



TESIS - RE 092314

PENGOLAHAN AIR PAYAU MENGGUNAKAN ELEKTRODIALISIS DAN OZON

ULVI PRI ASTUTI

3312 201 903

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. WAHYONO HADI, MSc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



TESIS - RE 092314

PENGOLAHAN AIR PAYAU MENGGUNAKAN ELEKTRODIALISIS DAN OZON

ULVI PRI ASTUTI

3312 201 903

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. WAHYONO HADI, MSc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



TESIS - RE 092314

BRACKISH TREATMENT USING ELECTRODIALYSIS AND OZONE

ULVI PRI ASTUTI
3312 201 903

SUPERVISOR

Prof. Ir. WAHYONO HADI, MSc., Ph.D.

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2014



TESIS - RE 092314

BRACKISH TREATMENT USING ELECTRODIALYSIS AND OZONE

ULVI PRI ASTUTI

3312 201 903

SUPERVISOR

Prof. Ir. WAHYONO HADI, MSc., Ph.D.

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2014

PENGOLAHAN AIR PAYAU MENGGUNAKAN ELEKTRODIALISIS DAN OZON

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ULVI PRI ASTUTI
3312 201 903

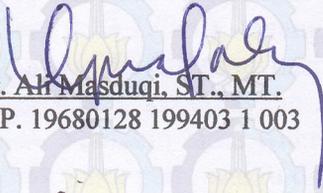
Tanggal Ujian : Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui Oleh



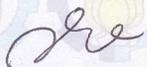
1. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D
NIP. 19500114 197903 1 001

(Pembimbing)



2. Dr. AH Masduqi, ST., MT.
NIP. 19680128 199403 1 003

(Penguji)



3. Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D
NIP. 19770209 200312 2 001

(Penguji)



4. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 196404051990021001

PENGOLAHAN AIR PAYAU MENGGUNAKAN ELEKTRODIALISIS DAN OZON

Nama : Ulvi Pri Astuti
NRP : 3312.201.903
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Wahyono Hadi, MSc., PhD

ABSTRAK

Kelangkaan ketersediaan air bersih atau air minum pada daerah pesisir Indonesia disebabkan oleh sumber air tanah yang terintrusi air laut. Teknik desalinasi yang banyak digunakan oleh negara maju yang mengalami kelangkaan air bersih adalah teknologi reverse osmosis dan evaporasi. Akan tetapi karena biaya investasi *Reverse Osmosis* (RO) yang tinggi, maka ditawarkan alternatif teknologi yang hampir sama dengan RO tapi biaya investasi dan operasionalnya lebih rendah yaitu *Electrodialysis* (ED). ED berfungsi untuk menghilangkan *Total Dissolved Solid* (TDS) yang tinggi dalam air payau. Akan tetapi ED tidak difungsikan untuk menghilangkan mikroorganisme yang terdapat di air payau sehingga ditambahkan pengolahan menggunakan ozon sebagai desinfektan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh waktu detensi pada reaktor ED terhadap kualitas air produk, pengaruh tegangan terhadap kualitas air dalam proses ED, serta efektivitas ED dan Ozon dalam mengolah air payau.

Dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yaitu variabel debit dalam ED (0,67 L/jam, 0,17 L/jam, dan 0,13 L/jam), tegangan (6, 9, dan 12 V), dan waktu pemaparan ozon (5 menit dan $Q_{reaktor}$). Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data menggunakan *ANOVA Two Way* pada selang kepercayaan 5%, waktu detensi dalam ED memberikan pengaruh yang signifikan. Semakin lama waktu detensinya maka menghasilkan kualitas air produk yang paling baik yaitu pada waktu detensi 38 jam dengan persentase removal TDS sebesar 35,68%, Salinitas 36,65%, dan Klorida sebesar 34,75%. Tegangan tidak memberikan pengaruh dalam penelitian, didapatkan tegangan yang menghasilkan kualitas air produk terbaik adalah tegangan 6V. Efektivitas ED dan ozon dilihat dari variasi yang menghasilkan kualitas air terbaik dan konsumsi energinya tidak terlalu besar, sehingga didapatkan variasi yang efektif dalam penelitian ini adalah variasi waktu detensi 38 jam pada tegangan 6 V dan lama waktu pemaparan ozon yaitu selama 5 menit dengan total konsumsi energi yang dikeluarkan adalah 0,1 kWh/L.

Kata kunci : *Desalinasi, Electrodialysis (ED), Ozon*

DESIGN OF ZONA AIR MINUM PRIMA (ZAMP) PDAM OF MALANG CITY IN BLIMBING DISTRICT

Student Name : Bariqul Haq
NRP : 3310 100 071
Department : Environmental Engineering FTSP-ITS
Lecturer : Dr. Ali Masduqi, ST., MT

Abstract

Zona Air Minum Prima (ZAMP) is a special zone designated by PDAM of Malang city as zone drinking water. ZAMP is CATNIP's program (Certification and Training for Network Improvement Project) collaboration between Persatuan Perusahaan Air Minum Seluruh Indonesia (PERPAMSI) and US-AID which aims to improve the quality of drinking water through a training and certification program. In 2011 PDAM of Malang city already has 4 ZAMP namely, housing of Pondok Indah Blimbing's zone(2014 SR), Mojolangu's zone (19.517 SR), Tlogomas's zone (22.251 SR) and Buring's zone (9.628). This planning will be undertaken on the development of new ZAMP located in Blimbing District, Malang City.

Zona Air Minum Prima (ZAMP) planning and design PDAM of Malang City in Blimbing District with planned District Meters Area or DMA II.2 and DMA II. 10, with number of service reach 500 SR each DMA. Analysis of planning Zona Air Minum Prima (ZAMP) PDAM of Malang City in Blimbing District using the program EPANET 2.0 for easy in normal use. Besides kinds of analysese about quality, quantity and continuity drinking water are distributed.

The quality of water in dma monitored by external and internal conducted at regular intervals.The quality of being importened in planning these are stills chlorine guarded minimal 0.2 mg / l to fulfill the parameter of quality of drinking water.

Keywords : Zona Air Minum Prima (ZAMP), PDAM of Malang City, Blimbing District

KATA PENGANTAR

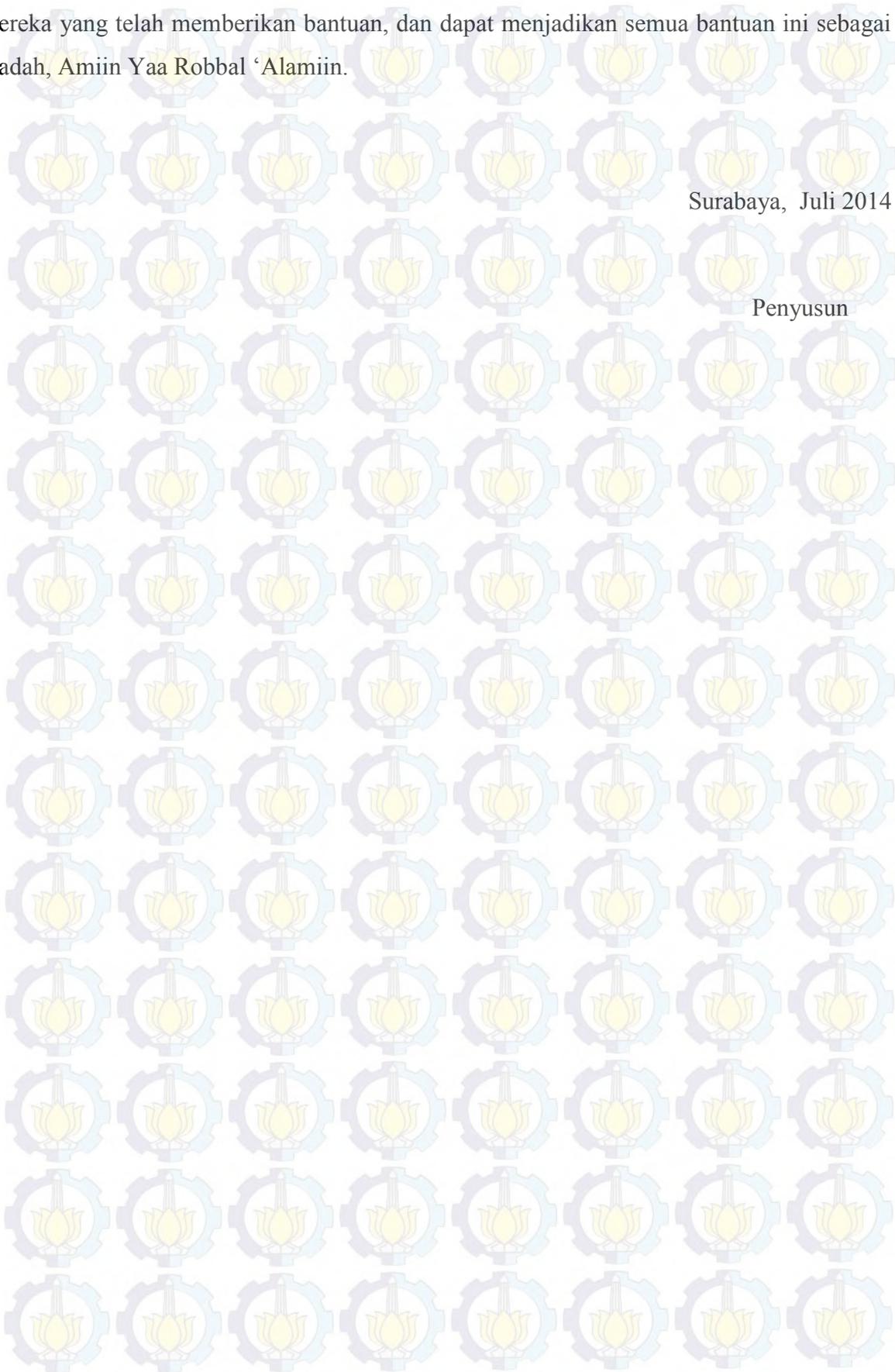
Alhamdulillah Robbil ‘alamin, puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT., serta salawat dan salam penyusun sampaikan kepada Nabi besar Muhammad saw. Berkat rahmat dan hidayahNya penyusun dapat menyelesaikan tesis dengan judul “*Pengolahan Air Payau menggunakan Elektrodialisis dan Ozon*”. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu dan Alm. Ayah yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan baik fisik, materi, dan rohani. Dek maya dan dek ukon yang menjadi motivasi penyusun untuk semakin maju.
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi MSc., Ph.D yang bersedia menjadi dosen pembimbing tesis dan banyak memberikan masukan dan arahan kepada penyusun.
3. Bapak Dr. Ali Masduqi, ST. MT, Ibu Bieby Voiyant Tangahu, ST. MT., Ph.D, Ibu Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D, dan Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D, selaku dosen penguji.
4. Keluarga Besar yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan selama ini kepada penyusun, khususnya Om Herman yang telah membantu menyediakan air baku bagi penyusun.
5. Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil., Ph.D yang telah memberikan saran dan masukan kepada penyusun dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. yang telah memberikan bantuan dana penelitian.
6. Keluarga besar HIMASRA (Arum, Silvina, Nuniek, Menik, Putri, Yuni, Mila, dan Wiwit) dan teman-teman *fasttrack* (Siti, Yevi, Dafit, Triyono, Tidung, Yudi), Santya yang selama ini memberikan dukungan, bantuan, dan menjadi “alarm” bagi penyusun.
7. Prof. Dr. Yulinah Trihadinigrum, MAppSc dan Prof. Ir. Joni Hermana MSc., PhD, selaku dosen pengajar mata kuliah Metodologi Penelitian tingkat Lanjut yang telah mengajarkan tata cara penulisan proposal tesis yang baik dan benar.
8. Teman-teman angkatan 2012, kakak-kakak senior, dan adik-adik yang banyak memberikan inspirasi dan nasihat bagi penyusun dalam menyelesaikan laporan tesis ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Allah memberikan imbalan yang setimpal pada mereka yang telah memberikan bantuan, dan dapat menjadikan semua bantuan ini sebagai ibadah, Amiin Yaa Robbal 'Alamiin.

Surabaya, Juli 2014

Penyusun



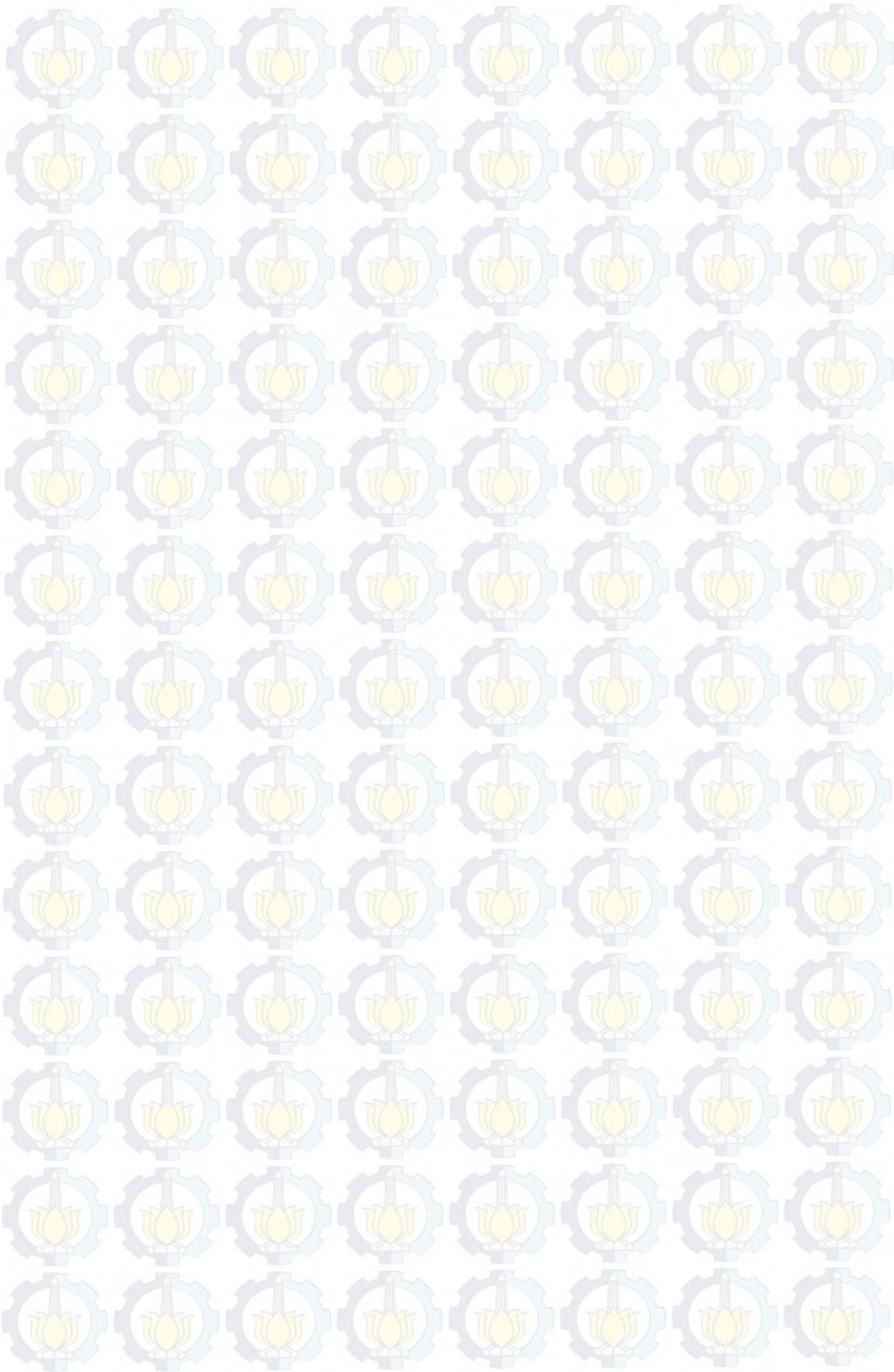
DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.3.1 Tujuan Penelitian	3
1.3.2 Manfaat Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kriteria Air Payau	5
2.2 Teknologi Desalinasi	5
2.3 Macam- macam Teknologi Desalinasi	6
2.4 Elektrodialisis (ED)	6
2.4.1 Prinsip Kerja ED	8
2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan ED	9
2.4.3 Komponen – komponen dalam ED	10
2.4.4 Aplikasi ED	12
2.5 Ozon	14
2.5.1 Proses Pembentukan Ozon	15
2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Ozon	17
2.5.3 Peranan Ozon	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Alat dan Bahan	19
3.1.1 Alat	19
3.1.2 Bahan	23
3.2 Pelaksanaan Penelitian	23
3.2.1 Variabel Penelitian	23
3.2.2 Persiapan Pelaksanaan	24
3.2.3 Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan	26
3.2.4 Pelaksanaan Penelitian Utama	27
3.3 Analisis Data	29
3.4 Kesimpulan dan Saran	30
BAB 4 HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Penelitian Pendahuluan	31
4.2 Pengaruh Waktu detensi pada Reaktor ED terhadap Kualitas Air Produk ...	33
4.2.1 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 6V	33
4.2.2 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 9V	34

4.2.3 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 12V	35
4.2.4 Perubahan pH pada reaktor ED	37
4.3 Pengaruh Tegangan terhadap Kualitas Air dalam Proses ED	39
4.3.1 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal TDS	39
4.3.2 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal Salinitas	40
4.3.3 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal Klorida	41
4.4 Efektivitas dari ED dan Ozon dalam Mengolah Air Payau	44
4.4.1 Efektivitas Ozon dalam Meremoval Total Koliform	44
4.4.2 Konsumsi Energi pada Proses ED dan Ozon	46
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN B	59
LAMPIRAN C	63
LAMPIRAN D	65

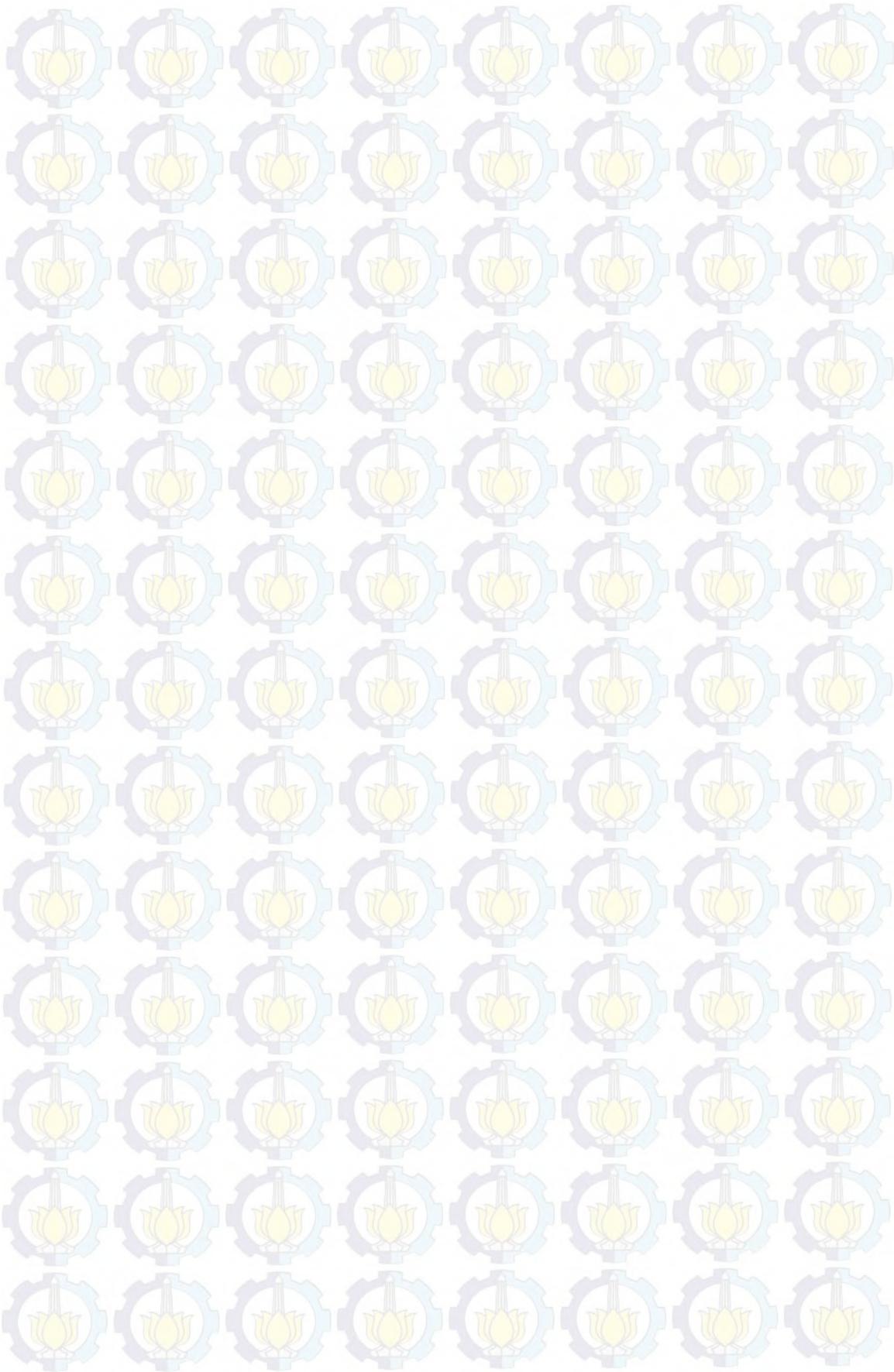
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Air Berdasarkan Kadar Cl	5
Tabel 2.2	Macam-macam Teknologi Desalinasi	6
Tabel 2.3	Penelitian- Penelitian mengenai ED	13
Tabel 2.4	Aplikasi ED di Beberapa Negara	14
Tabel 3.1	Metoda yang Digunakan untuk Analisa tiap Parameter	29
Tabel 4.1	Efektivitas Ozon dalam Meremoval Total Koliiform	45
Tabel 4.2	Persentase Removal Kualitas Air Produk di ED dan Konsumsi Energi yang Dikeluarkan	47
Tabel 4.3	Konsumsi Energi pada Proses ED dan Ozon	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Reaktor ED.....	7
Gambar 2.2 Rangkaian Reaktor Ozon dalam Pengolahan Air Minum dalam Kemasan.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Reaktor ED dan Ozon.....	21
Gambar 3.3 Pemasangan Reaktor ED.....	25
Gambar 4.1 Rangkaian Reaktor ED.....	31
Gambar 4.2 Kualitas Air Produk pada Penelitian Pendahuluan.....	32
Gambar 4.3 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 6V.....	33
Gambar 4.4 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 9V.....	34
Gambar 4.5 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 12V.....	36
Gambar 4.6 pH pada Kualitas Air Produk ED.....	37
Gambar 4.7 pH di Kompartemen ED.....	38
Gambar 4.8 Removal TDS pada outlet ED.....	40
Gambar 4.9 Removal Salinitas pada outlet ED.....	41
Gambar 4.10 Removal Klorida pada outlet ED.....	42
Gambar 4.11 Persentase Removal Total Koliform di Air baku.....	44
Gambar 4.12 Konsumsi Energi berdasarkan debit dan waktu pengoperasian ED.....	47



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki panjang pantai lebih dari 95.181 km dengan jumlah pulau sebesar 17.480 pulau, sehingga menjadi salah satu Negara kepulauan terbesar di dunia (Mukhtar, 2009). Daerah pesisir di Indonesia dikenal sebagai daerah miskin. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa 25,14% dari total penduduk miskin nasional bertempat tinggal di daerah pesisir (Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan RI, 2013). Selain dikenal sebagai daerah miskin, masyarakat pesisir umumnya mengalami kesulitan dalam mengakses air bersih.

Kesulitan dalam hal mengakses air bersih pada daerah pesisir disebabkan karena luasan daerah penyangga sedikit, sehingga terjadi intrusi air laut pada sumber air di daerah pesisir (Hernaningsih, 2007). Hal ini menyebabkan sumber air (air sumur/air tanah) menjadi payau. Dalam hal mengatasi permasalahan tersebut, masyarakat biasanya menampung air hujan atau mengambil air dari tempat lain yang jaraknya cukup jauh, bahkan ada yang membeli air untuk memenuhi kebutuhan mereka (Indriatmoko, 2005).

Kondisi yang sama juga terjadi di beberapa daerah pesisir di negara maju. Akan tetapi berbagai daerah maju telah menerapkan teknologi desalinasi dalam hal pemenuhan kebutuhan air bersih. Negara-negara yang telah menerapkan sistem ini contohnya adalah negara Amerika Serikat (el Paso dan Texas), Uni Emirat Arab, Inggris, Israel, Trinidad, Cyprus, dan beberapa negara lainnya (Badan Lingkungan Hidup, 2012). Teknologi yang paling banyak digunakan adalah teknologi *Reverse Osmosis* (RO) yaitu sebesar 32% (Eltawil *et al.*, 2009).

Teknologi RO dikenal sebagai salah satu teknologi yang paling efektif dalam mengolah air laut/air payau menjadi air tawar. Hal ini dikarenakan dalam proses pengolahan RO menggunakan membran *reverse* yang dapat menurunkan kadar garam hingga 88-95% (Said, 2003). Akan tetapi karena RO membutuhkan energi yang tinggi dan biaya investasi serta operasional yang cukup besar

sehingga kurang sesuai untuk masyarakat pesisir yang rata-rata berpenghasilan rendah. Teknologi yang hampir sama dengan prinsip RO adalah teknologi elektrodialisis (ED). Kedua teknologi ini merupakan teknologi yang cukup bersaing karena sama-sama menggunakan membran dalam prosesnya (Eltawil *et al.*, 2009).

Kelebihan ED dibandingkan dengan RO dalam hal tekanan, penggunaan membran, dan biaya investasinya. Tekanan yang dibutuhkan ED lebih rendah daripada RO dan kemampuan membrannya lebih tahan lama dibandingkan RO karena proses ED dapat meminimalkan terjadinya *fouling* pada membran. Selain itu, biaya investasi dan operasional tidak sebesar RO dikarenakan penggunaan bahan kimia pada *pre-treatment* lebih sedikit dan energi yang digunakan adalah energi listrik. Akan tetapi, kelemahan dari ED adalah masih memerlukan proses tambahan untuk menghilangkan mikroorganisme (Jurenka, 2010). Oleh karena itu, dalam penelitian ini penggunaan ED dalam proses pengolahan air payau menjadi air tawar akan dikombinasikan dengan teknologi tambahan.

Gas ozon (O_3) merupakan salah satu desinfektan yang mampu membunuh semua mikroorganisme, seperti bakteri, virus, dan jamur. Ozon merupakan bahan pengoksidasi yang sangat kuat kedua setelah fluorin. Apabila dibandingkan dengan klorin, kekuatan ozon mencapai 3250 kali lebih cepat serta 50% lebih kuat tenaga oksidatifnya (Patel, 2001 dalam Purwadi *et al.*, 2003). Ozon juga mampu mendegradasi senyawa-senyawa organik (termasuk senyawa organo klorida dan aromatik), menghilangkan warna, bau, dan rasa (Bismo *et al.*, 2008). Selain itu, ozon merupakan teknologi yang ramah lingkungan karena ketika sebelum atau setelah bereaksi dengan unsur lain, ozon akan menghasilkan oksigen (O_2) (Purwadi *et al.*, 2003). Efektivitas desinfeksi tergantung pada kerentanan dari organisme target, waktu pemaparan, dan konsentrasi ozon (Solomon *et al.*, 1998). Dalam penelitian ini, yang akan menjadi variasi untuk variabel ozon adalah waktu pemaparan ozon. Selain itu, akan dilakukan analisis efektivitas ED dan ozon dalam mengolah air payau. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel debit, voltase/tegangan, dan waktu pemaparan ozon.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh lamanya waktu detensi dalam reaktor ED terhadap kualitas air produk ?
2. Bagaimanakah pengaruh tegangan terhadap kualitas air produk dalam proses ED ?
3. Bagaimanakah efektivitas dari ED dan Ozon dalam mengolah air payau ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh lamanya waktu detensi pada reaktor ED terhadap kualitas air produk.
2. Menganalisis pengaruh tegangan terhadap kualitas air dalam proses ED.
3. Menganalisis efektivitas dari ED dan Ozon dalam mengolah air payau.

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Menambah kebaruan pengetahuan dalam bidang desalinasi yaitu dengan adanya pengolahan air payau menggunakan ED dan Ozon.
2. Dapat menjadi salah satu alternatif pengolahan air payau menjadi air tawar bagi pemenuhan air bersih masyarakat pesisir.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Sampel air baku yang diambil berasal dari air sumur penduduk daerah pesisir Pulau Mandangin.
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.

3. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah pH, TDS, Salinitas, Klorida, dan Total Koliform
4. Kriteria efektivitas yang dimaksud dalam tujuan ketiga adalah variasi yang menghasilkan kualitas air produk yang paling baik akan tetapi konsumsi energinya tidak terlalu besar.
5. Membran yang digunakan terdapat dua jenis yaitu *Anion Exchange Membran* (AEM) dan *Cation Exchange Membran* (CEM). Membran AEM dan CEM terbuat dari kombinasi *gel polystyrene* dan *divinylbenzene*.
6. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 18 variasi, yaitu :
 - a. Q_1 pada ED, dengan variasi :
 - 1) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 7,42 jam)
 - 2) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 3) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 7,42 jam)
 - 4) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 5) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 7,42 jam)
 - 6) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)
 - b. Q_2 pada ED, dengan variasi :
 - 1) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 28,72 jam)
 - 2) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 3) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 28,72 jam)
 - 4) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 5) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 28,72 jam)
 - 6) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)
 - c. Q_3 pada ED, dengan variasi :
 - 1) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 38 jam)
 - 2) Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 3) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 38 jam)
 - 4) Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
 - 5) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 38 jam)
 - 6) Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kriteria Air Payau

Air laut dengan jumlah 97,5% dari air keseluruhan masih perlu dilakukan pengolahan agar dapat dikonsumsi. Namun, permasalahannya adalah kandungan garam terlarut menyebabkan diperlukannya pengolahan khusus sehingga air tersebut dapat dikonsumsi oleh masyarakat (Sisca, 2009). Berdasarkan kadar Cl⁻ yang terdapat pada air, air diklasifikasikan menjadi beberapa kriteria yang disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Air Berdasarkan Kadar Cl⁻

Kriteria Air	Kadar Cl ⁻ (mg/L)
Air Tawar	< 150
Air Tawar - Payau	150 – 300
Air Payau - Tawar	300 – 1000
Air Payau - Asin	1000 - 10.000
Air Asin	10.000 - 20.000
Air Hipersalin	> 20.000

Sumber : Stuyzand, 1989

2.2 Teknologi Desalinasi

Desalinasi adalah proses mengubah air laut menjadi air minum atau air bersih untuk masyarakat di daerah kering atau rawan air. Desalinasi telah banyak digunakan di seluruh dunia, sebagian besar menggunakan *reverse osmosis* (RO) dan beberapa menggunakan destilasi termal (Damerau, 2011).

Desalinasi skala besar biasanya menggunakan energi yang besar dan infrastruktur yang mahal untuk membuatnya dibandingkan menggunakan air tawar dari sungai atau air tanah. Di negara-negara Timur Tengah, energi yang besar tersebut dapat diatasi dengan besarnya cadangan minyak bumi. Seiring dengan kelangkaan air, mereka telah membangun konstruksi desalinasi. Pada

pertengahan 2007, desalinasi Timur Tengah telah memenuhi 75% dari kapasitas total dunia. *Plant* desalinasi yang terbesar di dunia adalah *plant* desalinasi Jebel Ali yang berada di Emirat Arab menggunakan *multistage flash distillation* dan menghasilkan 300 juta m³ air per tahun atau sekitar 2500 gallon (1 gallon US=3785 liter) air per detik. *Plant* desalinasi terbesar di Amerika berada di Tampa Bay Florida yang mendesalinasi 25 juta gallon (95000 m³) air per hari pada Desember 2007 (Sisca, 2009).

2.3 Macam- macam Teknologi Desalinasi

Teknologi desalinasi terdiri dari berbagai macam proses, secara ringkas macam-macam proses desalinasi terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Macam-macam Teknologi Desalinasi

No	Teknologi RES	Sumber Air yang Salin	Teknologi Desalinasi
1	Panas Matahari	Air Laut	Multiple Effect Boiling (MEB) Multi-stage Flash (MSF)
2	Photovoltaics	Air Laut Air Payau	Reverse Osmosis (RO) Reverse Osmosis (RO) Electrodialysis (ED)
3	Energi Angin	Air Laut Air Payau	Reverse Osmosis (RO) Mechanical Vapor Compression (MVC) Reverse Osmosis (RO)
4	Geothermal	Air Laut	Multiple Effect Boiling (MEB)

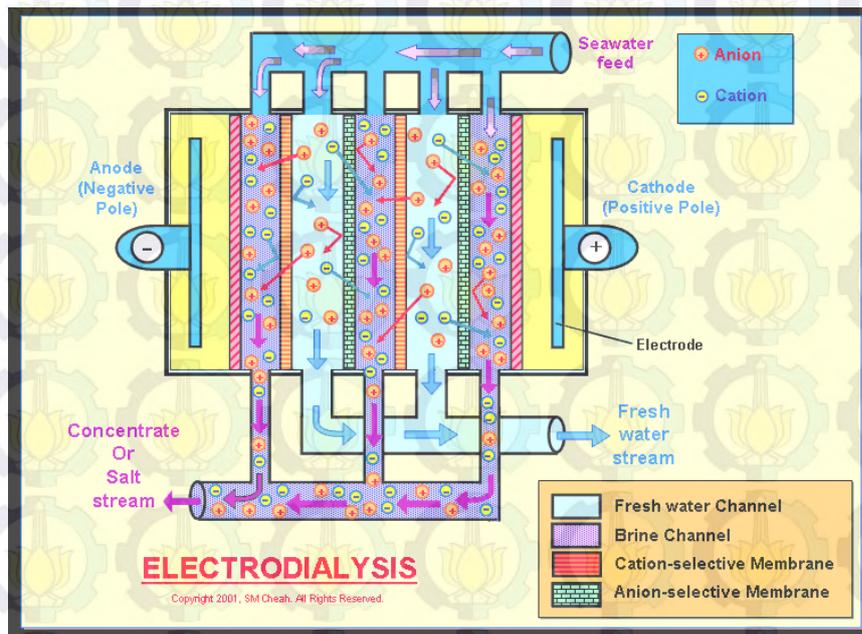
Sumber : Soteris, 2005

2.4 Elektrodialisis (ED)

ED melibatkan transportasi preferensial ion melalui pertukaran ion dengan menggunakan membran di bawah pengaruh medan listrik. ED biasanya digunakan untuk air yang salinitasnya sekitar 6 g /L padatan terlarut. Untuk perairan dengan konsentrasi garam yang relatif rendah (kurang dari 5 g / L). Konsentrasi air dengan salinitas rendah ED menjadi jauh lebih efektif daripada RO. Namun,

desalinasi air dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari padatan terlarut (30 g / L) juga dapat dilakukan dengan ED (Banasiak *et al.*, 2007).

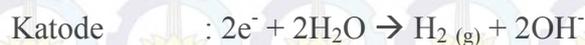
Komponen dasar penyusun sel elektrodialisis adalah 2 (dua) buah elektroda dan 4 (empat) buah membran penukar ion. Membran penukar kation diletakkan berdekatan dengan elektroda negatif (katoda) sedangkan membran penukar anion diletakkan berdekatan dengan elektroda positif (anoda). Sedangkan membran penukar ion yang lain diletakkan berselang seling. Sehingga sel tersebut terbagi menjadi 3 bagian (kompartemen) ditambah dengan dua kompartemen pencuci elektroda. Elektroda yang digunakan sebaiknya terbuat dari bahan yang bersifat konduktif namun bersifat inert sehingga tidak ikut berpartisipasi selama proses dijalankan. (Sutrisna, 2002). Contoh rangkain ED terdapat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rangkaian Reaktor ED (Cheikh *et al.*, 2013)

Elektrodialisis merupakan suatu proses pemisahan dengan menggunakan membran tukar kation, dimana ion berpindah dari larutan yang satu ke larutan yang lain melalui membran tersebut karena adanya perbedaan tegangan listrik. Proses tersebut berjalan dalam tempat yang dinamakan sel elektrodialisis. Dalam aplikasinya, metode elektrodialisis dapat dilaksanakan secara kontinyu maupun

batch. Dalam proses kontinyu, umpan dialirkan melalui sejumlah bilik secara seri guna menghasilkan produk seperti yang diinginkan. Dalam proses *batch*, diluat disirkulasi melalui sistem elektrodialisis sampai diperoleh produk final dengan kondisi tertentu yang diinginkan (Strathmann, 2004). Reaksi yang terjadi pada elektroda adalah sebagai berikut:



Di industri, teknik elektrodialisis banyak digunakan pada desalinasi air laut, produksi air minum, pemisahan air dari limbah, pre-demineralisasi untuk keperluan boiler, juga pada pabrik makanan dan minuman, misalnya untuk mengurangi rasa asam pada jus buah. Perkembangan lebih lanjut yaitu dengan menggunakan membran bipolar yang mempunyai keunggulan pada kualitas produk dan minimalisasi limbah. Untuk meningkatkan kualitas produk dilakukan pula dengan cara modeling.

2.4.1 Prinsip Kerja ED

Kinerja elektrodialisis ditentukan oleh beberapa parameter, diantaranya konstruksi susunan membran, bahan material elektroda, konsentrasi air influen dan effluen, selektivitas membrane, kecepatan aliran, densitas arus, tingkat recovery, dll (Lee *et al.* 2002; Banasiak *et al.*, 2007). Parameter-parameter ini terkadang dapat saling berlawanan dan mungkin akan berbeda untuk setiap aplikasinya, contoh: meningkatnya debit aliran dapat menurunkan waktu detensi air dalam susunan membrane, dengan begitu kondisi ini akan menurunkan jumlah garam yang bisa dihilangkan. Di sisi lain, meningkatnya debit aliran dapat meningkatkan densitas arus dan jumlah ion yang dapat dihilangkan. Elektrodialisis (ED) tersusun oleh multi sel yang ditempatkan secara parallel diantara dua elektroda. Setiap sel yang berbeda dipisahkan oleh membrane *ion exchange*, dan air influen akan diresirkulasi pada sel-sel tersebut. Pada sel yang lain, air akan terkonsentrasi dan didesalinasi.

Teknologi elektrodialisis menggunakan membran tukar ion, yaitu membran tukar anion dan kation yang bersifat permeabel berupa lembaran dari resin tukar ion atau dapat juga mengandung polimer untuk memperbaiki kekuatan mekanik dan fleksibilitas. Membran tersebut berbentuk jaringan *crosslinking* untuk menjaga agar tidak terjadi pelarutan bila digunakan dalam suatu larutan atau cairan. *Divinilbenzena* digunakan untuk membentuk *crosslink* pada rantai cabang polistirena. Derajat *crosslinking* dan densitas muatan tetap mempengaruhi karakteristik membran. Jika *crosslinking* tinggi, maka akan memperbaiki selektivitas dan stabilitas membran dengan mereduksi pembengkakan, tetapi menaikkan tahanan listrik. Jika densitas muatan tetapnya tinggi, maka akan menurunkan tahanan dan menaikkan selektivitas, tetapi berpengaruh terhadap pembengkakan sehingga memerlukan *crosslinking* yang lebih tinggi. Oleh karena itu diperlukan kesesuaian antara selektivitas, tahanan listrik dan stabilitas yaitu dengan mengatur *crosslinking* dan densitas muatan tetap (Strathmann, 2004).

2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan ED

Kelebihan dan kekurangan dari ED dibandingkan dengan RO menurut Strathman, (2004) dan Hetal, (2014) adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan ED

- Tingkat pemulihan air lebih baik, bahkan jika air baku mengandung kandungan sulfat tinggi.
- Membran dapat digunakan dalam jangka panjang karena memiliki stabilitas kimia dan mekanik tinggi (masa pakai membran hingga 7-10 tahun)
- Dapat dioperasikan hingga suhu 50°
- Membran dapat tahan dengan klorida dan pH tinggi.
- Prosesnya mudah disesuaikan dengan berbagai kualitas air baku.
- Mudah saat *start-up* dan *shut-down* jika digunakan sebentar.

2. Kekurangan ED

- Air produk yang dihasilkan masih terdapat kandungan virus dan bakteri

- Pada beberapa kompartemen pHnya bisa menjadi sangat ekstrim. Pada kompartemen asam, pHnya bisa mencapai 2, sedangkan pada kompartemen basa, pHnya bisa mencapai 11.
- Hanya dapat mengolah air baku dengan konsentrasi TDS maksimum sebesar 12.000 mg/L.

Menurut Valero *et al.* (2011), elektrodialisis dapat mengurangi *total dissolved solid* (TDS) yang tergantung pada muatan listrik dengan mentransfer ion-ion dalam air payau melalui pertukaran ion yang semipermeabel dengan memanfaatkan energy listrik. Dari perlakuan diatas maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Air produksi memiliki konsentrasi ion dan TDS rendah.
2. Air dengan konsentrasi ion yang sangat tinggi.
3. Larutan elektrolit, yang mana diresirkulasi terhadap kompartemen tempat elektroda yang berfungsi untuk menciptakan energi potensial listrik.

2.4.3 Komponen – komponen dalam ED

1. Membran Elektrodialisis

Membran elektrodialisis terbuat dari partikel polymer yang memiliki pori berukuran mikro. Partikel polymer yang digunakan dalam pembuatan membran pertukaran ion terbuat dari HSO_3^- yang baik untuk pertukaran kation (Na^+) pada kasus *cation exchange membrane*. Membran penukar anion yang meloloskan ion-ion bermuatan negatif dan menahan ion-ion bermuatan positif, dan membran penukar kation meloloskan ion-ion bermuatan positif dan menahan ion-ion bermuatan negatif (Redjeki, 2011).

Membran yang digunakan dalam ED terbagi atas dua tipe, yaitu (1) *cation Exchange Membrane* (CEM) yang melewatkan ion positif, (2) *Anion Exchange Membrane* (AEM) yang melewatkan ion negatif. Kedua membran tersebut memiliki hambatan listrik rendah, tidak larut dalam air, tahan terhadap pH (1-10), mudah penggantinya, 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. Elektroda

Riyanto (2013) menyatakan bahwa elektroda merupakan konduktor yang digunakan untuk mengalirkan arus listrik dalam sel elektrolisis. Elektroda yang digunakan dalam sel elektrolisis terdiri atas dua jenis yaitu elektroda inert dan elektroda tidak inert (aktif). Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi baik sebagai katoda maupun anoda, sehingga dalam sel elektrolisis yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut atau air sebagai pelarut. Contohnya karbon (C) dan platina (Pt). Sedangkan, elektroda aktif adalah elektroda yang ikut bereaksi, terutama jika digunakan sebagai anoda dapat mengalami reaksi oksidasi. Contohnya besi (Fe), aluminium (Al), tembaga (Cu), seng (Zn), perak (Ag), dan emas (Au). Berikut susunan lengkap deret volta :

Li-K-Ba-Sr-Ca-Na-Mg-Al-Mn-Zn-Cr-Fe-Cd-Co-Ni-Sn-Pb-H⁺-Cu-Hg-Ag-Pt-Au

Logam-logam yang terletak di sisi kiri H⁺ memiliki E^ored bertanda negatif. Semakin ke kiri, nilai E^ored semakin kecil (semakin negatif). Hal ini menandakan bahwa logam-logam tersebut semakin sulit mengalami reduksi dan cenderung mengalami oksidasi. Oleh sebab itu, kekuatan reduktor akan meningkat dari kanan ke kiri. Sebaliknya, logam-logam yang terletak di sisi kanan H⁺ memiliki E^ored bertanda positif. Semakin ke kanan, nilai E^ored semakin besar (semakin positif). Hal ini berarti bahwa logam-logam tersebut semakin mudah mengalami reduksi dan sulit mengalami oksidasi. Oleh sebab itu, kekuatan oksidator akan meningkat dari kiri ke kanan. Singkat kata, logam yang terletak disebelah kanan relatif terhadap logam lainnya, akan mengalami reduksi. Sementara, logam yang terletak di sebelah kiri relatif terhadap logam lainnya, akan mengalami oksidasi. Logam yang terletak

disebelah kiri relatif terhadap logam lainnya mampu mereduksi ion logam menjadi logam (mendesak ion dari larutannya menjadi logam). Sebaliknya, logam yang terletak di sebelah kanan relatif terhadap logam lainnya mampu mengoksidasi logam menjadi ion logam (melarutkan logam menjadi ion dalam larutannya).

Dari penjelasan tentang derat Volta di atas maka dapat dikatakan bahwa:

- Semakin ke kanan, semakin mudah direduksi dan sukar di oksidasi.
- Semakin ke kiri semakin mudah dioksidasi dan sukar direduksi.

3. Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ionnya. Zat yang jumlahnya lebih sedikit di dalam larutan disebut zat terlarut atau solut, sedangkan zat yang jumlahnya lebih banyak daripada zat-zat lain dalam larutan disebut pelarut atau solven. Komposisi zat terlarut dan pelarut dalam larutan dinyatakan dalam konsentrasi larutan, sedangkan proses pencampuran zat terlarut dan pelarut membentuk larutan disebut pelarutan atau solvasi. Larutan terdiri atas larutan non elektrolit dan larutan elektrolit.

Larutan elektrolit adalah larutan yang mudah menghantarkan listrik, sedangkan larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan listrik. Ion-ionnya merupakan atom-atom yang bermuatan elektrik seperti senyawa garam, asam, atau amfoter. Sehingga senyawa elektrolit merupakan senyawa dengan ikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit. Contoh garam dapur (NaCl) dalam bentuk larutan sistem aqueous dan lelehan dapat menjadi larutan elektrolit, namun dalam padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit (Riyanto, 2013).

2.4.4 Aplikasi ED

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 2.3.

Tabel 2.4 menjelaskan mengenai aplikasi ED yang telah digunakan di beberapa negara maju dan berkembang. ED banyak diaplikasi oleh industri untuk meremoval nitrat, mereduksi bromida, florida, serta meremoval TDS dan salinitas. ED juga dapat diaplikasi untuk mengolah logam berat yang terdapat dalam air limbah dengan prinsip pemisahan ion-ion dalam larutan.

Tabel 2.3 Penelitian- Penelitian mengenai ED

No	Nama	Tahun	Kajian
1	Sigit <i>et al</i>	2010	Konsentrasi pada uranium pada bilik umpan 1,344 g/L terjadi penurunan hingga 0,832 g/L atau sebesar 38,09 %, Tegangan yang digunakan 8 V dalam waktu 180 menit.
2	Farrel <i>et al</i>	2003	Pengaruh variasi tegangan (8V, 10V, 13V) terhadap konsentrasi NH ₄ Cl 1 M, penurunan tercepat hingga konsentrasi 0 M ditunjukkan pada tegangan 13 V dalam waktu 25 menit. Sedangkan untuk tegangan 8 V dalam waktu 68 menit. Total energi yang dibutuhkan dari ketiga tegangan yang digunakan adalah 722 kJ, 816 kJ dan 962 kJ
3	Sadrzadeh and Mohammadi	2007	Luas area membran 60x65 mm ² Pengaruh debit terhadap prosentase penurunan ion Na ⁺ dengan variasi tegangan, menunjukkan bahwa dengan debit 0,5 mL/detik menurunkan Na ⁺ hingga 100% dengan tegangan 9 V, pada tegangan 7 V dapat menurunkan hingga 75% dan pada tegangan 5V dapat menurunkan hingga 55%. Pengaruh debit terhadap prosentase penurunan ion Na ⁺ dengan variasi konsentrasi, menunjukkan bahwa dengan debit 0,5 mL/detik mampu menurunkan konsentrasi Na ⁺ hingga 100% dengan C ₀ = 10 ppm, pada C ₀ = 20 ppm dapat menurunkan hingga 70% dan pada C ₀ = 40 ppm dapat menurunkan hingga 50%.
4	Banasiak, Thomas, dan Andrea	2007	Penelitian ini dilakukan pada larutan air yang mengandung 5 dan 10 g/L NaCl untuk menentukan kondisi operasi optimum dari sistem ED dalam meremoval fluoride dan nitrat dari air payau. Dilakukan variasi NaCl yaitu pada 1, 5, 10, 20, 25, dan 35 g/L NaCl dan variasi tegangan 9V, 12V, dan 18V. Luas efektif membran yang digunakan adalah 56 cm ² . Tegangan yang efektif dalam penelitian ini adalah 12 V dengan removal nitrat dan fluoride mencapai (98-99)%

Sumber : Sigit *et al.*, 2010; Farrel *et al.*, 2003; Sadrzadeh dan Mohammadi, 2007; Banasiak, Thomas, dan Andrea, 2007.

Tabel 2.4 Aplikasi ED di Beberapa Negara

Lokasi	Negara	Aplikasi	Kapasitas Produksi (m ³ /hari)	Tahun	
EURODIA					
Montefano	Italy	Air Tanah	Removal nitrat	1.000	1991
Munchenbuschsee	Switzerl and	Air Tanah	Removal nitrat	1.200	1996
Kleylehof	Austria	Air Tanah	Removal nitrat	3.500	1997
GENERAL ELECTRIC WATER & PROCESS (fomerly ionics Inc)					
Abrera, BCN	SPAIN	Air Permukaan	Reduksi Bromida	200.000	2008
Magna, Utah	USA	Air Tanah	As, Reduksi Perklorate	22.728	2008
Sherman, Texas	USA	Air Permukaan	Reduksi Salinitas	27.700	1993-96-98
Suffolk, Virginia	USA	Air Tanah	Reduksi Florida	56.000	1990
Sarasota, Or	USA	Air Tanah	Kesadahan dan Reduksi TDS	45.420	1995
Maspalomas	SPAIN	Air Tanah	Reduksi Salinitas	37.000	1986
Barranco Seco, Canary Is.	SPAIN	Air Limbah	Reuse	26.000	2002
Bermuda WaterWorks	Bermuda	Air Tanah	Kesadahan dan Reduksi Nitrat	2.300	1989
Falconera, Valencia	SPAIN	Air Tanah	Reduksi Nitrat	16.000	2007
MEGA a.s.					
Sant Boi, BCN	SPAIN	Air Limbah	Reduksi Salinitas	55.296	2010
Dolni Rozinka	Czech Rep.	Pertambangan Uranium	Desalinasi Lumpur	1.752	2007
ZIAR nad HRONOM	Slovakia	Air Limbah	Desalinasi Lumpur	350	2003
Arak	Iran	Air Limbah	Menara Pendingin	4.800	2008 - 10
Alberta	Canada	Air Sumur	Desalinasi air sumur	40	2008

Sumber : Valero dan Ramon, 2011

2.5 Ozon

Ozon adalah oksidan kuat dan disinfektan kimia yang sangat kuat. Proses pengolahan ozon merupakan bagian integral dari operasi instalasi pengolahan air minum di lebih dari 3.000 instalasi air kota di seluruh dunia (Bruno dalam Bollyky, 2002). Negara-negara yang telah menerapkan pengolahan air

menggunakan ozon adalah London, Paris, Budapest, Kiev, Moskow dan Singapura (Bollyky, 2002). Dibandingkan dengan desinfektan konvensional seperti senyawa klor (klorin) atau kaporit yang umum digunakan untuk pengolahan air minum, ozon mempunyai beberapa kelebihan. Klorin misalnya, dapat menimbulkan bau yang tajam (bau kaporit). Selain itu desinfektan dengan klor (klorin) dapat menimbulkan dampak sampingan dengan terbentuknya senyawa trihalomethan (THMs) yang bersifat karsinogen. Sedangkan ozon selain tidak menimbulkan bau juga dapat membuat air menjadi lebih segar (Said, 2012).

Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi voltase, maka jumlah ozon yang terbentuk semakin banyak. Sebaliknya semakin kecil laju alir oksigen, maka ozon yang terbentuk semakin banyak. Jumlah ozon terbesar: 17,7216 mg/liter diperoleh. Pada saat voltase yang digunakan: 9350 volt dan laju alir oksigen: 1 liter/menit. Selain itu, semakin lama waktu ozonasi, maka jumlah ozon yang terbentuk cenderung semakin kecil (Syafarudin dan Novia, 2013).

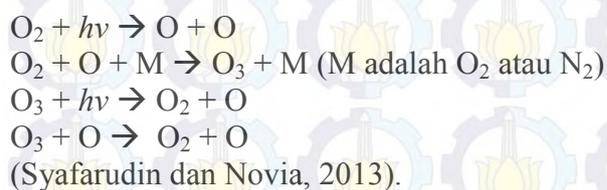
2.5.1 Proses Pembentukan Ozon

Molekul ozon merupakan bagian terkecil dari atmosfer bumi (hanya 0,03% dari seluruh total volume atmosfer) (Soenarmo dalam Slamet, 2005). Pada lapisan stratosfer, ozon berfungsi sebagai penyaring (filter) dan pelindung terhadap masuknya sinar ultraviolet dari matahari. Dengan adanya lapisan ozon, sinar ultraviolet yang masuk ke bumi menjadi berkurang jumlah dan intensitasnya, karena sinar ultraviolet dalam jumlah yang melebihi sangat membahayakan kehidupan makhluk hidup di bumi.

Secara alami ozon dapat terbentuk melalui radiasi sinar ultraviolet pancaran sinar matahari. Interaksinya dengan sinar UV merupakan hal terpenting dalam fungsinya sebagai perisai bumi. Ozon mudah menyerap sinar UV, terutama diantara 240-320 nm. Chapman (1930), menjelaskan bahwa sinar ultraviolet dari pancaran sinar matahari mampu menguraikan gas oksigen (O_2) di udara bebas.

Molekul oksigen tadi terurai menjadi dua buah atom oksigen (O^*), dimana proses ini dikenal dengan nama photolysis. Kemudian atom oksigen tersebut secara alami bertumbukan dengan molekul gas oksigen yang ada disekitarnya, sehingga terbentuklah ozon (O_3).

Ozon dapat menyerap radiasi sinar matahari pada panjang gelombang antara 240-340 nm dan terurai kembali menjadi satu gas oksigen (O_2) dan satu atom oksigen (O^*). Ozon dapat bereaksi dengan atom oksigen (O^*) untuk regenerasi dua molekul gas oksigen (O_2). Seperti yang disajikan dari reaksi dan gambar berikut :



Selain itu, Ozon juga dapat terbentuk melalui proses tumbukan. Proses ini dapat dilakukan dengan melewati gas oksigen (O_2) pada daerah yang dikenai tegangan tinggi. Molekul oksigen ini akan mengalami ionisasi, yaitu proses terlepasnya suatu atom atau molekul dari ikatannya, menjadi ion-ion oksigen (O^*). Molekul-molekul oksigen yang terionisasi ini biasa disebut dalam kondisi plasma. Jenis dari ion oksigen tersebut adalah O^* , O_2^* , O^+ , O_2^+ dan O_3^+ . Kombinasi dari kesemuanya dapat menghasilkan ozon. Pembuatan ozon dalam proses ini diawali dengan pembentukan oksigen radikal bebas dengan reaksi sebagai berikut:

Disosiasi :



Pengikatan Disosiatif



Ionisasi Disosiatif



Kemudian radikal oksigen bereaksi dengan oksigen menghasilkan ozon :

$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ (dimana M adalah N_2 atau O_2), (Bimo *et al.*, 2011).

2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Ozon

Berikut ini akan dijabarkan mengenai kelebihan dan kekurangan dari penerapan ozon menurut Solomon *et al.*, (1998), yaitu :

1. Kelebihan Ozon

- a. Ozon lebih efektif daripada klorin dalam menghancurkan virus dan bakteri.
- b. Proses ozonisasi memanfaatkan waktu detensi yang singkat (sekitar 10 sampai 30 menit).
- c. Tidak ada residu berbahaya yang perlu dihapus setelah ozonisasi karena ozon terurai dengan cepat.
- d. Setelah ozonisasi, tidak ada pertumbuhan kembali mikroorganisme, kecuali bagi mereka yang dilindungi oleh partikulat dalam aliran air limbah.
- e. Ozon dihasilkan *onsite*, sehingga ada sedikit masalah keamanan terkait dengan pengiriman dan penanganan.
- f. Ozonisasi mengangkat oksigen terlarut (DO) konsentrasi limbah. Kenaikan DO dapat menghilangkan kebutuhan untuk reaerasi dan juga meningkatkan tingkat DO dalam aliran penerima.

2. Kekurangan

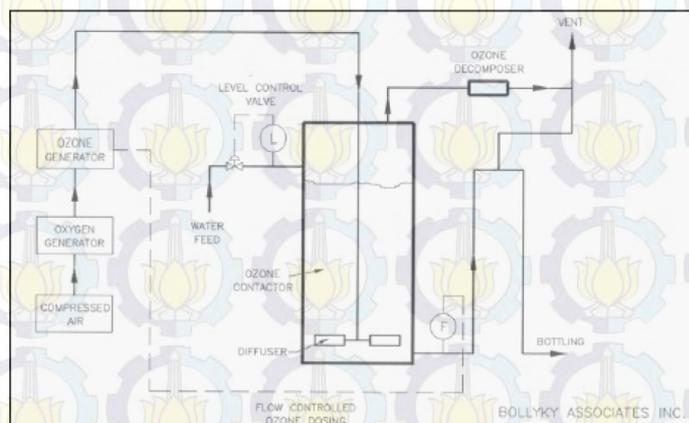
- a. Dalam dosis yang rendah, dimungkinkan tidak efektif dalam menonaktifkan beberapa virus, spora, dan kista.
- b. Ozon sangat reaktif dan korosif, sehingga membutuhkan bahan tahan korosi, seperti stainless steel.
- c. Ozonisasi tidak ekonomis untuk air limbah dengan tingkat tinggi padatan tersuspensi (SS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), kebutuhan oksigen kimia, atau total karbon organik.
- d. Biaya pengolahan relatif tinggi untuk kapasitas yang besar.

2.5.3 Peranan Ozon

Ozon dapat berperan mengatasi beberapa kontaminan berikut, yaitu :

1. Bakteri, termasuk bakteri besi. Bakteri *E. Coli* dapat mati ketika waktu detensinya \pm 1 menit.
2. Mineral-anorganik, pewarna dan lain-lain
3. Logam - Besi, Mangan dan banyak lainnya
4. Organik-warna, ganggang, dan senyawa karbon lainnya. Ganggang dapat mati dengan waktu detensi ozon selama 5 menit.
5. *Protozoa*, termasuk *Cryptosporidium*, *Giardia* dan *amoeba*
6. Virus
7. BOD & COD

Ozon cukup singkat tinggal di dalam air, hanya bertahan sekitar 20-30 menit pada suhu 20°C dan memiliki resiko tercemar lagi apabila setelah waktu tersebut ada kontaminan baru. Ketika ozon terpecah atau reaksi pembentukan dapat kembali dalam bentuk oksigen ($2O_3 \leftrightarrow 3O_2$). Dalam pembentukan ozon membutuhkan energi, pemecahan kembali dalam bentuk O_2 merupakan peristiwa pelepasan energi sebagai reaksi eksotermis yang setara dengan 68.800 kalori (Eagleton, 1999). Berikut ini contoh penerapan ozon pada proses pengolahan air minum dalam kemasan (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Rangkaian Reaktor Ozon dalam Pengolahan Air Minum dalam Kemasan (Bollyky, 2002)

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu detensi di reaktor ED, pengaruh tegangan terhadap waktu detensi dalam proses ED, dan keefektifan ED dan Ozon dalam mengolah air payau. Air payau yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sumur penduduk di Daerah Pesisir Mandangin. Berdasarkan permasalahan yang diuraikan pada Subbab 1.2, kemudian digali berbagai literatur yang berkaitan yang dapat menunjang penelitian. Setelah itu, dilakukan persiapan alat dan bahan, analisis data, dan diambil kesimpulan berdasarkan hasil penelitian. Dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yang akan diteliti, yaitu pengaruh variasi debit terhadap kualitas air produk, pengaruh variabel tegangan, serta variasi waktu detensi ozon dalam membunuh mikroorganisme. Diagram alir penelitian ini terdapat pada Gambar 3.1.

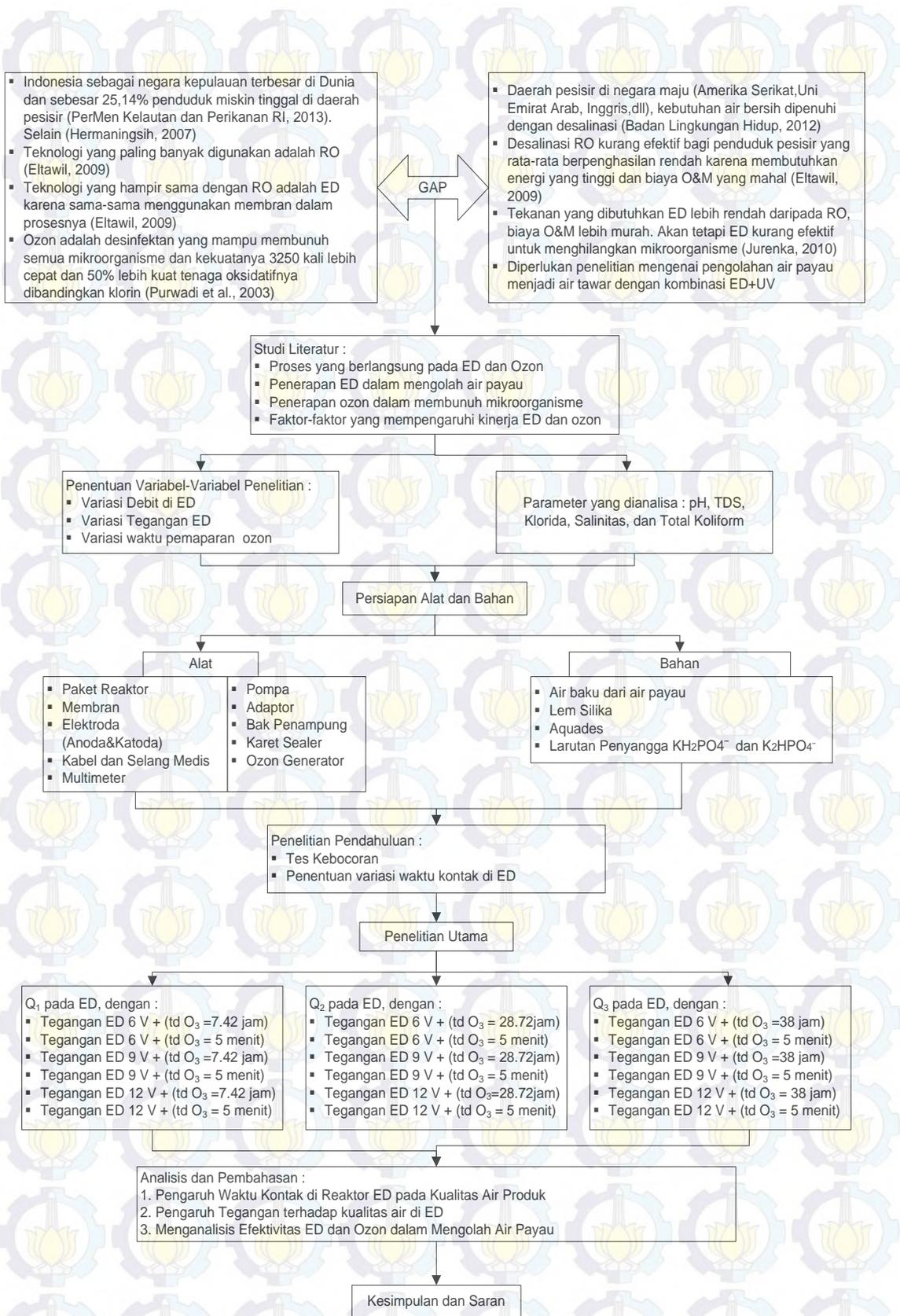
3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

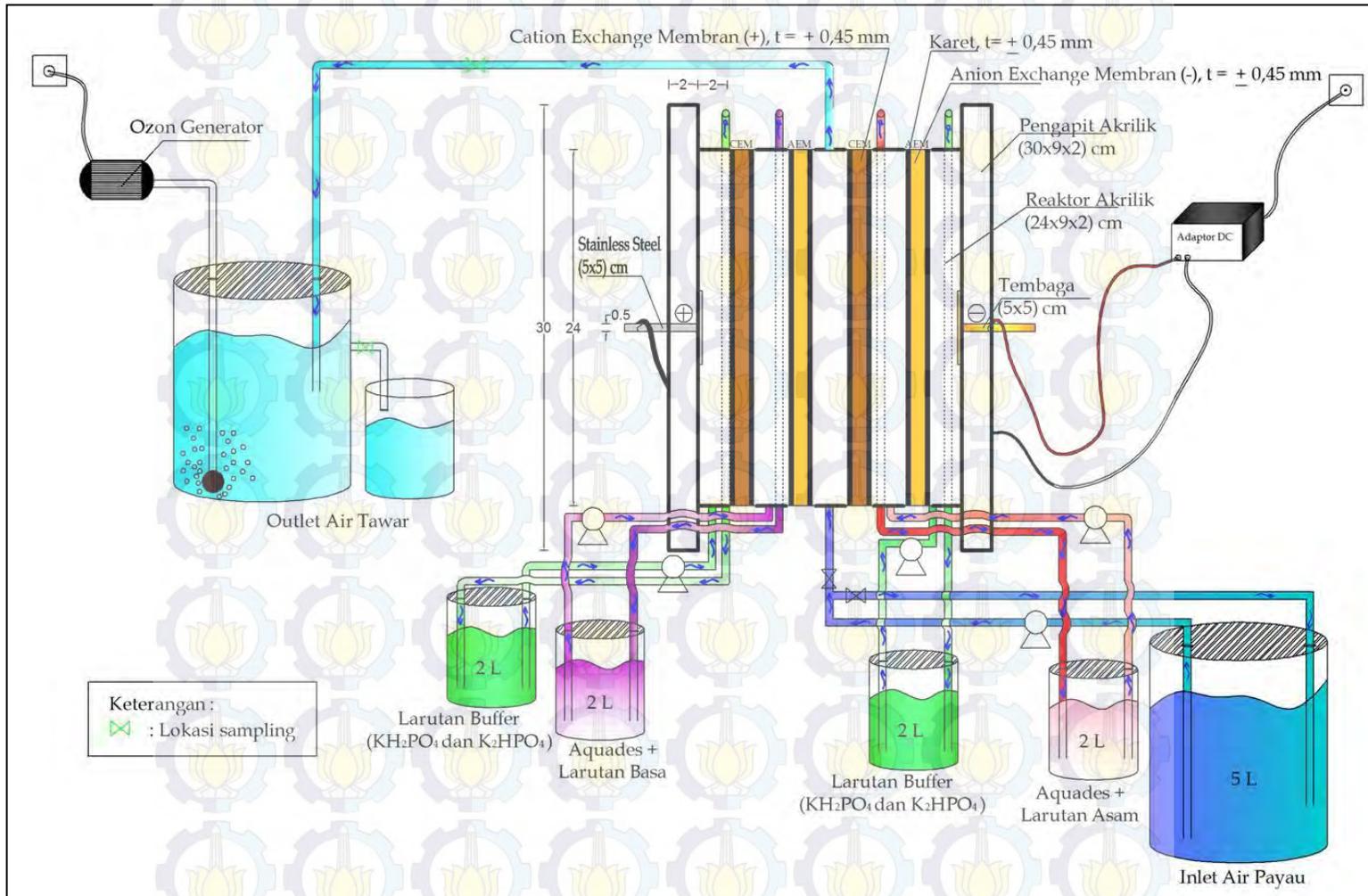
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Paket Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan akrilik. Hal ini dikarenakan akrilik merupakan bahan yang bersifat inert terhadap bahan kimia, stabil terhadap panas, tahan korosi, dapat direkatkan, dan dapat didesain berbagai bentuk (Mujiarto, 2005). Reaktor berbentuk persegi panjang dengan dimensi luar 24 cm x 9 cm x 2 cm, sedangkan dimensi dalam 20 cm x 5 cm x 2 cm. Reaktor didesain dengan sistem tertutup dalam skala laboratorium. Selain itu, terdapat pengapit reaktor yang terbuat dari akrilik dan berbentuk persegi panjang dengan dimensi 24 cm x 13 cm x 2 cm. pengapit ini terdapat pada bagian luar reaktor untuk menahan reaktor dan mengantisipasi kebocoran (Gambar 3.2).



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Reaktor ED dan Ozon

2. Membran

Membran yang digunakan ada dua, yaitu *cation exchange membrane* (CEM/ +) dan *anion exchange membrane* (AEM/-) dengan dimensi 24 cm x 9 cm. Spesifikasi bahan membran selengkapnya terdapat pada Lampiran C.

3. Pompa resirkulasi

Pompa berfungsi untuk memompa air baku ke dalam reaktor. Pompa yang digunakan adalah pompa submersible yang memiliki spesifikasi debit \pm 200 L/jam atau 0,003 mL/menit. Dalam penelitian ini, digunakan 5 buah pompa yaitu 3 buah pompa dengan debit 200 L/jam dan 2 buah pompa dengan debit 250 L/jam.

4. Adaptor

Adaptor yang digunakan adalah adaptor DC yang memiliki batas hingga 12 volt dan memiliki kekuatan arus sebesar 2 A. Adaptor berfungsi sebagai sumber aliran listrik pada proses ED.

5. Anoda dan Katoda

Elektroda terdiri dari anoda dan katoda. Bahan yang digunakan masing-masing adalah tembaga dan stainless steel dengan ukuran 5x5 cm. Stainless steel berfungsi sebagai katoda dan tembaga berfungsi sebagai anoda. Stainless steel dibuat dengan campuran besi, nikel, dan karbon, sehingga cukup efektif sebagai katoda.

6. Multimeter

Multimeter berfungsi untuk mengukur kuat arus (I) dan tegangan yang dialirkan

7. Kabel dan Selang Medis

Selang medis yang digunakan terbuat dari silikon yang tahan terhadap asam kuat dan basa kuat.

8. Tangki Reservoir

Tangki sebagai tempat penyimpanan air umpan dan sebagai bak resirkulasi. Dalam penelitian ini digunakan 5 buah tangki untuk ED dan 1 buah reaktor untuk ozon. 4 buah tangki dengan kapasitas 3 L dan 1 tangki

kapasitas 10 L dengan rangkaian terbuka, sementara untuk reaktor ozon dibuat dengan rangkaian tertutup.

9. Ozon Generator

Ozone Generator yang digunakan adalah Ozonizer dengan spesifikasi RESUN RSO25 series kapasitas 0,25g/jam.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Air Baku dari air payau

Air baku diambil dari air sumur di Pulau Mandangin dengan TDS 10.000 mg/L, kemudian diencerkan hingga range TDS 2.000 – 2.300 mg/L

2. Lem *Sealant*, berfungsi sebagai perekat antar kompartemen untuk menghindari kebocoran.

3. Aquades berfungsi sebagai *flushing*, sehingga ion-ion pada elektrolit pekat dapat diresirkulasi dengan bantuan aquades.

4. Larutan penyangga PO_4 berfungsi untuk menjaga pH dalam kompartemen elektroda tetap netral, sehingga elektroda tahan lama. Larutan penyangga yang digunakan terbuat dari pencampuran larutan KH_2PO_4 dan K_2HPO_4 .

3.2 Pelaksanaan Penelitian

3.2.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 aspek, yaitu :

1. Variabel Debit di ED

Variabel debit dalam penelitian ini digunakan untuk mempermudah dalam melakukan variasi waktu detensi. Hal ini dikarenakan proses ED dalam penelitian ini berlangsung secara kontinyu (tanpa adanya sirkulasi pada inlet atau outlet untuk mengolah air baku 5 L), sehingga jika ingin mengetahui pengaruh waktu detensi dalam reaktor ED dilakukan variasi debit. Variasi debit ditentukan dalam penelitian pendahuluan. Variasi yang dilakukan dalam penelitian pendahuluan disesuaikan dengan kapasitas

valve. Berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan didapatkan variasi debit yang digunakan adalah $Q_1 = 0,67$ L/jam, $Q_2 = 0,17$ L/jam, dan $Q_3 = 0,13$ L/jam.

2. Variabel Tegangan/ Voltase

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam ED salah satunya adalah tegangan.

Variasi tegangan yang digunakan adalah 6 V, 9 V, dan 12 V

3. Variabel Waktu Pemaparan Ozon

Variasi waktu pemaparan ozon ada dua yaitu lama kontak ozon sama dengan waktu detensi dalam ED (minimal waktu detensi selama 5 menit), sehingga ketika proses ED berlangsung, ozon juga dinyalakan. Sedangkan variasi yang kedua dilakukan dengan cara melubangi reaktor ozon berdasarkan tiga variasi debit yang ada dengan waktu detensi 5 menit untuk tiap variasi debit. Berdasarkan penelitian pendahuluan didapatkan variasi waktu pemaparan ozon adalah 7,42 jam, 28,72 jam, dan 38 jam.

3.2.2 Persiapan Pelaksanaan

Persiapan yang dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan serangkaian reaktor sebagaimana ditunjuk di Gambar 3.2 dan menyusunnya seperti rangkaian pada Gambar 3.3.
2. Melakukan *pre-conditioning* terhadap membran dengan cara merendamnya terlebih dahulu dengan konsentrasi NaCl 5% pada temperature 40°C selama 24 jam supaya mengalami ekspansi sehingga larutan elektrolit dapat melewati membran.
3. Melakukan uji kebocoran terhadap reaktor yang dipakai. Uji kebocoran dilakukan pada setiap kali reaktor dibongkar. Reaktor ED dalam penelitian ini dibongkar untuk setiap kali variasi untuk dilakukan pembersihan pada reaktor dan membran.



Gambar 3.3 Pemasangan Reaktor ED

3.2.3 Pelaksanaan Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk menentukan variasi debit yang akan digunakan dalam penelitian utama. Pada tahapan ini akan dilakukan uji coba variasi debit dalam reaktor ED dari waktu tercepat hingga terlama hingga didapatkan efisiensi penyisihan tertinggi. Dari hasil pelaksanaan penelitian pendahuluan ini akan didapatkan variasi debit Q_1 (waktu tercepat), Q_2 (waktu standart), dan Q_3 (waktu terlama). Sampel yang digunakan sebanyak 2 L air payau. Tegangan yang digunakan dalam penelitian pendahuluan adalah 12 V.

Dalam pelaksanaan penelitian pendahuluan, langkah-langkah yang dilakukan adalah :

1. Melakukan uji coba pemutaran valve hingga kapasitas maksimum valve (valve tidak dapat diputar lagi).

Pada tahapan ini, dilakukan uji coba pemutaran valve dari kapasitas minimum hingga maksimum. Pada tahapan ini, didapatkan lebih dari 27 variasi debit yang dapat dilakukan untuk dilanjutkan ke langkah selanjutnya. Akan tetapi yang dipilih untuk tahap selanjutnya adalah kisaran debit out dari valve yang memiliki persentase berkisar (0,28-11,6)%.

2. Memilih pemutaran valve yang menghasilkan output debit berkisar (0,28-11,6)%.

Pada tahapan ini, setelah didapatkan 27 variasi debit dengan range (0,28-11,6)% yang masuk ke reaktor ED, lalu dipilih 7 debit yang mewakili dari ke-27 variasi tersebut. Persentase debit yang digunakan untuk dilakukan uji kualitas air dalam reaktor ED ada 7 variasi yaitu 0,28%; 0,67%; 1,67%; 2,22%; 3,24%; 7,5%; dan 11,6%.

3. Memilih tiga variasi debit yang akan digunakan dalam penelitian utama.

Langkah terakhir dalam penelitian pendahuluan adalah melakukan uji coba dari ke-7 variasi debit yang telah dipilih untuk mengetahui variasi yang menghasilkan kualitas air yang paling baik. Parameter yang digunakan dalam penelitian pendahuluan ini adalah TDS dan Salinitas.

3.2.4 Pelaksanaan Penelitian Utama

Setelah didapatkan 3 variasi debit dalam reaktor ED, kemudian dilakukan penelitian utama dengan menambahkan perlakuan variasi tegangan dan waktu pemaparan pada ozon. Total perlakuan pada sampel ada 18 kali perlakuan dan pada penelitian utama sampel yang digunakan sebanyak 5 L. Rincian perlakuan pada sampel adalah sebagai berikut :

1. Q_1 pada ED, dengan variasi :

- b. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 7,42 jam)
- c. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
- d. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 7,42 jam)
- e. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
- f. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 7,42 jam)
- g. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)

2. Q_2 pada ED, dengan variasi :

- a. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 28,72 jam)
- b. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
- c. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 28,72 jam)
- d. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
- e. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 28,72 jam)
- f. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)

3. Q_3 pada ED, dengan variasi :

- a. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 38 jam)
- b. Tegangan ED 6 V + (td O_3 = 5 menit)
- c. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 38 jam)
- d. Tegangan ED 9 V + (td O_3 = 5 menit)
- e. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 38 jam)
- f. Tegangan ED 12 V + (td O_3 = 5 menit)

Tahapan- tahapan yang dilakukan selama penelitian adalah :

1. Mengisi tangki reservoir dengan larutan buffer/penyangga yang terbuat dari campuran KH_2PO_4 dan K_2PO_4 (ada sebanyak 2 buah dan masing- masing diisi sebanyak 2 L) dan aquades (ada sebanyak 2 buah dan masing- masing diisi sebanyak 2 L), air payau sebanyak 5 L.
2. Melakukan pengaturan valve sesuai dengan debit yang akan digunakan dalam penelitian pendahuluan. Pengaturan debit diatur secara manual dengan membuka/ menutup valve untuk memperbanyak/ mengurangi jumlah air yang masuk ke dalam ED.
3. Mengisi reaktor ED hingga penuh untuk tiap kompartemennya dengan urutan dari kompartemen kiri ke kanan adalah larutan buffer/penyangga dan aquades, air payau, aquades, dan larutan buffer/penyangga. Ini merupakan titik awal pengoperasian reaktor
4. Menyalakan pompa submersible yang terletak di tangki air payau, aquades, dan larutan penyangga.
5. Menyalakan Adaptor untuk memberikan tegangan dengan variasi tegangan yang berbeda-beda yaitu 6, 9, dan 12 Volt untuk tiap variasi waktu detensi di ED dan ozon. Arus listrik dialirkan melalui katoda dan anoda dimana katoda kutub (-) dan anoda kutub (+). Kemudian menyalakan pompa di bak larutan penyangga.
6. Melakukan uji parameter yang terdiri dari TDS, salinitas, pH, klorida, dan total koliform. Pengukuran dilakukan pada bak inlet dan bak outlet untuk melakukan perbandingan kualitas air. Berikut metoda pengukurannya terdapat pada Tabel 3.1.

Cara Pencucian Membran

Dari 18 kali perlakuan yang dilaksanakan dalam penelitian ini, tiap perlakuan perlu melakukan pencucian membran agar efisiensi membran tetap optimal. Pencucian membran dilakukan dengan merendam membran dalam larutan NaCl selama 1 malam, kemudian membilas membran dengan aquades atau air kran.

Tabel 3.1 Metoda yang Digunakan untuk Analisa tiap Parameter

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
4	Klorida	Argentometri	Buret pyrex Fortuna Germany
5	Total Koliform	<i>Total Plate Count (TPC)</i>	

Sumber : SK SNI PU, 1990

3.3 Analisis Data

Dengan variasi tegangan, waktu detensi ED, dan waktu pemaparan ozon, akan dianalisa kinerja reaktor ED dan ozon untuk proses desalinasi. Analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengaruh waktu detensi pada reaktor ED terhadap kualitas air produk

Dalam sub-bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian pendahuluan mengenai berbagai variasi debit yang telah dicoba pada reaktor terhadap kualitas air produk. Selain itu, akan dilakukan analisis pengaruh waktu detensi terhadap reaktor ED pada penelitian utama yang dilengkapi juga analisis statistik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh waktu detensi dalam ED.

2. Pengaruh tegangan terhadap kualitas air dalam proses ED

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh variasi tegangan pada waktu detensi ED. Misalkan pada tegangan yang besar malah membutuhkan waktu detensi yang singkat agar kualitas airnya baik, apabila waktu detensi diperlama bahkan akan menjadi tidak efektif. Sedangkan pada tegangan yang kecil terjadi sebaliknya. Dalam analisis ini juga dilengkapi dengan uji statistik dengan menggunakan *ANOVA Two Way* untuk menganalisis pengaruh tegangan terhadap kualitas air produk.

3. Efektivitas dari ED dan ozon dalam mengolah air payau.

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai hasil analisa kualitas air pada tahap akhir setelah melalui kombinasi ED dan ozon dengan berbagai variasi

tersebut (yaitu sebanyak 18 kali perlakuan). Akan dilakukan perbandingan hasil kualitas air pada 18 kali perlakuan tersebut untuk dipilih yang paling efektif menghasilkan kualitas air produk yang paling baik. Karakteristik efektivitas yang dimaksud dalam penelitian ini adalah alternatif yang menghasilkan kualitas air produk paling baik tapi konsumsi energinya tidak terlalu tinggi.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Langkah selanjutnya setelah dilakukan analisa dan pembahasan adalah pengambilan kesimpulan dari keseluruhan penelitian dan analisis yang dilakukan. Kesimpulan yang didapat mengenai pengaruh waktu detensi dan tegangan pada ED. Misalkan pada waktu detensi yang lama kualitas air produknya semakin baik dan hal ini berarti waktu detensi berpengaruh terhadap kualitas air produk. Sedangkan jika diberikan berbagai variasi tegangan tapi kualitas air produknya tidak ada perubahan itu berarti tegangan tidak memberikan pengaruh.

Selain itu, kesimpulan ketiga yang akan didapatkan dari hasil penelitian ini adalah keefektifan ED dengan ozon dalam mengolah air payau menjadi air tawar dengan adanya 18 variasi. Kriteria efektif yang dimaksud adalah kondisi dimana kualitas air produknya terbaik tapi total konsumsi energinya tidak terlalu besar. Apabila diperlukan, ditambahkan saran yang diberikan berkenaan dengan penelitian yang dilakukan agar menjadi lebih baik lagi.

BAB 4

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

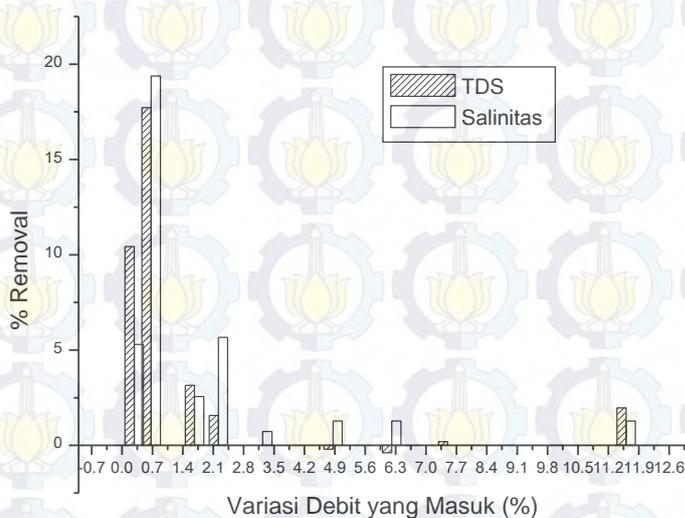
Variasi debit yang digunakan dalam penelitian pendahuluan ada 7 variasi debit, yaitu 0,28%; 0,67%; 1,67%; 2,22%; 3,24%; 7,5%; dan 11,6%. Tegangan yang digunakan untuk mengetahui kualitas air produk adalah 12 V. Penggunaan tegangan 12 V dalam penelitian pendahuluan ini selain bertujuan untuk mengetahui kualitas air produk yang maksimum juga untuk mengetahui kemampuan daya tahan elektroda pada tegangan yang tinggi. Dalam pelaksanaan penelitian pendahuluan ini tidak digunakan reaktor ozon. Hal ini dikarenakan parameter yang menjadi pengaruh pemilihan tiga variasi debit adalah TDS dan Salinitas.

Menurut Cheikh *et al.* (2013), desain elektrodialisis terdiri dari tiga bagian kompartemen yang terdapat membran penukar kation dan dua kompartemen pencuci elektroda. Air produk masuk melalui tiap kompartemen yang terdapat membrannya. Akan tetapi dalam penelitian ini, akan dilakukan inovasi desain untuk mengurangi kuantitas klorin yang terbentuk, sehingga air produk yang masuk ke dalam reaktor hanya pada satu kompartemen, sedangkan 2 kompartemen lainnya di isi oleh air aquades yang berfungsi sebagai *flushing*. Gambar reaktor ED yang telah terpasang terdapat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rangkaian Reaktor ED

Larutan yang diletakkan dalam reaktor pada Gambar 4.1 diurutkan dari kiri ke kanan adalah larutan Buffer pH 7 (KH_2PO_4 dan K_2HPO_4) sebanyak 2 L, aquades 2 L, air payau 2000 mg/L sebanyak 5 L, aquades 2 L, dan larutan Buffer sebanyak 2 L. Larutan buffer yang terbuat dari KH_2PO_4 dan K_2HPO_4 dipilih dalam penelitian ini karena larutan ini mudah didapatkan dan harganya murah, sehingga terjangkau bagi masyarakat yang nantinya ingin menerapkan aplikasi ED. Hasil penelitian pendahuluan terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kualitas Air Produk pada Penelitian Pendahuluan

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa kualitas air produk yang paling baik dalam penelitian pendahuluan terjadi ketika variasi debit 0,28%, 0,67%, dan 2,22% dari debit awal pompa. Kualitas air produk terbaik pada debit tersebut dikarenakan waktu detensi pada proses ED lebih lama dibandingkan variasi yang lain. Kualitas air produk yang didapatkan dari penelitian pendahuluan dengan waktu detensi paling lama mencapai 17.72% untuk TDS dan 19.38% untuk Salinitas. Menurut Sadrzadeh (2008), jika debit ditingkatkan/ waktu detensi dalam ED dipercepat dan konsentrasi air baku ditambah maka removal terhadap kualitas air juga akan semakin menurun. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan.

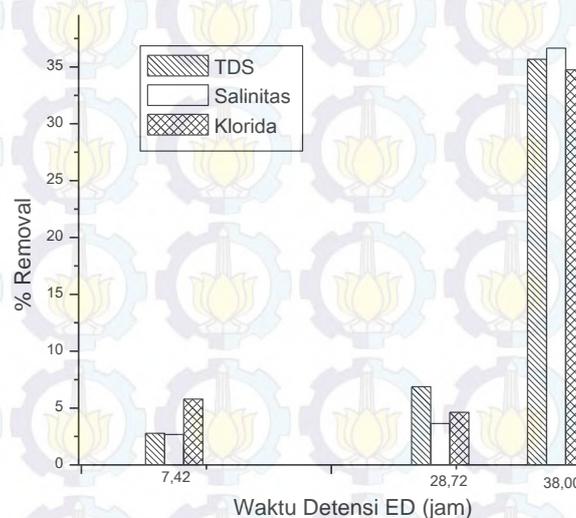
Pada penelitian pendahuluan juga dilakukan variasi konsentrasi TDS untuk mengetahui kapasitas reaktor dalam meremoval TDS. Variasi konsentrasi TDS

yang dilakukan dalam penelitian pendahuluan adalah 10.000 mg/L, 5.000 mg/L, dan 2.000 mg/L. Semakin besar nilai TDS yang diberikan pada reaktor ED, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk meremoval TDS pada debit dan tegangan yang sama (Hetal, 2014), sehingga didapatkan konsentrasi yang efektif untuk reaktor ED pada Gambar 4.1. adalah ± 2.000 mg/L. Data dari pelaksanaan penelitian pendahuluan kemudian digunakan untuk melakukan penelitian utama dan waktu detensi yang didapatkan adalah 7,42 jam, 28,72 jam, dan 38 jam.

4.2 Pengaruh Waktu detensi pada Reaktor ED terhadap Kualitas Air Produk

4.2.1 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 6V

Waktu detensi yang digunakan dalam penelitian utama ini disesuaikan dengan debit yang telah ditentukan, sehingga waktu detensi untuk setiap reaktor adalah 7,42 jam, 28,72 jam, dan 38 jam dengan volume air baku yang akan diolah sebesar 5 L. Pengaturan debit yang dilakukan dalam penelitian utama sama halnya dengan penelitian pendahuluan yaitu dengan memutar valve yang terdapat pada inlet reaktor ED. Berikut ini persentase removal kualitas air produk pada tegangan 6V yang terdapat pada Gambar 4.3.

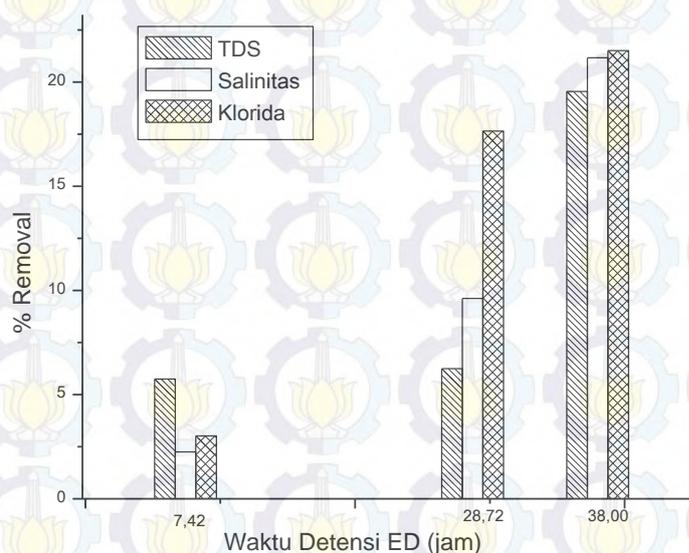


Gambar 4.3 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 6V

Gambar 4.3 menjelaskan bahwa kualitas air produk terbaik pada tegangan 6V adalah pada waktu detensi 38 jam. Persentase removal pada kualitas air produk mencapai 35.68% untuk TDS, 36.65% untuk salinitas, dan 34.75% untuk Klorida. Sementara itu, pada waktu detensi 28, 72 jam, persentase removal TDS mencapai 6,88%, salinitas 3,64%, dan klorida sebesar 4,63%. Sedangkan untuk waktu detensi 7,42 jam, persentase removal TDSnya yaitu 2,78%, salinitas 2,68% dan klorida 5,78%. Kesimpulan sementara yang dapat diambil dari hasil removal pada tegangan 6V adalah kualitas air terbaik didapatkan pada waktu detensi yang paling lama yaitu 38 jam (Redjeki, 2006).

4.2.2 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 9V

Waktu detensi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses ED, sehingga parameter ini menjadi penting untuk diteliti agar nanti didapatkan kualitas air produk yang terbaik. Pada analisis tegangan 6 V didapatkan yang paling baik pada waktu detensi 38 jam, sementara untuk tegangan 9V hasilnya terdapat pada Gambar 4.4.



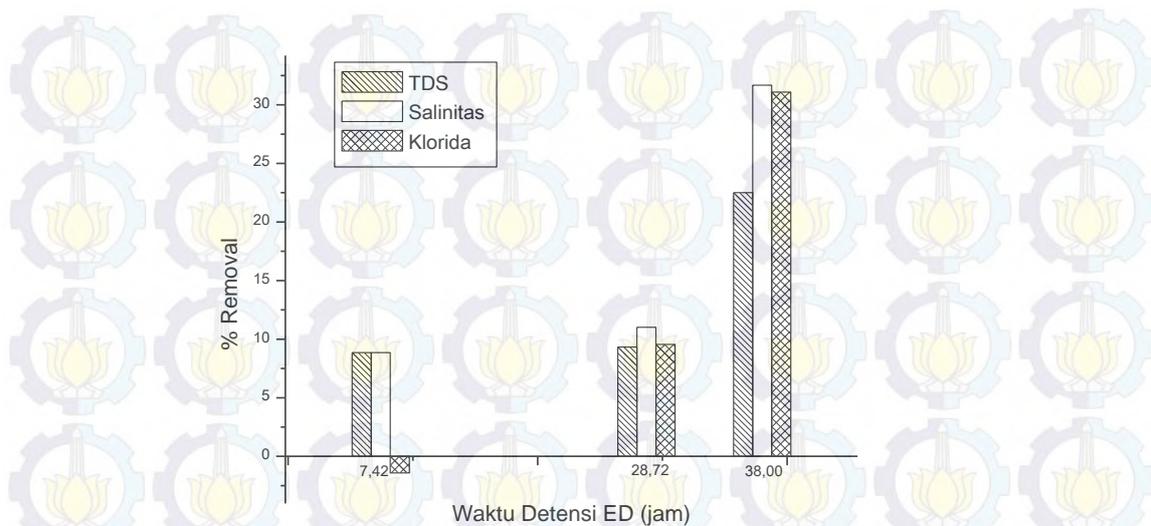
Gambar 4.4 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 9V

Gambar 4.4 menjelaskan bahwa kualitas air produk terbaik juga ditunjukkan pada waktu detensi 38 jam yaitu mencapai 19.55% untuk removal TDS, 21.17% untuk salinitas, dan 16.69% untuk klorida. setelah itu, kualitas air terbaik ditunjukkan pada waktu detensi 28, 72 jam yaitu dengan persentase removal TDS sebesar 6,25%, salinitas 9,62%, dan klorida sebesar 17,65%. Sedangkan persentase removal terendah yaitu pada waktu detensi 7,42 jam dengan persentase removal TDS sebesar 5,75%, salinitas 2,25%, dan klorida sebesar 3,02%. Persentase removal ini lebih kecil dibandingkan pada tegangan 6 V. Pada grafik ini terlihat jelas bahwa TDS, Salinitas, dan klorida sangat berhubungan erat yaitu hubungan linier. Hal ini berarti jika nilai TDS tinggi maka nilai salinitas dan klorida juga tinggi, sedangkan jika nilai TDS semakin rendah, maka nilai salinitas dan klorida juga semakin rendah sesuai dengan pernyataan Atkinson, (1986), bahwa TDS, salinitas, dan klorida sangat berhubungan erat sehingga nilainya akan menjadi linier.

4.2.3 Pengaruh Waktu detensi terhadap Kualitas Air Produk pada Tegangan 12V

Pada tegangan 6V dan 9V dijelaskan bahwa kualitas air produk yang efisiensinya paling besar yaitu pada waktu detensi 38 jam. Sementara itu, untuk persentase removal kualitas air produk pada tegangan 12 V terdapat pada Gambar 4.5.

Gambar 4.5 menjelaskan bahwa persentase removal kualitas air produk terbesar juga terdapat pada waktu detensi 38 jam. Kualitas air produk yang dihasilkan pada tegangan 12 V adalah 22.51% untuk TDS, 31.67% untuk salinitas, dan 31.09% untuk removal klorida. Hasil penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 menjelaskan hubungan antara TDS, salinitas, dan klorida adalah linier, yaitu pada debit 0,67 L/jam atau waktu detensi 7,42 jam removal TDS paling kecil begitu pula pada removal salinitas dan klorida pada debit 0,17 L/jam dan 0,13 L/jam.



Gambar 4.5 Persentase Removal Kualitas Air Produk pada Tegangan 12V

Pada Gambar 4.5 juga menghasilkan kesimpulan yang sama seperti pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 bahwa persentase removal terendah yaitu pada waktu detensi 7,42 jam dengan persentase removal sebesar 8,85%, salinitas 8,85%, dan klorida -1,42%. Sedangkan pada waktu detensi 28,72 jam, persentase removal TDS sebesar 9,33%, salinitas sebesar 11,02%, dan klorida sebesar 9,55%. Akan tetapi kualitas air pada debit ini masih lebih baik daripada tegangan 9V pada debit yang sama.

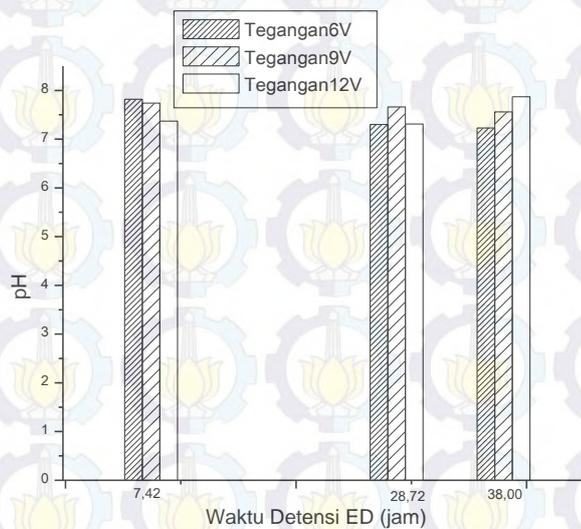
Dari keseluruhan hasil yang terlihat pada Gambar 4.3 hingga Gambar 4.5, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama waktu detensi air payau dalam reaktor ED maka semakin baik kualitas air produk yang dikeluarkan (Sadzadeh, 2008). Hal ini dikarenakan dengan lamanya waktu detensi dalam ED, ion-ion yang terdapat dalam air payau semakin banyak yang dapat ditarik oleh elektroda dan semakin banyak pula ion-ion yang ditransfer melalui membran AEM atau CEM sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa debit aliran yang semakin kecil menyebabkan waktu detensinya semakin lama sehingga jumlah garam yang dihilangkan juga semakin meningkat (Banasiak *et al.*, 2007).

Berdasarkan hasil analisis data menggunakan *ANOVA Two-Way* pada selang kepercayaan 5%, dapat disimpulkan bahwa waktu detensi memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas air produk (TDS, Salinitas, Klorida) yaitu dengan *P-value* untuk masing-masing kualitas air produk adalah 0,024 untuk

TDS, 0,010 untuk salinitas, dan 0,023 untuk klorida (hasil analisis menggunakan ANOVA selengkapnya terdapat pada Lampiran D). Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu detensi yang berbeda dapat mengakibatkan kualitas air produknya berbeda. Semakin lama waktu detensi, maka semakin baik kualitas air produknya.

4.2.4 Perubahan pH pada reaktor ED

pH dalam reaktor ED sangat erat kaitannya dengan fouling yang dapat terjadi di membran dan elektroda. Oleh karena itu, agar elektroda dan membran tidak cepat fouling, perlu menjaga pH dalam reaktor ED. Penggunaan buffer dalam kompartemen ED bertujuan untuk menjaga pH dalam elektroda agar tidak berubah drastis ketika terjadi pertukaran ion dalam reaktor ED. Analisis pH untuk kualitas air produk pada tiap tegangan terdapat pada Gambar 4.6.

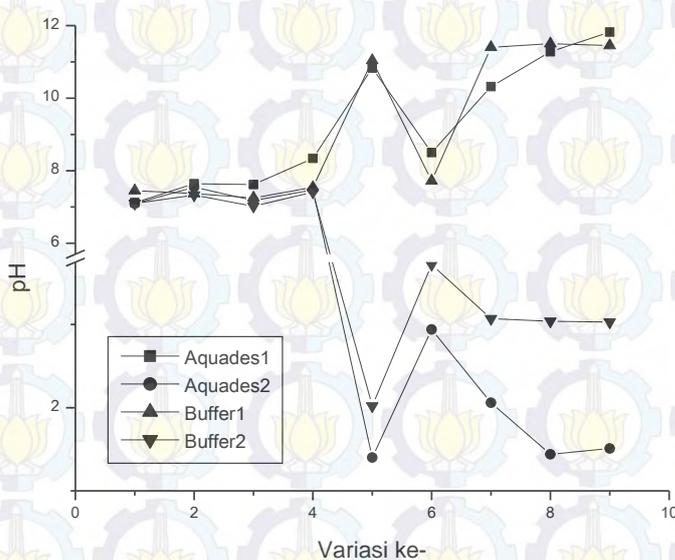


Gambar 4.6 pH pada Kualitas Air Produk ED

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pH dalam reaktor ED berkisar antara 7, sehingga kualitas air produk pHnya bisa dikatakan netral. Hubungan pH dengan kualitas air produk yaitu menentukan dalam jumlah asam dan basa yang dihasilkan sebagai produk sampingan dari proses ED. Semakin tinggi pH, menyatakan bahwa semakin banyak ion hidroksida yang terdapat pada air

sehingga produk sampingan yang berupa basa juga semakin meningkat (Sari, 2013).

pH netral yang dinyatakan pada Gambar 4.6 menjelaskan bahwa ion hidrogen dan hidroksida yang terdapat pada air produk jumlahnya hampir sama sehingga menunjukkan nilai pH pada rentang 7,2-7,9. Sementara itu, untuk pH yang terdapat pada kompartemen yang berisi larutan aquades dan larutan penyangga terdapat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 pH di Kompartemen ED

Aquades 1 yang dimaksud dalam Gambar 4.7 adalah kompartemen yang dekat dengan stainless steel (+) dan berisi larutan aquades, Aquades 2 adalah kompartemen yang dekat dengan tembaga (-) dan juga berisi larutan aquades. Sementara itu, Buffer 1 adalah kompartemen yang terdapat elektroda positif (stainless steel) dan berisi larutan buffer dan Buffer 2 adalah kompartemen yang terdapat elektroda negatif (tembaga) dan juga berisi larutan buffer.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada buffer 1 terjadi proses reduksi sehingga pH yang terdapat dalam kompartemen Buffer 1 dan aquades 1 bersifat basa. Hal ini menunjukkan stainless steel menarik ion-ion negatif dan terkumpul dalam kompartemen aquades 1. Hal ini dikarenakan antara kompartemen aquades 1 dan buffer 1 terdapat membran yang memisahkan yaitu *canion exchange*

membran (CEM) sehingga ion-ion negatif yang ditarik oleh stainless steel terkumpul dalam kompartemen aquades 1 sehingga larutan aquades 1 yang awalnya bersifat netral menjadi basa dengan pH maksimal 11,82 pada tegangan 12V (Redjeki, 2011). Pada waktu detensi 28,72 jam dan 38 jam, larutan buffer pada kompartemen yang terdapat stainless steel juga mendapatkan pengaruh diakibatkan faktor besarnya tegangan yang diberikan dan waktu detensi yang cukup lama dalam reaktor ED sehingga kompartemen Buffer 1 pada tegangan tersebut bersifat basa hingga mencapai 11,45 pada tegangan 12 V.

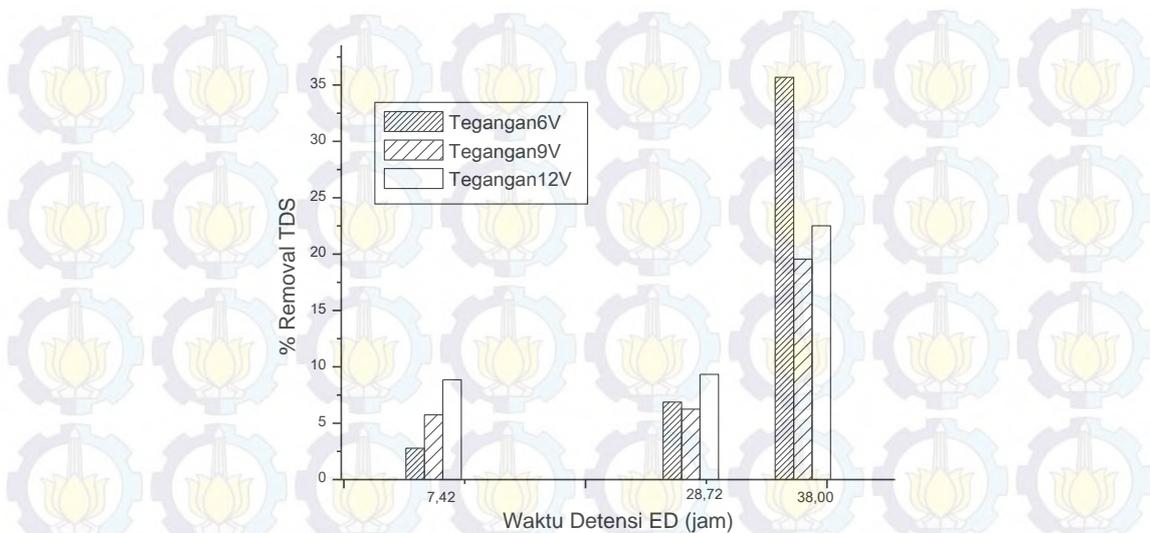
Sedangkan pada Buffer 2 yang berisi elektroda negatif terjadi proses oksidasi dan mengakibatkan pHnya menjadi asam dan pada tegangan yang tinggi dan waktu detensi yang lama, terdapat kerak pada tembaga yang menunjukkan terjadinya proses penimbunan ion-ion positif. Antara kompartemen aquades 2 dan buffer 2 terdapat membran yang memisahkan yaitu *anion exchange membran* (AEM) sehingga ion-ion positif yang ditarik oleh tembaga terkumpul dalam kompartemen aquades 2. Hal ini yang menyebabkan kompartemen aquades 2 yang awalnya bersifat netral menjadi bersifat asam.

4.3 Pengaruh Tegangan terhadap Kualitas Air dalam Proses ED

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh variasi tegangan pada waktu detensi ED. Elektrodialisis dapat mengurangi total dissolved solid (TDS) yang tergantung pada muatan listrik dengan mentransfer ion-ion dalam air payau melalui pertukaran ion yang semipermeabel dengan memanfaatkan energi listrik, sehingga semakin besar tegangan dan arus yang diberikan, maka semakin banyak ion-ion yang dapat ditarik oleh elektroda (Valero *et al.*, 2011).

4.3.1 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal TDS

Selain waktu detensi, faktor yang juga berpengaruh terhadap kualitas air produk adalah tegangan. Berikut ini hasil analisis variasi tegangan pada reaktor ED untuk analisa TDS yang terdapat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Removal TDS pada outlet ED

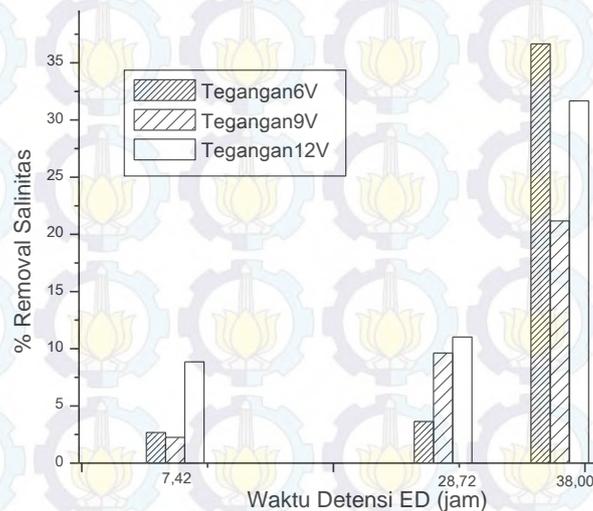
Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pada tegangan 6V terjadi perubahan drastis pada waktu detensi 38 jam untuk persentase removal TDS. Persentase removal yang awalnya 2,78% pada waktu detensi 7,42 jam menjadi 6,88% pada waktu detensi 28,72 jam, sedangkan pada waktu detensi 38 jam persentase removalnya langsung menjadi 35,68%. Sedangkan pada tegangan 9V dan 12V kenaikan persentase removal yang terjadi tidak sedrastis pada tegangan 6V dan persentase removalnya pun tidak sebesar tegangan 6V. Persentase removal TDS maksimum untuk tegangan 9V adalah 19,55%, dan untuk tegangan 12V sebesar 22,51%. Pada waktu detensi 7,42 jam persentase removal untuk 6V adalah persentase removal terendah dibandingkan yang lain, akan tetapi ketika waktu detensi 38 jam persentase removal tertinggi terjadi pada tegangan 6V.

Kesimpulan sementara yang dapat diambil dari Gambar 4.8 adalah tegangan tidak dapat dijadikan salah satu tolak ukur untuk menentukan kualitas air produk. Dalam menentukan kualitas air yang terbaik perlu mempertimbangkan faktor lain. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kualitas air terbaik pada tegangan 6V.

4.3.2 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal Salinitas

Pada persentase removal TDS, tegangan yang paling maksimum adalah 6V. Salinitas adalah garam terlarut dalam air yang merupakan bagian dari TDS,

salinitas pada air payau dapat berkurang jika melewati membran diantara kedua elektroda (Anonim, 2001). Hasil analisis salinitas pada berbagai variasi tegangan terdapat pada Gambar 4.9.



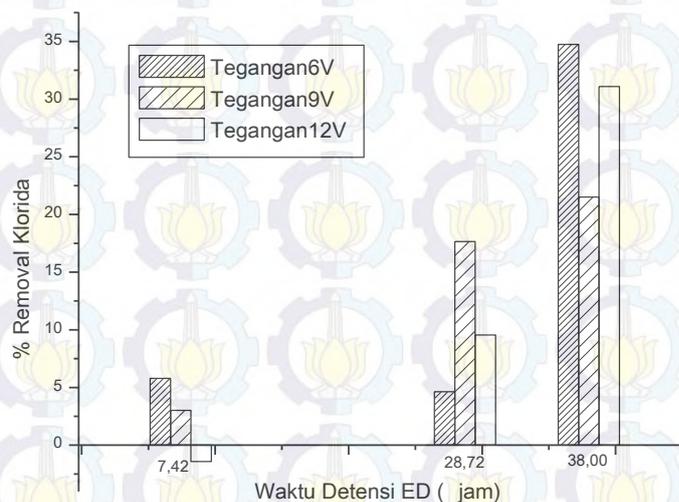
Gambar 4.9 Removal Salinitas pada outlet ED

Gambar 4.9 menunjukkan hasil yang sama seperti pada analisa TDS, yaitu tegangan yang paling maksimal adalah 6V pada waktu detensi 38 jam. Hal ini dikarenakan salinitas merupakan bagian dari TDS sehingga menunjukkan hasil yang linier. Trend yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.9 juga menunjukkan perubahan drastis yang terjadi pada tegangan 6V. Hal ini semakin membuktikan bahwa pada reaktor ED dalam penelitian ini hal yang lebih berpengaruh adalah waktu detensi dibandingkan dengan tegangan. Persentase removal maksimum yang didapatkan untuk tiap tegangan terjadi pada waktu detensi paling lama yaitu 38 jam yaitu sebesar 36.65% pada tegangan 6 V, 21.17% untuk tegangan 9V, dan 31.67% pada tegangan 12V.

4.3.3 Pengaruh Tegangan terhadap Persentase Removal Klorida

Tegangan menjadi salah satu faktor yang menjadi variabel dalam penelitian ini dikarenakan ingin menganalisis tegangan optimum agar didapatkan kualitas air

produk yang paling baik. Hal ini dikarenakan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Farrel *et al.*, (2003) dan Sadrzadeh (2007) menyatakan bahwa semakin tinggi tegangan, kualitas air yang dihasilkan akan semakin baik dan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan kualitas air terbaik akan lebih cepat daripada menggunakan tegangan yang rendah. Hasil analisis TDS dan salinitas pada berbagai variasi tegangan menunjukkan hal yang sama yaitu tegangan yang maksimal adalah 6V. Sementara itu untuk hasil analisis klorida terdapat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Removal Klorida pada outlet ED

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa persentase removal klorida tertinggi terdapat pada tegangan 6V pada debit 0,13 L/jam yaitu sebesar 34,75%. Sementara itu, persentase removal maksimum untuk tegangan 9 V adalah 21,51% pada debit 0,13 L/jam, dan pada tegangan 12 V persentase removal maksimum adalah 31,09% pada debit 0,13 L/jam. Hasil analisis pada Gambar 4.10 menunjukkan trend yang sama dengan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 yaitu pada tegangan 6V menunjukkan perubahan yang drastis pada debit 0,13 L/jam.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10 dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan yang maksimum adalah 6V. Hal ini kurang sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Farrel *et al.*, (2003) dan Sadrzadeh (2007). Salah satu penyebabnya adalah desain reaktor

(waktu detensi ED). Dalam penelitian ini, faktor yang lebih berpengaruh terhadap kualitas air produk pada reaktor ED dengan desain seperti pada Gambar 4.1 adalah waktu detensi. Penambahan tegangan yang diberikan pada reaktor tidak terlalu memberikan pengaruh dibandingkan tegangan awal yaitu 6V.

Berdasarkan hukum ohm menyatakan bahwa pada kuat arus dan hambatan berbanding lurus, sementara tegangan berbanding terbalik dengan kuat arus dan hambatan. Dalam penelitian ini luas penampang aliran, panjang penghantar, serta hambatan jenisnya sama, sehingga nilai hambatan pada berbagai variasi tegangan nilainya sama. Selain itu, kuat arus yang digunakanyaitu 2 A untuk semua variasi tegangan, sehingga apabila hambatan dan kuat arusnya sama, variasi tegangan tidak akan terlalu memberikan pengaruh pada tegangan. Oleh karena itu, pada tegangan 6 V efisiensi removalnya masih lebih baik daripada 9V dan 12 V. hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Banasiak *et al.* (2007).

Hasil analisis data menggunakan *ANOVA Two-Way* pada selang kepercayaan 5%, dapat disimpulkan bahwa tegangan tidak memberikan pengaruh terhadap kualitas air produk (TDS, Salinitas, Klorida) yaitu dengan *P-value* untuk masing-masing kualitas air produk adalah 0,653 untuk TDS, 0,473 untuk salinitas, dan 0,944 untuk klorida (hasil analisis selengkapnya terdapat pada Lampiran D). Hal ini menunjukkan berapapun nilai tegangan yang diberikan kepada reaktor ED, maka tidak terlalu memberikan pengaruh terhadap hasil kualitas air produk.

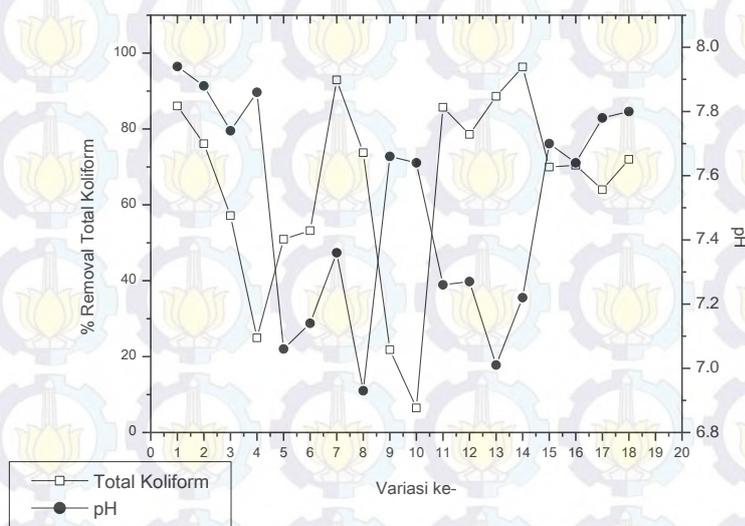
Selama penelitian berlangsung, membran paling sering mengalami fouling terjadi pada tegangan 12 V pada waktu detensi 28,72 jam dan 38 jam, pada tegangan 9V pada waktu detensi 38 jam. Membran yang mengalami *fouling* adalah membran yang berdekatan dengan elektroda. Kondisi seperti ini sangat rawan terjadi membran *fouling*, oleh karena itu, pH disekitar elektroda perlu dijaga agar terdapat disekitar 7, apabila pH sudah berubah drastis dengan tegangan yang besar, maka *fouling* pada membran akan cepat terjadi (Redjeki, 2011). Kondisi pH disekitar elektroda dapat dijaga dengan cara memutar outlet pada kompartemen buffer 1 dengan kompartemen buffer 2. Hal ini dapat mencegah terjadinya percepatan fouling pada membran.

4.4 Efektivitas dari ED dan Ozon dalam Mengolah Air Payau

4.4.1 Efektivitas Ozon dalam Meremoval Total Koliform

Setelah melewati proses ED, air produk akan masuk ke dalam reaktor selanjutnya yaitu ozon. Reaktor ini berfungsi untuk membunuh mikroorganisme yang terdapat dalam air baku air payau. Parameter yang digunakan untuk mengetahui removal mikroorganisme dalam reaktor ozon adalah Total Koliform. Variabel yang digunakan adalah waktu pemaparan ozon. Waktu pemaparan ozon merupakan jumlah waktu yang dibutuhkan oleh ozon untuk menginaktivasi mikroorganisme dalam air. Semakin lama waktu pemaparan maka proses desinfeksi akan lebih efisien (Mountain dalam Sari, 2013). Bakteri koliform merupakan mikroorganisme indikator yang digunakan untuk mengetahui efektivitas ozonisasi. Hasil analisis bakteri koliform terdapat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.1.

Salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme adalah pH. Parameter pH tidak hanya mempengaruhi proses dekomposisi ozon, pH juga dapat mempengaruhi kandungan mikroorganisme di dalam air. *E. Coli* dan Total Koliform. Selain faktor pH, tingginya kekeruhan air dapat melindungi *E.coli*, serta mencegah terjadinya kontak antara desinfektan dengan *E. Coli* di dalam air (Widayani dalam Sari, 2013).



Gambar 4.11 Persentase Removal Total Koliform di Air baku

Tabel 4.1 Efektivitas Ozon dalam Meremoval Total Koliform

No	Variasi			Kebutuhan Ozon (g)	Konsumsi Energi (Wh/L)	% Removal Total Koliform	pH
	Debit (L/jam)	Tegangan (Volt)	Waktu Pemaparan Ozon (jam)				
1	0.67	6	0.08	0.02	4	86.06	7.94
2			7.42	1.85	356	76.11	7.88
3		9	0.08	0.02	4	57.17	7.74
4			7.42	1.85	356	24.94	7.86
5		12	0.08	0.02	4	50.95	7.06
6			7.42	1.85	356	53.20	7.14
7	0.17	6	0.08	0.02	4	92.92	7.36
8			28.72	7.18	1378.4	73.75	6.93
9		9	0.08	0.02	4	21.82	7.66
10			28.72	7.18	1378.4	6.49	7.64
11		12	0.08	0.02	4	85.71	7.26
12			28.72	7.18	1378.4	78.57	7.27
13	0.13	6	0.08	0.02	4	88.64	7.01
14			38.00	9.50	1824	88.05	7.22
15		9	0.08	0.02	4	69.95	7.70
16			38.00	9.50	1824	70.44	7.64
17		12	0.08	0.02	4	64.00	7.78
18			38.00	9.50	1824	72.00	7.80

Pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pH berbanding terbalik dengan persentase removal total Koliform. Hal ini dikarenakan air dengan pH tinggi mengandung ion hidroksida yang berperan sebagai inisiator dalam dekomposisi ozon (Tizaoui dalam Sari, 2013). Peran ion hidroksida dalam dekomposisi ozon dapat dilihat pada persamaan berikut :



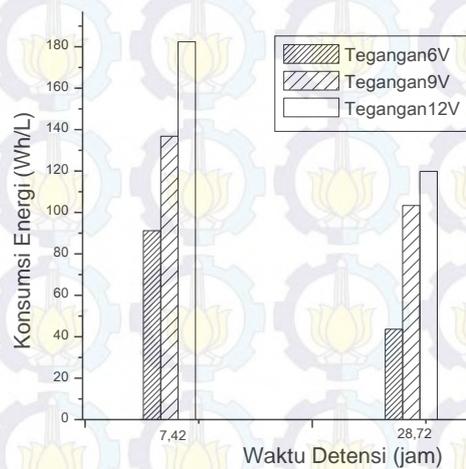
Oleh karena itu, pada range pH berkisar 7,6-7,9 yang cenderung basa mengakibatkan ozon yang dihasilkan oleh ozon generator terdekomposisi menjadi O_2 , sehingga kurang efektif dalam meremoval mikroorganisme.

Berdasarkan pada Gambar 4.12 didapatkan bahwa persentase maksimum removal total koliform adalah 92,92% yaitu pada debit 0,17 L/jam dengan variasi waktu pemaparan ozon selama 5 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses ozonisasi lebih maksimum ketika lama waktu pemaparan ozon yaitu 5 menit, sedangkan untuk ozon yang terus dinyalakan selama proses, persen removalnya lebih kecil dibandingkan dengan waktu pemaparan 5 menit. Hal ini dapat disebabkan karena ozon yang terbentuk telah terurai kembali menjadi O_2 , sehingga persentase removalnya menjadi lebih rendah.

Menurut Said, (2007), kesetimbangan ozon terbentuk pada konsentrasi tertentu. Jika peluahan listriknya diperbesar atau voltase dinaikkan, dan ruang peluahan yang dialiri udara atau oksigen diperbesar sehingga waktu tinggal udara atau oksigen di dalam ruang peluahan menjadi lebih lama maka ozon yang terbentuk menjadi lebih besar. Tetapi, pada saat mencapai konsentrasi yang tertinggi, maka ozon yang terbentuk akan terurai kembali. Pada praktek konsentrasi ozon yang terbentuk berkisar antara 3-4% apabila menggunakan udara sebagai bahan baku, jika menggunakan bahan baku oksigen murni konsentrasi ozon yang terbentuk berkisar 6-8%. Sementara dalam penelitian ini, bahan baku yang digunakan pada ozon generator adalah udara.

4.4.2 Konsumsi Energi pada Proses ED dan Ozon

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. Kebutuhan energi menjadi salah satu indikator penting untuk mengetahui besarnya konsumsi yang digunakan tiap prosesnya, sehingga bisa diketahui efisiensi dari suatu proses dari segi ekonomi (Priya, *et.al.*, 2005). Jika konsumsi energi yang dikeluarkan sangat tinggi dan kualitas air produknya sangat bagus, bisa saja menjadi tidak efisien dikarenakan biaya yang dikeluarkan juga harus lebih tinggi, seperti proses RO. RO menjadi kurang efisien dikarenakan konsumsi energinya yang cukup besar, sedangkan konsumsi ED yang diperlukan dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 4.12 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.12 Konsumsi Energi berdasarkan debit dan waktu pengoperasian ED

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan dan semakin lama waktu detensinya, maka konsumsi energi yang diperlukan juga akan semakin besar dengan kondisi volume yang tetap yaitu 5 L. konsumsi energi terbesar terdapat pada tegangan 12 V pada waktu detensi 38 jam dan konsumsi energi terendah adalah tegangan 9V pada waktu detensi 7,42 jam. Hal ini dikarenakan faktor yang berpengaruh dalam konsumsi energi adalah besarnya tegangan, arus listrik, waktu detensi, dan volume yang dihasilkan.

Tabel 4.2 Persentase Removal Kualitas Air Produk di ED dan Konsumsi Energi yang Dikeluarkan

Debit (L/jam)	6V			
	Konsumsi Energi (Wh/L)	% TDS	% Salinitas	% Klorida
0.13	91.20	35.68	36.65	34.75
0.17	43.68	6.88	3.64	3.27
0.67	17.80	2.78	2.68	5.79
Debit (L/jam)	9V			
	Konsumsi Energi (Wh/L)	% TDS	% Salinitas	% Klorida
0.13	119.84	19.55	21.17	16.69
0.17	103.38	6.25	9.62	17.65
0.67	43.68	5.75	2.25	3.02
Debit (L/jam)	12V			
	Konsumsi Energi (Wh/L)	% TDS	% Salinitas	% Klorida
0.13	182.40	22.51	31.67	31.09
0.17	136.80	9.33	11.02	9.55
0.67	91.20	8.85	8.85	-1.42

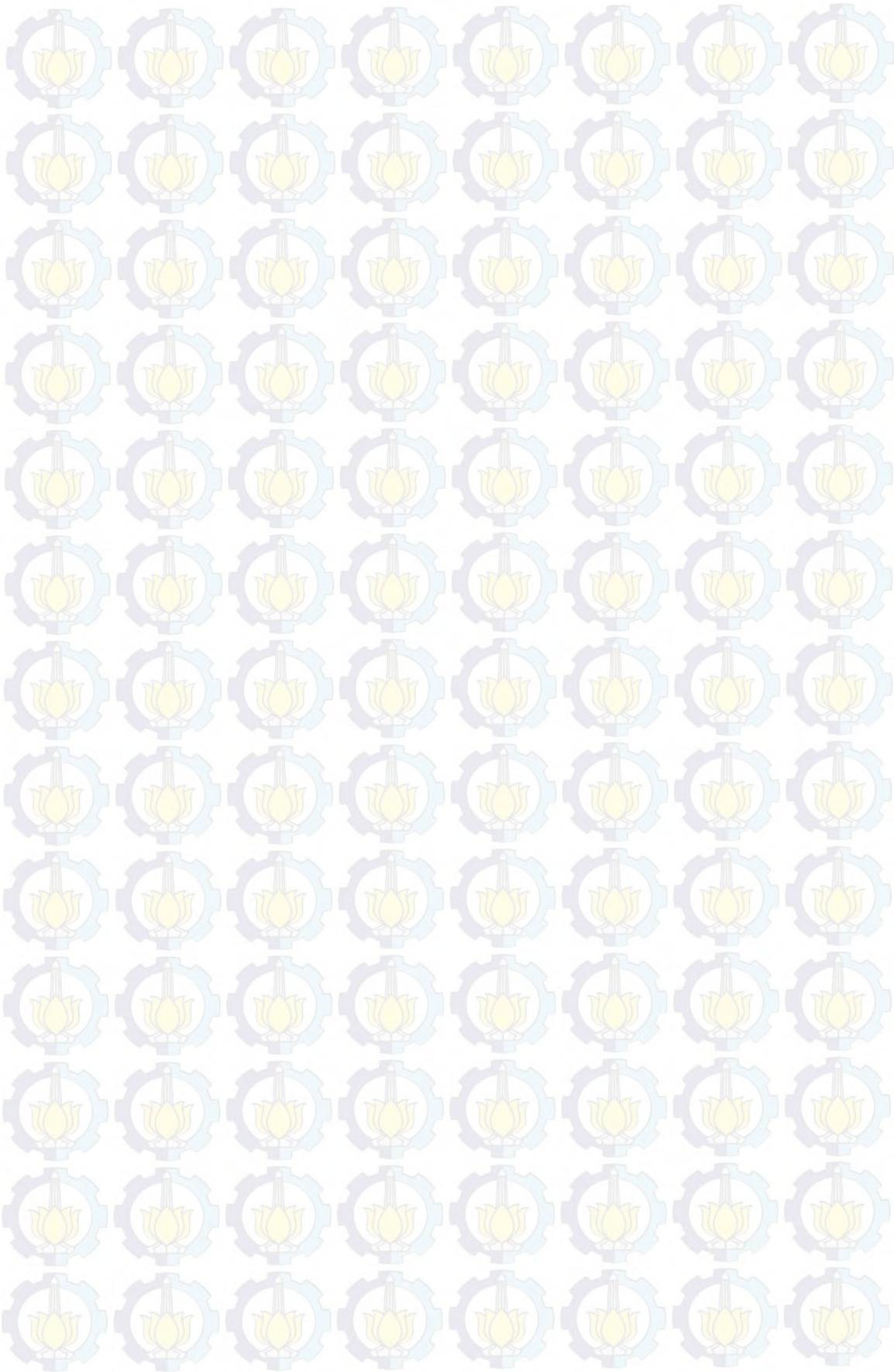
Pada Tabel 4.2 dijelaskan bahwa konsumsi energi yang terbesar adalah pada tegangan 12 V dan debit 0,13 L/jam dengan kualitas air produk menengah. Akan tetapi pada tegangan 6V dan debit 0,13 L/jam didapatkan konsumsi energi yang lebih rendah tapi kualitas air produknya lebih baik dibandingkan pada tegangan 9V dan 12 V. Perhitungan konsumsi energi tersebut memperhatikan aspek tegangan, volume, waktu detensi, dan juga arus yang digunakan dalam proses. Dalam penelitian ini arus yang digunakan adalah 2 A yang bersumber dari adaptor, sehingga faktor yang paling mempengaruhi dalam besarnya konsumsi energi yang digunakan dalam penelitian ini adalah besarnya tegangan dan waktu detensi dalam ED (Priya dan Palanivelu, 2006).

Konsumsi energi yang digunakan pada ozon dilihat dari faktor besarnya tegangan yang dibutuhkan, lamanya waktu pemaparan ozon, dan volume yang dihasilkan. Konsumsi energi total yang digunakan pada reaktor ED dan ozon pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Konsumsi Energi pada Proses ED dan Ozon

No.	Variasi ke- Debit (L/jam)	Tegangan (Volt)	Waktu Pemaparan Ozon (jam)	Konsumsi Energi (Wh/L)		Konsumsi Energi (kWh/L)		
				ED	Ozon	ED	Ozon	Total
1	0.67	6	0.08	17.80	4	0.02	0.00	0.02
2			7.42	356	0.36	0.37		
3		9	0.08	12.18	4	0.01	0.00	0.02
4			7.42	356	0.36	0.37		
5		12	0.08	28.80	4	0.03	0.00	0.03
6			7.42	356	0.36	0.38		
7	0.17	6	0.08	43.68	4	0.04	0.00	0.05
8			28.72	1378.4	1.38	1.42		
9		9	0.08	103.38	4	0.10	0.00	0.11
10			28.72	1378.4	1.38	1.48		
11		12	0.08	119.84	4	0.12	0.00	0.12
12			28.72	1378.4	1.38	1.50		
13	0.13	6	0.08	91.20	4	0.09	0.00	0.10
14			38.00	1824	1.82	1.92		
15		9	0.08	136.80	4	0.14	0.00	0.14
16			38.00	1824	1.82	1.96		
17		12	0.08	182.40	4	0.18	0.00	0.19
18			38.00	1824	1.82	2.01		

Pada Tabel 4.3 menjelaskan bahwa biaya terbesar yang dikeluarkan dalam proses ED dan Ozon untuk konsumsi energi adalah debit 0,13 L/jam atau waktu detensi 38 jam pada tegangan 12 V dan waktu pemaparan ozon 38 jam yaitu sebesar Rp. 2,71/m³. Akan tetapi efektivitas kombinasi ED dan ozon dilihat dari variasi yang menghasilkan kualitas air terbaik dan konsumsinya tidak terlalu besar, sehingga didapatkan variasi yang efektif dalam penelitian ini adalah variasi debit 0,13 L/jam atau waktu detensi 38 jam pada tegangan 6 V dan lama waktu pemaparan ozon yaitu selama 5 menit dengan total konsumsi energi yang dibutuhkan adalah 0,1 kWh/L.



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Hasil analisis data menggunakan *ANOVA Two-Way* pada selang kepercayaan 5%, dapat disimpulkan bahwa waktu detensi memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas air produk (TDS, Salinitas, Klorida) yaitu dengan *P-value* untuk masing-masing kualitas air produk adalah 0,024 untuk TDS, 0,010 untuk salinitas, dan 0,023 untuk klorida. Semakin lama waktu detensi, maka semakin baik kualitas air produknya yaitu pada waktu detensi 38 jam dengan persentase removal TDS sebesar 35,68%, Salinitas 36,65%, dan Klorida sebesar 34,75%.
2. Tegangan tidak memberikan pengaruh terhadap kualitas air produk. Berdasarkan Hasil analisis data menggunakan *ANOVA Two-Way* pada selang kepercayaan 5% menunjukkan nilai *P-value* untuk pengaruh tegangan terhadap kualitas air produk yaitu 0,653 untuk TDS, 0,473 untuk salinitas, dan 0,944 untuk klorida. Dalam penelitian ini, tegangan yang menghasilkan kualitas air produk terbaik adalah 6V.
3. Efektivitas kombinasi ED dan ozon dilihat dari variasi yang menghasilkan kualitas air terbaik dan konsumsi energinya tidak terlalu besar, sehingga didapatkan variasi yang efektif dalam penelitian ini adalah variasi debit 0,13 L/jam (pada waktu detensi 38 jam) pada tegangan 6 V dan lama waktu pemaparan ozon yaitu selama 5 menit dengan total konsumsi energi adalah 0,1 kWh/L.

5.2 Saran

Saran yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Diperlukan penelitian lanjutan mengenai lamanya waktu detensi ED yang optimum agar menghasilkan kualitas air produk yang lebih baik (yaitu mencapai persentase removal 99%).
2. Diperlukan adanya inovasi perubahan aliran debit dan sistem yang terdapat di masing-masing kompartemen pada reaktor ED yang di desain.
3. Diperlukan menjaga pH di sekitar elektroda yaitu \pm pH 7, agar membran tidak cepat mengalami fouling. Karena dalam penelitian ini, membran yang cepat mengalami fouling adalah membran didekat elektroda ketika diberikan tegangan yang tinggi dan waktu detensi yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Lingkungan Hidup. (2012). *Desalinasi Memanfaatkan Air Laut untuk Air Minum*. Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Grobogan. (online). <http://blh.grobogan.go.id/artikel/217-desalinasi-memanfaatkan-air-laut-untuk-minum.html>.
- Banasiak, L., Thomas, W. K., Andrea, I. S. (2007). *Desalination Using Electrodialysis as a Function of Voltage and Salt Concentration*. Elsevier : Desalination 205 (2007) 38-46.
- Bimo, A., Warsito., Abdul, S. (2011). Aplikasi Ignition Coil Sebagai Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Penyedia Daya Reaktor Ozon, Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Bismo, S., Indar, K., Jayanudin., Febri, H., dan Hergi, J. S. (2008). *Studi Awal Degradasi Fenol dengan Teknik Ozonasi di dalam Reaktor Annular*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Bollyky, L. J. (2002). *Benefits of Ozone Treatment for Bottled Water*. International Ozone Association Proceedings. Pan American Conference
- Brownell, A., Chakrabarti, M., Kaser. (2008). *Journal of Water and Health, Assessment of A Low-Cost, Point-of-Use, Ultraviolet Water Disinfection Technology*, Vol. 06, No. 1, 53-65
- Chapman, S. (1930). *A Theory of Upper-Atmospheric Ozone*. *Memoirs of The Royal Metereological Society* 3 (26), 103-25.
- Cheikh, A. H., Grib, N., Drouiche, N., Abdi, H., Lounici, N., Mameri. (2013). *Water Denitrification by a hybrid Process Combining a New Bioreactor and Conventional Electrodialysis*. Elsevier : *Chemical Engineering and Processing* 63 (2013) 1-6.
- Damerau, K., Keith, W., Anthony, P., Paul, G. (2011). *Costs of reducing water use of concentrating solar power to sustainable levels: Scenarios for North Africa*. *Energy Policy* 39, 4391-4398, May 2011.
- Eagleton, J. (1999). *Ozone (O3) in Drinking Water Treatment*. Draft-JGE EPA Government.
- Eltawil, M. A., Zhao, Z., Liqiang, Y. (2009). *A Review of Renewable Energy Technologies Integrated with Desalination System*. Elsevier : *Renewable and Sustainable Energy Review* 13 (2009) 2245-2262.

- Farrel, S., Hesketh, R.P., Slater, C.S. (2003). *Exploring the Potential of Electrodialysis*. Rowan University. Membrane in Chemical Engineering Education.
- Hernaningsih, T., Satmoko, Y. (2007). *Alternatif Teknologi Pengolahan Air untuk Memenuhi Kebutuhan Air Bersih di Daerah Pemukiman Nelayan*. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan-BPPT, JAI Vol. 3, No.1, 2007.
- Hetal. (2014). *International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology, Seawater Desalination Processes*. ISSN : 2277-9655. Hal. 638-646.
- Indriatmoko, R. H., Arie, H. (2005). *Pendugaan Potensi Air Tanah dengan Metoda Resistivitas Dua Dimensi di Wilayah Pesisir untuk Perencanaan Pembangunan Air Bersih di Kabupaten Pasisir, Kalimantan Timur*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan – BPPT, JAI Vol. 1, No. 3, 2005.
- Jurenka, B. (2010). *Electrodialysis (ED) and Electrodialysis Reversal (EDR)*. U.S. Department of The Interior Bureau of Reclamation.
- Lee, H.J., Sarfert, F., Strathmann, H., Moon, S. (2002). Designing of an electrodialysis desalination plant. *Desalination* vol. 142, pg. 267-286.
- Mukhtar, A. (2009). *Garis Pantai Indonesia Terpanjang Keempat di Dunia*. Kendari : Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia. (online). http://www.kkp.go.id/index.php/arsip/c/1048/Garis-Pantai-Indonesia-Terpanjang-Keempat-di-Dunia/?category_id
- Mujiarto, I. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif. *Traksi*. Vol. 3. No. 2
- Morillo, J., Jose, U., Daniel, R., Hicham, E. B., Abel R., Francisco, J. B. (2014). *Comparative Study of Brine Management Technologies for Desalination Plants*. Elsevier : *Desalination* 336 (2014), 32-49.
- Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan. (2013). *Peraturan Menteri Kelautan Dan Perikanan Republik Indonesia. Nomor 2/Permen-Kp/2013 Tentang Pedoman Pelaksanaan Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat Mandiri Kelautan Dan Perikanan*, Jakarta.
- Priya, M. N. dan Palanivelu. (2006). *Removal of Total Dissolved Solids with Simultaneous Recovery of Acid and Alkali Using Bipolar Membrane Electrodialysis- Application to RO Reject of Textile effluent*. *Indian J. Chemistry Technology*.

Purwadi, A., Widdi, U., Suryadi, I., dan Sri, S. (2003). *Rancang Bangun Ozonizer Jinjing Saluran Ganda dan Manfaatnya*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-Batan, Yogyakarta. ISSN 0216-3128.

Redjeki, S. (2006). *Desalinasi Air Payau dengan Proses Elektrodialisis*. Seminar Nasional-Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri. Yogyakarta : Jurusan Teknik Kimia, Mesin, Pusat Studi Ilmu Teknik UGM.

Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Said, N. I. (2003). *Aplikasi Teknologi Osmosis Balik untuk Memenuhi Kebutuhan Air Minum di Kawasan Pesisir atau Pulau Terpencil*. BPPT : Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan.

Said, N. I. (2007). *Desinfeksi untuk Proses Pengolahan Air Minum*. Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI Vol. 3, No.1.

Said. (2012). *Disinfeksi Untuk Pengolahan Air Minum*. (online). [www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/Buku Air Minum/BAB12DISINFEKSI.pdf](http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/Buku%20Air%20Minum/BAB12DISINFEKSI.pdf).

Sari, N. N., Rangga, S., Kancitra, P. (2013). *Efek Perlakuan pH pada Ozonisasi Teknik Lingkungan*, No. 1 Vol. 1.

Sigit., Ghaib, W., Ratih, L., Torowati., Noor, Y. (2010). *Pengaruh Tegangan, Waktu dan Keasaman pada Proses Elektrodialisis Larutan Uranil Nitrat*. Jurnal Teknik Bahan Nuklir. ISSN 1907-2635 Vol.6 No. 1 Januari 2010: 1-69

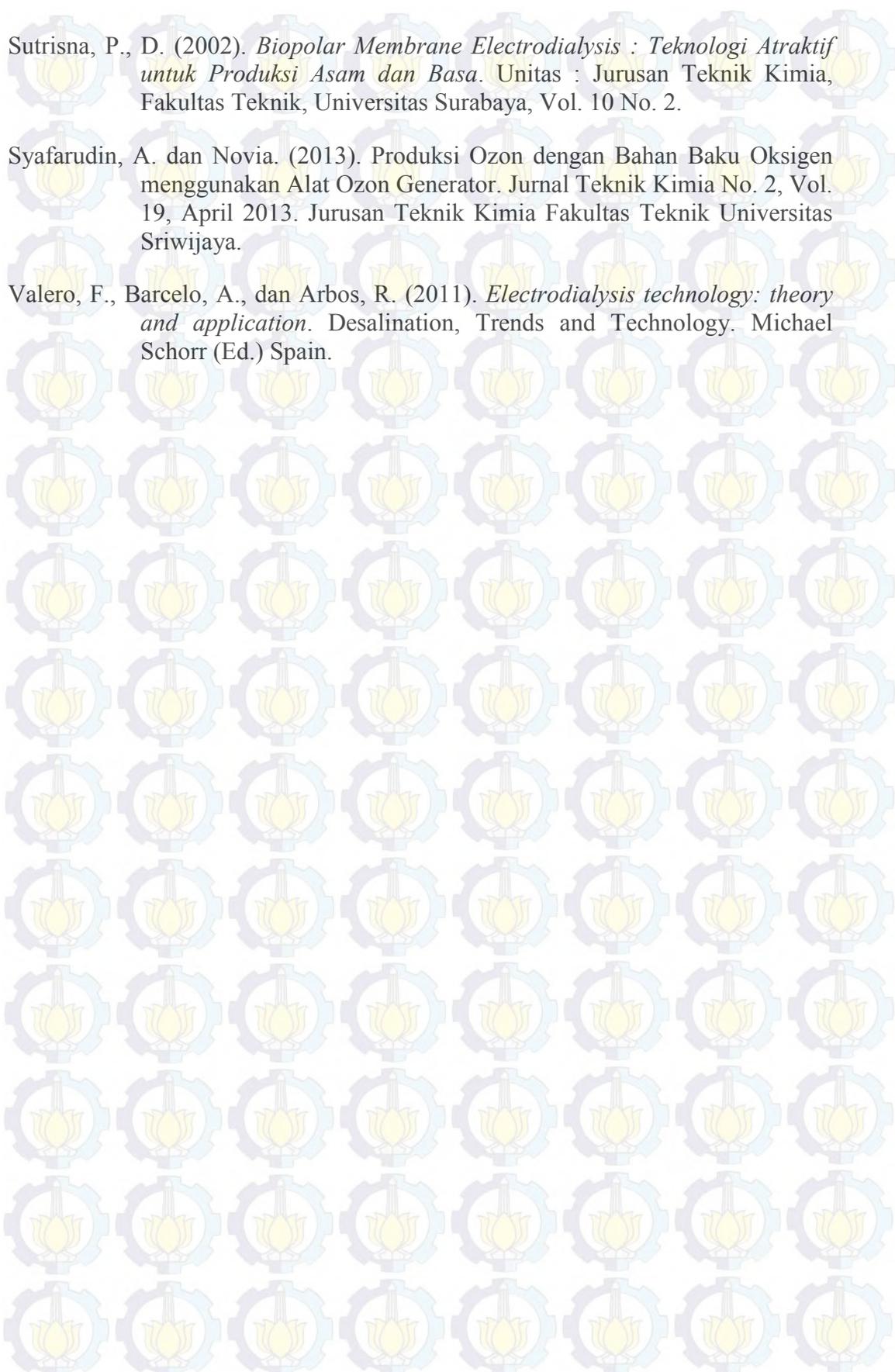
Sisca, H., Ikawati., Kholifah, K., Lamiya, M., dan Sukma, B. A. (2009). *Desalinasi Air Laut Menggunakan Metode Reverse Osmosis Sebagai Solusi Krisis Air Bersih Di Indonesia*. Semarang : Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Slamet, L. (2010). *Pemanfaatan Potensi Ozon di Indonesia, Peneliti Bidang Aplikasi Klimatologi dan Lingkungan*, LAPAN.

Solomon, C., Peter C., Collen M., dan Andrew, L. (1998). *Ozone Disinfection*. U.S. Environmental Protection Agency under Assistance Agreement No. CX824652. National Small Flows Clearinghouse.

Soteris, A. K. (2005). *Seawater Desalination Using Renewable Energy Sources*. Elsevier : Progress in Energy and Combustion Science 31 (2005), 242-281.

Strathmann, H. (2004). *Ion-Exchange Membrane Separation Processes*. New York: Elsevier.



Sutrisna, P., D. (2002). *Biopolar Membrane Electrodialysis : Teknologi Atraktif untuk Produksi Asam dan Basa*. Unitas : Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya, Vol. 10 No. 2.

Syafarudin, A. dan Novia. (2013). Produksi Ozon dengan Bahan Baku Oksigen menggunakan Alat Ozon Generator. *Jurnal Teknik Kimia* No. 2, Vol. 19, April 2013. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Valero, F., Barcelo, A., dan Arbos, R. (2011). *Electrodialysis technology: theory and application*. Desalination, Trends and Technology. Michael Schorr (Ed.) Spain.

LAMPIRAN A
RANGKAIAN REAKTOR ED





LAMPIRAN B PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

Langkah-langkah yang dilakukan untuk analisis sampel sebagai berikut :

1. Analisis TDS

- a. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- b. Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades dan diusap menggunakan tissue
- c. Mencilupkan alat ion-pH lab yang telah di *setting* untuk mengukur TDS

2. Analisis salinitas

- a. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- b. Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades dan di usap menggunakan tissue
- c. Mencilupkan alat ion-pH lab yang telah di *setting* untuk mengukur salinitas

3. Analisis pH

- a. Mengambil sampel di outlet masing-masing reaktor
- b. Membersihkan ujung alat pH meter dengan aquades dan diusap menggunakan tissue
- c. Mencilupkan alat ke dalam sampel.

4. Analisis Klorida

Reagen yang dibuthkan untuk analsis klorida sebagai berikut :

Larutan AgNO_3 1/35,45 N

- Larutkan 4,7945 gr AgNO_3 dalam 1 L aquades

Standarisasi

- Larutkan 1,6485 gr NaCl pro analis dengan aquades dalam labu ukur sampai tanda batas.
- Pipet 10 mL larutan NaCl + 3 tetes HNO₃ pekat+ 3 tetes K₂CrO₄ 10% + MgO atau ZnO
- Titrasasi dengan larutan AgNO₃ 1/35,45 N dari warna kuning sampai warna merah bata, dimana faktor AgNO₃ = 10 / mL titran.
- Larutan K₂CrO₄ 10%
- Larutkan 10 gr K₂CrO₄ dalam 100 mL aquades.

Prosedur Analisa Klorida

- Ambil 25 mL sampel ke dalam erlenmayer
- Ditambahkan 0,5 mL K₂CrO₄ 10%
- Ditambahkan 1 spatula MgO
- Titrasasi dengan AgNO₃ hingga warna menjadi merah bata.
- Menghitung mg/L klorida dengan rumus berikut

$$Cl \text{ (mg/L)} = (1000/25) \times \text{mL titrasi} \times f \times 35,45 \dots (1)$$

5. Analisis Total Koliform

Pembuatan Media Nutrient Agar (NA)

- Menimbang NA sesuai dengan komposisi yang tertera pada label. Dalam penelitian ini, NA yang digunakan komposisinya 20 gram/L, sehingga jika ingin membuat 300 mL media NA, perlu menimbang bubuk NA sebesar 6 gram.
- Masukkan bubuk NA yang telah ditimbang ke dalam erlenmeyer
- Tambahkan aquades hingga volumenya 300 mL
- Aduk larutan NA diatas kompor dengan pengaduk hingga larut

- e. Setelah muncul gelembung tanda mendidih pertama kali, matikan kompor
- f. Diamkan media NA dan tutup menggunakan kapas lemak dan kertas coklat

Pembuatan Larutan Pengencer

- a. Menimbang NaCl sebesar 5 gram
- b. Larutkan NaCl dengan aquades pada labu ukur 1 L
- c. Tutup dengan menggunakan kapas lemak dan kertas coklat

Sterilisasi Alat dan Bahan

- a. Masukkan media NA, larutan pengencer, tabung reaksi, cawan petri, pengaduk, dan pipet ukur yang telah dibungkus kertas coklat ke dalam autoklaf.
- b. Sterilkan dalam autoklaf \pm 20 menit, kemudian keluarkan

Prosedur Analisa

- a. Siapkan cawan petri, tabung reaksi, pipet ukur, media NA, larutan pengencer, dan sampel air
- b. Panaskan media NA yang telah berbentuk padat menjadi cair tanpa membuka kapas lemak dan kertas coklat
- c. Selama media NA dipanaskan, apabila diperlukan pengenceran terhadap sampel (karena jumlah Total Koliform yang mencapai ribuan atau bahkan puluhan ribu), maka lakukan pengenceran dengan cara :
 - Jika dilakukan pengenceran 1x, maka masukkan 9 mL larutan pengencer dan 1 mL sampel ke dalam tabung reaksi
 - Jika pengencerannya 2x, maka masukkan 9 mL larutan pengencer dan 1 mL dari larutan yang telah diencerkan 1x ke dalam tabung reaksi
 - Jika pengencerannya 3x, maka masukkan 9 mL larutan pengencer dan 1 mL dari larutan yang telah diencerkan 2x ke dalam tabung reaksi
- d. Masukkan media NA ke dalam cawan petri sebanyak \pm 10 mL

- e. Masukkan sampel ke dalam cawan petri yang sama sebesar ± 1 mL (media yang digunakan harus tetap dalam bentuk cair ketika sampel dimasukkan karena metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah TPC dengan media cair. Apabila menggunakan media padat, maka tunggu media NA yang ditungkan ke dalam cawan petri hingga memadat, setelah itu baru meletakkan sampel secara merata di atas media padat).
- f. Aduk sampel dan media hingga merata menggunakan pengaduk yang telah disterilisasi. Sampel dan media NA yang dimasukkan ke dalam cawan petri harus tetap dalam keadaan steril, sehingga ketika memasukkannya lakukan di atas bunsen
- g. Tutup cawan petri yang telah diaduk rata, lalu panaskan sekeliling cawan di atas bunsen agar tidak ada kontaminan yang masuk
- h. Bungkus cawan petri menggunakan kertas coklat kemudian letakkan di tempat yang datar
- i. Diamkan selama 24 jam, kemudian hitung banyaknya titik yang terdapat pada media menggunakan *Coloni Counter*. Titik pada media menunjukkan jumlah total koliform yang terdapat dalam sampel. Jika dilakukan pengenceran, maka hasil yang telah dihitung kemudian dibagi dengan faktor pengenceran.

LAMPIRAN C SPESIFIKASI MEMBRAN

1. Cation Exchange Membranes (CEM)

CMI-7000 Cation Exchange Membranes Technical Specification

Technical Specification	CMI-7000S
	Single Sheet
Functionality	Strong Acid Cation Exchange Membrane
Polymer Structure	Gel polystyrene cross linked with divinylbenzene
Functional Group	Sulphonic Acid
Ionic Form as Shipped	Sodium
Color	Brown
Standard Size :US : Metric	48in x 120in 1.2mx 3.1 m
Standard Thickness (mils) (mm)	18 ± 1 0.45 ± 0.025
Electrical Resistance (Ohm.cm ²) 0.5 mol/L NaCl	<30
Permselectivity (%) 0.1 mol KCl/kg/0.5 mol KCl/kg	94
Total Exchange Capacity (meq/g)	1.6 ± 0.1
Water Permeability (ml/hr/ft ²) @5psi	<3
Mullen Burst Test strength (psi)	>80
Thermal stability (°C)	90
Chemical Stability Range (pH)	1-10
Preconditioning Procedure	Membranes should be preconditioned by emersion in a 5% NaCl solution at 40°C for 24 hours to allow for membrane hydration and expansion

2. Anion Exchange Membranes (AEM)

AMI-7001 Anion Exchange Membranes Technical Specification

Technical Specification	AMI-7001S	AMI-7001CR
	Single Sheet	Continuous Roll
Functionality	Strong Base Anion Exchange Membrane	
Polymer Structure	Gel polystyrene cross linked with divinylbenzene	
Functional Group	Quaternary Ammonium	
Ionic Form as Shipped	Chloride	
Color	Light Yellow	
Standard Size :US	48in x 120in	48in x 120ft
: Metric	1.2mx 3.1 m	1.2mx 37 m
Standard Thickness (mils)	18 ± 1	20 ± 1
(mm)	0.45 ± 0.025	0.50 ± 0.025
Electrical Resistance (Ohm.cm²) 0.5 mol/L NaCl	< 40	< 40
Permselectivity (%) 0.1 mol KCl/kg/0.5 mol KCl/kg	90	90
Total Exchange Capacity (meq/g)	1.3 ± 0.1	1.3 ± 0.1
Water Permeability (ml/hr/ft²) @5psi	< 3	< 10
Mullen Burst Test strength (psi)	> 80	> 80
Thermal stability (°C)	90	90
Chemical Stability Range (pH)	1-10	1-10
Preconditioning Procedure	Membranes should be preconditioned by emersion in a 5% NaCl solution at 40°C for 24 hours to allow for membrane hydration and expansion	

LAMPIRAN D

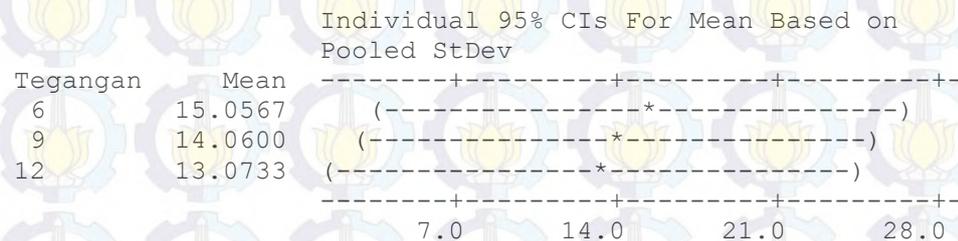
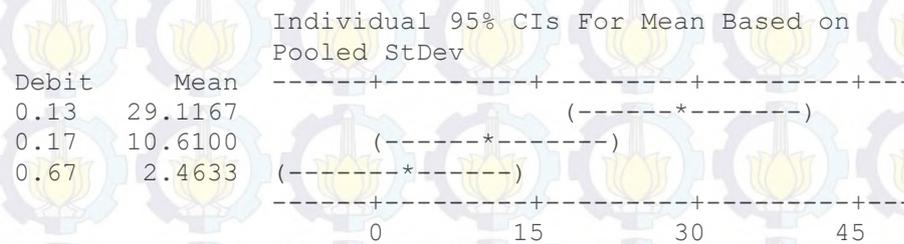
HASIL UJI STATISTIK DENGAN MENGGUNAKAN ANOVA

1. Hasil Analisis pada Klorida

Two-way ANOVA: Klorida versus Debit, Tegangan

Source	DF	SS	MS	F	P
Debit	2	1119.27	559.633	11.17	0.023
Tegangan	2	5.90	2.950	0.06	0.944
Error	4	200.49	50.123		
Total	8	1325.66			

S = 7.080 R-Sq = 84.88% R-Sq(adj) = 69.75%

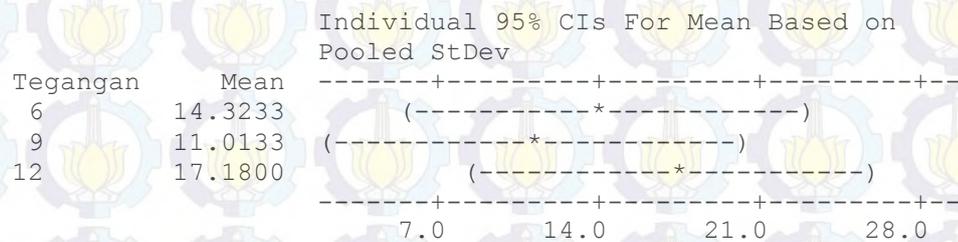
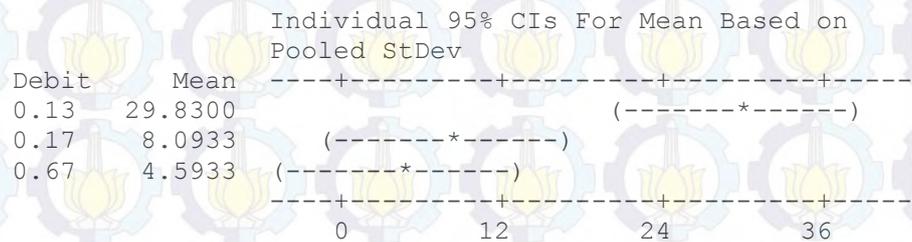


2. Hasil Analisis pada Salinitas

wo-way ANOVA: Salinitas versus Debit, Tegangan

Source	DF	SS	MS	F	P
Debit	2	1121.62	560.811	17.84	0.010
Tegangan	2	57.14	28.572	0.91	0.473
Error	4	125.75	31.437		
Total	8	1304.52			

S = 5.607 R-Sq = 90.36% R-Sq(adj) = 80.72%

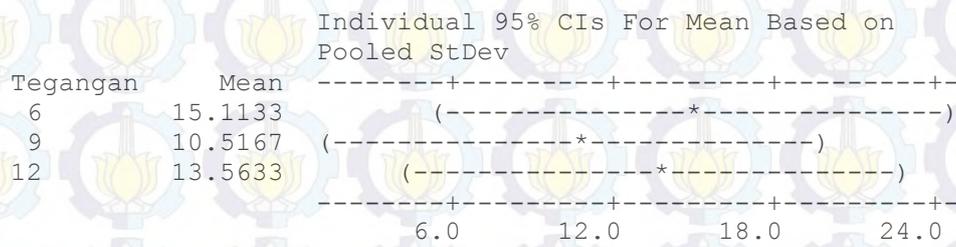
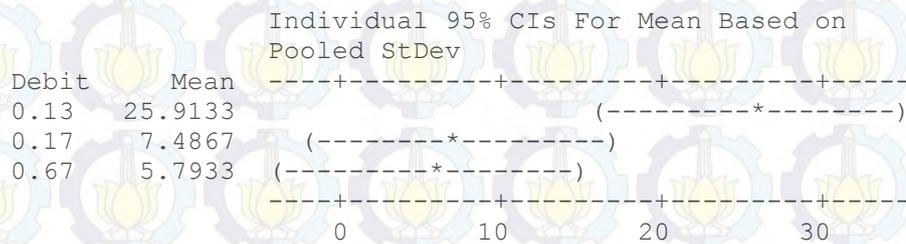


3. Hasil Analisis pada TDS

Two-way ANOVA: TDS versus Debit, Tegangan

Source	DF	SS	MS	F	P
Debit	2	747.224	373.612	10.80	0.024
Tegangan	2	32.814	16.407	0.47	0.653
Error	4	138.369	34.592		
Total	8	918.407			

S = 5.882 R-Sq = 84.93% R-Sq(adj) = 69.87%



**BIODATA ALUMNI S-2 TEKNIK LINGKUNGAN ITS
PERIODE WISUDA SEPTEMBER 2014**

1. Nama Lengkap : Ulvi Pri Astuti
2. Nomor Induk Mahasiswa : 3312 201 903
3. Jenis Kelamin : Perempuan
4. Tempat Tanggal Lahir : Pamekasan, 28 Oktober 1990
5. Agama : Islam
6. a. Alamat Tempat Tinggal : Perum. Graha Kencana Blok MM-13, Pamekasan
- b. Nomor HP : +6281 703 255 934
7. Status Pekerjaan : Belum Bekerja
8. a. Asal S-1 : Teknik Lingkungan
- b. Alamat Asal S-1 : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
: Kampus ITS Sukolilo Surabaya, 60111
9. a. Judul Tesis : Pengolahan Air Payau menggunakan
Elektrodialisis dan Ozon
- b. Pembimbing Tesis : Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D
- c. Lama Penyelesaian Tesis : 4 bulan
- d. Nilai Tesis :
10. IPK : 3.70
11. Lama Menempuh S-2 : Empat (4) Semester
12. Derajat Kelulusan :
13. Status Perkawinan : Belum Menikah



Surabaya, Agustus 2014
Wisudawan

(Ulvi Pri Astuti)