 5,1 V selama 24 jam menghasilkan pemisahan ion Cu(II) sebesar 96,6% dan ion Fe(II) sebesar 99,5%. Sadrzadeh dan Mohammadi (2007) mengolah air payau menggunakan elektrodialisis dengan luasan elektroda $4,2 \times 4,2 \text{ mm}^2$ dan luasan membran 3900 mm^2 . Pada penggunaan tegangan 9 V removal ion Na^+ mencapai hingga 100%.

Beberapa hasil penelitian tersebut kemudian dibuat rasio antara luasan elektroda dan luasan penampang membran. Penelitian ini akan menggunakan perbandingan ukuran elektroda sebesar 1:0,5; 1:1; dan 1:2 yaitu $5 \times 2,5 \text{ cm}$, $5 \times 5 \text{ cm}$, dan $5 \times 10 \text{ cm}$. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum dalam proses desalinasi air payau dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan energi. Maka penelitian yang akan dilakukan mengenai pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda

berdasarkan perbandingan luasan elektroda dan luasan penampang membran terhadap proses desalinasi air payau dengan elektrodialisis.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur dapat sebagai bahan untuk meningkatkan pemahaman terhadap ide yang akan diteliti. Selain itu juga sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian sehingga studi literatur akan mendapatkan *feedback* dari hasil analisis dan pembahasan. Sumber literatur berasal dari jurnal internasional, jurnal nasional, *text book*, dan tugas akhir yang berkaitan dengan penelitian.

3.2.3 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan berupa data primer. Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan di laboratorium. Data primer berupa analisis karakteristik awal air baku sebagai penelitian pendahuluan. Air sampel awal dalam penelitian ini adalah menggunakan air payau yang diambil dari air sumur yang berlokasi di Balai RW 07 (belakang IPLT Keputih) Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Data analisis air sampel dilakukan di laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan ITS yaitu dengan hasil kadar TDS 16.100 mg/l, salinitas 19,5 permil, dan pH 9,22 serta kandungan organik sebesar 1042 mg/l. Keberadaan zat pencemar lain yang terkandung dalam air sumur dapat menghambat proses perpindahan ion dan parameter air yang berubah-ubah tergantung cuaca, maka sampel yang digunakan adalah sampel buatan (NaCl murni). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, reaktor elektrodialisis dengan ukuran 24 cm x 9 cm x 2 cm untuk dimensi luar dan dimensi dalam 20 cm x 5 cm x 2 cm hanya mampu mengolah air payau dengan kadar TDS maksimal 2000 mg/l, sehingga sampel buatan dibuat dengan kadar 2000±100 mg/l TDS.

Dilakukan *trial* dan *error* terhadap variasi ukuran elektroda dan besar removal yang dihasilkan. Tujuannya adalah untuk mengetahui besar selisih removal dan penentuan ukuran elektroda yang akan digunakan. Selama 48 jam dengan kadar TDS sampel sebesar 1970 mg/l, ukuran

elektroda 5x5 cm meremoval TDS hingga 1670 mg/l sedangkan hasil removal untuk elektroda 5x10 cm adalah 1790 mg/l TDS. Berdasarkan hukum Ohm, hambatan berbanding terbalik dengan arus listrik. Luasan penampang elektroda merupakan salah satu hambatan listrik. Sehingga semakin besar hambatan maka semakin kecil arus listrik yang mengalir. Penelitian tugas akhir ini menggunakan variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm, 5x5 cm dan 5x10 cm dengan variasi tegangan (6, 9, dan 12 V).

3.2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Teknik Lingkungan ITS. Pelaksanaan penelitian meliputi tahap persiapan penelitian dan tahap penelitian.

3.2.5 Tahap Persiapan Penelitian

Alat:

a. Reaktor

Dimensi luar reaktor yang terbuat dari akrilik adalah 24 cm x 9 cm x 2 cm, sedangkan dimensi dalam yaitu 20 cm x 5 cm x 2 cm. Reaktor didesain dengan sistem *batch* dalam skala laboratorium. Reaktor yang digunakan sebanyak 7 kompartemen yang terdiri atas 2 kompartemen elektroda (anoda dan katoda), 2 kompartemen *feed tank*, 2 kompartemen larutan aquades asam dan basa, 1 kompartemen NaCl serta 2 plat di pengapit reaktor yang berfungsi untuk mengantisipasi kebocoran (Gambar 3.3).

b. Membran

Membran yang digunakan pada penelitian ini adalah *anion exchange membran* dan *cation exchange membran*. Spesifikasi *anion exchange membrane* (AEM) yaitu tipe CMI-7000S yang berfungsi untuk melewatkan asam kuat (berwarna kuning). Sedangkan *cation exchange membrane* (CEM) yaitu tipe CMI-7000S yang melewatkan basa kuat (berwarna coklat). Luas efektif tiap membran adalah 100 cm².

c. Pompa

Pompa berfungsi untuk memompa air baku ke dalam reaktor. Pompa yang digunakan adalah pompa submersible yang memiliki spesifikasi pompa 200 L/jam. Selain itu juga memerlukan pompa resirkulasi dengan spesifikasi 200-300 L/jam.

- d. Multimeter
Multimeter berfungsi untuk mengukur tegangan total yang dialirkan.
- e. Selang
Selang yang digunakan terbuat dari silikon yang tahan terhadap asam kuat dan basa kuat.
- f. Adaptor
Adaptor yang digunakan adalah adaptor DC dengan kapasitas 2A. Adaptor berfungsi sebagai sumber aliran listrik pada proses ED.
- g. Elektroda
Elektroda terdiri dari anoda dan katoda. Bahan yang digunakan masing-masing adalah *stainless steel* dan tembaga dengan ukuran 5x2,5 cm, 5x5 cm, dan 5x10 cm.
- h. Bak
Bak sebagai tempat penyimpanan air umpan dan sebagai bak resirkulasi.

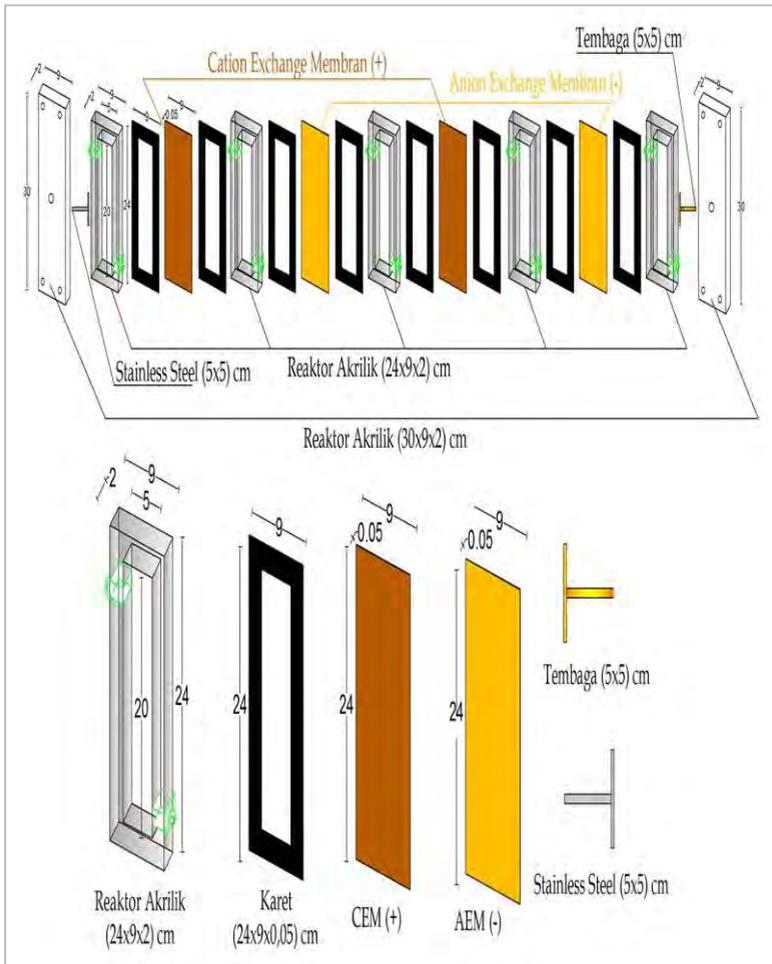
Bahan:

- a. Sampel buatan (NaCl murni) dengan kadar TDS 2000 ± 100 mg/l.
- b. Aquades berfungsi sebagai *flushing*.
- c. Buffer fosfat pH 7 untuk menjaga pH pada kompartemen elektroda agar elektroda tidak mudah teroksidasi.

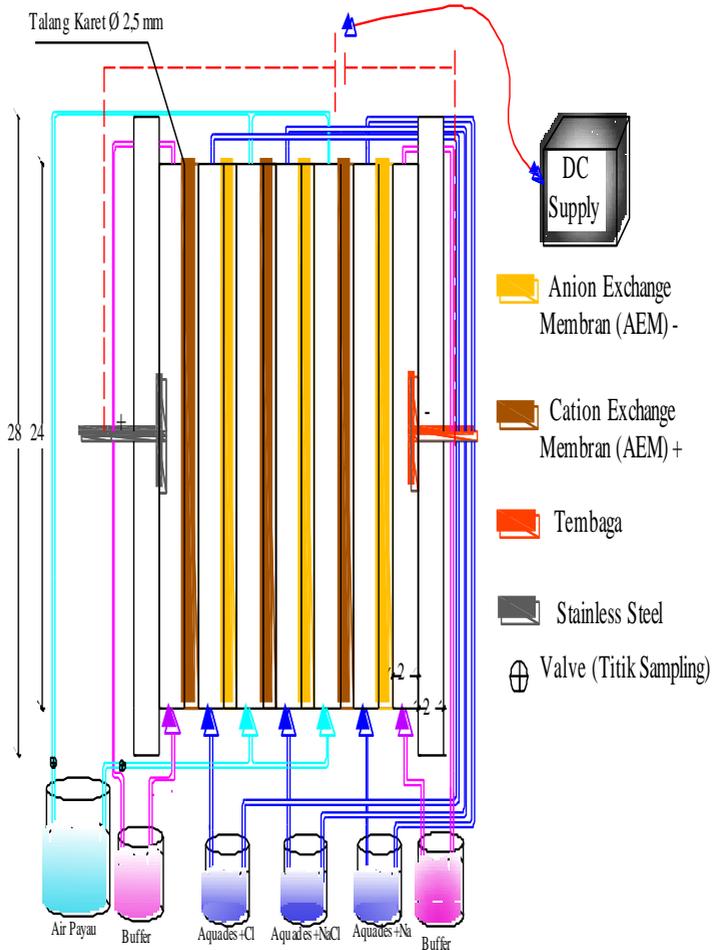
3.2.6 Perakitan Alat

Reaktor elektrodialisis yang terbuat dari bahan akrilik, terdiri atas kompartemen dengan dimensi luar 24x9 cm, talang karet, membran anion dan kation serta jaring kasa. Pemasangan membran diletakkan secara selang-seling diantara kompartemen elektrodialisis. Untuk merekatkan antar kompartemen diletakkan talang karet. Kemudian elektroda di

masukkan pada bagian pengapit reaktor. Cara perakitan reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Cara Perakitan Reaktor Elektrodialisis
Sumber : Astuti, 2013



Gambar 3. 3 Reaktor Elektrodialisis dengan 7 Kompartemen
 Sumber : Astuti, 2013

Persiapan yang dilakukan sebelum penelitian:

1. Melakukan *pre-conditioning* terhadap membran dengan cara merendamnya terlebih dahulu dengan konsentrasi NaCl 5% pada temperatur 40°C selama 24 jam menggunakan *water bath*. Hal ini dilakukan supaya membran mengalami ekspansi sehingga larutan elektrolit dapat melewati membran.
2. Menyiapkan serangkaian reaktor sebagaimana ditunjuk di Gambar 3.2.
3. Melakukan uji kebocoran terhadap reaktor yang dipakai.

3.2.7 Pengambilan Sampel

1. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 9 sampel yang didapat dari perhitungan berikut:

Tabel 3. 1 Perbandingan Variabel

Tegangan	Ukuran elektroda		
	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm
6 V	A1	A2	A3
9 V	B1	B2	B3
12 V	C1	C2	C3

Pengambilan sampel dilakukan tiap 12 jam hingga 3 hari yaitu pada $t_0 = 0$, $t_1 = 12$, $t_2 = 24$, $t_3 = 36$, $t_4 = 48$ jam, $t_5 = 60$ jam, dan $t_6 = 72$ jam. Setiap sampling akan dianalisis sebanyak 3 parameter. Jadi total sampel yang dibutuhkan 27 sampel masing-masing sebanyak 20 mL.

2. Melakukan uji parameter yang terdiri atas TDS, salinitas, dan pH. Hasil uji akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010.

3.2.8 Tahap Penelitian Inti

Adapun tahap penelitian inti sebagai berikut:

1. Mengisi *feed tank* dengan sampel sebanyak 10 L, larutan buffer fosfat (KH_2PO_4) 2 L dan aquades 2 L ke masing-masing bak.

2. Mengisi reaktor sampai penuh dengan sampel, aquades dan larutan buffer KH_2PO_4 hingga penuh.
3. Menyalakan adaptor untuk memberikan tegangan dengan variasi tegangan yaitu 6, 9, dan 12 V yaitu dengan memutar tombol pengatur tegangan. Penjepit dipasang pada penghubung elektroda kemudian arus listrik mengalir melalui katoda dan anoda dimana katoda kutub (-) dan anoda kutub (+).
4. Mengukur arus listrik menggunakan multimeter.
5. Mengambil sampel masing-masing 20 mL pada selang outlet tiap kompartemen.
6. Melakukan uji parameter yang terdiri atas TDS, salinitas, dan pH. Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Metode Untuk Parameter Ukur

No.	Parameter	Metode	Instrumen utama
1	pH	Potensiometri	pH meter Eutech tipe 510
2	TDS	Gravimetri	pH ion Lab
3	Salinitas	Salinometri	Salinometer pHionLab tipe EC10

Sumber: SK SNI Departemen Pekerjaan Umum tentang Kualitas Air tahun 1990

3.3 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan akan dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil analisis parameter. Parameter yang diukur antara lain kualitas air produksi yaitu konsentrasi TDS, salinitas, dan pH. Hasil uji kualitas air akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010. Output data hasil penelitian yaitu penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum dalam meremoval ion dengan memperhatikan baku mutu dan mempertimbangkan penggunaan energi.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini penulis akan menyimpulkan hasil analisis data dan pembahasan dari rangkaian penelitian yang dilakukan. Kesimpulan dituliskan sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Saran diberikan untuk menyempurnakan hasil analisis yang dilakukan sehingga penelitian dapat bersifat berkelanjutan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian merupakan kegiatan yang sistematis, terencana, dan berdasarkan konsep ilmiah. Oleh karena itu sebelum penelitian dilakukan, dibutuhkan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan berfungsi untuk menghimpun data relevan yang dibutuhkan pada pelaksanaan penelitian. Penelitian pendahuluan dapat menjadi acuan dan mengetahui kendala yang kemungkinan terjadi pada saat pelaksanaan penelitian. Penelitian pendahuluan pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan sampel dan ukuran elektroda yang digunakan.

4.1.1 Penentuan Sampel

Penelitian pendahuluan mengenai karakteristik awal air baku merupakan hal penting untuk mengetahui kandungan-kandungan yang terdapat pada sampel. Sampel awal yang digunakan adalah sampel air sumur Keputih di Balai RW 07 (belakang IPLT Keputih) Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Data analisis air sampel dilakukan di laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan ITS yaitu dengan hasil kadar TDS 16.100 mg/l, salinitas 19,5 permil, dan pH 9,2 serta kandungan organik sebesar 1042 mg/l. Keberadaan zat pencemar lain yang terkandung dalam air sumur dapat menghambat proses perpindahan ion dan parameter air yang berubah-ubah tergantung cuaca, maka sampel diganti dengan sampel buatan yaitu NaCl murni. Garam yang digunakan merupakan jenis garam proanalisis yaitu garam dengan kandungan NaCl >99% dan digunakan untuk keperluan laboratorium. Pembuatan larutan NaCl yaitu dengan mengencerkan NaCl 5% dengan aquades hingga mencapai kadar TDS 2000 ± 100 mg/l. Penggunaan kadar TDS sebesar 2000 mg/l karena pada penelitian terdahulu untuk ukuran reaktor dengan dimensi luar 24 cm x 9 cm x 2 cm mampu mengolah air payau dengan kadar TDS maksimal 2000 mg/l.

4.1.2 Penentuan Ukuran Elektroda

Jenis elektroda yang digunakan adalah *stainless steel* sebagai anoda dan tembaga sebagai katoda. Pada penelitian ini, salah satu variasi yang digunakan adalah mengenai ukuran elektroda. Elektroda sebagai konduktor yang teraliri arus listrik akan menarik ion-ion yang berbeda muatan. Berdasarkan hukum Ohm, jika tegangan yang diberikan adalah konstan, semakin besar hambatan maka akan semakin kecil arus listrik yang mengalir dalam sistem. Jenis elektroda dan luasan penampang elektroda merupakan salah satu hambatan listrik (Iffita, 2012). Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1 hasil penelitian pendahuluan terhadap ukuran elektroda 5x5 cm dan 5x10 cm dengan penggunaan tegangan sebesar 6V selama 48 jam dan kadar TDS sampel sebesar 1970 mg/l.

Tabel 4. 1 Hasil Removal Ukuran Elektroda 5x5 cm dan 5x10 cm

Ukuran elektroda	Hasil Removal
	TDS (mg/l)
5 x 5 cm	1670
5 x 10 cm	1790

Hasil penelitian pendahuluan tersebut membuktikan bahwa semakin besar ukuran elektroda maka semakin kecil removal ion yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan bunyi hukum Ohm mengenai hubungan antara hambatan dan arus listrik yaitu berbanding terbalik. Oleh karena itu pada penelitian ini perbandingan ukuran elektroda yang digunakan adalah 1:0,5; 1:1; dan 1:2 (5x2,5 cm, 5x5cm, dan 5x10cm).

4.2 Pengaruh Tegangan Terhadap Proses Desalinasi Air Payau

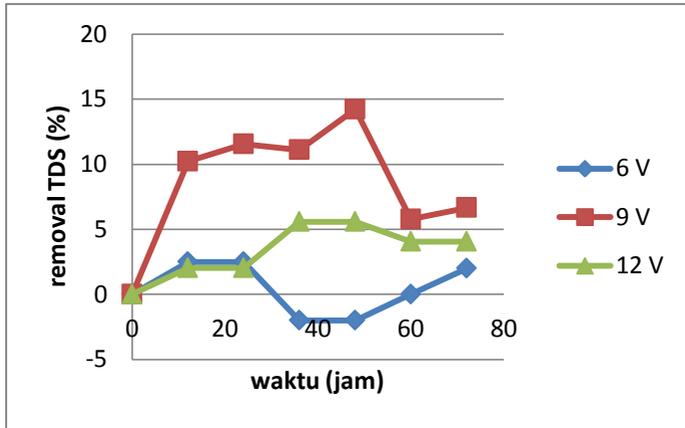
Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan dua variasi dalam pengolahan air payau dengan elektrodialisis

yaitu tegangan (6, 9, dan 12 V) dan ukuran elektroda (5x2,5 cm, 5x5 cm, dan 5x10 cm). Menurut Huang *et al* (2006), tegangan dan elektroda merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja elektrodialisis.

Elektrodialisis (ED) merupakan suatu proses pemisahan ion dari suatu larutan yang melewati membran anion dan kation karena adanya perbedaan tegangan. Tegangan listrik merupakan ukuran beda potensial yang mampu membangkitkan medan listrik sehingga menyebabkan timbulnya arus listrik dalam sebuah konduktor listrik. Sehingga tegangan berfungsi untuk mempercepat perpindahan ion menuju elektroda. Tegangan yang mengalir merupakan arus listrik bolak-balik (*AC supply*) yang diubah menjadi arus searah (*DC supply*) dengan menggunakan adaptor dengan kapasitas arus 2 A. ED adalah suatu proses elektrokimia yang memisahkan ion dengan melewatkannya melalui membran dan menggunakan tegangan yang mengalir searah (Valero *et al*, 2011). Proses elektrodialisis menggunakan arus searah supaya arus elektron berjalan dari kutub negatif ke kutub positif. Penggunaan tegangan listrik yang lebih tinggi menyebabkan hambatan pada air baku semakin berkurang dan kinerja ED semakin meningkat (Sadzadeh dan Mohammadi, 2008)

Pada penelitian ini parameter air yang akan dianalisis yaitu TDS, salinitas, dan pH. TDS terdiri atas zat padat, baik berupa ion, senyawa, koloid, zat organik, zat anorganik, dan garam yang terlarut dalam air. Dalam penelitian ini, kadar TDS sampel buatan yang diolah adalah 2000 ± 100 mg/l selama 72 jam. Penggunaan variasi tegangan dan ukuran elektroda terhadap proses desalinasi akan menunjukkan persen removal TDS yang berbeda-beda. Analisis parameter TDS dilakukan dengan mencelupkan alat pH-ion Lab ke dalam sampel dan kadar TDS akan terbaca.

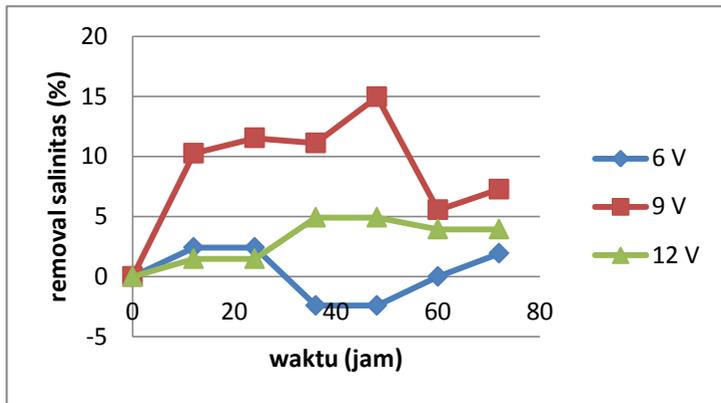
Hasil analisis parameter TDS terhadap penggunaan variasi tegangan (6V, 9V, dan 12V) dan variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm selama 72 jam dapat dilihat pada gambar grafik 4.1.



Gambar 4. 1 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Persen Removal TDS

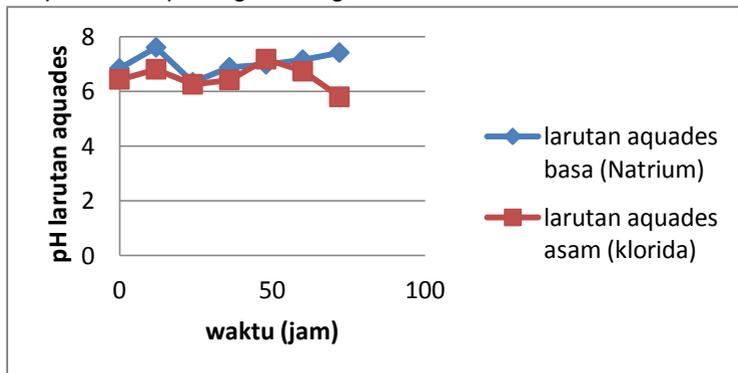
Pada gambar grafik tersebut, terjadi removal TDS yang berbeda-beda pada masing-masing penggunaan tegangan. Penggunaan tegangan 6V menghasilkan removal TDS akhir sebesar 2%, tegangan 9V sebesar 7%, dan tegangan 12V sebesar 4%. Terlihat bahwa dengan penggunaan tegangan sebesar 9V menghasilkan persen removal TDS lebih tinggi. Hasil analisis TDS dapat dilihat pada Lampiran A-1.3.

Untuk hasil removal salinitas dapat dilihat pada gambar grafik 4.2. Untuk hasil removal salinitas tidak jauh berbeda dengan hasil removal TDS, sebab TDS terdiri atas zat organik, zat anorganik, dan garam yang terlarut dalam air. Sehingga nilai TDS dan salinitas adalah sebanding. Penggunaan tegangan 9V memiliki nilai removal lebih tinggi dibandingkan 6V dan 12V itu 7%. Sedangkan hasil removal salinitas pada penggunaan tegangan 6V dan 12V, masing-masing sebesar 2% dan 4%. Hasil removal salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-2.3.

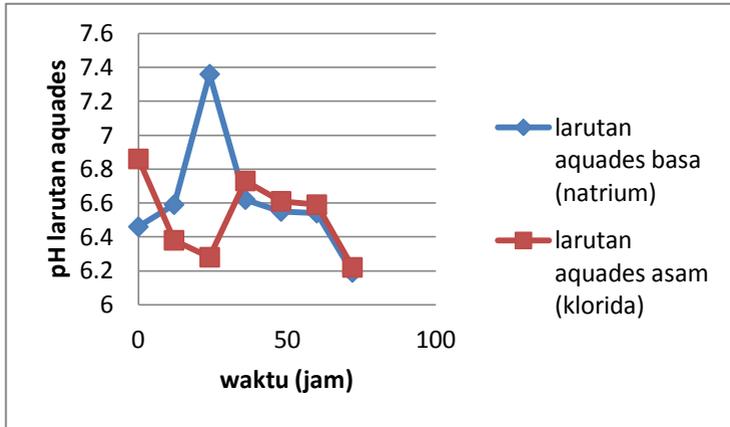


Gambar 4. 2 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Removal Salinitas

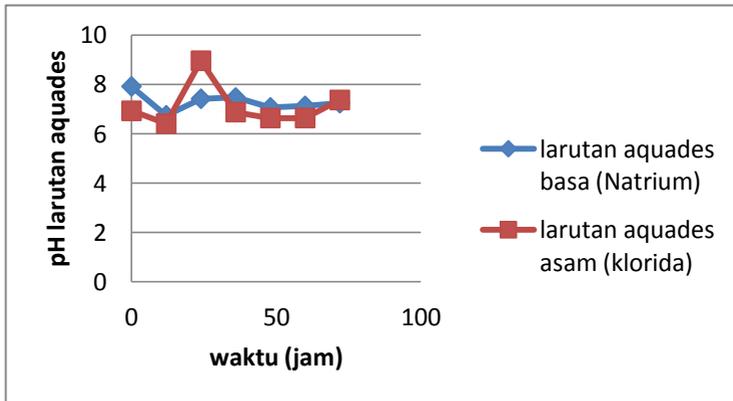
pH merupakan salah satu karakteristik fisik air yang menyatakan keasaman atau basa dari suatu larutan. Dalam ED, perubahan pH mengindikasikan bahwa terjadi proses dalam reaktor. Perubahan pH terutama terjadi pada kompartemen larutan aquades asam dan basa (produk samping) dan elektroda. Data hasil analisis pH aquades dapat dilihat pada Lampiran A-3.3. Hasil analisis pH pada kompartemen larutan aquades asam dan basa selama 72 jam dapat dilihat pada gambar grafik 4.3-4.5.



Gambar 4. 3 Pengaruh Tegangan 6 V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 4 Pengaruh Tegangan 9 V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 5 Pengaruh Tegangan 12 V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Berdasarkan hasil removal TDS dan salinitas pada penggunaan variasi tegangan terhadap elektroda berukuran 5x2,5 cm, grafik menunjukkan persen removal yang mengalami penurunan pada saat jam-jam tertentu. Hasil akhir removal TDS dan salinitas hingga 72 jam masih belum memenuhi baku mutu mengenai Persyaratan Kualitas Air

Minum Permenkes No.492/2010. Pada penggunaan variasi tegangan terhadap elektroda dengan ukuran 5x2,5cm, grafik persen removal cenderung mengalami penurunan, sehingga waktu pengolahan selama 72 jam menyebabkan kinerja ED, terutama selektivitas membran dan elektroda, tidak menghasilkan hasil pengolahan yang maksimal.

Persen removal kumulatif TDS dan salinitas menunjukkan removal tertinggi pada penggunaan tegangan 9V yaitu sebesar 7%. Semakin lama proses berlangsung, maka removal NaCl akan semakin meningkat (Elazhar, dkk., 2014). Karena selama proses berlangsung, arus listrik yang dihasilkan dari penggunaan tegangan menyebabkan ion-ion pada elektrolit akan bergerak menuju elektroda. Dari penggunaan tegangan tersebut akan terjadi akumulasi ion yang terdapat pada permukaan membran atau disebut sebagai *fouling*, sehingga kecepatan perpindahan ion menjadi lambat (Cassademont, 2008). Hal ini ditunjukkan dari grafik persen removal TDS dan salinitas pada penggunaan tegangan sebesar 9V dan 12V yaitu terjadi penurunan removal pada waktu analisis 48 jam. Hal ini dikarenakan *fouling* yang terjadi pada membran selama proses berlangsung yang menyebabkan penurunan persen removal. Selain itu, *stainless steel* merupakan elektroda aktif, dimana akan ikut bereaksi selama proses elektrolisis berlangsung. Oleh sebab itu, lama kelamaan elektroda ini akan mengalami penurunan aktivitasnya. Hal ini mengakibatkan kemampuan untuk mempercepat reaksi tertentu telah berkurang (Jumiati, dkk., 2013)

Pada penggunaan tegangan 6V persen removal TDS dan salinitas yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan tegangan 9V dan 12V. Tegangan berfungsi untuk mempercepat perpindahan ion menuju elektroda. Sehingga dengan penggunaan tegangan yang lebih rendah, maka hambatan listrik pada air baku akan berkurang secara lambat karena arus listrik yang dihasilkan untuk menarik ion-ion adalah kecil (Sadzadeh dan Mohammadi, 2008).

Dari hasil analisis TDS dan salinitas, penggunaan tegangan 9V menghasilkan persen removal paling baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Banasiak *et al* (2007) memilih tegangan optimum pada 12V dari variasi tegangan 9V, 12V, dan 18V mengolah air payau dengan konsentrasi NaCl 5 g/l. Konsentrasi NaCl menurun secara drastis pada 30 menit pertama, lalu selanjutnya konsentrasi NaCl menurun secara perlahan dan disertai dengan menurunnya arus listrik yang mengalir pada kedua elektroda. Hal ini dapat dijelaskan dengan konsentrasi polarisasi pada membran, yaitu terjadinya penumpukan ion pada permukaan membran. Penumpukan ion pada membran dengan tegangan 12V lebih cepat terjadi dibandingkan pada tegangan 6V dan 9V, sehingga banyaknya endapan zat inorganik yang terjadi pada awal proses maka akan menurunkan removal TDS (Banasiak *et al.*, 2010). Hal ini berpengaruh terhadap besarnya arus yang mengalir pada elektroda yaitu semakin kecil karena hambatan listrik semakin besar.

Analisis perubahan pH dilakukan terutama pada kompartemen larutan aquades asam dan basa serta elektroda. Pada kompartemen larutan aquades terjadi akumulasi ion yang didapatkan dari proses penyisihan ion dan ion dari proses oksidasi-reduksi. Arus listrik yang mengalir menyebabkan ion bergerak menuju elektroda dengan melewati AEM dan CEM. Ion dari proses penyisihan yang melewati membran akan *terflushing* dengan aquades dan ion akan terjebak dalam kompartemen larutan aquades karena selektivitas membran.

Pada kompartemen elektroda, terdapat larutan buffer fosfat 0,01M dengan pH 7 yang berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi pada elektroda secara cepat. Menurut Valero *et al* (2011), ketika arus listrik mengalir pada elektroda negatif (katoda) maka yang terjadi adalah ion positif (Na^+) menuju katoda, terjadi disosiasi air menjadi 2OH^- dan gas hidrogen (H_2), hidroksida akan meningkatkan pH air. Sedangkan pada elektroda positif (anoda), ion yang bergerak menuju anoda adalah ion negatif (Cl^-). Molekul air akan terpisah menjadi 2H^+ dan molekul O_2 serta dua elektron. Ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan dari proses oksidasi dan reduksi akan bergerak menuju elektroda yang berbeda muatan karena adanya arus listrik yang mengalir. Karena membran yang bersifat selektif

maka ion akan terjebak dalam kompartemen larutan aquades. Sehingga pada kompartemen larutan aquades terjadi reaksi kimia sebagai berikut:

- Kompartemen larutan aquades (dekat kompartemen anoda)



- Kompartemen larutan aquades (dekat kompartemen katoda)



Untuk hasil analisis perubahan pH pada kompartemen larutan aquades dapat dilihat pada Lampiran A-3.3. Semakin besar penggunaan tegangan maka akan semakin banyak ion yang berpindah dari larutan air baku ke larutan konsentrat dan dilut. Selain itu, proses oksidasi-reduksi lebih cepat terjadi.

Pada kompartemen elektroda, terjadi perubahan pH semakin asam pada buffer anoda karena ion H^+ yang dihasilkan dari proses oksidasi dan semakin basa pada kompartemen buffer katoda karena ion OH^- dari proses reduksi. Pada penggunaan tegangan 6V perubahan pH pada buffer anoda hingga 72 jam adalah 6.6-7.3, sedangkan pada buffer katoda semakin basa yaitu dengan perubahan pH hingga 72 jam sebesar .9-8.9. Sedangkan untuk penggunaan tegangan 9V, perubahan pH pada buffer anoda sebesar 6.7-6.95 dan buffer katoda sebesar 6.86-7.05 hingga 72 jam. Kemudian untuk penggunaan tegangan sebesar 12V, hingga 72 jam menghasilkan perubahan pH sebesar 6.28-7.7 pada buffer anoda dan untuk perubahan pH pada buffer katoda adalah 6.4-8.9.

Selama proses berlangsung, pada elektroda muncul gelembung-gelembung gas yang menunjukkan bahwa terjadinya proses oksidasi-reduksi pada kompartemen anoda dan elektroda. Gelembung gas pada kompartemen anoda merupakan gas oksigen sedangkan pada kompartemen katoda merupakan gas hidrogen sebagai produk dari proses oksidasi dan reduksi. Dengan penggunaan tegangan yang semakin besar menyebabkan aktivasi elektron yang dilepas anoda semakin cepat sehingga menyebabkan deposit logam (Subangga dkk). Hal ini dapat dilihat pada wujud penampang anoda pada Lampiran D, pada penggunaan tegangan 12V

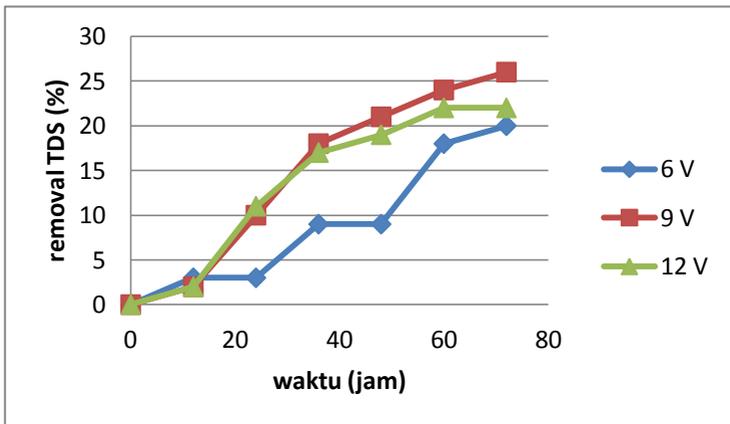
bagian pinggir logam *stainless steel* sebagai anoda mengalami deposit atau penggerusan akibat aktivasi elektron yang terjadi pada anoda. Selain itu juga, buffer anoda berubah warna menjadi kuning yang menandakan bahwa ion Fe yang terkandung pada *stainless steel* ikut luruh dan larut dalam larutan buffer. Pada permukaan anoda terdapat endapan berwarna biru yang merupakan hasil dari reaksi peluruhan ion Fe pada anoda dengan oksigen dan air, reaksi dapat dilihat pada persamaan 4.3.



Setelah proses peluruhan ion Fe^{2+} , secara merata akan teroksidasi menjadi Fe^{3+} dan nantinya akan bergabung dengan ion OH^- membentuk FeOOH (produk karat).

Dan untuk pH air baku hingga 72 jam adalah sebesar 6.84 pada penggunaan tegangan 6V, pH 6.73 pada penggunaan tegangan 9V, dan pada penggunaan tegangan 12V menghasilkan pH akhir 6.92.

Untuk hasil analisis removal TDS untuk penggunaan variasi tegangan terhadap ukuran elektroda 5x5 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.6 berikut ini.

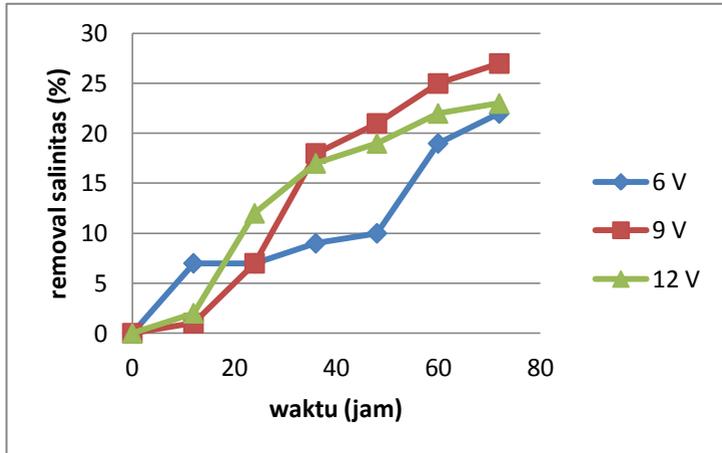


Gambar 4. 6 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Removal TDS

Pada gambar grafik diatas, menunjukkan terjadinya peningkatan removal kadar TDS secara linear pada sampel. Tegangan listrik sebagai suatu gaya tarik untuk menarik anion

dan kation menuju elektroda (Strathmann, 2010). Pada variasi tegangan 6V, 9V, dan 12V masing-masing menghasilkan removal TDS sebesar 20%, 26%, dan 22%. Hasil analisis kadar TDS sampel dapat dilihat pada Lampiran A-1.1.

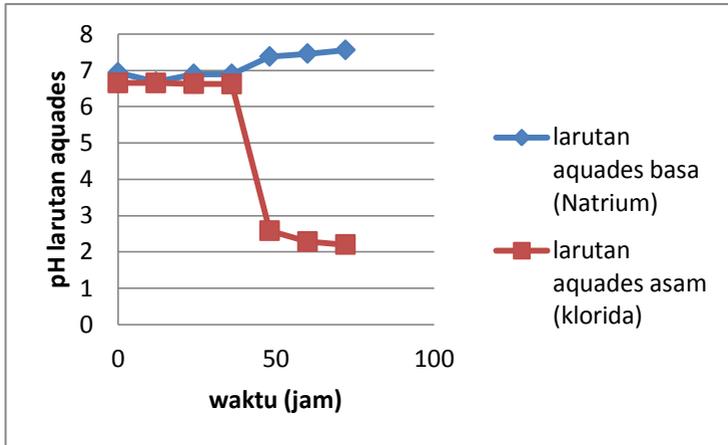
Untuk hasil removal salinitas dapat dilihat pada gambar grafik 4.7.



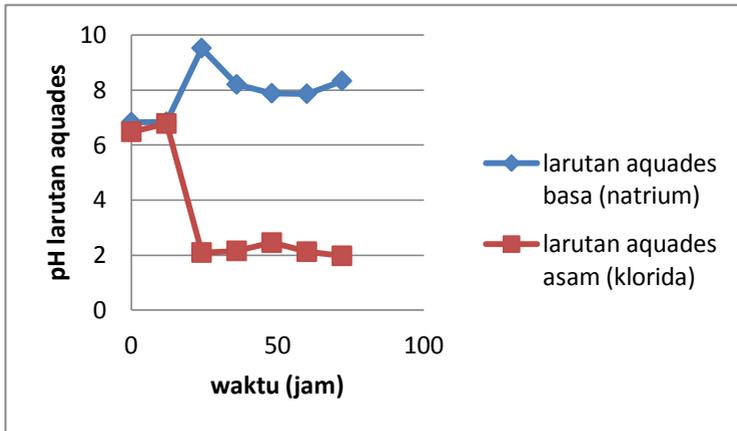
Gambar 4. 7 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Removal Salinitas

Analisis salinitas dilakukan menggunakan pH-ion Lab. Pada gambar grafik 4.7 menunjukkan bahwa peningkatan removal salinitas bersifat linear. Removal salinitas terbesar terjadi pada penggunaan tegangan 9V yaitu sebesar 27%, sama halnya dengan hasil removal TDS. Sedangkan pada tegangan 6V dan 12V menghasilkan removal salinitas sebesar 22% dan 23%. Data hasil analisis salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-2.1. Penurunan removal TDS dan salinitas adalah sebanding. Sebab TDS terdiri atas zat organik, zat anorganik, dan garam yang terlarut dalam air.

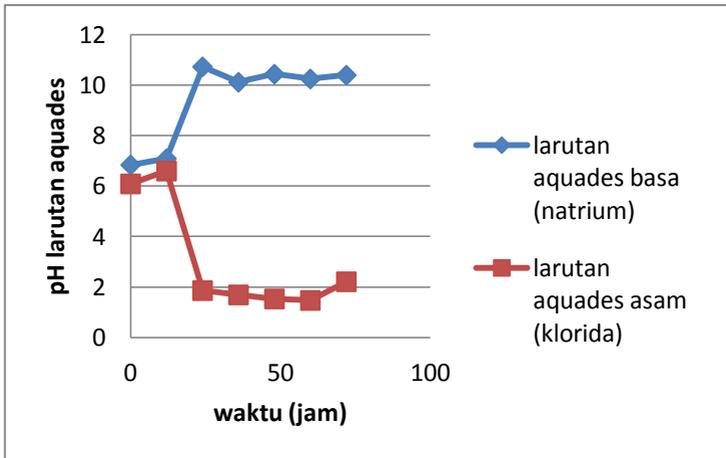
Untuk hasil analisis pH pada kompartemen aquades (produk samping) dapat dilihat pada gambar grafik 4.8-4.10.



Gambar 4. 8 Pengaruh Variasi 6 V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 9 Pengaruh Variasi 9 V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 10 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Pada penelitian ini penggunaan variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x5 cm menunjukkan bahwa peningkatan removal TDS dan salinitas pada tegangan 9 V lebih tinggi dibandingkan pada tegangan 12 V yaitu masing-masing sebesar 26%, 27%, dan 50%.

Hal ini telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada penelitian yang telah dilakukan oleh Banasiak *et al* (2007), memilih penggunaan tegangan sebesar 12V sebagai tegangan optimum pada variasi tegangan 9V, 12V, dan 18V karena pada penggunaan tegangan yang semakin besar maka penurunan removal NaCl semakin kecil. Hal ini terjadi karena terjadinya penumpukan ion pada permukaan membran dan menyebabkan menurunnya arus listrik yang mengalir pada elektroda. Penumpukan ion pada membran dengan tegangan 12V lebih cepat terjadi dibandingkan 6V dan 9V, sehingga banyaknya endapan zat inorganik yang terjadi pada awal proses maka akan menurunkan removal TDS (Banasiak *et al.*, 2010). Hal ini berpengaruh terhadap besarnya arus yang mengalir pada elektroda yaitu semakin kecil karena hambatan listrik yang terjadi semakin besar.

Hasil removal TDS dan salinitas yang dihasilkan hingga 72 jam belum memenuhi baku mutu persyaratan kualitas air

minum Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010 yaitu 500 mg/l. Berdasarkan gambar grafik tersebut, terlihat bahwa peningkatan removal TDS dan salinitas bersifat linear. Sehingga untuk mencapai baku mutu dibutuhkan waktu lebih dari 3 hari. Namun dengan kapasitas pengolahan 10 L dan ukuran kompartemen reaktor 20 cm x 5 cm x 2 cm, waktu pengolahan lebih dari 3 hari menjadi tidak efektif.

Terjadinya proses pengolahan dalam reaktor ED dapat dilihat pada perubahan pH di kompartemen larutan aquades asam dan basa serta kompartemen elektroda. Perubahan pH pada elektroda menjadi asam dan basa menunjukkan bahwa terjadinya proses oksidasi dan reduksi pada elektroda. Pada kompartemen elektroda berisi larutan buffer fosfat 0,01 M dengan pH 7. Larutan buffer fosfat bertujuan untuk mempertahankan pH elektroda yang digunakan supaya tidak cepat terjadi korosi. Menurut Valero *et al* (2011), ketika arus listrik mengalir pada elektroda negatif (katoda) maka yang terjadi adalah ion positif (Na^+) menuju katoda, terjadi disosiasi air menjadi 2OH^- dan gas hidrogen (H_2), hidroksida akan meningkatkan pH air. Sedangkan pada elektroda positif (anoda), ion yang bergerak menuju anoda adalah ion negatif (Cl^-). Molekul air akan terpisah menjadi 2H^+ dan molekul O_2 serta dua elektron.

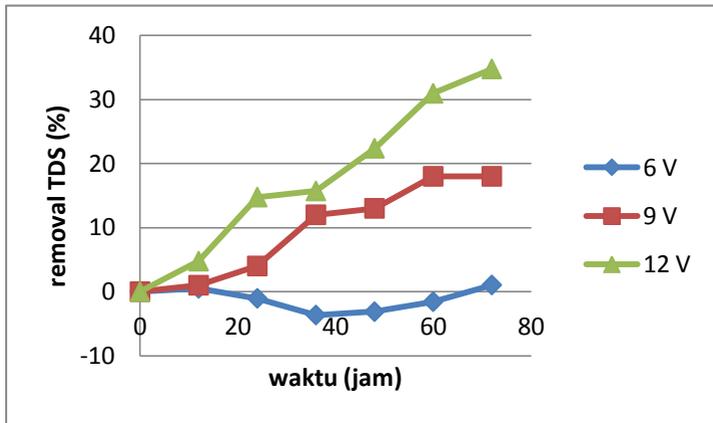
Pada tegangan 6V, terjadi perubahan pH pada katoda dan anoda saat 36-48 jam. pH kompartemen anoda semakin asam yaitu dengan pH 2-6, sedangkan pH pada kompartemen katoda semakin basa yaitu 9-10. Pada penggunaan tegangan 9V, perubahan pH pada kompartemen elektroda semakin cepat yaitu saat 12-24 jam dengan pH 2-6 dan pH pada kompartemen katoda adalah 9-11. Dan untuk tegangan 12V, perubahan pH lebih lambat dibanding tegangan 9V. pH kompartemen anoda menjadi pH 2 dan kompartemen katoda pH 9 pada saat 48 jam pengolahan. Pada katoda terdapat gelembung gas yang merupakan gas hidrogen sebagai produk proses reduksi, sedangkan pada anoda menghasilkan gelembung gas oksigen dari proses oksidasi.

Perubahan pH tidak hanya terjadi pada kompartemen elektroda, pada kompartemen yang berisi aquades sebagai produk samping juga terjadi perubahan pH. Aquades

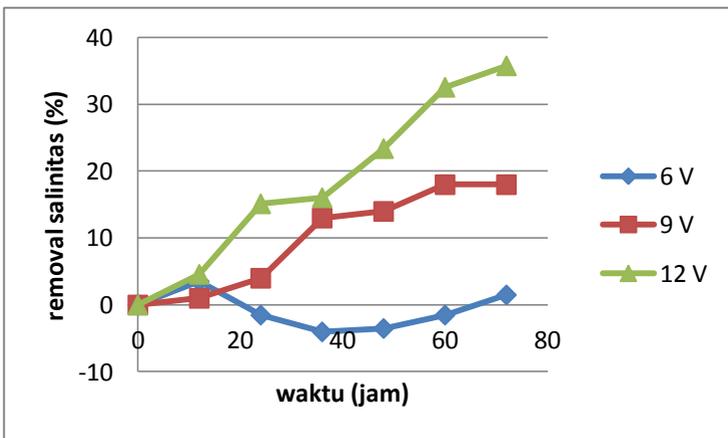
berfungsi untuk melarutkan ion positif dan negatif dari proses penyisihan ion. Perubahan pH tersebut diakibatkan karena terakumulasinya ion-ion positif dan negatif yang bergerak menuju elektroda dan melewati membran. Ion-ion tersebut tidak hanya hasil dari proses penyisihan ion (Na^+ dan Cl^-) saja, namun juga akumulasi dari ion H^+ dan OH^- dari proses oksidasi dan reduksi yang bergerak karena adanya arus listrik dan selektivitas membran menyebabkan ion-ion tersebut terjebak dalam kompartemen larutan aquades. Sehingga pada kompartemen larutan aquades dekat anoda bersifat asam karena terbentuk senyawa HCL dari penyisihan ion Cl^- dan H^+ dari proses oksidasi. Sedangkan pada kompartemen larutan aquades dekat katoda terbentuk senyawa NaOH dari penyisihan ion Na^+ dan OH^- dari proses reduksi, sehingga semakin lama proses berlangsung pH akan semakin basa. Berdasarkan grafik analisis pH, menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan tegangan maka akan semakin cepat terjadinya perubahan pH. pH yang dihasilkan adalah sekitar 1-10. Karena semakin besar arus yang mengalir melalui elektroda maka akan semakin banyak ion yang bergerak menuju elektroda dan terakumulasi dalam kompartemen larutan aquades (produk samping). Sedangkan untuk kompartemen air baku memiliki pH akhir sekitar 6,5-7,5. Range pH air baku pada penggunaan tegangan 6V, 9V dan 12V masih memenuhi baku mutu Permenkes Nomor 492 Tahun 2010 yaitu 6,5-8.

Untuk hasil analisis removal TDS pada ukuran elektroda 5x10 cm dapat dilihat pada gambar grafik 4.11. Pada gambar grafik 4.11 menunjukkan bahwa removal TDS akhir selama 72 jam pada penggunaan tegangan 6V sebesar 1%, tegangan 9V sebesar 18%, dan tegangan 12V sebesar 35%. Grafik tersebut menunjukkan bahwa peningkatan removal TDS tertinggi pada penggunaan tegangan 12V. Untuk hasil analisis parameter TDS dapat dilihat pada Lampiran A-1.2.

Sedangkan untuk hasil analisis removal salinitas dapat dilihat ada gambar grafik 4.12.



Gambar 4. 11 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Removal TDS

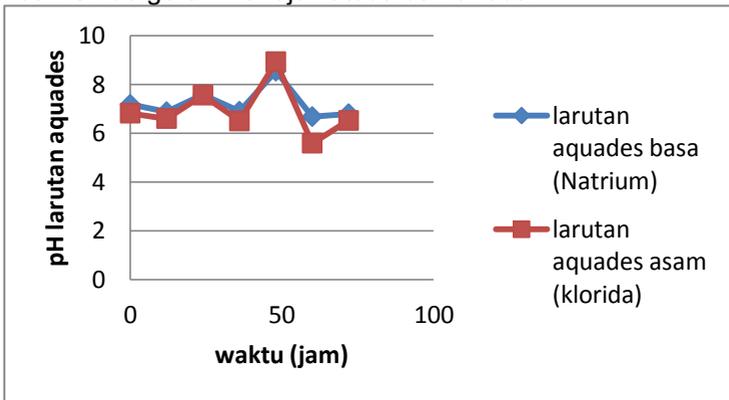


Gambar 4. 12 Pengaruh Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Removal Salinitas

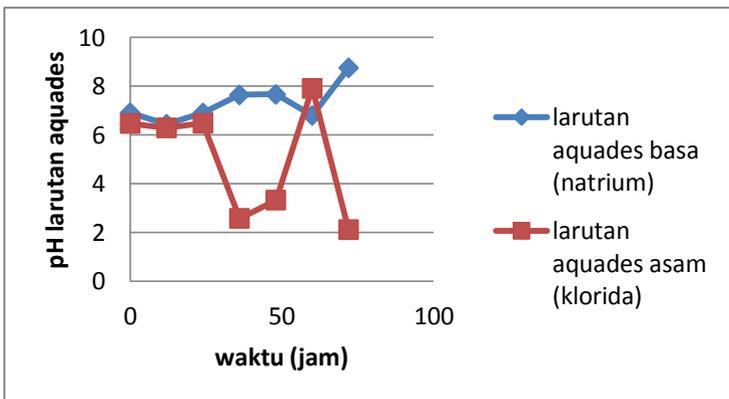
Hasil removal parameter salinitas tidak jauh berbeda dengan hasil removal TDS. Karena salinitas merupakan salah satu zat yang terdapat dalam TDS. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan penggunaan tegangan sebesar 12V menghasilkan removal salinitas tertinggi yaitu sebesar

36%. Sedangkan untuk hasil removal pada tegangan 6V dan 9V masing-masing adalah sebesar 2% dan 18%. Untuk hasil analisis parameter salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-2.2.

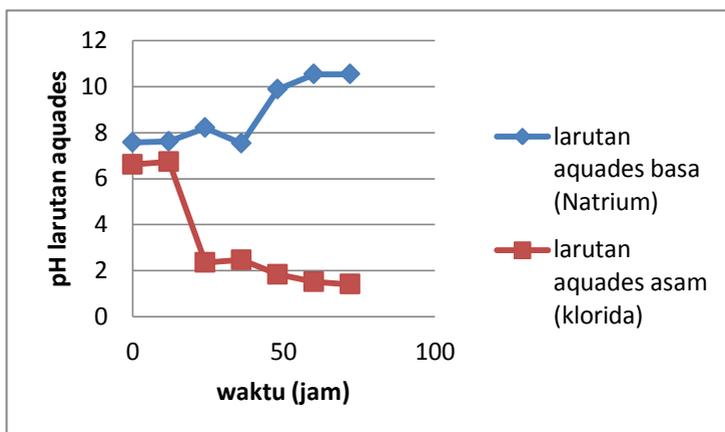
Analisis perubahan pH terutama dilakukan pada kompartemen aquades (produk samping) dan kompartemen elektroda. Analisis perubahan pH pada kompartemen aquades ditunjukkan pada gambar grafik 4.13-4.15. Pada gambar grafik menunjukkan perubahan pH yang mengindikasikan ion Na^+ dan Cl^- bergerak menuju katoda dan anoda.



Gambar 4. 13 Pengaruh Variasi Tegangan 6V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 14 Pengaruh Variasi Tegangan 9V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 15 Pengaruh Variasi Tegangan 12V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, menurut Elazhar dkk (2014), semakin lama proses berlangsung, maka removal NaCl akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan terjadinya pergerakan ion akibat adanya arus listrik yang mengalir melalui elektroda. Terlihat pada grafik persen removal TDS dan salinitas pada penggunaan variasi tegangan mengalami peningkatan removal secara linear. Pada hasil analisis menunjukkan bahwa pada penggunaan tegangan sebesar 12V memiliki nilai persen removal yang paling baik yaitu dengan removal TDS sebesar 35% dan salinitas 36%. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada penggunaan tegangan 9V menghasilkan persen removal yang lebih baik karena dengan penggunaan tegangan yang semakin besar akan menyebabkan terjadinya penarikan ion yang lebih cepat pada awal proses. Sehingga akan terjadi akumulasi ion yang terdapat pada permukaan membran atau disebut sebagai *fouling*, sehingga kecepatan perpindahan ion menjadi lambat (Cassademont, 2008).

Namun pada variasi ukuran elektroda 5x10cm terlihat bahwa kinerja ED paling baik pada penggunaan tegangan 12V. Perbedaan perlakuan pada membran berpengaruh terhadap hasil removal yang dihasilkan. Pada variasi ukuran elektroda 5x10cm menggunakan membran bekas dari *running*

sebelumnya, Hal ini dikarenakan keterbatasan ketersediaan membran. Sehingga membran bekas *running* sebelum digunakan dilakukan perendaman dengan larutan aquades selama lebih dari 24 jam. Menurut MSDS (*Material Safety Data Sheet*) NaCl, kelarutan NaCl terbaik terjadi di air. Sehingga NaCl yang terdapat pada permukaan membran akan larut dalam air. Membran setelah dilakukan perendaman, kemudian digunakan untuk *running* berikutnya. Hal ini yang mengakibatkan hasil removal tidak konsisten dengan variasi tegangan terhadap ukuran elektroda yang lain.

Analisis pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman dan basa dari suatu larutan. Pada ED, saat proses berlangsung terjadi perubahan pH terutama pada kompartemen elektroda dan kompartemen larutan aquades. Pada kompartemen elektroda, perubahan pH terjadi pada larutan buffer akibat proses oksidasi dan reduksi. Ketika beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung konduktor maka muatan akan bergerak berpindah menghasilkan arus listrik (Farid dkk., 2012). Akibat adanya arus listrik maka ion bergerak menuju elektroda yang berbeda muatan dan terjadi oksidasi-reduksi pada elektroda. Pada kompartemen anoda terjadi pelepasan elektron dan terjadi disosiasi air dimana OH^- akan bergerak menuju anoda dengan berikatan dengan OH^- yang lain membentuk ion H^+ dan gas oksigen. Sehingga pada kompartemen ini akan semakin asam akibat akumulasi ion H^+ . Sedangkan pada kompartemen katoda terjadi proses reduksi dimana air akan terdisosiasi menjadi ion OH^- dan gas H_2 . Pada kompartemen katoda akan bersifat basa. Perubahan pH yang terjadi menunjukkan bahwa proses ED sedang berlangsung. Pada penggunaan tegangan 6V perubahan pH yang terjadi tidak terlalu jauh dibandingkan 9V dan 12V. Perubahan pH pada kompartemen anoda dan katoda selama 72jam sebesar 6.3-7.7. Sedangkan pada penggunaan tegangan sebesar 9V menghasilkan perubahan pH pada kompartemen elektroda sebesar 2.5—10.81 dan perubahan pH sebesar 2.5-11 pada penggunaan tegangan 12V selama 72 jam proses berlangsung.

Selain itu analisis perubahan pH juga dilakukan pada kompartemen larutan aquades. Ion-ion yang bergerak menuju

elektroda dan melewati membran akan terakumulasi dalam kompartemen larutan aquades. Aquades berfungsi untuk memflushing ion-ion dari proses penyisihan. Pada kompartemen larutan aquades dekat anoda, larutan aquades akan memflushing ion H^+ dari proses oksidasi dan ion Cl^- dari proses penyisihan ion. Dengan sifat selektif membran, ion-ion tersebut terebak dalam kompartemen ini dan berikatan membentuk senyawa HCL yang mengakibatkan pH larutan akan semakin asam. Sedangkan untuk kompartemen larutan aquades dekat katoda, pH larutan akan semakin basa akibat terbentuknya senyawa NaOH dari ion OH^- dan Na^+ . Pada penggunaan tegangan 6V, perubahan pH pada kompartemen larutan aquades sebesar 6.6-5.5. sedangkan untuk tegangan 9V perubahan pH sebesar 6.2-2.1 dan tegangan 12V menghasilkan perubahan pH larutan aquades sebesar 9.88-1.4 selama 72 jam. Dari perubahan pH tersebut menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan tegangan maka akan semakin besar pula perubahan pH yang terjadi. Karena besarnya arus listrik yang mengalir berpengaruh terhadap jumlah ion yang bergerak berpindah menuju elektroda dan terakumulasi dalam kompartemen larutan aquades. Untuk pH akhir air baku pada penggunaan tegangan 6V adalah 6.55, pada tegangan 9V sebesar 7.2, dan pada tegangan 12V pH air baku sebesar 7.22.

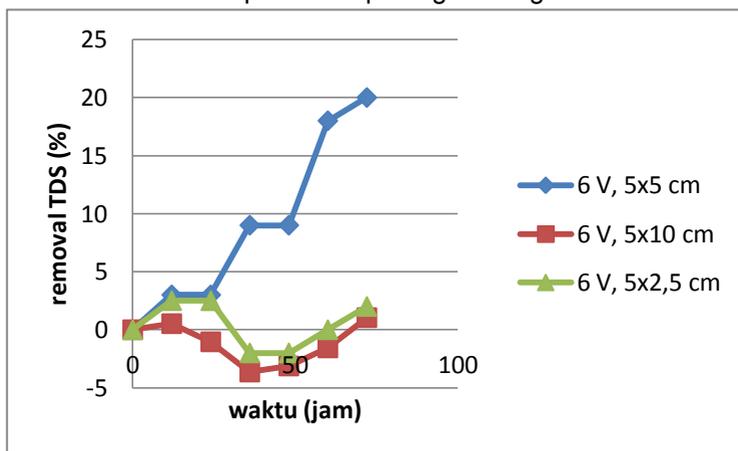
4.3 Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Proses Desalinasi Air Payau

Menurut Huang *et al* (2006), elektroda merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja elektrodialisis. Elektroda sebagai konduktor untuk mengalirkan arus listrik. *Ion exchange membrane* yang diletakkan diantara elektroda akan dilewati oleh ion yang menuju elektroda. Pergerakan ion menuju elektroda karena adanya beda potensial (Strathmann, 2010). Pada penelitian ini menggunakan dua variasi yaitu tegangan dan ukuran elektroda. Parameter air yang dianalisis adalah TDS, salinitas, dan pH.

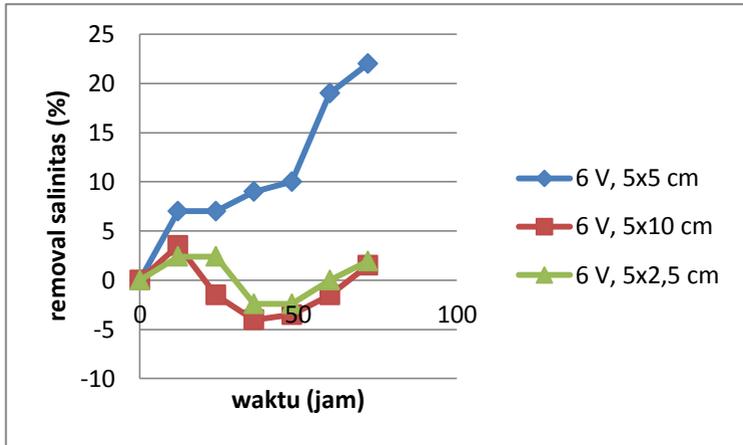
Desalinasi merupakan proses untuk meremoval TDS yang terkandung dalam air laut maupun air payau. ED merupakan salah satu metode desalinasi yang memanfaatkan

membran dan beda potensial sebagai gaya tarik ion (Sadrzadeh, 2008). TDS terdiri atas zat padat, baik berupa ion, senyawa, koloid, zat organik, zat anorganik, dan garam yang terlarut dalam air. Analisis TDS dilakukan dengan menggunakan alat pH-ion Lab. Hasil analisis untuk penggunaan tegangan sebesar 6V dan variasi ukuran elektroda terhadap removal TDS dalam air dapat dilihat pada gambar grafik 4.16. Pada grafik 4.16 menunjukkan bahwa untuk ukuran elektroda 5x2,5 cm hanya mampu meremoval TDS sebesar 2%, ukuran elektroda 5x5 cm meremoval TDS sebesar 20%, dan untuk ukuran elektroda 5x10 cm meremoval TDS 1%. Pada grafik tersebut terlihat bahwa removal TDS pada variasi ukuran elektroda 5x5 cm lebih tinggi yaitu sebesar 20%. Untuk hasil analisis parameter TDS pada penggunaan variasi ukuran elektroda dapat dilihat pada Lampiran A-4.1.

Salinitas merupakan kandungan garam terlarut dalam air yang dinyatakan dalam satuan per mil yaitu jumlah berat total NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air laut (Wibisono, 2004). Hasil analisis removal salinitas pada variasi ukuran elektroda dapat dilihat pada gambar grafik 4.17.



Gambar 4. 16 Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS Pada Penggunaan Tegangan 6V



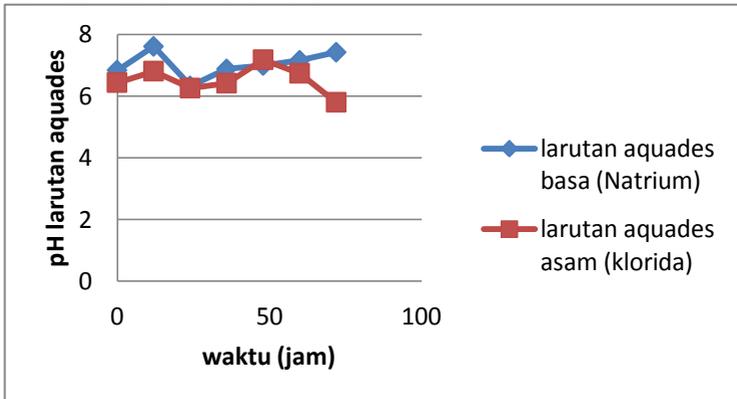
Gambar 4.17 Pengaruh Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas Pada Penggunaan Tegangan 6V

Grafik 4.17 menunjukkan bahwa untuk ukuran elektroda 5x5 cm mengalami peningkatan removal salinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm dan 5x10 cm yaitu sebesar 22%. Removal salinitas yang dihasilkan ukuran elektroda 5x2,5 cm dan 5x10 cm masing-masing adalah 2%. Kandungan dalam TDS salah satunya adalah garam-garam terlarut, sehingga pada hasil analisis ditunjukkan bahwa persentase removal TDS tinggi maka persentase removal salinitas juga tinggi. Untuk hasil analisis parameter salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-5.1.

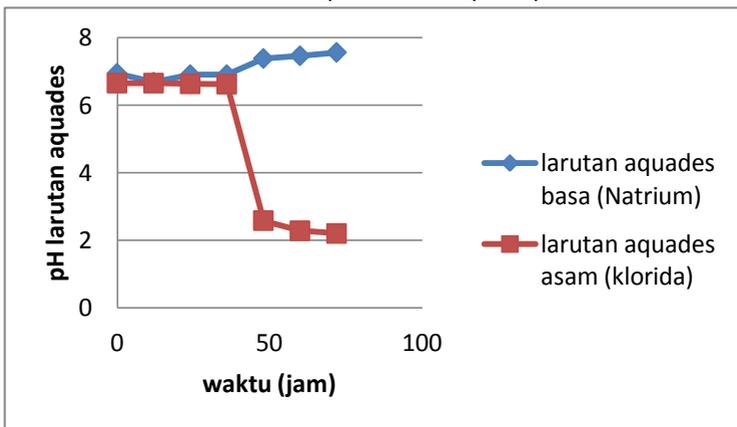
Perubahan pH terutama terjadi pada kompartemen elektroda dan larutan aquades (produk samping). Perubahan pH pada kompartemen produk samping ditunjukkan pada grafik 4.18-4.20.

Menurut Valero *et al* (2010), ED merupakan teknologi pengolahan air yang memiliki sifat selektif untuk meremoval TDS karena adanya tegangan listrik. ED mampu meremoval TDS air baku sebesar 50%-99%. Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter TDS dan salinitas menunjukkan bahwa semakin lama proses berlangsung persen removal mengalami peningkatan. Dengan adanya arus listrik yang mengalir melewati ujung-ujung elektroda menyebabkan ion-ion

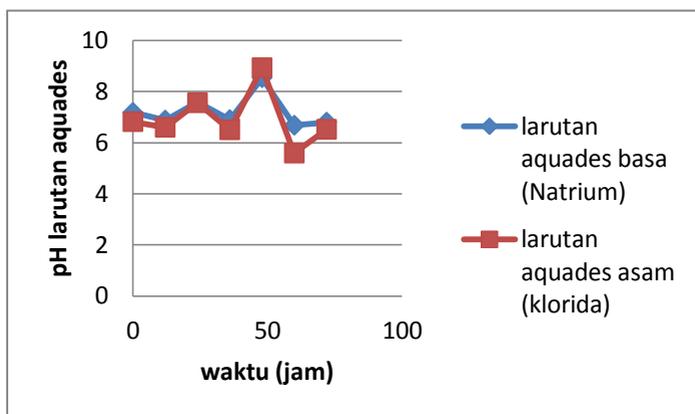
bergerak berpindah menuju elektroda. Pergerakan ion tersebut akan mengurangi hambatan pada air baku sehingga kinerja ED semakin membaik. Berdasarkan grafik persen removal TDS dan salinitas pada penggunaan variasi ukuran elektroda, pada ukuran elektroda 5x5cm memiliki kinerja yang lebih baik dalam meremoval.



Gambar 4. 18 Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 19 Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

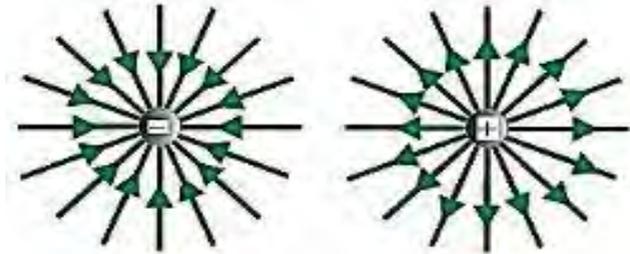


Gambar 4. 20 Pengaruh Variasi 6V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Hal ini berkaitan dengan perbedaan potensial pada elektroda dan luasan penampang elektroda. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pergerakan ion disebabkan karena adanya perbedaan potensial. Adanya perbedaan potensial mengakibatkan terjadinya pergerakan elektron, laju pergerakan elektron inilah yang akan menghasilkan arus listrik. Area dari pergerakan elektron tersebut disebut dengan medan listrik. Menurut Strathmann (2004), dalam ED polaritas medan listrik diterapkan sebagai gaya tarik untuk perpindahan ion dalam interval waktu tertentu. Sehingga akibat adanya perpindahan ion, beberapa kompartemen ED ada yang teraliri oleh larutan yang kaya ion (konsentrat) dan larutan miskin ion (diluut).

Medan listrik merupakan sesuatu yang ditimbulkan oleh muatan listrik dan mempengaruhi ruang di sekitar muatan listrik tersebut, di mana pengaruh medan listrik hanya dirasakan oleh muatan listrik lainnya. Ketika muatan listrik lain berada dalam medan listrik yang ditimbulkan oleh suatu muatan listrik maka muatan listrik lain merasakan pengaruh berupa gaya listrik. Untuk menunjukkan keberadaan medan listrik maka digambarkan dalam bentuk sekumpulan garis yang disebut sebagai garis-garis medan listrik. Secara prinsip, arah medan listrik pada muatan positif akan bergerak

menjauhi muatan sedangkan arah medan listrik pada muatan negatif akan bergerak menuju sumber muatan. Hal ini menunjukkan bahwa pada anoda (muatan positif) akan terjadi peluruhan logam dan pada katoda (muatan negatif) akan terbentuk endapan akibat penumpukan ion yang terjadi.



Gambar 4. 21 Garis-garis Medan Listrik

Berdasarkan rumus kuat medan listrik $E = kq/r^2$, menunjukkan bahwa hubungan antara kuat medan listrik dengan kuadrat jarak adalah berbanding terbalik. Jika nilai r semakin kecil maka kuat medan listrik semakin besar dan begitu pula sebaliknya. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak dengan sumber muatan (konektor elektroda yang teraliri arus listrik) maka menyebabkan jarak antar garis medan listrik pada penampang elektroda semakin dekat dan kuat medan listrik yang dihasilkan semakin besar. Sehingga semakin besar kuat medan listrik yang dihasilkan, semakin besar ion yang tertarik menuju elektroda.

Untuk variasi ukuran elektroda $5 \times 2,5 \text{ cm}$ dan $5 \times 10 \text{ cm}$, elektroda merupakan elektroda dengan bentuk tidak bujur sangkar. Sehingga jangkauan medan listrik terjadi secara tidak merata pada permukaan elektroda. Berdasarkan rumus kuat medan listrik tersebut, maka semakin jauh jarak dari sumber muatan maka medan listrik yang dihasilkan kecil yang mempengaruhi hasil removal. Hal ini ditunjukkan dari perbedaan hasil removal TDS dan salinitas pada variasi ukuran elektroda.

Perubahan pH pada ED terutama terjadi pada kompartemen elektroda dan kompartemen larutan aquades. Pada kompartemen elektroda berisi larutan buffer fosfat $0,01 \text{ M}$

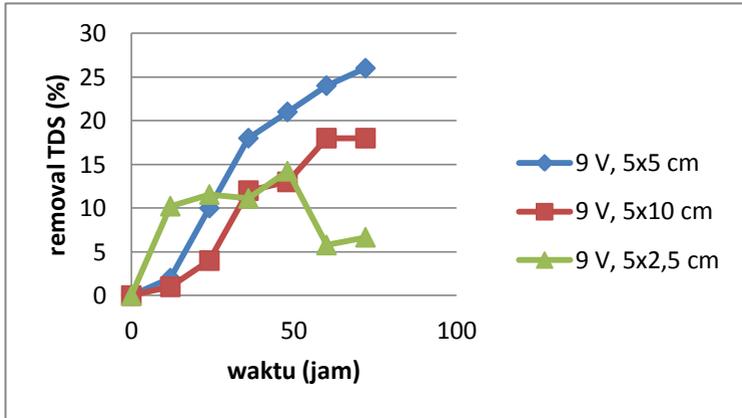
dengan pH 7 yang berfungsi untuk menjaga pH agar reaksi oksidasi tidak terjadi secara cepat. Hal ini akan mengakibatkan korosi pada elektroda yang mengurangi kinerja elektroda. Saat arus listrik mengalir akan terjadi disosiasi air menjadi H^+ dan OH^- . Ion OH^- akan berikatan dengan ion OH^- yang lain dan bergerak menuju anoda mengalami oksidasi menghasilkan gas oksigen dan ion H^+ . Pelepasan ion H^+ inilah yang mengakibatkan pH larutan buffer pada kompartemen anoda semakin asam. Hal ini ditunjukkan pada perubahan pH yang terjadi pada ukuran elektroda 5x2,5cm sebesar 6.6-9.66 selama proses pengolahan 72 jam, untuk elektroda 5x5cm perubahan pH yang terjadi sebesar 6.5-2.39 dan untuk elektroda 5x10cm sebesar 6.8-7.75. Pada kompartemen katoda terjadi proses reduksi atau menerima elektron. Pada proses reduksi, air akan tereduksi menghasilkan ion OH^- dan gas hidrogen. Keberadaan ion OH^- dari proses reduksi inilah yang menyebabkan pH larutan buffer semakin lama semakin basa. Perubahan pH pada kompartemen katoda untuk ukuran elektroda 5x5cm terlihat lebih signifikan dibandingkan perubahan pH pada elektroda 5x2,5cm dan 5x10cm. Selama 72 jam waktu proses pengolahan, terlihat bahwa perubahan pH yang terjadi sekitar 6.3-8.9 sedangkan perubahan pH yang terjadi pada elektroda 5x5cm sebesar 6.29-10.78. Perubahan pH terjadi secara signifikan pada ukuran elektroda 5x5cm, karena arah aliran medan listrik yang terjadi secara merata sehingga proses penerimaan atau pelepasan elektron pada elektroda lebih baik dibandingkan elektroda 5x2,5cm dan 5x10cm.

Analisis perubahan pH juga dilakukan pada kompartemen larutan aquades. Kompartemen ini berfungsi untuk memflushing ion-ion hasil dari proses penyisihan yang melewati membran. Ion-ion hasil penyisihan ini adalah berupa ion Na^+ dan Cl^- . Ion Na^+ akan bergerak menuju katoda dengan melewati CEM dan tidak ikut larut dalam kompartemen elektroda karena selektivitas membran. Sehingga ion Na^+ akan terjebak dan terakumulasi dalam kompartemen larutan aquades dekat kompartemen katoda. Begitu juga yang terjadi pada kompartemen larutan aquades dekat kompartemen anoda. Selain dari proses penyisihan ion, dalam kompartemen

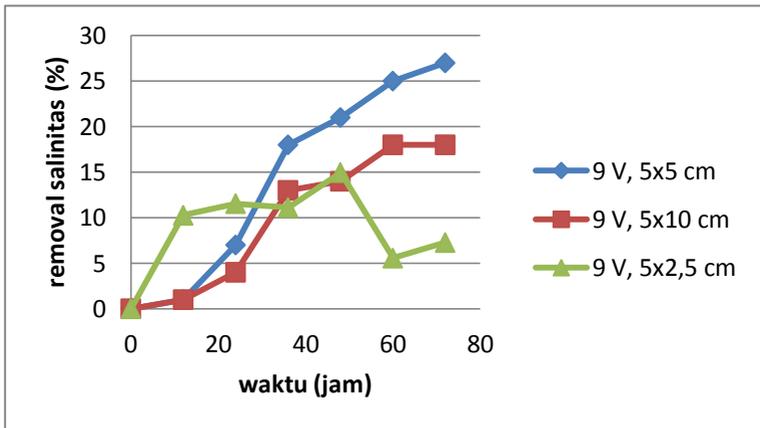
larutan aquades juga terdapat ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan dari proses oksidasi dan reduksi. Dengan adanya arus listrik yang mengalir dan selektivitas membran maka ion H^+ dan OH^- terakumulasi dalam kompartemen larutan aquades. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa bahwa pada kompartemen larutan aquades dekat anoda akan terbentuk senyawa HCL dan pada kompartemen larutan aquades dekat katoda akan terbentuk senyawa NaOH. Terbentuknya senyawa HCL dan NaOH menyebabkan terjadinya perubahan pH pada kompartemen larutan aquades. Perubahan pH yang terjadi menunjukkan banyaknya ion yang tersisihkan dari proses penyisihan. Perubahan pH pada penggunaan ukuran elektroda 5x5cm terlihat lebih signifikan yaitu selama 72 jam pengolahan menghasilkan perubahan pH sebesar 6.65-2.2. Sedangkan pada ukuran elektroda 5x2,5cm dan 5x10cm perubahan pH sebesar 8.5-5.5. Hal ini sebanding dengan persen removal yang dihasilkan.

Untuk hasil persen removal TDS pada penggunaan variasi tegangan 9V dapat dilihat pada Lampiran A-4.2. sedangkan untuk hasil persen removal TDS selama 72 jam dapat dilihat pada gambar grafik 4.22. Pada grafik 4.22 menunjukkan bahwa untuk ukuran elektroda 5x2,5 cm hanya mampu meremoval TDS sebesar 7%, ukuran elektroda 5x5 cm meremoval TDS sebesar 26%, dan untuk ukuran elektroda 5x10 cm meremoval TDS 18%. Pada grafik tersebut terlihat bahwa removal TDS pada variasi ukuran elektroda 5x5 cm lebih tinggi yaitu sebesar 26%.

Hasil analisis persen removal salinitas pada variasi ukuran elektroda dapat dilihat pada gambar grafik 4.23. Berdasarkan gambar grafik 4.23, menunjukkan bahwa pada penggunaan tegangan sebesar 9V dan ukuran elektroda 5x2,5cm menghasilkan persen removal salinitas sebesar 7%, elektroda 5x5cm sebesar 27%, dan elektroda 5x10cm sebesar 18%. Peningkatan removal salinitas tertinggi pada penggunaan ukuran elektroda 5x5cm. untuk hasil analisis parameter salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-5.2.

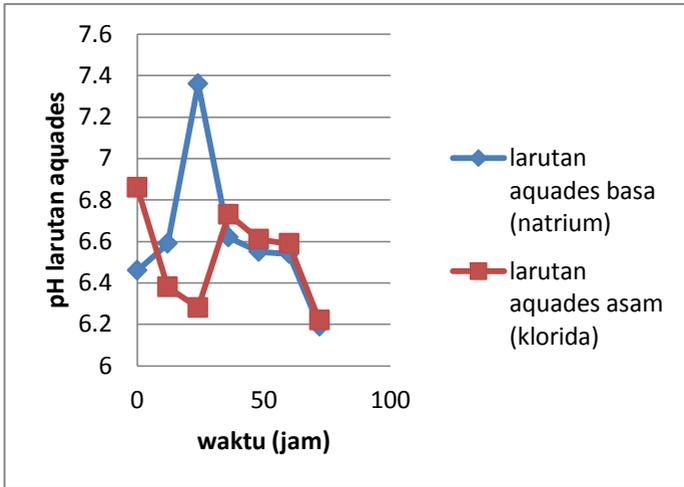


Gambar 4. 22 Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS

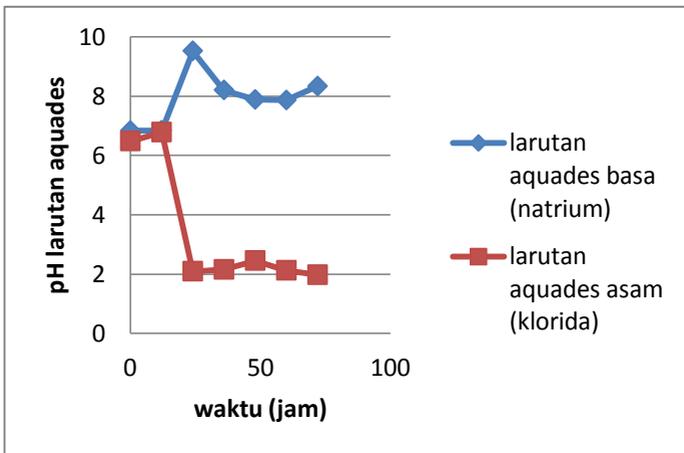


Gambar 4. 23 Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas

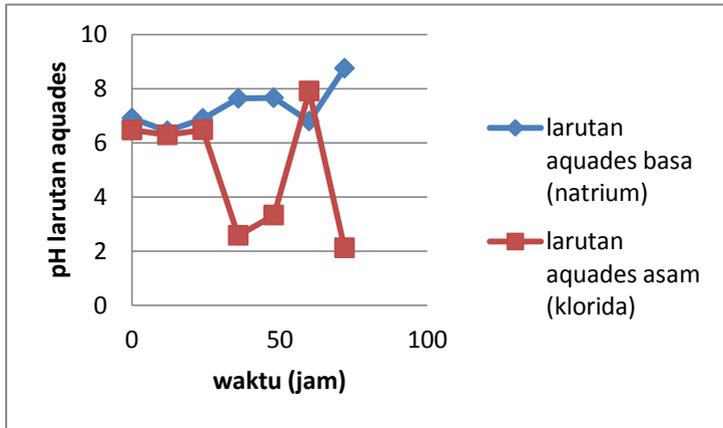
Analisis perubahan pH dilakukan terutama pada kompartemen aquades dan elektroda. Gambar grafik 4.24-4.26 merupakan gambar grafik yang menunjukkan perubahan pH pada kompartemen aquades sebagai *flushing* ion yang membersihkan melewati membran.



Gambar 4. 24 Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 25 Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 26 Pengaruh Variasi 9V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Hasil analisis terhadap parameter TDS dan salinitas pada penggunaan tegangan sebesar 9V menunjukkan bahwa elektroda dengan ukuran 5x5 cm memiliki peningkatan removal yang lebih tinggi. Jenis dan luasan elektroda merupakan salah satu hambatan listrik (Iftita, 2012). Berdasarkan hukum Ohm, jika tegangan yang diberikan adalah konstan, maka semakin besar hambatan maka arus listrik yang mengalir semakin kecil sehingga berpengaruh terhadap penarikan ion. Namun pada hasil analisis menunjukkan bahwa persen removal terhadap parameter yang dihasilkan oleh variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm dan 5x5 cm tidak sesuai dengan prinsip hukum Ohm. Hasil menunjukkan bahwa pada penggunaan elektroda 5x2,5cm menghasilkan removal ion yang lebih kecil dibandingkan elektroda 5x5cm.

Prinsip ED adalah memisahkan ion dalam larutan dengan melewatkannya ke *anion* dan *cation exchange membrane*. Pergerakan ion disebabkan adanya perbedaan beda potensial (voltase) pada elektroda, sehingga anion akan melewati AEM dan kation melewati CEM (Banasiak *et al.*, 2010). Menurut Strathmann (2004), dalam ED polaritas medan listrik diterapkan sebagai gaya tarik untuk perpindahan ion

dalam interval waktu tertentu. Laju pergerakan elektron yang disebabkan oleh adanya perbedaan potensial menyebabkan timbulnya medan listrik. Ketika muatan listrik lain berada dalam medan listrik yang ditimbulkan oleh suatu muatan listrik maka muatan listrik lain merasakan pengaruh berupa gaya listrik. Untuk menunjukkan keberadaan medan listrik maka digambarkan dalam bentuk sekumpulan garis yang disebut sebagai garis-garis medan listrik.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya mengenai hubungan medan listrik dengan penarikan ion dari rumus kuat medan listrik, semakin dekat jarak dari sumber muatan (konektor elektroda yang teraliri arus listrik) maka menyebabkan jarak antar garis medan listrik pada penampang elektroda semakin dekat dan kuat medan listrik yang dihasilkan semakin besar. Sehingga semakin besar kuat medan listrik yang dihasilkan akan mempengaruhi besarnya jumlah ion yang bergerak berpindah menuju elektroda.

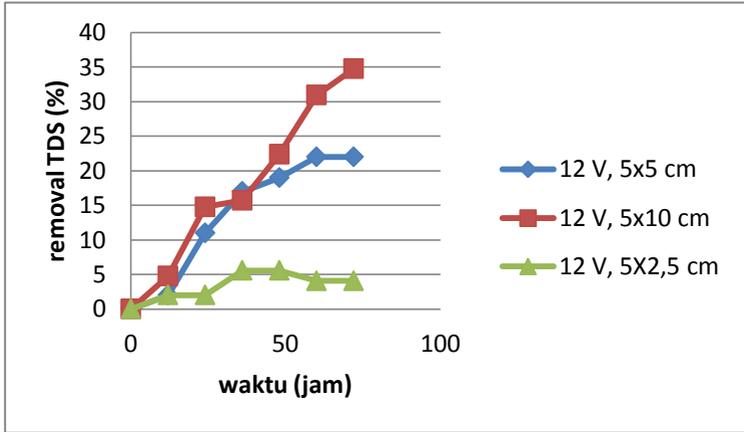
Removal ion yang dihasilkan pada penggunaan tegangan 9 V dan ukuran elektroda 5x2,5 cm, 5x5 cm, serta 5x10 cm menunjukkan bahwa dengan penggunaan ukuran elektroda 5x5 cm menghasilkan persen removal paling tinggi. Karena jangkauan medan listrik memiliki jarak yang sama dari muatan (konektor elektroda), sedangkan untuk ukuran elektroda 5x2,5 cm dan 5x10 cm terdapat ruang dengan jarak yang semakin jauh dari muatan (konektor elektroda) sehingga kuat medan listrik semakin kecil. Semakin kecil kuat medan listrik yang dihasilkan ditunjukkan dengan removal ion yang rendah. Removal ion dengan variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm terlihat paling rendah. Jangkauan medan listrik adalah sekitar pada luasan penampang elektroda $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$, sehingga kemampuan penarikan ion tidak sebesar dan tidak selinear grafik peningkatan removal ukuran elektroda 5x5 cm dan 5x10 cm.

pH merupakan salah satu karakteristik fisik air yang menyatakan keasaman atau basa dari suatu larutan. Pada ED, perubahan pH terjadi pada saat proses oksidasi dan reduksi pada elektroda. pH larutan berubah karena katoda memproduksi ion OH^- dan anoda memproduksi ion H^+ . Untuk variasi ukuran elektroda 5x2,5 cm, perubahan pH pada

kompartemen elektroda hingga 72 jam sekitar 6-7. Sedangkan untuk ukuran elektroda 5x5 cm, pH buffer sekitar 2-11 saat 24 jam dan untuk ukuran elektroda 5x10 cm saat 36 jam pH buffer berubah menjadi 2-10. Dari perubahan pH tersebut, menunjukkan bahwa reaksi oksidasi dan reduksi pada ukuran elektroda 5x2,5 cm tidak menyebabkan perubahan pH yang signifikan. Karena area medan listrik yang kecil sehingga arus yang mengalir pada elektroda juga kecil, maka ion yang bergerak menuju elektroda dalam jumlah yang sedikit. Selain itu juga dengan arus yang kecil, ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan dari proses oksidasi dan reduksi juga sedikit.

Selain itu juga, perubahan pH terjadi pada kompartemen larutan aquades yaitu terakumulasinya ion-ion positif dan negatif hasil penyisihan yang melewati membran dan ion-ion hasil dari proses oksidasi-reduksi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada kompartemen larutan aquades dekat anoda akan terbentuk senyawa HCL dan pada kompartemen larutan aquades dekat katoda akan terbentuk senyawa NaOH. Terbentuknya senyawa HCL dan NaOH akan menyebabkan terjadinya perubahan pH pada larutan aquades. Pada ukuran elektroda 5x5 cm dan 5x10 cm perubahan pH aquades hingga 72 jam sekitar 1-8. Sedangkan untuk ukuran elektroda 5x2,5 cm hingga 72 jam pH aquades sekitar 6-6,5. Perubahan pH tersebut sebanding dengan persen removal yang dihasilkan. Untuk pH akhir air baku pada elektroda 5x2,5cm adalah 6.73, pH air baku elektroda 5x5cm adalah 7.6, dan pH air baku pada penggunaan elektroda 5x10cm adalah 7.2.

Selanjutnya untuk hasil persen removal TDS pada penggunaan tegangan 12V terhadap variasi ukuran elektroda dapat dilihat pada gambar grafik 4.27. Berdasarkan gambar grafik 4.27 mengenai hasil persen removal TDS selama 72 jam menunjukkan bahwa pada penggunaan tegangan 12V dengan ukuran elektroda 5x2,5cm menghasilkan persen removal TDS akhir sebesar 4%, elektroda 5x5cm sebesar 22%, dan elektroda 5x10cm sebesar 35%. Untuk hasil analisis parameter TDS dapat dilihat pada Lampiran A-4.3.

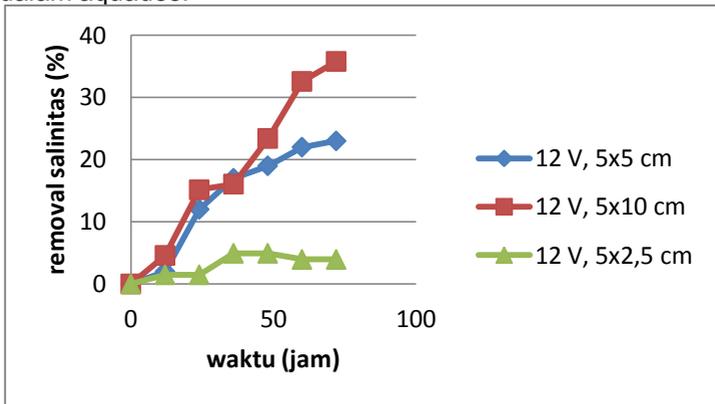


Gambar 4. 27 Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal TDS

Selanjutnya untuk hasil persen removal salinitas, hasilnya tidak berbeda dengan removal TDS. Hasil analisis persen removal salinitas dapat dilihat pada gambar grafik 4.28. Pada gambar grafik 4.28 menunjukkan bahwa peningkatan removal salinitas bersifat linear. Pada penggunaan elektroda dengan ukuran 5x10cm memiliki peningkatan removal salinitas lebih tinggi dibandingkan yang lain yaitu sebesar 36%. Sedangkan hasil removal salinitas untuk elektroda 5x2,5cm dan 5x5cm masing-masing adalah sebesar 4% dan 23%. Untuk hasil analisis parameter salinitas dapat dilihat pada Lampiran A-5.3.

Berdasarkan grafik removal TDS dan salinitas, terlihat bahwa peningkatan persen removal terjadi secara linear. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa semakin lamanya proses berlangsung maka persen removal akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan pergerakan ion-ion pada elektrolit akibat adanya arus listrik yang mengalir melalui elektroda. Pada hasil analisis menunjukkan bahwa hasil removal tertinggi pada penggunaan variasi elektroda dengan ukuran 5x10cm. Hasil yang didapatkan menunjukkan hasil yang tidak konsisten terhadap hasil analisis sebelumnya. Pada variasi ini menunjukkan elektroda 5x10cm memberikan

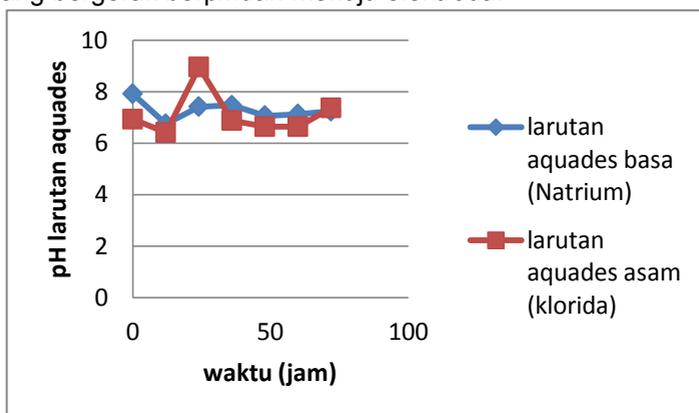
hasil removal tertinggi karena perlakuan terhadap membran yang berbeda. Pada variasi ini, membran yang digunakan merupakan membran bekas *running* sebelumnya. Penggunaan membran bekas disebabkan ketersediaan membran yang terbatas. Membran bekas *running* dilakukan perendaman dengan larutan aquades lebih dari 24jam. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa NaCl memiliki nilai kelarutan terbaik di air, sehingga hal ini menyebabkan NaCl yang menempel pada permukaan membran akan terlarut dalam aquades.



Gambar 4. 28 Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda Terhadap Removal Salinitas

Selanjutnya analisis perubahan pH pada kompartemen aquades ditunjukkan dalam gambar grafik 4.29-4.31. Perubahan pH pada ED terjadi pada kompartemen elektroda dan kompartemen larutan aquades. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, perubahan pH yang terjadi pada kompartemen elektroda karena adanya pelepasan ion H^+ dan OH^- yang dihasilkan dari proses oksidasi dan reduksi. Pada kompartemen anoda, pH larutan buffer semakin lama semakin asam sedangkan pada kompartemen katoda, pH larutan buffer semakin basa. Perubahan pH yang terjadi pada kompartemen dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang mengalir pada elektroda. Hal ini ditunjukkan dari perubahan pH dari penggunaan variasi ukuran elektroda yaitu pada ukuran elektroda 5x2,5cm menghasilkan perubahan pH pada

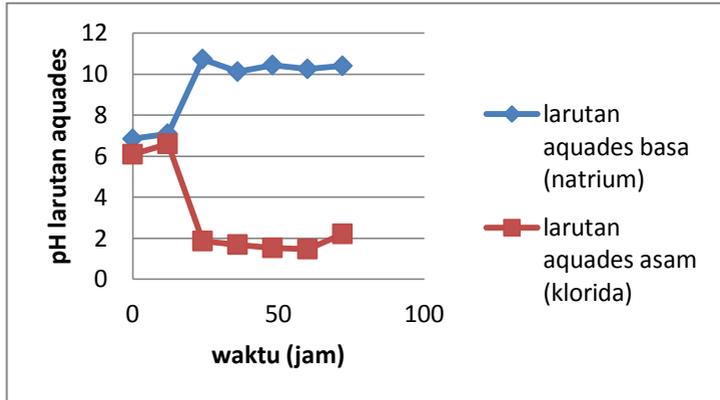
kompartemen anoda sebesar 7.22-6.28 dan pada kompartemen katoda sebesar 6.41-8.96. Sedangkan untuk ukuran elektroda 5x5cm menghasilkan perubahan pH pada kompartemen anoda dan katoda masing-masing adalah 7.24-2.82 dan 6.03-9.99. Dan pada penggunaan elektroda 5x10cm menghasilkan perubahan pH pada kompartemen anoda dan katoda masing-masing adalah 6.86-5.51 dan 6.83-11.11. Terlihat bahwa perubahan pH pada elektroda 5x2,5cm tidak signifikan dibandingkan elektroda 5x5cm dan 5x10cm, karena jangkauan medan listrik yang tidak merata dan luasan penampang elektroda yang efektif teraliri arus listrik 2,5x2,5 cm². Sehingga arus yang mengalir pada luasan elektroda 5x2,5cm kecil, hal ini berpengaruh terhadap besarnya ion yang bergerak berpindah menuju elektroda.



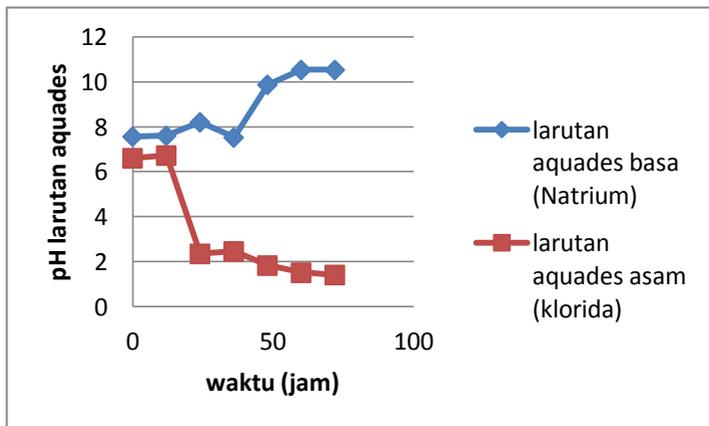
Gambar 4. 29 Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x2,5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Analisis pH juga dilakukan pada kompartemen larutan aquades. Larutan aquades berfungsi untuk memflushing ion Na⁺ dan Cl⁻ dari proses penyisihan ion. Selain itu juga, pada kompartemen larutan aquades terdapat ion H⁺ dan OH⁻ dari proses oksidasi dan reduksi. Sehingga pada kompartemen larutan aquades dekat anoda terbentuk senyawa HCL sedangkan kompartemen larutan aquades dekat kompartemen katoda terbentuk senyawa NaOH.

Terbentuknya senyawa HCL dan NaOH menyebabkan terjadinya perubahan pH.



Gambar 4. 30 Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x5 cm Terhadap Perubahan pH Aquades



Gambar 4. 31 Pengaruh Variasi 12V dan Ukuran Elektroda 5x10 cm Terhadap Perubahan pH Aquades

Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil analisis perubahan pH pada elektroda 5x2,5cm yaitu sebesar 6.4-7.92 selama 72 jam pengolahan. Sedangkan untuk elektroda 5x5cm

menghasilkan perubahan pH pada kompartemen larutan aquades dekat anoda hingga 72 jam menghasilkan perubahan pH sebesar 1.41 dan pada kompartemen larutan aquades dekat katoda menghasilkan perubahan pH sebesar 10.73-10.4. dan untuk perubahan pH pada penggunaan elektroda 5x10cm sebesar 10.4 dan 1.5-1.4.

4.4 Analisis Kebutuhan Energi

Secara prinsip, ED merupakan suatu proses elektrokimia yang memanfaatkan tegangan listrik sebagai gaya tarik ion dan ion akan melewati *ion exchange membrane* menuju elektroda. Penentuan layak atau tidaknya penggunaan ED dalam desalinasi air payau juga memperhatikan dari segi kelayakan ekonomi yaitu perhitungan kebutuhan energi yang digunakan. Menurut Widiasta (2007), aspek ekonomi ED sebagian besar ditentukan oleh biaya energi listrik. Pemakaian daya dan biaya unit tergantung pada hambatan di fluida, rapat arus, dan tegangan listrik. Menurut Strathmann (2004), total kebutuhan energi dalam ED terdiri atas 4 hal yaitu:

- a. Energi yang dibutuhkan untuk transportasi ion dari sampel (air baku) menjadi larutan konsentrat.
- b. Energi yang digunakan untuk memompa larutan dari bak sampel (air baku) ke bak air hasil olahan dan pembuangan garam.
- c. Energi yang digunakan untuk proses oksidasi dan reduksi pada elektroda.
- d. Energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan dan untuk berbagai peralatan kontrol.

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan energi pada penggunaan variasi tegangan dan ukuran elektroda. Perhitungan kebutuhan energi menggunakan rumus konsumsi energi yang terdapat pada persamaan 2.6.

4.4.1 Penggunaan Variasi Tegangan dan Ukuran Elektroda Terhadap Kebutuhan Energi

Pada penelitian ini, pada saat dilakukan sampling pada tiap-tiap outlet kompartemen ED, dilakukan pengukuran terhadap arus yang mengalir pada sistem ED dengan

menggunakan AVO meter. Hasil pengukuran arus dapat dilihat pada lampiran A-6.4. Arus listrik pada sistem ED berubah-ubah setiap waktu karena pengaruh hambatan listrik yang terjadi selama proses pengolahan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa hambatan listrik yang terjadi pada ED disebabkan oleh hambatan yang terjadi pada membran, larutan, dan listrik yang mengalir (Banasiak *et al.*, 2010). Selama proses berlangsung terjadi pergerakan ion menuju elektroda melewati membran karena adanya arus listrik yang mengalir. Area membran semakin berkurang akibat adanya penumpukan ion pada bagian permukaan. Hal ini menyebabkan kecepatan perpindahan ion menjadi lambat akibat total arus yang melewati tumpukan semakin kecil (Cassademont, 2008). Kebutuhan energi yang digunakan merupakan salah satu dasar penentuan penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum pada penelitian ini. Hasil konsumsi energi yang digunakan pada penggunaan variasi tegangan terhadap elektroda 5x2,5cm, 5x5cm, dan 5x10cm dapat dilihat pada tabel 4.2-4.4.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x2,5 cm

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	6 V	9 V	12 V
0	0.0	0.0	0.0
12	59.8	7.6	23.0
24	119.5	21.6	43.2
36	164.2	19.4	56.2
48	28.8	34.6	69.1
60	28.8	43.2	79.2
72	25.9	71.3	51.8

Hasil analisis terhadap penggunaan energi membuktikan bahwa semakin lama proses ED berlangsung, penggunaan energi juga akan semakin meningkat. Semakin lama proses berlangsung, maka akan semakin banyak tumpukan ion pada membran sehingga menyebabkan

hambatan pada sistem semakin besar. Menurut Banasiak *et al* (2010), dengan bertambahnya hambatan dan endapan zat inorganik pada membran, maka dibutuhkan energi yang lebih besar untuk melewati polutan yang melewati membran menuju elektroda.

Tabel 4. 3 Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x5 cm

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	6 V	9 V	12 V
0	0.0	0.0	0.0
12	32.4	92.9	72.0
24	106.6	159.8	184.3
36	125.3	243.0	285.1
48	126.7	354.2	374.4
60	75.6	448.2	496.8
72	73.4	622.1	604.8

Tabel 4. 4 Kebutuhan Energi Ukuran Elektroda 5x10 cm

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	6 V	9 V	12 V
0	0.0	0.0	0.0
12	13.0	31.3	77.8
24	31.7	138.2	144.0
36	43.2	97.2	159.8
48	49.0	250.6	167.0
60	54.0	275.4	172.8
72	56.2	408.2	103.7

Selama proses pengolahan 72 jam, elektroda 5x2,5 cm dan pada penggunaan tegangan sebesar 6V menghasilkan removal TDS sebesar 2% dengan energi yang dibutuhkan 25,9 kWh/m³. Dan untuk penggunaan tegangan 9V

membutuhkan energi sebesar 71,3 kWh/m³ untuk menghasilkan removal TDS sebesar 7%. Serta penggunaan tegangan 12V membutuhkan energi sebesar 51,8 kWh/m³ dalam meremoval TDS hingga 72jam sebesar 4%.

Pada penggunaan tegangan 6V, 9V, dan 12V terhadap elektroda 5x5 cm, terlihat bahwa penggunaan energi terbesar pada penggunaan tegangan 9V yang juga menghasilkan removal paling baik. Pada penggunaan tegangan 6V menghasilkan removal TDS sebesar 20% dengan energi yang dibutuhkan 73,4 kWh/m³, tegangan 9V menghasilkan removal sebesar 26% dengan penggunaan energi 622,1 kWh/m³, dan pada penggunaan tegangan 12V removal TDS sebesar 22% dengan energi yang dibutuhkan 604,8 kWh/m³.

Dan pada penggunaan elektroda 5x10 cm, menghasilkan removal TDS akhir sebesar 1% dengan energi yang dibutuhkan 56.2 kWh/m³ pada penggunaan tegangan 6V, sedangkan untuk penggunaan tegangan sebesar 9V menghasilkan removal TDS sebesar 18% dan energi yang dibutuhkan 408.2 kWh/m³ serta menghasilkan removal TDS 35% pada penggunaan tegangan 12V dengan energi yang dibutuhkan 103.7 kWh/m³.

Dari hasil analisis terhadap parameter TDS menunjukkan bahwa removal tertinggi terjadi pada penggunaan tegangan 9V dan hal ini ditunjukkan dengan penggunaan energi yang lebih besar pula. Karena menurut Strathmann (2004), energi utama yang digunakan adalah untuk memindahkan ion dari air baku menuju larutan konsentrat. Sehingga penggunaan energi sebanding dengan removal ion yang dihasilkan.

Untuk kebutuhan energi dari penggunaan variasi ukuran elektroda dapat dilihat pada tabel 4.5-4.7.

Tabel 4. 5 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 6V

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm
0	0.0	0.0	0.0
12	59.8	32.4	13.0
24	119.5	106.6	31.7

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm
36	164.2	125.3	43.2
48	28.8	126.7	49.0
60	28.8	75.6	54.0
72	25.9	73.4	56.2

Tabel 4. 6 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 9V

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm
0	0.0	0.0	0.0
12	7.6	92.9	31.3
24	21.6	159.8	138.2
36	19.4	243.0	97.2
48	34.6	354.2	250.6
60	43.2	448.2	275.4
72	71.3	622.1	408.2

Tabel 4. 7 Kebutuhan Energi Penggunaan Tegangan 12V

waktu (jam)	kebutuhan energi (kWh/m ³)		
	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm
0	0.0	0.0	0.0
12	23.0	72.0	77.8
24	43.2	184.3	144.0
36	56.2	285.1	159.8
48	69.1	374.4	167.0
60	79.2	496.8	172.8
72	51.8	604.8	103.7

Dari hasil analisis terhadap kebutuhan energi yang dibutuhkan menunjukkan pada elektroda 5x5 cm membutuhkan energi yang lebih besar. Hal ini sebanding dengan hasil analisis terhadap parameter TDS, yang menunjukkan bahwa elektroda 5x5 cm memiliki hasil removal paling baik. Karena ukuran elektroda 5x5 cm memiliki jangkauan medan listrik yang merata sehingga ion yang bergerak berpindah menuju elektroda jumlahnya lebih banyak. Pada penggunaan tegangan 6V untuk elektroda 5x2,5 cm menghasilkan removal TDS sebesar 2% dengan energi yang dibutuhkan 25.9 kWh/m³, sedangkan elektroda 5x5 cm menghasilkan removal sebesar 20% dengan energi sebesar 73.4 kWh/m³, Dan dengan removal yang dihasilkan sebesar 1% membutuhkan energi 56.2 kWh/m³ pada penggunaan elektroda 5x10 cm.

Pada penggunaan tegangan 9V menghasilkan removal TDS sebesar 7% dengan energi 71.3 kWh/m³ untuk elektroda 5x2,5 cm. sedangkan elektroda 5x5 cm menghasilkan removal 26% dengan energi yang dibutuhkan 622.1 kWh/m³ dan untuk elektroda 5x10 cm membutuhkan energi sebesar 408.2 kWh/m³ untuk menghasilkan removal akhir 18%.

Pada penggunaan tegangan 12V dan elektroda 5x10 cm, hasil analisis terhadap kebutuhan energi tidak menunjukkan hubungan yang sebanding dengan persen removal yang dihasilkan. Pada hasil analisis parameter TDS, elektroda 5x10 cm mempunyai persen removal yang lebih tinggi yaitu sebesar 35%. Sedangkan untuk elektroda 5x2,5 cm dan 5x5 cm masing-masing menghasilkan removal sebesar 4% dan 22%. Namun hasil analisis kebutuhan energi menunjukkan bahwa kebutuhan energi yang digunakan pada elektroda 5x10 cm lebih rendah daripada kebutuhan energi yang digunakan elektroda 5x5 cm. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil removal yaitu elektroda 5x10 cm mampu menghasilkan removal paling baik. Hal ini disebabkan perlakuan pada membran bekas yang direndam dengan larutan aquades selama lebih dari 24 jam sehingga endapan NaCl pada permukaan membran larut pada larutan aquades. Karena seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, menurut

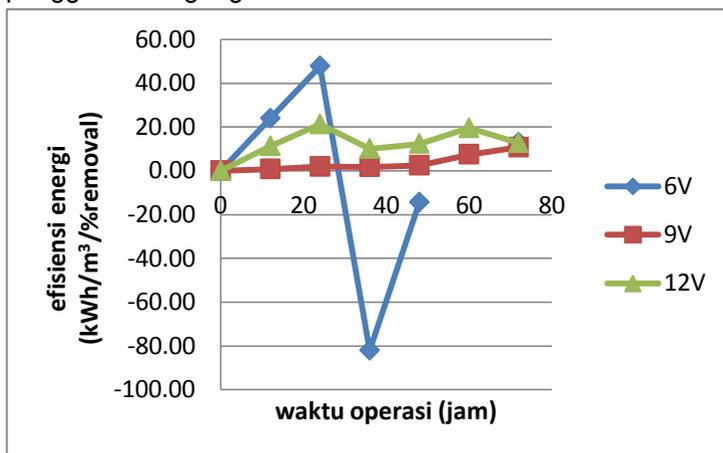
MSDS NaCl, NaCl memiliki nilai kelarutan yang baik dalam air. Hambatan yang terjadi pada membran rendah, sehingga ion dari air baku menuju larutan konsentrat berkurang lebih cepat dengan penggunaan energi yang lebih rendah. Sehingga pada variasi ukuran elektroda 5x10 cm tidak dapat dilakukan perbandingan untuk penentuan optimum. Karena hasil analisis parameter menunjukkan bahwa data pada penggunaan elektroda 5x10 cm dan tegangan 12V tidak konsisten dengan hasil analisis variasi lain. Perbedaan perlakuan pada membran dapat mempengaruhi hasil dalam penentuan penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum.

4.4.2 Penentuan Penggunaan Tegangan dan Ukuran Elektroda Optimum

Pada penelitian ini, penentuan penggunaan tegangan dan ukuran elektroda yang optimum berdasarkan efisiensi energi yang digunakan yaitu didapatkan dari kebutuhan energi per removal TDS yang dihasilkan (kWh/m^3 per persen removal). Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, telah dijelaskan bahwa elektroda dengan ukuran 5x10 cm pada penggunaan tegangan 12V menunjukkan data yang tidak konsisten dengan hasil analisis terhadap variasi lain. Hal ini karena penggunaan membran bekas dan perlakuan pencucian membran yang berbeda sehingga menghasilkan hasil yang berbeda. Sehingga dalam penentuan penggunaan optimum tidak dapat dilakukan perbandingan. Hasil analisis terhadap efisiensi energi yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran A-6.5 hingga A-6.10.

Penentuan tegangan optimum dilakukan terhadap elektroda 5x2,5 cm dan 5x5 cm, hasil analisis dapat dilihat pada gambar grafik 4.32-4.33. Berdasarkan gambar grafik 4.32, didapatkan penggunaan tegangan optimum pada elektroda 5x2,5 cm adalah 9V dengan efisiensi energi yang digunakan sebesar 10.69 kWh/m^3 per persen removal. Penentuan penggunaan tegangan optimum berdasarkan rasio antara kebutuhan energi dan persen removal yang didapatkan adalah kecil. Efisiensi energi menunjukkan efektifitas dari kinerja reaktor ED dalam proses desalinasi selama 72 jam. Sedangkan pada elektroda 5x5 cm didapatkan penggunaan

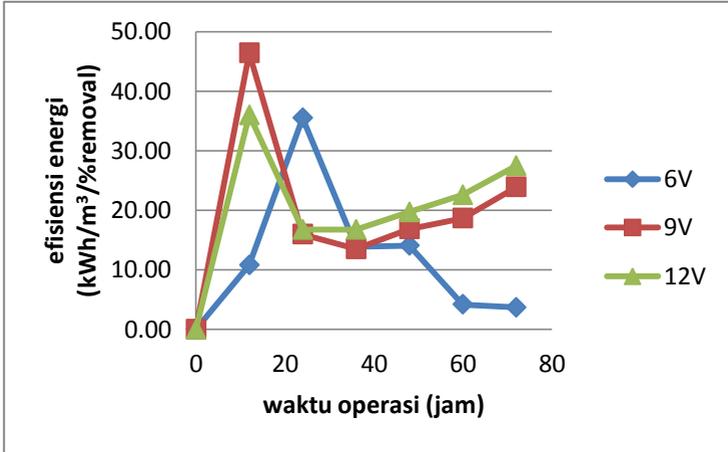
tegangan optimum yaitu 6V dengan efisiensi energi sebesar 3.67 kWh/m^3 per persen removal. Tegangan optimum yang dihasilkan pada elektroda $5 \times 2,5 \text{ cm}$ dan $5 \times 5 \text{ cm}$ berbeda karena penggunaan efisiensi energi yang berbeda. Dapat disimpulkan bahwa pada elektroda $5 \times 2,5 \text{ cm}$ mampu menghasilkan kinerja yang optimum (efisiensi energi paling rendah) pada tegangan 9V sedangkan elektroda $5 \times 5 \text{ cm}$ pada penggunaan tegangan 6V.



Gambar 4. 32 Efisiensi Energi pada Ukuran Elektroda $5 \times 2,5 \text{ cm}$

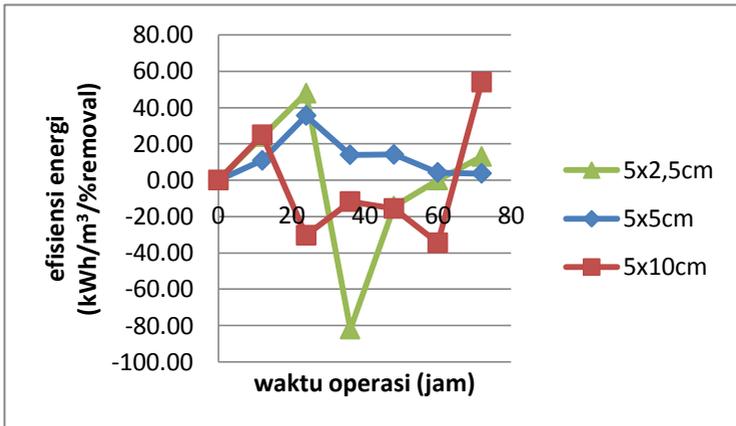
Namun berdasarkan hasil analisis terhadap parameter TDS maupun energi yang digunakan, maka tegangan 6V pada penggunaan elektroda $5 \times 5 \text{ cm}$ dipilih sebagai tegangan yang optimum. Karena jangkauan medan listrik yang merata pada elektroda $5 \times 5 \text{ cm}$ memiliki hasil analisis yang lebih optimum dibandingkan $5 \times 2,5 \text{ cm}$ sehingga lebih efektif dalam menarik ion.

Sedangkan untuk penentuan ukuran elektroda optimum dilakukan pada penggunaan tegangan 6V dan 9V, Hasil analisis dapat dilihat pada gambar grafik 4.34-4.35.

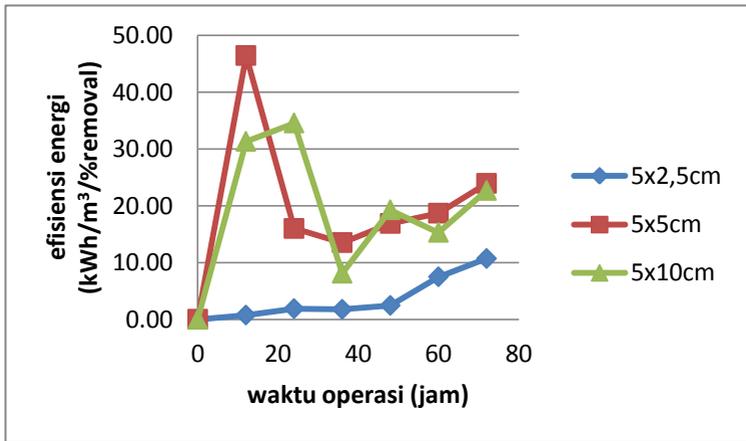


Gambar 4. 33 Efisiensi Energi pada Ukuran Elektroda 5x5 cm

Berdasarkan gambar grafik 4.34 dan 4.35 menunjukkan bahwa pada penggunaan variasi tegangan memiliki nilai efisiensi energi yang berbeda-beda sehingga ukuran elektroda optimum yang digunakan pada setiap variasi tegangan adalah berbeda.



Gambar 4. 34 Efisiensi Energi pada Penggunaan Tegangan 6V



Gambar 4. 35 Efisiensi Energi pada Penggunaan Tegangan 9V

Dari gambar grafik tersebut terlihat bahwa pada penggunaan tegangan 6V, elektroda 5x5 cm memiliki efisiensi energi paling rendah yaitu 3.67 kWh/m³ per persen removal. Sedangkan efisiensi paling rendah pada tegangan 9V ditunjukkan pada elektroda 5x2,5 cm yaitu sebesar 10.69 kWh/m³ per persen removal. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, efisiensi energi menunjukkan efektifitas dari kinerja reaktor ED dalam proses desalinasi selama 72 jam. Ukuran elektroda 5x5 cm dipilih sebagai ukuran elektroda yang optimum dalam proses desalinasi menggunakan ED. Sebab dari hasil analisis parameter uji menunjukkan bahwa elektroda 5x5 cm menghasilkan hasil yang optimum.

Dengan hasil analisis terhadap parameter uji yang menunjukkan hasil yang optimum dan penggunaan efisiensi energi terkecil, sehingga desalinasi menggunakan ED dengan waktu operasi 72 jam memiliki tegangan dan ukuran elektroda yang optimum dalam pengolahan yaitu 6V dan elektroda berukuran 5x5 cm.

4.5 Uji ANOVA

ANOVA atau *Analysis of Varians* merupakan salah satu uji komparatif yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-

rata data lebih dari dua kelompok. Terdapat dua jenis tipe ANOVA yaitu analisis varian satu faktor dan analisis varian dua faktor. Penggunaan uji hipotesis menggunakan ANOVA salah satunya adalah untuk mengetahui signifikansi perbedaan rata-rata antara kelompok sampel yang satu dengan yang lain. Berdasarkan analisis ANOVA, jika secara numeris perbedaannya besar, maka perbedaan rata-rata tersebut dapat diabaikan (tidak signifikan). Namun sebaliknya, jika secara numeris perbedaannya kecil, maka perbedaan tersebut dikatakan signifikan.

Pada penelitian ini, metode ANOVA yang digunakan adalah jenis *two way* ANOVA karena didasarkan pada pengamatan dua kriteria yaitu mengetahui pengaruh penggunaan tegangan dan ukuran elektroda terhadap parameter TDS dan salinitas. Uji statistika dengan metode ANOVA dapat dijalankan pada salah satu program analisis data *Microsoft Excel* yaitu *Analysis Toolpak*. Pada penelitian ini ditetapkan H_0 sebagai nilai persen removal TDS dan salinitas pada variasi tegangan dan ukuran elektroda adalah sama (tidak ada perbedaan yang nyata). Selanjutnya H_1 sebagai nilai persen removal TDS dan salinitas pada variasi tegangan dan ukuran elektroda minimal ada satu yang tidak sama. Penentuan hipotesa adalah berdasarkan nilai *P-value* (nilai signifikansi), jika nilai signifikansi $>0,05$ maka variasi yang digunakan tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil removal TDS dan salinitas (H_0 diterima), sedangkan apabila nilai signifikansi $<0,05$ maka variasi yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap hasil removal atau tolak H_0 .

Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada Lampiran A-6.8 dan A-6.9. Untuk parameter TDS, didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,00051 atau $<0,05$, maka dari nilai tersebut menunjukkan bahwa penggunaan variasi tegangan berpengaruh terhadap hasil removal TDS (tolak H_0). Sedangkan untuk variasi ukuran elektroda juga berpengaruh terhadap removal TDS yang ditunjukkan dengan nilai signifikansi 0,00418 ($<0,05$).

Untuk parameter salinitas, hasil uji statistika menunjukkan bahwa variasi tegangan dan ukuran elektroda berpengaruh terhadap removal salinitas yaitu ditunjukkan

dengan nilai signifikansi masing-masing $<0,05$ sebesar 0,001867 dan 0,002551 (tolak H_0).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap variasi tegangan dan ukuran elektroda pada proses desalinasi menggunakan ED, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Tegangan dan ukuran elektroda berpengaruh terhadap proses desalinasi yaitu ditunjukkan pada hasil removal ion. Hasil removal TDS dan salinitas pada ukuran elektroda 5x2,5cm pada penggunaan tegangan 6V, 9V, dan 12V masing-masing adalah 2%, 7%, dan 4% serta pH akhir yang dihasilkan 6.84, 6.73, dan 6.92. Sedangkan ukuran elektroda 5x5 cm dan penggunaan tegangan 6 V mampu meremoval TDS 20%, salinitas 22%, dan pH air baku 7,16 selama 72 jam pengolahan. Sedangkan tegangan 9 V meremoval TDS sebesar 26%, salinitas 27%, dan pH air baku 7,6. Serta hasil removal yang dihasilkan pada tegangan 12 V yaitu TDS 22%, salinitas 23%, dan pH air baku 7,03. Dan hasil untuk variasi tegangan terhadap elektroda 5x10cm adalah menghasilkan removal TDS, salinitas, dan pH air baku akhir masing-masing adalah 1%, 2%, dan pH 6.55 pada penggunaan tegangan 6V. Dan untuk tegangan 9V menghasilkan removal 18% TDS dan salinitas serta pH akhir air baku 7.2. penggunaan tegangan 12V menghasilkan removal 35% TDS, 36% salinitas, dan pH air baku 7.2,
- b. Tegangan dan ukuran elektroda optimum yang digunakan adalah 6V dan elektroda 5x5cm. Penentuan optimum berdasarkan efisiensi energi yang digunakan yaitu didapatkan dari perbandingan antara kebutuhan energi dengan persen removal ($\text{kWh/m}^3/\% \text{removal}$). Tegangan 6V dan elektroda 5x5 cm memiliki efisiensi energi sebesar $3.67 \text{ kWh/m}^3/\% \text{removal}$.

1.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan dapat memberikan beberapa saran sebagai berikut:

- a. Dilakukan penelitian pendahuluan terhadap air sampel yang digunakan agar dapat mengetahui zat-zat yang terkandung dalam air yang dikhawatirkan mampu menghambat proses desalinasi.
- b. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan variasi terhadap elektroda yaitu membandingkan hasil dari penggunaan bentuk elektroda bulat dengan diameter 2,5 cm dan diameter 5 cm dengan elektroda bujur ukuran 2,5x2,5 cm.
- c. Setiap melakukan penelitian dengan variasi baru, sebaiknya menggunakan membran baru agar tidak mempengaruhi hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anglada, A., Urtiaga, A., dan Ortiz, I. (2009). *Contribution of Electrochemical Oxidation to Waste-Water Treatment: Fundamentals and Review of Application*. Society in Chemical Industry. 84, 1747-1755.
- Anonim. (1991). *Tata Cara Perencanaan Umum Irigasi Tambak Udang*. SNI 03-2402-1991: (SK SNI T-03-1990-F).
- Balanchar. D., Sundararaj, P., Rutharvel. M. K., Kumaraswamy, K. (2010). *An Investigation of Groundwater Quality and Sustainability to Irrigated Agriculture in Coimbatore District, Tamil Nadu, India – A GIS Approach*. International Journal of Environmental Sciences: Vol. 1, No 2.
- Banasik, L. J., Kruttschnitt, T. W., dan Schafer, A. I. (2007). *Desalination using Electrodialysis as a Function of Vage and Salt Concentration*. Desalination (1-3).
- Brady, J. E. (1999). *General Chemistry Principles and Structure 5thed*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Casademont, C., Farias, M.A., Pourcelly, G., dan Bazinet, L. (2008). *Impact Of Electrodialytic Parameters on Cation Migration Kinetics and Fouling Nature of Ion-Exchange Membrane During Treatment of Solutions With Different Magnesium/Calcium Ratios*. Sciencedirect: Journal Of Membrane Science: 325 (570-579).
- Cifuentes, L., Garcia, I., Arriagada, P., dan Casas, J.M. (2009). *The Use of Electrodialysis for Metal Separation and Water Recovery from $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$ Solutions*. ScienceDirect: Journal of Separation and Purification Technology: 68 (105-108)
- Costa, Roni F. Dalla., Klein, W. Claudia., Bernardes M. Andres., dan Ferreira, Jane Zoppas. (2002). *Evaluation of the Electrodialysis Process for the Treatment of Metal Finishing Wastewater*. Society in Chemical Brazil. Vol. 13, No. 4, 540-547.
- Djuhariningrum, T. (2005). *Penentuan Zat Padat Terlarut dalam Memprediksi Kualitas Air Tanah dari Berbagai*

- Contoh Air*. Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tahun 2005. BATAN: Pusat Pengembangan Geologi Nuklir
- Fathurrahman dan Hendro Wahyono. (2000). Pembuatan U (IV) dari U (VI) Menggunakan Teknik Elektrodialisis. Prosiding Ilmiah Bahan Bakar Nuklir V.
- Huang, Chuanhui., Xu, Tongwen., Zhang, Yaping., Xue, Yanhong., Chen, Guangwen. (2007). *Application of Electrodialysis to the Production of organik acids: State of the art and recent developments*. ScienceDirect: Journal of Membran Science: 288 (1-12)
- Iftita. (2012). *Hukum Ohm*. <https://iftitaefje.wordpress.com>. Diakses pada 01/06/2015, pukul 09.00 WIB.
- Jumiati, Sampurno, J., dan Faryuni, I.D. (2013). *Pengaruh Konsentrasi Larutan Katalis dan Bentuk Elektroda dalam Proses Elektrolisis Untuk Menghasilkan Gas Brown*. POSITRON: Vol. III, No. 1, 2301-4970.
- Junaidi, A. dan Seprianto, D. (2011). *Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan Elektroda Tembaga-5% Karbon Yang Dibuat Dengan Metode Serbuk Metalurgi*. *Jurnal Austenit*. 3 (2), 53-64.
- Kariduraganavar, M. Y., Nagarale, R. K., Kittur, A. A., & Kulkarni, S. S. (2006). *Ion-Exchange Membrans: Preparative Methods for Electrodialysis and Fuel Applications*. *ScienceDirect* (197), 226.
- Kusumahati, I. (1998). *Studi Kemampuan Resin Kation Na⁺ dan H⁺ sebagai Media Penukar Ion untuk Menurunkan Kandungan Tembaga*. Program studi Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- Moon, Seung-Hyeon dan Yun, Sung-Hyun. (2014). *Process Integration of Electrodialysis for a Cleaner Environment*. ScienceDirect: Journal of Separation Engineering: 4 (25-31)
- Permenkes RI Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang *Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Petrucci, Suminar. 1999. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Modern*, Edisi Keempat, Jilid 2. Jakarta: Erlangga.

- Prayitno dan Sukosrono. (2008). *Sistem Reduktor Elektromagnetik untuk Penurunan Kadar Ag dalam Limbah Cair*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN. ISSN: 0216-3128.
- Purwanti, Endang Pudji dan Pilarian, Ferihan. (2013). *Optimasi Parameter Il Proses Pemotongan StainlessSteel Sus 304 Untuk Kekasaran Permukaan Dengan Metode Response Surface*. ISBN : 978 – 979 – 16353 – 9 – 4
- Retnoningsih, M. dan Murdianti Y. (2010). *Pengaruh pH, Konsentrasi Awal Ammonia dan Waktu Operasi pada Elektrolisa Ammonia*. Semarang: UNDIP.
- Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sadrzadeh, M dan Mohammadi, T. (2007). *Sea Water Desalination Using Electrodialysis*. Journal of Desalination. ScienceDirect: 221 (440-447)
- Scannel, W. P. K. dan Duffy, L. K. (2007). *Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species*. American Journal of Environmental Sciences 3 (1): 1-6
- SK SNI M-03-1989-F tentang Metode Pengujian Kualitas Fisik Air
- Soedjono, E. S. (2002). *Pengelolaan Penyediaan Air Bersih*. Program Sarjana dan Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Strathmann, H. (2010). *Electrodialysis, a Mature Technology with a Multitude of New Application*. Desalination (264).
- Strathmann, H. (2004). *Assesment of Electrodialysis Water Desalination Process Cost*. Institute of Chemical Engineering, University of Stuttgart. German
- Subangga, B.T, Sutikno, E., dan Ariseno, A. *Pengaruh Variasi Anoda dan Waktu Pelapisan Elektroplating Terhadap Laju Keausan Grinding Ball*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
- Sutrisna, P. D. (2002). *Bipolar Membrane Electrodialysis :Teknologi Atraktif Untuk Produksi Asam Dan Basa*.

- Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya, Vol. 10 No.2.
- Svehla, G. (1990). *Vogel Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro Dan Semimikro*. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Topayung, D. (2011). *Pengaruh Arus Listrik dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan dan Massa Lapisan Yang Terbentuk pada Proses Elektroplating Pelat Baja*. Jurnal Ilmiah Sains. 11 (1).
- Valero, F., Barcelo, A., dan Arbos, R. (2011). *Electrodyalisis Technology. Theory and Aplications. Desalination, Trends and Technology*.
- Wibisono, M.S. (2004). *Pengantar Ilmu Kelautan*. PPPTMGB LEMIGAS
- Yusuf, Etikasari., Rachmanto, T. Agung., dan Laksmono, Rudi. (2009). *Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih dengan Menggunakan Membrae Reverse Osmosis*. Jurnal ilmiah Teknik Lingkungan UPN Surabaya: Vol. 1, No.1.

LAMPIRAN A ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Pengaruh Variasi Tegangan

a. TDS

Tabel 1.1 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x5 cm terhadap removal TDS

Waktu (jam)	6V	9V	12V
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	3	2	2
24	3	10	11
36	9	18	17
48	9	21	19
60	18	24	22
72	20	26	22

Tabel 1.2 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x10 cm terhadap removal TDS

waktu (jam)	6V	9V	12V
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	1	1	5
24	-1	4	15
36	-4	12	16
48	-3	13	22
60	-2	18	31
72	1	18	35

Tabel 1.3 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x2,5 cm terhadap removal TDS

waktu (jam)	6V	9V	12V
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	3	10	2
24	3	12	2
36	-2	11	6
48	-2	14	6
60	0	6	4
72	2	7	4

b. Salinitas

Tabel 2.1 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x5 cm terhadap removal salinitas

Waktu (jam)	6V	9V	12V
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	7	1	2
24	7	7	12
36	9	18	17
48	10	21	19
60	19	25	22
72	22	27	23

Tabel 2.2 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x10 cm terhadap removal salinitas

waktu (jam)	6V	9V	12V
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	4	1	5
24	-2	4	15
36	-4	13	16
48	-4	14	23
60	-2	18	33
72	2	18	36

Tabel 2.3 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x2,5 cm terhadap removal salinitas

waktu (jam)	6V	9V	12V
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	2	10	1
24	2	12	1
36	-2	11	5
48	-2	15	5
60	0	6	4
72	2	7	4

c. pH

Tabel 3.1 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x5 cm terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	6V		9V		12V	
	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-
0	6.94	6.65	6.83	6.48	6.84	6.09
12	6.68	6.65	6.84	6.78	7.09	6.6
24	6.9	6.63	9.52	2.09	10.73	1.86
36	6.9	6.62	8.2	2.15	10.12	1.69
48	7.38	2.58	7.88	2.45	10.44	1.53
60	7.46	2.28	7.86	2.12	10.25	1.47
72	7.56	2.2	8.33	1.97	10.4	2.21

Tabel 3.2 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x10 cm terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	6V		9V		12V	
	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-
0	7.18	6.82	6.91	6.47	7.57	6.61
12	6.88	6.6	6.44	6.29	7.61	6.73
24	7.58	7.56	6.9	6.48	8.21	2.35
36	6.9	6.5	7.64	2.58	7.53	2.46
48	8.54	8.93	7.66	3.33	9.88	1.83
60	6.68	5.59	6.8	7.91	10.54	1.51
72	6.8	6.52	8.75	2.12	10.54	1.41

Tabel 3.3 Pengaruh variasi tegangan dan ukuran elektroda 5x2,5 cm terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	6V		9V		12V	
	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-
0	6.84	6.44	6.46	6.86	7.92	6.93
12	7.61	6.81	6.59	6.38	6.75	6.41
24	6.33	6.26	7.36	6.28	7.42	8.96
36	6.88	6.42	6.62	6.73	7.47	6.88
48	6.99	7.18	6.55	6.61	7.07	6.64
60	7.16	6.74	6.54	6.59	7.13	6.64
72	7.42	5.8	6.19	6.22	7.24	7.37

Pengaruh Variasi Ukuran Elektroda

a. TDS

Tabel 4.1 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 6 V terhadap removal TDS

waktu (jam)	5X5cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	3	1	3
24	3	-1	3
36	9	-4	-2
48	9	-3	-2
60	18	-2	0
72	20	1	2

Tabel 4.2 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 9 V terhadap removal TDS

waktu (jam)	5X5cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	2	1	10
24	10	4	12
36	18	12	11
48	21	13	14
60	24	18	6
72	26	18	7

Tabel 4.3 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 12 V terhadap removal TDS

waktu (jam)	5X5cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	TDS (%)	TDS (%)	TDS (%)
0	0	0	0
12	2	5	2
24	11	15	2
36	17	16	6
48	19	22	6
60	22	31	4
72	22	35	4

b. Salinitas

Tabel 5.1 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 6 V terhadap removal salinitas

waktu (jam)	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	7	4	2
24	7	-2	2
36	9	-4	-2
48	10	-4	-2
60	19	-2	0
72	22	2	2

Tabel 5.2 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 9 V terhadap removal salinitas

waktu (jam)	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	1	1	10
24	7	4	12
36	18	13	11
48	21	14	15
60	25	18	6
72	27	18	7

Tabel 5.3 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 12 V terhadap removal salinitas

waktu (jam)	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm
	salinitas (%)	salinitas (%)	salinitas (%)
0	0	0	0
12	2	5	1
24	12	15	1
36	17	16	5
48	19	23	5
60	22	33	4
72	23	36	4

c. pH

Tabel 6.1 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 6 V terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	5x5 cm		5x10 cm		5x2,5 cm	
	Aq.+Na+	Aq.+Cl-	Aq.+Na+	Aq.+Cl-	Aq.+Na+	Aq.+Cl-
0	6.94	6.65	7.18	6.82	6.84	6.44
12	6.68	6.65	6.88	6.6	7.61	6.81
24	6.9	6.63	7.58	7.56	6.33	6.26
36	6.9	6.62	6.9	6.5	6.88	6.42
48	7.38	2.58	8.54	8.93	6.99	7.18
60	7.46	2.28	6.68	5.59	7.16	6.74
72	7.56	2.2	6.8	6.52	7.42	5.8

Tabel 6.2 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 9 V terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	5x5 cm		5x10 cm		5x2,5 cm	
	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-
0	6.83	6.48	6.91	6.47	6.46	6.86
12	6.84	6.78	6.44	6.29	6.59	6.38
24	9.52	2.09	6.9	6.48	7.36	6.28
36	8.2	2.15	7.64	2.58	6.62	6.73
48	7.88	2.45	7.66	3.33	6.55	6.61
60	7.86	2.12	6.8	7.91	6.54	6.59
72	8.33	1.97	8.75	2.12	6.19	6.22

Tabel 6.3 Pengaruh variasi ukuran elektroda dan tegangan 12 V terhadap perubahan pH aquades

waktu (jam)	5x5 cm		5x10 cm		5x2,5 cm	
	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-	Aq.+ Na+	Aq.+ Cl-
0	6.84	6.09	7.57	6.61	7.92	6.93
12	7.09	6.6	7.61	6.73	6.75	6.41
24	10.73	1.86	8.21	2.35	7.42	8.96
36	10.12	1.69	7.53	2.46	7.47	6.88
48	10.44	1.53	9.88	1.83	7.07	6.64
60	10.25	1.47	10.54	1.51	7.13	6.64
72	10.4	2.21	10.54	1.41	7.24	7.37

Tabel 6.4 Pengukuran arus listrik pada sistem

waktu (jam)	6V			9V			12V		
	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm	5x5 cm	5x10 cm	5x2,5 cm
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	4,5	1,8	8,3	8,6	2,9	0,7	5	5,4	1,6
24	7,4	2,2	8,3	7,4	6,4	1	6,4	5	1,5
36	5,8	2	7,6	7,5	3	0,6	6,6	3,7	1,3
48	4,4	1,7	1	8,2	5,8	0,8	6,5	2,9	1,2
60	2,1	1,5	0,8	8,3	5,1	0,8	6,9	2,4	1,1
72	1,7	1,3	0,6	9,6	6,3	1,1	7	1,2	0,6

Tabel 6.5 Efisiensi Energi Pada Ukuran Elektroda 5x2,5 cm

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	6V	9V	12V
0	0.00	0.00	0.00
12	23.90	0.74	11.35
24	47.81	1.87	21.28
36	-82.08	1.75	10.06
48	-14.40	2.43	12.38
60	-	7.48	19.50
72	12.96	10.69	12.77

Tabel 6.6 Efisiensi Energi Pada Ukuran Elektroda 5x5 cm

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	6V	9V	12V
0	0.00	0.00	0.00
12	10.80	46.44	36.00
24	35.52	15.98	16.76
36	13.92	13.50	16.77
48	14.08	16.87	19.71
60	4.20	18.68	22.58
72	3.67	23.93	27.49

Tabel 6.7 Efisiensi Energi Pada Ukuran Elektroda 5x10 cm

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	6V	9V	12V
0	0.00	0.00	0.00
12	24.88	31.32	16.33
24	-30.41	34.56	9.75
36	-11.85	8.10	10.17
48	-15.67	19.27	7.46
60	-34.56	15.30	5.58
72	53.91	22.68	2.98

Tabel 6.8 Efisiensi Energi Pada Penggunaan Tegangan 6V

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm
0	0.00	0.00	0.00
12	23.90	10.80	24.88
24	47.81	35.52	-30.41
36	-82.08	13.92	-11.85
48	-14.40	14.08	-15.67
60	-	4.20	-34.56
72	12.96	3.67	53.91

Tabel 6.9 Efisiensi Energi Pada Penggunaan Tegangan 9V

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm
0	0.00	0.00	0.00
12	0.74	46.44	31.32
24	1.87	15.98	34.56
36	1.75	13.50	8.10
48	2.43	16.87	19.27
60	7.48	18.68	15.30
72	10.69	23.93	22.68

Tabel 6.10 Efisiensi Energi Pada Penggunaan Tegangan 12V

waktu (jam)	efisiensi energi (kWh/m ³ /%removal)		
	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm
0	0.00	0.00	0.00
12	11.35	36.00	16.33
24	21.28	16.76	9.75
36	10.06	16.77	10.17
48	12.38	19.71	7.46
60	19.50	22.58	5.58
72	12.77	27.49	2.98

Uji ANOVA

- **Parameter TDS**

Tabel 6.8 Hasil Uji Anova Terhadap Parameter TDS

SUMMARY	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm	Total		
6						
Count	7	7	7	21		
Sum	3	62	-8.29167	56.70833		
Average	0.428571	8.857143	-1.18452	2.700397		
Variance	3.869048	59.14286	3.265398	40.23895		
9						
Count	7	7	7	21		
Sum	59.88889	101	66	226.8889		
Average	8.555556	14.42857	9.428571	10.80423		
Variance	22.29218	110.619	59.28571	64.68877		
12						
Count	7	7	7	21		

SUMMARY	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm	Total		
Sum	23.35025	93	123.3333	239.6836		
Average	3.335751	13.28571	17.61905	11.4135		
Variance	4.282266	84.57143	163.6432	113.2915		
<i>Total</i>						
Count	21	21	21			
Sum	86.23914	256	181.0417			
Average	4.106626	12.19048	8.621032			
Variance	21.00341	82.3619	130.0762			
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	993.7313	2	496.8656	8.751552	0.00051	3.168246
Columns	689.286	2	344.643	6.070376	0.004188	3.168246
Interaction	609.2713	4	152.3178	2.682853	0.04102	2.542918
Within	3065.827	54	56.77458			
Total	5358.116	62				

- **Parameter salinitas**

Tabel 6.9 Hasil Uji Anova Terhadap Parameter Salinitas

SUMMARY	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm	Total		
6						
Count	7	7	7	21		
Sum	2	74	-5.52764	70.47236		
Average	0.285714	10.57143	-0.78966	3.355827		
Variance	4.461056	56.95238	7.802626	48.30127		
9						
Count	7	7	7	21		
Sum	60.4188	99	68	227.4188		

SUMMARY	5x2,5cm	5x5cm	5x10cm	Total		
Average	8.631258	14.14286	9.714286	10.82947		
Variance	23.98009	128.1429	61.57143	70.07732		
12						
Count	7	7	7	21		
Sum	20.68966	95	127.5229	243.2126		
Average	2.955665	13.57143	18.21756	11.58155		
Variance	3.801759	86.95238	178.837	123.7181		
Total						
Count	21	21	21			
Sum	83.10846	268	189.9953			
Average	3.957546	12.7619	9.047395			
Variance	22.38826	84.19048	137.9198			
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	868.5844	2	434.2922	7.074423	0.001867	3.168246
Columns	820.5462	2	410.2731	6.683163	0.002551	3.168246
Interaction	706.3782	4	176.5945	2.876645	0.031193	2.542918
Within	3315.009	54	61.38906			
Total	5710.518	62				

LAMPIRAN B

LAMPIRAN ANALISIS LABORATORIUM

TDS

- Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades
- Mencelupkan alat ion-pH lab yang sebelumnya sudah di *setting* untuk mengukur TDS
- Hasil pengukuran tercatat setelah tanda '☺' muncul pada alat

SALINITAS

- Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades
- Mencelupkan alat ion-pH lab yang sebelumnya sudah di *setting* untuk mengukur salinitas
- Hasil pengukuran tercatat setelah tanda '☺' muncul pada alat

pH

- Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- Membersihkan ujung alat pH meter dengan aquades dan tissue
- Mencelupkan alat ke dalam sampel

LAMPIRAN C PERATURAN



Lampiran
Peraturan Menteri Kesehatan
Nomor : 492/Menkes/Per/IV/2010
Tanggal : 19 April 2010

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

I. PARAMETER WAJIB

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO ₂ ⁻)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃ ⁻)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Keadahan	mg/l	500
	4) Klorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5



KEPADA YUASA
 KEMENTERIAN KESEHATAN
 REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
7)	Seng	mg/l	3
8)	Sulfat	mg/l	250
9)	Tembaga	mg/l	2
10)	Antonia	mg/l	1,5

II. PARAMETER TAMBAHAN

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1.	KIMIAWI		
a.	Bahan Anorganik		
	Air Raksa	mg/l	0,001
	Antimon	mg/l	0,02
	Barium	mg/l	0,7
	Boron	mg/l	0,5
	Molybdenum	mg/l	0,07
	Nikel	mg/l	0,07
	Sodium	mg/l	200
	Timbal	mg/l	0,01
	Uranium	mg/l	0,015
b.	Bahan Organik		
	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/l	10
	Deterjen	mg/l	0,05
	Chlorinated alkanes		
	Carbon tetrachloride	mg/l	0,004
	Dichloromethane	mg/l	0,02
	1,2-Dichloroethane	mg/l	0,05
	Chlorinated ethenes		
	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,05
	Trichloroethene	mg/l	0,02
	Tetrachloroethene	mg/l	0,04
	Aromatic hydrocarbons		
	Benzene	mg/l	0,01
	Toluene	mg/l	0,7
	Xylenes	mg/l	0,5
	Ethylbenzene	mg/l	0,3
	Styrene	mg/l	0,02
	Chlorinated benzenes		
	1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB)	mg/l	1
	1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB)	mg/l	0,3
	Lain-lain		
	Di(2-ethylhexyl)phthalate	mg/l	0,008
	Acrylamide	mg/l	0,0005
	Epichlorohydrin	mg/l	0,0004
	Hexachlorocyclopentadiene	mg/l	0,0005



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	mg/l	0,6
	Nitritacetic acid (NTA)	mg/l	0,2
c.	Pestisida		
	Alachlor	mg/l	0,02
	Aldicarb	mg/l	0,01
	Aldrin dan dieldrin	mg/l	0,00003
	Atrazine	mg/l	0,002
	Carbofuran	mg/l	0,007
	Chlordane	mg/l	0,0002
	Chlorotoluron	mg/l	0,03
	DDT	mg/l	0,001
	1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	mg/l	0,001
	2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)	mg/l	0,03
	1,2-Dichloropropane	mg/l	0,04
	Isoproturon	mg/l	0,009
	Lindane	mg/l	0,002
	MCPA	mg/l	0,002
	Methoxychlor	mg/l	0,02
	Metolachlor	mg/l	0,01
	Molinate	mg/l	0,006
	Pendimethalin	mg/l	0,02
	Permethrin	mg/l	0,3
	Simazine	mg/l	0,002
	Trifluralin	mg/l	0,02
	Chlorophenoxy herbicides selain 2,4-D dan MCPA		
	2,4-DB	mg/l	0,090
	Dichlorprop	mg/l	0,10
	Fenoprop	mg/l	0,009
	Mecoprop	mg/l	0,001
	2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	mg/l	0,009
d.	Desinfektan dan Hasil Sampingannya		
	Desinfektan		
	Chlorine	mg/l	5
	Hasil sampingan		
	Bromate	mg/l	0,01
	Chlorate	mg/l	0,7
	Chlorite	mg/l	0,7
	Chlorophenols		
	2,4,6-Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	mg/l	0,2
	Bromoform	mg/l	0,1
	Dibromochloromethane (DBCM)	mg/l	0,1
	Bromdichloromethane (BDCM)	mg/l	0,06
	Chloroform	mg/l	0,3



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	Chlorinated acetic acids		
	Dichloroacetic acid	mg/l	0,05
	Trichloroacetic acid	mg/l	0,02
	Chloral hydrate		
	Halogenated acetonitriles		
	Dichloroacetonitrile	mg/l	0,02
	Dibromoacetonitrile	mg/l	0,07
	Cyanogen chloride (sebagai CN)	mg/l	0,07
2.	RADIOAKTIFITAS		
	Gross alpha activity	Bq/l	0,1
	Gross beta activity	Bq/l	1

MENTERI KESEHATAN,

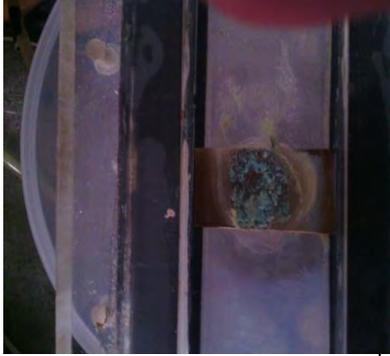
td

dr. Endang Rabayu Sedyaningsih, MPH, Dr. PH

LAMPIRAN D
DOKUMENTASI PENELITIAN

NO	GAMBAR	KETERANGAN
1		pH ion lab yang digunakan untuk menganalisis parameter TDS dan salinitas sampel
2		AVO meter yang digunakan untuk mengukur arus saat proses berlangsung setiap 12jam sekali selama 72 jam

NO	GAMBAR	KETERANGAN
3		<p>Reaktor elektrodialisis dengan 7 buah kompartemen dan inlet berada dibagian bawah</p>
4		<p>Reaktor elektrodialisis setelah dirakit dengan masing-masing bak berisi air sampel, aquades, dan larutan buffer fosfat</p>

NO	GAMBAR	KETERANGAN
5		<p>Penampang permukaan elektroda tembaga setelah mengalami proses reduksi</p>
6		<p>Penampang permukaan elektroda <i>stainless steel</i> setelah mengalami oksidasi, terdapat endapan berwarna biru muda</p>

NO	GAMBAR	KETERANGAN
7		<p>Larutan buffer pada kompartemen anoda berubah warna menjadi kuning akibat peluruhan pada <i>stainless steel</i></p>
8		<p>Terdapat gelembung gas pada elektroda</p>
9		<p>pH meter yang digunakan untuk analisis pH</p>

NO	GAMBAR	KETERANGAN
10		Water bath yang digunakan untuk <i>preconditioning</i> membran

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan putri kedua dari pasangan Achmad Rasidy dan Almh. Sri Astutik, lahir di Sumenep tanggal 8 Juli 1992. Penulis menjalani masa sekolahnya di TK Wijaya Kusuma Sumenep, kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah dasar di SDN Pajagalan II Sumenep. Tahun 2005 melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Sumenep. Kemudian tahun 2008 melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas yaitu SMAN 1 Sumenep yang merupakan salah satu sekolah unggulan di Kota Sumenep. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Teknik Lingkungan ITS dengan jalur SNMPTN Undangan. Selama di bangku kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan kampus, dari kegiatan jurusan maupun fakultas. Penulis menjadi anggota Departemen Kesejahteraan Mahasiswa BEM FTSP-ITS periode 2012/2013. Kemudian periode berikutnya, penulis diberi amanah menjalankan tanggungjawab sebagai anggota Departemen Kesejahteraan Mahasiswa di HMTL-ITS. Penulis mengikuti beberapa program kerja di tingkat jurusan maupun fakultas, program kerja tingkat jurusan diantaranya Kampung Binaan 2011-2012 dan 2012-2013. Selain itu penulis juga mengikuti kegiatan fakultas yaitu acara pembagian sarapan dan cek kesehatan gratis yang diadakan oleh BEM FTSP-ITS tahun 2011-2012 dan 2012-2013. Penulis mengikuti kerja praktik di PDAM KarangPilang I Surabaya dengan topik mengenai evaluasi kinerja unit pengolahan air minum di KarangPilang I Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email: endyhati@yahoo.com.