

**SIMULASI PENGARUH KONSENTRASI UMPAN,
TEKANAN OPERASI, DAN FENOMENA *FOULING*
TERHADAP PERFORMA MEMBRAN *REVERSE*
*OSMOSIS***

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai
gelar sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh :

Dennis Adrian

(2017620042)

Dosen Pembimbing :

Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Yansen Hartanto, S.T., M.T

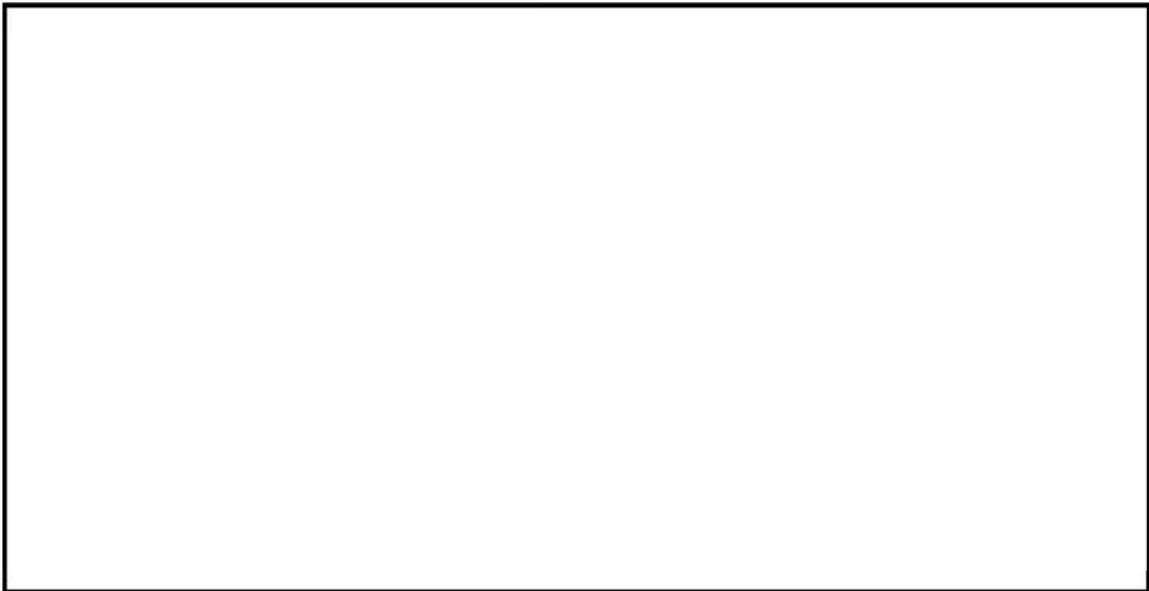


**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : SIMULASI PENGARUH KONSENTRASI UMPAN, TEKANAN OPERASI, DAN FENOMENA *FOULING* TERHADAP PERFORMA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 1 Juli 2021

Pembimbing 1



Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D.

Pembimbing 2

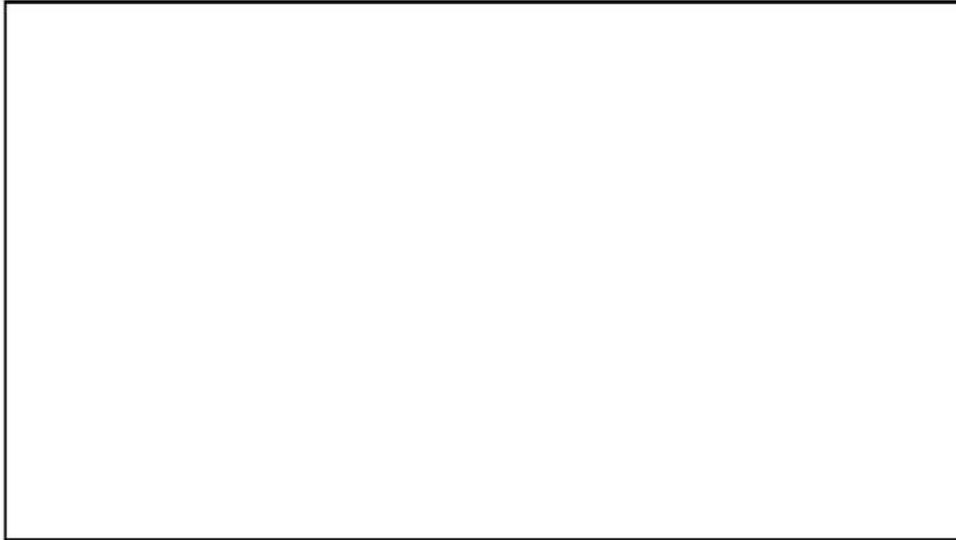


Yansen Hartanto, S.T., M.T.

LEMBAR REVISI

JUDUL : SIMULASI PENGARUH KONSENTRASI UMPAN, TEKANAN OPERASI, DAN FENOMENA *FOULING* TERHADAP PERFORMA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*

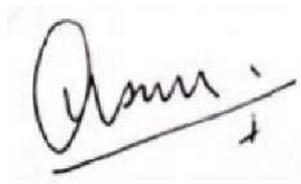
CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 1 Juli 2021

Penguji 1



Dr. Ir. Asaf K. Sugih

Penguji 2



I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dennis Adrian

NPM : 2017620042

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**SIMULASI PENGARUH KONSENTRASI UMPAN, TEKANAN OPERASI, DAN
FENOMENA *FOULING* TERHADAP PERFORMA MEMBRAN *REVERSE*
*OSMOSIS***

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 1 Juli 2021



Dennis Adrian
(2017620042)

INTISARI

Kebutuhan manusia akan air bersih akan terus meningkat bersama dengan pertambahan waktu. Air bersih dapat diproduksi oleh teknologi desalinasi. Desalinasi adalah proses pemisahan air dari larutan yang mengandung garam. Tujuan dari desalinasi adalah memproduksi air bersih dari larutan yang mengandung garam seperti air laut atau air payau. Salah satu teknologi desalinasi yang umum digunakan di dunia adalah *reverse osmosis*. *Reverse osmosis* adalah proses filtrasi bertekanan menggunakan membran. Membran pada *reverse osmosis* adalah membran semi permeabel yang dapat dilewati air tetapi tidak dapat dilewati garam. *Reverse osmosis* pada penelitian ini akan diteliti untuk mendesalinasi air laut. Laut menutupi 70% permukaan bumi sehingga laut dapat menjadi potensi besar untuk menjadi sumber air bersih. Kelebihan proses *reverse osmosis* dibandingkan dengan proses desalinasi lainnya adalah sudah banyak digunakan didunia, hemat energi, hemat biaya kapital dan biaya operasi, aman pengoperasiannya, dan mudah untuk di *scale up*.

Penelitian ini mengamati pengaruh beberapa variabel terhadap performa membran *reverse osmosis*. Variabel tersebut adalah tekanan operasi, konsentrasi umpan masukan, dan fenomena *fouling*. Fenomena *fouling* pada membran *reverse osmosis* adalah akumulasi dari zat-zat yang tidak melewati membran dan tidak terlarut pada permukaan membran sehingga menurunkan produktifitas membran. Penelitian ini akan menggunakan model matematika untuk membran *reverse osmosis* dengan konfigurasi *spiral wound*. Model yang digunakan merupakan model tunak/*steady state* 2 dimensi dimana umpan dan produk/*permeate* akan mengalir pada arah yang berbeda. Untuk mengamati performa dari membran *reverse osmosis*, digunakan 2 parameter. Parameter pertama adalah jumlah produk yang diamati secara kuantitatif pada variabel laju alir produk. Parameter kedua adalah kualitas produk yang diamati secara kuantitatif pada variabel *salt rejection*. *Salt rejection* didefinisikan sebagai rasio antara selisih konsentrasi umpan keluaran (*brine*) dan konsentrasu produk/*permeate* terhadap konsentrasi umpan keluaran (*brine*).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan operasi dari 10 bar hingga 100 bar akan meningkatkan laju alir produk sebesar 2568 kali dan meningkatkan *salt rejection* sebesar 70,2 %. Tekanan operasi adalah variabel operasi yang sangat berpengaruh pada proses *reverse osmosis*. Peningkatan konsentrasi umpan dari 35 kg/m³ hingga 47 kg/m³ akan menurunkan laju alir produk sebesar 2,13 kali dan menurunkan *salt rejection* sebesar 0,37 %. Proses *reverse osmosis* adalah proses yang cukup stabil terhadap perubahan konsentrasi umpan. Pengoperasian membran selama 730 hari dengan memperhitungkan fenomena *fouling* akan menurunkan laju alir produk sebesar 639 kali dan menurunkan *salt rejection* sebesar 67,9 %. Fenomena *fouling* akan mempengaruhi proses *reverse osmosis* sehingga fenomena ini perlu diperhatikan saat pengoperasian. Pada pengoperasian proses *reverse osmosis*, peningkatan tekanan operasi adalah salah satu strategi yang dapat dilakukan ketika konsentrasi umpan meningkat dan/atau ketika fenomena *fouling* terjadi.

Kata kunci: *fouling*, konsentrasi umpan, *reverse osmosis*, tekanan operasi

ABSTRACT

Human needs for water will gradually increase overtime. Clean water can be produced by desalination technology. Desalination is a separation process used to separate water from saline solution. The purpose of desalination is to produce clean water from saline solution like sea water or brackish water. Reverse osmosis is a desalination technology that is widely used worldwide. Reverse osmosis is a pressure-based filtration process with membrane filter. The membrane in reverse osmosis is a semi permeable membrane that allows water to pass it, but not salt. This research will observe reverse osmosis process to desalinate sea water. The ocean covers 70 % of the earth surface thus sea water have a big potential as a clean water source. The advantages of reverse osmosis process compared to other desalination technology are more used worldwide, less energy needed, less capital and operational cost, safer, and easier to scale up.

This research will observe the effect of some variables towards reverse osmosis membrane performance. The variables are operation pressure, feed concentration, and fouling phenomenon. Fouling phenomenon in reverse osmosis membrane is an accumulation of substances that don't pass through the membrane and don't dissolve in the membrane surface that reduce membrane productivity. This research will use mathematic model for spiral wound reverse osmosis membrane configuration. The model is a steady state two dimensional model where feed and permeate will flow in a different direction. Two parameters will be used for observing reverse osmosis membrane performance. The first parameter is the ammount of the product. This parameter will be observed quantitatively with product flow rate variable. The second parameter is the quality of the product. This parameter will be observed quantitatively with salt rejection. Salt rejection is defined as a ratio between the difference of output feed concentration (brine concentration) and permeate concentration to output feed concentration (brine concentration).

The research result showed that the increase of operation pressure from 10 bar to 100 bar will increase the product flow rate by 2568 times and increase the salt rejection by 70,2 %. Operation pressure is an operating variable that has a great effect on reverse osmosis process. The increase of feed concentration from 35 kg/m³ to 47 kg/m³ will decrease the product flow rate by 2,13 times and decrease the salt rejection by 0,37 %. The reverse osmosis process is a stable process towards the change of feed concentration. The effect of fouling phenomenon will decrease the product flow rate by 639 times and decrease the salt rejection by 67,9 % for 730 days membrane operation. Fouling phenomenon will affect the reverse osmosis process. This phenomenon must be continuously monitored in operation. In reverse osmosis operation, the increase of operation pressure is one of the strategy that can be used when feed concentration increase and/or fouling phenomenon occurs.

Keywords: feed concentration, fouling, operating pressure, reverse osmosis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul “Simulasi Pengaruh Konsentrasi Umpan, Tekanan Operasi, dan Fenomena *Fouling* Terhadap Performa Membran *Reverse osmosis*” dengan baik dan tepat pada waktunya. Adapun penulisan laporan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan mata kuliah CHE 184650 dan sebagai salah satu tugas akhir untuk memperoleh gelar sarjana S-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan laporan penelitian ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya secara khusus kepada:

1. Bapak Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D dan Bapak Yansen Hartanto, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan saran selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
2. Orangtua serta keluarga atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
3. Teman-teman, khususnya mahasiswa Teknik Kimia UNPAR angkatan 2017, yang telah memberikan dukungan dan masukan kepada penulis selama proses penulisan proposal penelitian ini.
4. Pihak-pihak lain yang telah memberikan kontribusi dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa pada laporan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka akan adanya kritik, masukan, dan saran yang relevan dan membangun. Akhir kata, selamat membaca dan semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 1 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | ii |
| SURAT PERNYATAAN..... | iii |
| LEMBAR REVISI..... | iv |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI..... | vi |
| DAFTAR GAMBAR..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| INTISARI..... | x |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Tema Sentral Masalah..... | 4 |
| 1.3. Identifikasi Masalah..... | 4 |
| 1.4. Premis..... | 4 |
| 1.5. Hipotesis..... | 5 |
| 1.6. Tujuan penelitian..... | 5 |
| 1.7. Manfaat penelitian..... | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 7 |
| 2.1. Teknologi Desalinasi Air Laut yang Banyak Digunakan di Dunia..... | 7 |
| 2.1.1. <i>Multistage Flash Desalination</i> (MSF)..... | 7 |
| 2.1.2. <i>Multi-effect Desalination</i> (MED)..... | 8 |
| 2.1.3. <i>Electrodialysis</i> dengan Membran (ED/EDM)..... | 9 |
| 2.1.4. <i>Reverse Osmosis</i> (RO)..... | 9 |
| 2.2. Model Perpindahan Massa pada Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 11 |
| 2.3. Persamaan Model <i>Reverse Osmosis</i> | 12 |
| 2.4. <i>Fouling</i> pada Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 17 |
| 2.5. Faktor <i>Fouling</i> pada Persamaan Model Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 20 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 22 |
| 3.1. Penyelesaian Persamaan Model..... | 22 |
| 3.2. Variasi Penelitian..... | 28 |
| 3.2.1. Variasi Tekanan Operasi..... | 28 |
| 3.2.2. Variasi Konsentrasi Umpan..... | 28 |
| 3.2.3. Variasi <i>Fouling</i> | 28 |
| 3.3. Analisis Data..... | 29 |
| BAB IV PEMBAHASAN..... | 30 |
| 4.1. Parameter Percobaan..... | 30 |
| 4.2. Validasi Model..... | 31 |
| 4.3. Penentuan Jumlah Diskritisasi..... | 32 |
| 4.4. Simulasi Model..... | 34 |

| | | |
|---|---|----|
| 4.4.1. | Pengaruh Tekanan Operasi terhadap Performa Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 35 |
| 4.4.2. | Pengaruh Konsentrasi Umpan terhadap Performa Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 37 |
| 4.4.3. | Pengaruh Fenomena <i>Fouling</i> terhadap Performa Membran <i>Reverse Osmosis</i> | 39 |
| 4.5. | Keterkaitan Antara 3 Variabel dan Implikasinya dalam Industri | 42 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 44 |
| LAMPIRAN A PENURUNAN PERSAMAAN MODEL DESALINASI AIR LAUT DENGAN <i>REVERSE OSMOSIS</i> | | 47 |
| LAMPIRAN B <i>SCRIPT</i> MATLAB | | 63 |
| LAMPIRAN C CONTOH HASIL PERHITUNGAN DARI MATLAB..... | | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Skema Proses MSF (Jalihal & Venkatesan, 2019) | 7 |
| Gambar 2.2 Skema Proses MED (Jalihal & Venkatesan, 2019) | 8 |
| Gambar 2.3 Skema Proses ED/EDM (Jalihal & Venkatesan, 2019) | 9 |
| Gambar 2.4 Prinsip Osmosis dan <i>Reverse Osmosis</i> (Jalihal & Venkatesan, 2019) | 10 |
| Gambar 2.5 Empat (4) Sub-proses Penting dalam Proses <i>Reverse Osmosis</i> (RO)..... | 10 |
| Gambar 2.6 Konfigurasi membran <i>spiral wound</i> pada <i>reverse osmosis</i> | 13 |
| Gambar 2.7 Skema model plat 2 dimensi | 13 |
| Gambar 2.8 Skema model plat 2 dimensi (Gu et al., 2017) | 14 |
| Gambar 2.9 Nilai Resistansi Membran (R_m) Terhadap Panjang Membran pada Berbagai Waktu Operasi (Lee et al., 2012)..... | 21 |
| Gambar 3.1 Skema Visual Model Plat 2 Dimensi..... | 22 |
| Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Persamaan..... | 26 |
| Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Penyelesaian Persamaan di Sumbu x..... | 27 |
| Gambar 4.1 Perbandingan Grafik 3 Dimensi Hasil Perhitungan Terhadap Literatur..... | 32 |
| Gambar 4.2 Kurva Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap Laju Alir Produk | 36 |
| Gambar 4.3 Kurva Pengaruh Tekanan Operasi Terhadap <i>Salt Rejection</i> | 37 |
| Gambar 4.4 Kurva Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap Laju Alir Produk..... | 38 |
| Gambar 4.5 Kurva Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap <i>Salt Rejection</i> | 39 |
| Gambar 4.6 Kurva Pengaruh Hari Operasi Terhadap Laju Alir Produk..... | 40 |
| Gambar 4.7 Kurva Laju Alir Produk Terhadap Hari Operasi pada Berbagai Panjang Membran (Chen et al., 2004)..... | 40 |
| Gambar 4.8 Kurva Pengaruh Hari Operasi Terhadap <i>Salt Rejection</i> | 41 |
| Gambar 4.9 Kurva Pengaruh Hari Operasi Terhadap Fluks Perpindahan Massa | 41 |
| Gambar A.II.5.1 Fenomena Polarisasi Konsentrasi..... | 58 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Sumber Air Dunia dan Kandungan Air Bersihnya (P.H. Gleick, 1993) | 2 |
| Tabel 1.2 Kapasitas Pabrik Desalinasi Global Berdasarkan Teknologi pada Tahun 2008 (Al-Karaghoul & Kazmerski, 2011) | 3 |
| Tabel 1.3 Perbandingan Beberapa Proses Desalinasi (Tan et al., 2012)..... | 3 |
| Tabel 1.3 Perbandingan Beberapa Proses Desalinasi (Tan et al., 2012) (Lanjutan) | 4 |
| Tabel 4.1 Data Parameter (Gu et al. 2017)..... | 30 |
| Tabel 4.2 Data Parameter Tambahan..... | 31 |
| Tabel 4.3 Variasi Diskritisasi N_x pada N_z Konstan | 33 |
| Tabel 4.4 Variasi Diskritisasi N_z pada N_x Konstan | 33 |
| Tabel 4.4 Variasi Diskritisasi N_z pada N_x Konstan (Lanjutan) | 34 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air adalah bahan alam yang diperlukan untuk kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan sebagai media pengangkut zat-zat makanan dan juga merupakan sumber energi serta berbagai keperluan lainnya. Air merupakan bahan alam yang sangat diperlukan, terutama untuk manusia. Menurut Suripin (2002) dalam Sasongko et al. (2014), 6,121 miliar jumlah penduduk dunia memerlukan air bersih sebanyak 367 km³ per hari. Jumlah kebutuhan air manusia diperkirakan akan meningkat pada tahun 2025 sebanyak 492 km³ per hari. Sehingga, diperlukan akses air bersih sebanyak mungkin untuk memenuhi kebutuhan air bersih yang meningkat.

Penyediaan air bersih di Indonesia masih menjadi masalah. Direktur Jenderal Cipta Karya Kementerian PUPR Danis H Sumadilaga menyatakan bahwa akses air bersih untuk seluruh masyarakat Indonesia baru terpenuhi sebesar 72 % hingga akhir tahun 2018 lalu. Beliau menyatakan bahwa pada tahun 2019 diperkirakan akses air bersih hanya akan terpenuhi sebesar 77 %. Sehingga, belum semua masyarakat Indonesia memiliki akses air bersih. Perkembangan fasilitas penyediaan air bersih menjadi kebutuhan yang penting di Indonesia agar seluruh masyarakat dapat memiliki akses air bersih.

Saat ini, air tanah adalah sumber air bersih yang cukup banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Namun penggunaan air tanah yang berlebihan dapat mengakibatkan penurunan permukaan tanah. Penelitian mengenai penurunan muka tanah secara kuantitatif telah dilakukan oleh Hutabarat (2017) di wilayah DKI Jakarta. Hasil penelitian Hutabarat (2017) menyatakan bahwa dari tahun 1990 sampai tahun 2016 telah terjadi penurunan muka tanah pada rentang 0 cm/tahun sampai 12 cm/tahun. Penelitian lain menunjukkan dampak dari penurunan permukaan tanah di wilayah DKI Jakarta, yang dilakukan oleh Yuhanafia dan Andreas (2017). Dampak nyata dari penurunan permukaan tanah adalah banjir yang mengakibatkan kerugian ekonomi. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa nilai kerugian ekonomi akan meningkat sebesar 73% dari tahun 2007 sampai tahun 2027 akibat banjir. Sehingga, pengambilan air tanah secara terus menerus dapat merugikan wilayah tersebut. Terdapatnya sumber air bersih lain akan sangat membantu penyediaan air bersih di Indonesia.

Sebagian besar bagian dari bumi adalah laut. Laut menutupi 70 % dari bumi. Laut memiliki potensi besar sebagai sumber air. Potensi ini dapat dilihat pada Tabel 1.1 yang menunjukkan berbagai sumber air dunia dan kandungan air bersihnya. Dari Tabel 1.1 dapat terlihat bahwa 96 % air di dunia adalah air laut. Namun, air laut bukanlah air bersih yang dapat langsung digunakan. Diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengkonversi air laut menjadi air bersih yang dapat digunakan.

Tabel 1.1 Sumber Air Dunia dan Kandungan Air Bersihnya (P.H. Gleick 1993)

| Sumber air | Persen air bersih (%) | Persen total air (%) |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Laut, samudra, dan pelabuhan | 0 | 96,5 |
| Es, gletser, dan salju | 68,7 | 1,74 |
| Air tanah | | 1,69 |
| 1. Air tanah bersih | 30,1 | 0,76 |
| 2. Air tanah mengandung garam | 0 | 0,93 |
| Tanah Lembab | 0,05 | 0,001 |
| Es tanah dan lapisan es | 0,86 | 0,022 |
| Danau | | 0,013 |
| 1. Danau bersih | 0,26 | 0,007 |
| 2. Danau mengandung garam | 0 | 0,006 |
| Atmosfer | 0,04 | 0,001 |
| Air rawa | 0,03 | 0,0008 |
| Sungai | 0,006 | 0,0002 |
| Air biologis | 0,003 | 0,0001 |

Indonesia adalah negara kepulauan dengan luas laut yang begitu besar. 71 % dari wilayah Indonesia adalah lautan. Bila ditambahkan dengan sungai dan danau, 75 % sampai 80 % dari wilayah Indonesia adalah perairan. Lautan Indonesia dapat dimanfaatkan untuk berbagai hal, dari kekayaan maritimnya sampai penggunaan air lautnya. Sehingga, penggunaan air laut menjadi air bersih di Indonesia dapat menjadi perhatian karena memiliki potensi yang besar.

Proses untuk mengkonversi air laut menjadi air bersih adalah desalinasi. Desalinasi adalah pemisahan air dengan sengaja dari larutan yang mengandung garam (Jalihal &

Venkatesan, 2019). Tujuan dari desalinasi adalah memproduksi air bersih dari larutan yang mengandung garam, seperti air laut dan air payau. Desalinasi dapat dijalankan dengan berbagai metode. Namun, teknologi desalinasi yang umum digunakan adalah proses desalinasi berbasis termal dan proses desalinasi berbasis membran. Proses desalinasi berbasis termal adalah proses desalinasi dengan menggunakan kalor dan memanfaatkan perbedaan titik didih antara air murni dengan zat terlarut di dalam air laut. Sementara itu proses desalinasi berbasis membran adalah proses desalinasi dengan menggunakan membran sebagai filter yang tidak dapat dilewati zat terlarut dan dapat dilewati oleh air.

Tabel 1.2 menunjukkan berbagai teknologi desalinasi yang digunakan di dunia dan kapasitasnya secara global. Dari Tabel 1.2 dapat diketahui bahwa proses *reverse osmosis* (RO) adalah proses desalinasi yang paling banyak digunakan di dunia. Kemudian Tabel 1.3 menunjukkan perbandingan teknologi desalinasi yang umum digunakan berdasarkan aspek proses dan ekonomi. Dari Tabel 1.3 dapat terlihat bahwa proses *reverse osmosis* adalah proses dengan total konsumsi energi yang kecil dan dengan biaya produksi air yang paling rendah. Menurut Yoshi & Widiassa (2016), proses *reverse osmosis* memiliki modal awal dan biaya operasi yang lebih murah bila dibandingkan dengan proses desalinasi berbasis termal.

Tabel 1.2 Kapasitas Pabrik Desalinasi Global Berdasarkan Teknologi pada Tahun 2008
(Al-Karaghouli & Kazmerski, 2011)

| Proses | Kapasitas (dalam %) |
|--------------------------------|----------------------------|
| <i>Reverse osmosis</i> (RO) | 53 |
| Elektrodialisis (ED) | 3 |
| Multieffect distillation (MED) | 8 |
| Multistage flash (MSF) | 25 |
| Lainnya | 11 |

Tabel 1.3 Perbandingan Beberapa Proses Desalinasi (Tan et al., 2012)

| Variabel | MED | MSF | RO | ED |
|---|------------|------------|-----------|-----------|
| Total konsumsi Energi (kWh/m ³) | 6 - 65 | 15 - 80 | 3 - 10 | 3 - 6 |
| Biaya air (\$/m ³) | 0,52 - 10 | 0,52 - 3 | 0,1 - 4 | 0,45 - 5 |

Tabel 1.4 Perbandingan Beberapa Proses Desalinasi (Tan et al., 2012) (Lanjutan)

| Variabel | MED | MSF | RO | ED |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|
| Temperatur operasi maksimum (°C) | 70 | 120 | - | - |

Pada penelitian ini, proses *reverse osmosis* (RO) untuk mendesalinasi air laut akan dipilih karena beberapa alasan. Alasan pertama adalah proses *reverse osmosis* adalah proses yang banyak digunakan. Dunia akan terus membutuhkan pengembangan dan penelitian pada proses *reverse osmosis*. Alasan kedua adalah proses *reverse osmosis* adalah proses yang hemat energi. Alasan ketiga adalah proses *reverse osmosis* merupakan proses desalinasi dengan biaya operasi dan modal yang murah. Alasan keempat adalah proses *reverse osmosis* akan lebih aman untuk dioperasikan karena pengoperasiannya dilakukan pada temperatur kamar. Alasan kelima adalah proses ini cukup mudah untuk di *scale up* karena desain membran yang berbentuk modul-modul akan menambahkan fleksibilitas untuk membangun fasilitas desalinasi *reverse osmosis* pada berbagai kapasitas. Kemudahan *scale up* pada proses *reverse osmosis* ini juga dikemukakan oleh Said (2003) dan Garud et al. (2011).

1.2. Tema Sentral Masalah

Masalah utama yang akan diteliti adalah penggunaan persamaan model 2 dimensi dari proses *reverse osmosis* untuk mengamati pengaruh beberapa variabel (konsentrasi umpan, tekanan operasi, dan fenomena *fouling*) pada performa membran.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi umpan masukan terhadap performa membran *reverse osmosis*?
2. Bagaimana pengaruh tekanan operasi terhadap performa membran *reverse osmosis*?
3. Bagaimana fenomena *fouling* mempengaruhi performa membran *reverse osmosis*?

1.4. Premis

Performa membran diamati dari laju alir produk dan juga *salt rejection*. *Salt rejection* adalah rasio antara selisih konsentrasi umpan dan konsentrasi *permeate* terhadap konsentrasi umpan. *Salt rejection* mengindikasikan kualitas produk yang dihasilkan dari proses *reverse*

osmosis. Laju alir produk mengindikasikan kuantitas produk yang dihasilkan dari proses *reverse osmosis*. Semakin besar tekanan umpan masukkan/tekanan operasi, laju alir produk dan *salt rejection* akan semakin besar (Dimitriou et al. (2017), Mohammed, Abbas, dan Sabri (2014), The Dow Chemical Company (2013)). Hal ini terjadi karena semakin besar tekanan operasi, semakin besar *driving force* perpindahan massa air melewati membran. Peningkatan tekanan operasi akan meningkatkan perpindahan massa air dan tidak mempengaruhi perpindahan massa garam/zat terlarut. Sehingga, konsentrasi air produk/*permeate* akan semakin kecil dan membuat *salt rejection* yang semakin besar.

Semakin besar konsentrasi umpan, laju alir produk dan *salt rejection* akan semakin kecil (The Dow Chemical Company (2013), Mohammed et al. (2014), dan Geankoplis (1993)). Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi umpan akan meningkatkan tekanan osmotik umpan. Peningkatan tekanan osmotik umpan akan menurunkan *driving force* perpindahan massa air. Peningkatan konsentrasi umpan akan meningkatkan perpindahan massa garam melewati membran. Sehingga, *salt rejection* membran semakin kecil akibat bertambahnya jumlah garam melewati membran. Fenomena *fouling* pada membran *reverse osmosis* akan meningkatkan nilai resistansi membran (R_m) dan menurunkan perpindahan massa air melewati membran (Lee et al. 2012, Chen et al. 2004, Hoek et al. 2008, dan Park et al. 2008). Penurunan jumlah air/pelarut yang melewati membran akan meningkatkan konsentrasi air produk dan menurunkan *salt rejection*.

1.5. Hipotesis

1. Semakin besar tekanan umpan, semakin besar laju alir produk dan semakin besar nilai *salt rejection* membran.
2. Semakin besar konsentrasi umpan, semakin kecil laju alir produk dan semakin kecil nilai *salt rejection* membran.
3. Fenomena *fouling* pada membran *reverse osmosis* akan menurunkan laju alir produk dan menurunkan nilai *salt rejection* membran.

1.6. Tujuan penelitian

1. Menggunakan persamaan model untuk mempelajari pengaruh konsentrasi umpan terhadap performa membran *reverse osmosis*.
2. Menggunakan persamaan model untuk mempelajari pengaruh tekanan operasi terhadap performa membran *reverse osmosis*.

3. Menggunakan persamaan model untuk mempelajari pengaruh fenomena *fouling* terhadap performa membran *reverse osmosis*.

1.7. Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan gambaran lebih mendalam dari pengaruh beberapa kondisi operasi terhadap performa membran *reverse osmosis*. Manfaat lainnya adalah memberikan gambaran lebih mendalam mengenai pengaruh *fouling* pada membran *reverse osmosis* terhadap performa membran. Hasil dari perhitungan persamaan model kemudian dapat digunakan sebagai referensi untuk pabrik desalinasi air laut yang menggunakan proses *reverse osmosis*. Melalui penelitian ini, diharapkan pabrik desalinasi air laut yang menggunakan proses *reverse osmosis* dapat mengoperasikan proses dengan lebih efektif sehingga didapatkan air produk lebih baik, baik secara kualitas maupun kuantitas.