TUGAS AKHIR - ME184834

PERANCANGAN *CONCENTRATE RECIRCULATION* PADA SISTEM MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS* TIPE *SPIRAL WOUND* UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR

BANGUN DJIWANDONO
NRP. 04211640000016

Dosen Pembimbing
Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng. Ph.D.

Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Tugas A – ME 184834

PERANCANGAN *CONCENTRATE RECIRCULATION* PADA SISTEM MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS* TIPE *SPIRAL WOUND* UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR

Bangun Djiwandono

NRP 04211640000016

Dosen Pembimbing

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BACHELOR THESIS – ME 184834

DESIGNING CONCENTRATE RECIRCULATION IN REVERSE OSMOSIS MEMBRANE TYPE SPIRAL WOUND TO INCREASE FRESHWATER PRODUCTION

Bangun Djiwandono

NRP 04211640000016

Supervisor

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN CONCENTRATE RECIRCULATION PADA SISTEM MEMBRAN REVERSE OSMOSIS TIPE SPIRAL WOUND UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR

TUGAS AKHIR
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Machinery Fluid and System (MMS)*
Program S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Bangun Djiwandono
NRP 04211640000016

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :

Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D.
NIP 197903192008011008

SURABAYA
AGUSTUS 2020

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN CONCENTRATE RECIRCULATION PADA SISTEM MEMBRAN REVERSE OSMOSIS TIPE SPIRAL WOUND UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR

TUGAS AKHIR
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Machinery Fluid and System (MMS)*
Program S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Bangun Djiwandono
NRP 04211640000016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D. (

PERANCANGAN *CONCENTRATE RECIRCULATION* PADA SISTEM MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS* TIPE *SPIRAL WOUND* UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR

Nama mahasiswa : Bangun Djiwandono
NRP : 04211640000016
Pembimbing : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng. Ph.D

ABSTRAK

Masyarakat di wilayah pesisir sering mengalami kekurangan air terutama air bersih karena selama ini fasilitas air bersih kurang memadai apalagi pada saat musim kemarau. Mereka harus berjalan dengan jarak yang jauh. Dengan sumber daya alam yang melimpah yakni air laut. Namun karena kadar salinitas air laut yang tinggi maka diperlukan sebuah metode non- konvensional untuk mengolah air tersebut agar menjadi air minum maupun air buat aktivitas sehari- hari seperti mandi dan mencuci. Dan air yang tidak bisa di proses akan dibuang langsung ke laut.

Dalam tugas akhir ini merancang teknologi reverse osmosis dengan membran berjenis spiral wound dengan memanfaatkan air buangan dari reverse osmosis dengan cara di sirkulasi kembali ke dalam sistem tersebut. Tujuan dari perancangan tersebut yaitu untuk mengurangi jumlah air konsentrat yang dibuang langsung ke laut. Dengan menggunakan membran reverse osmosis FilmTec BW60-1812-75 dengan kapasitas pengolahan maksimum pada membran yaitu 75 GPD . Air baku yang digunakan adalah air olahan yang menyerupai air payau yang berada di sumur warga di daerah pesisir pantai Kenjeran, Surabaya. Yaitu pada sistem concentrate recircualation menghasilkan air produk dengan jumlah 29,6 liter hingga 35,5 liter. Sedangkan sistem non- concentrate recirculation menghasilkana air produk dengan jumlah 28,2 liter hingga 30,2 liter. Namun, pada sistem concentrate recirculation menghasilkan kadar TDS yang lebih besar dibandingkan dengan non- concentrate recirculation. Kadar TDS air produk yang dihasilkan pada sistem concentrate recirculation yaitu 144 – 366 ppm sedangkan pada sistem non-concentrate recirulation menghasilkan air produk dengan kadar TDS yaitu 115 – 264 ppm. Sehingga menyebabkan kemampuan untuk melakukan rejeksi menjadi semakin kecil. Kemampuan rejeksi pada sistem concentrate recirculation yaitu sebesar 86,875 % hingga 94,472 %. Sedangkan pada sistem non- concentrate recirculation memiliki kemampuan rejeksi yaitu sebesar 91,890% hingga 95,878 %.

Kata Kunci: Air Tawar, *Concentrate Recirculation,* Desalinasi, Membran *Spiral Wound, Reverse Osmosis*.

DESIGNING CONCENTRATE RECIRCULATION IN REVERSE OSMOSIS MEMBRANE TYPE SPIRAL WOUND TO INCREASE FRESHWATER PRODUCTION

Nama mahasiswa : Bangun Djiwandono
NRP : 04211640000016
Pembimbing : Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng. Ph.D

ABSTRACT

Communities in coastal areas often experience water shortages, especially clean water, due to the lack of clean water facilities, in particular during the dry season. They have to walk in a great distance. With abundant natural resources namely seawater. However, due to the high salinity levels of seawater, therefore a non-conventional method is needed to process the water to become a drinking water and water for daily activities such as bathing and washing. And a water that cannot be processed will be discharged directly into the sea.

This final project designs reverse osmosis technology with a spiral wound type membrane by utilizing wastewater from reverse osmosis by being circulated back into the system. The purpose of the design is to reduce the amount of concentrated water that is discharged directly into the sea. By using a reverse osmosis film FilmTec BW60-1812-75 with a maximum processing capacity of the membrane which is 75 GPD. The raw water that was used was the processed water that resembled brackish water in a community well in the coastal area of Kenjeran, Surabaya. Namely, the concentrate recirculation system produced water product with an amount of 29.6 liters to 35.5 liters. Whereas, the non-concentrate recirculation system produced water product from 28.2 liters to 30.2 liters. However, the concentrate recirculation system produced TDS levels greater than non-concentrate recirculation. The TDS content of water product produced in the concentrate recirculation system is 144-366 ppm while the non-concentrate recirculation system produced water product with a TDS content of 115-264 ppm. Thus, it causing the ability to do rejection becomes smaller. Rejection ability in the concentrate recirculation system is 86.875% to 94.472%. While the non-concentrate recirculation system has a rejection capability that is equal to 91.890% to 95.887%.

Keywords: Freshwater, Concentrate Recirculation, Desalination, Spiral Wound Membranes, Reverse Osmosis.

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN i

LEMBAR PENGESAHAN ii

ABSTRAK iii

ABSTRACT iv

Daftar Isi iv

Daftar Gambar ix

Daftar Tabel xi

KATA PENGANTAR xii

BAB I 1

PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan Penelitian 2

1.5 Manfaat Penelitian 2

BAB II 3

TINJAUAN PUSTAKA 3

2.1 Review dari penelitian sebelumnya. 3

2.2 Air 3

2.2.1 Pengertian dan karakteristik air laut 3

2.2.2 Standar baku air menurut Peraturan Kementrian Kesehatan 4

2.3 Desalinasi 6

2.4 Teknologi Membran 6

2.4.1 Mikrofiltrasi 6

2.4.2 Ultrafiltrasi 6

2.4.3 Nanofiltrasi 7

2.4.4 Reverse Osmosis 7

2.5 Definisi *Reverse Osmosis* 8

2.6 Membran *Reverse Osmosis* 9

2.6.1 Plat – Frame Module 9
2.6.2 Spiral Wound Module 9
2.6.3 Tubular / Shell and Tube 10
2.6.4 Hollow Fiber 10
2.7 Komponen *reverse osmosis* 11
2.8 Tipe Dan Konfigurasi Membran *Reverse Osmosis* 12
2.8.1 Single Stage 12
2.8.2 Two Stage / Multi Stage 13
2.9 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Membran 13
2.9.1 Karakteristik Membran 13
2.9.2 Tekanan Operasi 14
2.9.3 pH Baku 14
2.9.4 Periode Operasi 14
2.9.5 Konsentrasi Baku 14
2.9.6 Temperatur 14
2.9.7 Suspended Solid 14
2.10 Sistem *Concentrate Recirculation* 15
BAB III 16
METODOLOGI PENELITIAN 16
3.1 Umum 16
3.2 Alur Percobaan 16
3.2.1 Identifikasi masalah 16
3.2.2 Kajian Pustaka 17
3.2.3 Tinjauan Lapangan 17
3.2.4 Perancangan Modifikasi sistem *Reverse Osmosis* 17
3.2.5 Melakukan percobaan 17
3.2.6 Pengujian Hasil Filtrasi 17
3.2.7 Analisa Pengaruh Modifikasi Sistem Membran RO terhadap Hasil Pengujian18
3.2.8 Kesimpulan dan saran 18

3.3 Parameter Percobaan 20
3.4 Alat dan Bahan Percobaan 20
3.5 Spesifikasi Alat 21
3.4.1 Spesifikasi membran *reverse osmosis* yang digunakan 21
3.4.2 Spesifikasi pompa *reverse osmosis* yang digunakan 22
3.6 Rancangan Teknologi 22
3.7 Perancangan Rangkaian Sistem *Reverse Osmosis* 24
3.8 Prosedur Percobaan 25
BAB IV 26
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 26
4.1 Perlakuan awal membran 26
4.2 Tekanan osmotic 26
4.3 Tekanan antar membrane 26
4.4 Pengaruh suhu terhadap tds produk yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage* 27
4.5 Pengaruh suhu terhadap *salt rejection* yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage* 29
4.6 Pengaruh suhu terhadap fluks yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage* 31
4.7 Pengaruh suhu terhadap jumlah air yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage* 32
4.8 Pengaruh suhu terhadap lama pengoperasian pada konfigurasi *single stage*. 33
4.9 Pengaruh suhu terhadap tds produk yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage* 34
4.10 Pengaruh suhu terhadap *salt rejection* yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage* 35
4.11 Pengaruh suhu terhadap fluks yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage* .. 37
4.12 Pengaruh suhu terhadap jumlah air yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage* 38
4.13 Pengaruh suhu terhadap lama pengoperasian pada konfigurasi *two stage* 39
4.14 Perbandingan Jumlah Air Yang Dihasilkan Dengan Menggunakan Sistem *single stage* dan *Two Stage* 40

4.15 Perbandingan Jumlah Air Yang Dihasilkan Dengan Menggunakan Sistem *Concentrate Recirculation* Dan *Non- Concentrate Recirculation* 41

4.16 Perbandingan lama pengoperasian Dengan Menggunakan Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation*..... 42

4.17 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 31 ^{O}C ... 43

4.18 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 35 ^{O}C ... 45

4.19 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 40 ^{O}C ... 47

4.20 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 31 ^{O}C 48

4.21 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 35 ^{O}C 50

4.22 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 40 ^{O}C 52

4.23 Hasil air pengolahan dari sistem *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan menggunakan *solar collector* dan membran keramik..... 54

BAB V 57

KESIMPULAN 57

5.1 Kesimpulan..... 57

5.2 Saran..... 58

Daftar Pustaka 59

LAMPIRAN..... 61

Biodata Penulis 66

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Skema Proses Desalinasi air (Ari Nugroho,2004) 6
Gambar 2. 2 Prinsip reverse osmosis (Noble RD,1995) 8
Gambar 2. 3 Membran plate – frame (K.Scott, 1996) 9
Gambar 2. 4 Membran Spiral Wound (K.Scott, 1996) 10
Gambar 2. 5 Membran *Tubular* (K.Scott, 1996) 10
Gambar 2. 6 Membran Hollow fiber shell side feed design (K.Scott,1996) 11
Gambar 2. 7 Membran hollow fiber bore side feed design (K.Scott,1996)..... 11
Gambar 2. 8 Reverse osmosis single stage (Stoughton,2013) 13
Gambar 2. 9 Reverse osmosis two stage (Stoughton,2013)..... 13
Gambar 2. 10 Skema Concentrate Recirculation (Stoughton,2013) 15

Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian 20
*Gambar 3. 2 Dimensi membran FilmTec BW 60-1812-75 (*Sumber: *FilmTec™ BW60-1812-75 Element Product Data Sheet*) 21
Gambar 3. 3 Aparatus penelitian (Sumber: Dokumen Pribadi) 22
Gambar 3. 4 P&ID rangkaian concentrate recirculation sistem reverse osmosis konfigurasi two stage (Gambar A) & konfigurasi single stage (gambar B) 23
Gambar 3. 5 Rangkaian reverse osmosis concentrate recirculation dengan konfigurasi single stage 24
Gambar 3. 6 Rangkaian reverse osmosis concentrate recirculation dengan konfigurasi two stage 24

Gambar 4. 1 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap TDS air produk (Sumber: Data Primer) 28
Gambar 4. 2 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap TDS air produk (Sumber: Data Primer) 30
Gambar 4. 3 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap Fluks yang dihasilkan (Sumber: Data Primer) 32
Gambar 4. 4 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap jumlah air produk yang dihasilkan (Sumber: Data Primer) 32
Gambar 4. 5 Grafik pengaruh variasi suhu air baku lama waktu pengoperasian (Sumber: Data Primer) 33
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap kadar TDS air produk (Sumber: Data Primer) 35
Gambar 4. 7 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap kemampuan melakukan salt rejection (Sumber: Data Primer) 37
Gambar 4. 8 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap fluks permeat yang dihasilkan (Sumber: Data Primer) 38
Gambar 4. 9 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap jumlah air produk yang dihasilkan (Sumber: Data Primer) 39

Gambar 4. 10 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap lama waktu pengoperasian (Sumber: Data Primer) 40
Gambar 4. 11 Grafik perbandingan jumlah air produk yang dihasilkan pada sistem concentrate recirculation antara konfigurasi single stage dan two stage (Sumber: Data Primer) 41
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan jumlah air produk yang dihasilkan antara sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada konfigurasi two stage (Sumber: Data Primer) 42
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan waktu yang diperlukan untuk pengoperasian pada air baku 60 liter antara sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada konfigurasi two stage (Sumber: Data Primer) 43
Gambar 4. 14 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 31°C (Sumber: Data Primer) 45
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 35°C (Sumber: Data Primer) 46
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 31°C (Sumber: Data Primer) 48
Gambar 4. 17 Grafik perbandingan kemampuan salt rejection pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 31°C (sumber: Data Primer) 50
Gambar 4. 18 Grafik perbandingan kemampuan salt rejection pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 35°C (sumber: Data Primer) 52
Gambar 4. 19 Grafik perbandingan kemampuan salt rejection pada sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 40°C (sumber: Data Primer) 54

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Komposisi air laut (Yoshi, 2016)..... 3
Tabel 2. 2 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan 4
Tabel 2. 3 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan 4
Tabel 2. 4 Parameter Biologis dalam Standar Baku Mutu Kesehatan..... 5
Tabel 2. 5 Karakteristik Membran Mikrofiltrasi..... 6
Tabel 2. 6 Karakteristik Membran Ultrafiltrasi 7
Tabel 2. 7 Karakteristik Membran Nanofiltrasi 7
Tabel 2. 8 Karakteristik Membran Reverse Osmosis..... 7

Tabel 3. 1 Parameter penelitian tugas akhir..... 20
Tabel 3. 2Dimensi membran Filmtec BW 60-1812-75..... 21
Tabel 3. 3Spesifikasi Membran Reverse Osmosis Filmtech 21
Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa reverse osmosis..... 22

Tabel 4. 1 Tekanan Omosis masing – masing air baku..... 26
Tabel 4. 2 Tekanan antar membran masing – masing air baku 27
Tabel 4. 3 TDS air yang dihasilkan (ppm) dengan berbagai macam variasi suhu..... 27
Tabel 4. 4 Kemampuan salt rejection membran dengan berbagai macam variasi suhu 29
Tabel 4. 5 Fluks permeat yang dihasilkan oleh membran reverse osmosis dengan variasi suhu..... 31
Tabel 4. 6 TDS air yang dihasilkan (ppm) dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi two stage 34
Tabel 4. 7 kemampuan salt rejection membran dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi two stage 36
Tabel 4. 8 Fluks permeat yang dihasilkan dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi two stage 38
Tabel 4. 9 TDS air produk yang dihasilkan oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 31°C 44
Tabel 4. 10 TDS air priduk yang dihasilkan oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 35°C 45
Tabel 4. 11 TDS air priduk yang dihasilkan oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 40°C 47
Tabel 4. 12 kemampuan salt rejection oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 31°C..... 49
Tabel 4. 13 Kemampuan salt rejection oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 35°C..... 51
Tabel 4. 14 Kemampuan salt rejection oleh reverse osmosis dengan sistem concentrate recirculation dan non- concentrate recirculation pada suhu 35°C..... 53
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian air sampel sistem reverse osmosis 55

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, ilmu serta hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir saya mengenai "Perancangan *Concentrate Recirculation* Pada Sistem Membran *Reverse Osmosis* Jenis *Spiral Wound* Untuk Meningkatkan Produksi Air Tawar" ini.

Atas tersusunnya laporan – laporan tugas akhir ini, maka saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng,. P.hD, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan saran dan arahan dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir saya.
2. Bapak Benny Cahyono,S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
3. Bapak Ir. Amiadji, M.Sc., selaku dosen wali.
4. Kedua orang tua yang telah memberi dukungan baik itu dukungan secara financial maupun dukungan lainnya
5. Kedua adik saya , Rayung Wulan Sekardono, A.Md dan Kinanti Khodijah Ayudono yang telah memberi semangat dalam pengerjaan tugas akhir
6. Brillyan Dimas Pandu Baskoro, Yudhi Satrio Santoso, selaku teman – teman kelompok tugas akhir penulis.
7. Ardi Munawwar , Satrio Meidianto, Ericson Silalahi, Nikolas Dekko dan teman teman Laboratorium *Machinery and system* yang telah memberi dukungan dan memberi cerita diakhir masa perkuliahan penulis
8. Semua teman – teman Teknik Sistem Perkapalan angkatan 2016 yang telah membantu banyak membantu dan memberikan masukan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu unsur penting di bumi yang sangat dibutuhkan untuk kehidupan. Oleh karena itu air ini sendiri sering disebut sebagai sumber kehidupan yang dimana ada air maka disitu pula terdapat kehidupan. Air menjadi unsur yang sangat krusial mengingat hampir 70% bumi merupakan perairan. Indonesia pun memiliki wilayah perairan yang sangat luas karena merupakan negara kepulauan, namun ironi yang terjadi tidak jarang pula kita mengalami kesulitan untuk mendapatkan air bersih, terutama pada musim kemarau air berubah warna dan menimbulkan bau. Sumber air di muka bumi sangat banyak, sumber air bisa berasal dari air tanah, air sungai, danau, mata air, dan air laut. Manusia sering dihadapkan dengan suatu masalah dimana sumber air tawar sangat sulit untuk didapatkan dan meningkatnya kebutuhan penggunaan air.

Bagi masyarakat yang tinggal di pesisir pantai dan pulau kecil, air tawar adalah sumber kehidupan yang sangat penting. Didunia ini manusia sangatlah membutuhkan air yang bersih dan murni maka dari itu perlu diciptakan suatu alat untuk menunjang air minum yang bersih. Sering terdengar ketika musim kemarau datang maka masyarakat pesisir pantai menyiapkan bak penampung hujan (BPH) untuk menghadapi musim kemarau, akan tetapi usaha tersebut tidak dapat mengatasi musim kemarau yang terjadi. Kelangkaan maupun kualitas air tawar disertai kubutuhan air bersih yang terus meningkat baik dari masyarakat maupun industri merupakan pendorong dibutuhkannya teknologi pengolahan air yang berkualitas serta ramah lingkungan. Di berbagai negara contohnya Belanda telah berupaya untuk mengelola air laut menjadi air tawar yang layak untuk di konsumsi, ada begitu banyak cara yang sudah dilakukan dalam pengelolaan air laut diantaranya, distilasi dan ionisasi (pertukaran ion) tetapi perlu diketahui bahwa air bersih yang dihasilkan oleh proses tersebut membutuhkan proses yang relatif rumit serta biaya yang cukup besar. Pada tahun 1960 Sidney Loeb dan Srinivasa Sourirajan berhasil membuat membran asimetrik dari selulosa asetat untuk proses osmosis balik atau *reverse osmosis* pada desalinasi air laut sehingga kandungan garam dari air laut bisa dihilangkan dengan teknologi tersebut.

Reverse osmosis merupakan sebuah metode penyaringan yang mampu memisahkan banyak jenis molekul dan ion besar dari larutan dengan memberikan tekanan pada larutan yang berada pada salah satu sisi membran selektif (Mulder,1996). Membran *reverse osmosis* merupakan membran yang mampu memfilter mulai dari mikroorganisme, makromolekul, sukrosa, garam hingga ion monovalent yang terkandung didalam air. Dengan ukuran pori < 0,001 μm dan beroperasi pada tekanan 15 – 25 bar untuk air payau dan 40 – 80 bar untuk air laut tergantung dari komponen zat terlarut di dalam air, dengan demikian teknologi membran *reverse osmosis* sedikit berbeda dengan teknologi filtrasi membran mikrofiltrasi, ultrafiltrasi dan nanofiltrasi karena gaya dorong bukan hanya dipengaruhi oleh tekanan tetapi konsentrasi zat terlarut melalui proses difusi. Teknologi ini banyak digunakan untuk proses pemurnian air minum dari air laut, penghilang garam dan material terlarut lainnya di dalam air.

Selama ini air yang tidak terproses / *reject* oleh membran akan di buang kembali ke laut. Maka dari itu penulis ingin menawarkan solusi agar jumlah air yang dibuang ke laut lebih sedikit dengan cara mengalirkan kembali ke dalam *reverse osmosis* unit. Hal itu lah yang akan meningkatkan jumlah produksi air *permeat* yang di hasilkan. Untuk mengetahui seberapa besar pengaru dari proses *concentrate recirculaton* penulis melakukan peneltiain dengan cara membuat sebuah rancangan model kemudian melakukan uji coba terhadap model tersebut baik itu jumlah *permeat* yang dihasilkan maupun kualitas dari air tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah, sebagai berikut:

1. Bagaimanakah penerapan teknologi membran *reverse osmosis* dalam pengolahan air laut menjadi air tawar?

2. Bagaimana presentase jumlah air tawar yang dapat dihasilkan oleh sistem membran *reverse osmosis* yang telah di rancang?

3. Bagaimana kualitas air tawar yang dihasilkan oleh teknologi membran *reverse osmosis* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan yang dirumuskan dalam Tugas Akhir ini bertujuan agar lingkup penelitian menjadi lebih fokus, yaitu:

1. Pembuatan alat dalam skala laboratorium
2. Pengujian air hanya sebatas kandungan konsentrasi garam
3. Pengujian dilakukan pada membran jenis *spiral wound*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah, sebagai berikut:

1. Mengetahui penerapan teknologi pada membran reverse osmosis dalam pengolahan air laut menjadi air baku

2. Mengetahui persentase air tawar yang dapat dipenuhi oleh sistem *reverse osmosis* yang telah dirancang.

3. Mengetahui kualitas air tawar yang di hasilkan oleh teknologi membran *reverse osmosis* melalui konfigurasi membran

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dari tugas akhir ini adalah, sebagai berikut:

1. Mendapatkan suatu teknologi alternatif yang sederhana dan mudah dalam pengoprasiannya sehingga dapat menurunkan kadar garam atau mineral pada air.

2. Memberikan data informasi tentang teknologi pengolahan air tawar yang dilakukan pada penelitian ini.

3. Sebagai sumber referensi bagi pembaca dan peneliti selanjutnya tentang pengolahan air laut dengan proses filtrasi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Review dari penelitian sebelumnya.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yaitu "Studi Awal *Reverse Osmosis* Tekanan Rendah Untuk Air Payau dengan Kadar Salinitas dan *Suspended Solid* Rendah".

2.2 Air

2.2.1 Pengertian dan karakteristik air laut

Air adalah suatu zat yang berbentuk cair yang tidak mempunyai rasa bau dan warna. Air terdiri dari 2 (dua) senyawa yaitu, Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2) yang kemudian menghasilkan senyawa air (H_2O). Air memiliki sifat dimana volumenya akan mengikuti tempat dia berada. Air memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia seperti garam – garam, asam, beberapa jenis gas dan molekul organik sehingga air disebut dengan pelarut *universal*. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar

Sumber air laut yang digunakan umumnya berasal dari *beach wells* dan *surface water* (*open seawater intake*) TDS air dari *beach wells* lebih rendah dibanding dari *surface water* karena air *beach wells* diambil langsung dari air bawah tanah. Pertama kali plant RO menggunakan *surface water* dan mengalami masalah fouling pada membran sehingga mulai beralih ke *beach wells*. TDS air laut di setiap Negara mempunyai konsentrasi yang berbeda-beda sekitar 35.000 g/L dan mencapai 45.000 mg/L. Berikut adalah komposisi dari air laut. (Yoshi and Widiasa, 2016).

Tabel 2. 1 Komposisi air laut (Yoshi, 2016)

Komponen	Simbol	Konsentrasi (mg/l)
Kalsium	Ca	410 – 693
Magnesium	Mg	303 – 1.550
Barium	Ba	0.01 – 0.05
Strotium	Sr	5 – 13
Boron	B	4 – 5.3
Natrium	Na	2.462 – 12.000
Klorida	Cl	70 – 23.000
Kalium	K	39 – 390
Besi	Fe	< 0.02 – 0.05
Mangan	Mn	< 0.01 – 0.05
Silika	Si	0.04 – 8
Sulfat	SO_4	2.400 – 3.016
Bromida	Br	65
Flourida	F	1.4 – 2.15
Bikarbonat	HCO_3^-	120 – 152

Nitrat	NO_3	35 – 50
Derajat Keasaman	pH	8.1

2.2.2 Standar baku air menurut Peraturan Kementrian Kesehatan

Standar baku mutu air sanitasi sendiri diatur di dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 tahun 2017 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Kualitas air minum dapat dilihat berdasarkan kondisi fisik dari air tersebut seperti, bau, warna, total zat padat terlarut (TDS), kekeruhan, rasa, dan suhu dari air tersebut. Selain dari bentuk fisik dari air tersebut, kualitas air dapat ditentukan oleh zat – zat yang terkandung dalam air tersebut seperti kandungan zat – zat kimia maupun kandungan mikrobiologi.

- Parameter Fisik

  Parameter fisik adalah parameter yang bisa dinilai secara visual. Sehingga kualitas air dapat kita nilai secara langsung seperti warna, kekeruhan, bau dan rasa . dari parameter tersebut kita dapat menilai apakah air itu memiliki kualitas baik atau tidak. Selain hal tersebut parameter fisik juga berupa jumlah zat padat terlarut dan suhu. Parameter fisik untuk air tawar berdasarkan standar baku mutu Kesehatan bisa di lihat di tabel

  Tabel 2. 2 Parameter Fisik dalam Standar Baku Mutu Kesehatan

Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Kekeruhan	NTU	25
Warna	TCU	50
Zat padat terlarut *(Total Dissolved Solid)*	mg/l	1000
Suhu	^oC	suhu udara ± 3
Rasa	tidak berasa	
Bau	tidak berbau	

Sumber, Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Kemenkes RI, 2017)

- Parameter Kimia

  Parameter ini digunakan untuk melihat kandungan kimia di dalam air. Parameter ini meliputi 10 parameter wajib dan 10 parameter tambahan. Parameter tambahan ditetapkan oleh pemerintah daerah kabupaten/kota dan otoritas pelabuhan/bandar udara.

  Tabel 2. 3 Parameter Kimia dalam Standar Baku Mutu Kesehatan

Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Wajib		
pH	mg/l	6,5 - 8,5
Besi	mg/l	1
Fluorida	mg/l	1,5
Kesadahan ($CaCO_3$)	mg/l	500
Mangan	mg/l	0,5
Nitrat, sebagai N	mg/l	10
Nitrit, sebagai N	mg/l	1
Sianida	mg/l	0,1
Deterjen	mg/l	0,05
Pestisida total	mg/l	0,1
Tambahan		
Air raksa	mg/l	0,001
Arsen	mg/l	0,05
Kadmium	mg/l	0,005
Kromium (valensi 6)	mg/l	0,05
Selenium	mg/l	0,01
Seng	mg/l	15
Sulfat	mg/l	400
Timbal	mg/l	0,05
Benzene	mg/l	0,01
Zat organik ($KMNO_4$)	mg/l	10

Sumber, Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Kemenkes RI, 2017)

- Parameter Biologis

Parameter ini meliputi *total coliform* dan *escherichia coli* dengan satuan/unit *colony forming unit* dalam 100 ml sampel air.

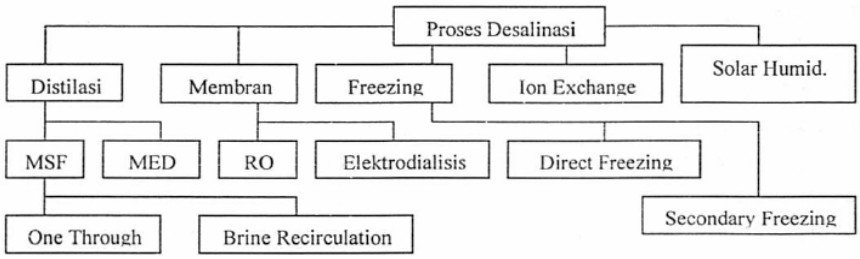
Tabel 2. 4 Parameter Biologis dalam Standar Baku Mutu Kesehatan

Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)
Total coliform	CFU/100ml	50
E. coli	CFU/100ml	0

Sumber, Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Kemenkes RI, 2017)

2.3 Desalinasi

Desalinasi adalah suatu proses permurnian air laut dari kandungan garam. Pada dasarnya teknologi desalinasi air dibagi menjadi 2, yaitu *thermal desalination* atau sering di kenal dengan distilasi yang terdiri dari *Multi Effect Desalination (MED), Multi Vapour Compression (MVC)* dan *Multi Stage Flash* (MSF), serta *membrane desalination* yaitu *Reverse Osmosis* (RO) dan elektrodialisis. Proses desalinasi bertujuan untuk memperoleh air bersih dari air yang kotor proses penyulingan air. Cara desalinasi merupakan cara yang efektif digunakan untuk menghasilkan air bersih yang bebas dari kuman, bakteri, dan kotoran yang berupa padatan kecil. Proses desalinasi secara umum biasanya yang diambil hanyalah air kondensatnya, sedangkan konsentrat garam dibuang dan ini dapat berakibat buruk bagi kehidupan air laut (Ketut dkk, 2011). Secara skematis berbagai jenis desalinisai dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 2. 1 Skema Proses Desalinasi air (Ari Nugroho,2004)

2.4 Teknologi Membran

Berdasarkan Diktat Pengantar Teknologi Membran, Proses desalinasi menggunakan teknologi membran yaitu:

2.4.1 Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi (MF) adalah salah satu proses berbasis kan membran yang mengacu pada proses filtrasi dengan menggunakan membran berpori untuk memisahkan partikel tersuspensi dengan diameter antara 0,1 dan 10 µm. (Mulder,1996). Karakteristik dari membran mikrofiltrasi dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2. 5 Karakteristik Membran Mikrofiltrasi

Membran	Simetrik Berpori
Ketebalan	10 – 150 µm
Ukuran Pori	0,05 – 10 µm
Driving Force	< 2 bar
Prinsip Pemisahan	Mekanisme Sieving
Material Membran	Polimer, Keramik

Sumber, Diktat Pengantar Teknologi Membran, I.G Wenten, dkk

2.4.2 Ultrafiltrasi

Ultrafiltrasi (UF) adalah varian dari filtrasi membran dimana tekanan hidrostatik memaksa caira menembus membran semi

permeabel. Padatan tersuspensi dan pelarut dengan berat molekul tinggi tertahan, sedangkan air dan pelarut dengan berat molekul rendah melewati membran (Mulder,1996). Karakteristik dari membran ultrafiltrasi dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2. 6 Karakteristik Membran Ultrafiltrasi

Membran	Asimetris Berpori
Ketebalan	150 µm (atau monolitik untuk beberapa keramik)
Ukuran Pori	1 – 100 nm
Driving Force	1 – 10 bar
Prinsip Pemisahan	Mekanisme Sieving
Material Membran	Polimer (contoh polisulfon / PS) *Polyacrylonitrile (*PAN) Keramik (contoh zirconium oksida, alumunium oksida)

Sumber, Diktat Pengantar Teknologi Membran, I.G Wenten, dkk

2.4.3 Nanofiltrasi

Nanofiltrasi (NF) adalah salah satu proses filtrasi membran yang relatif sering digunakan untuk pemurnian air yang jumlah total padatan terlarut yang sedikit seperti air permukaan dan air tanah, dengan tujuan untuk *softening* (penyisihan kation polivalen) dan penyisihan produk samping desinfektan seperti zat organik alam dan sintetik (Mulder, 1996). Membran nanofiltrasi dapat diaplikasikan untuk penyisihan garam, daur ulang larutan kaustik, daur ulang larutan asam, mengurangi scalling, dan memproduksi produk farmasi bernilai tinggi

Tabel 2. 7 Karakteristik Membran Nanofiltrasi

Membran	Komposit
Ketebalan	Sublayer ≈ 150 µm ; top layer ≈ 1 µm
Ukuran Pori	< 2 nm
Driving Force	10 – 25 bar
Prinsip Pemisahan	*Solution Diffusion*
Material Membran	Poliamida (Polimerisasi interfasa)

Sumber, Diktat Pengantar Teknologi Membran, I.G Wenten, dkk

2.4.4 Reverse Osmosis

Reverse Osmosis sebuah metode filtrasi yang mampu menyisihkan banyak jenis molekul dan ion besar dari larutan dengan memberikan tekanan pada larutan yang erada pada salah satu sisi membran selektif (Mulder, 1996)

Karakteristik dari membran *Reverse Osmosis* dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 2. 8 Karakteristik Membran *Reverse Osmosis*

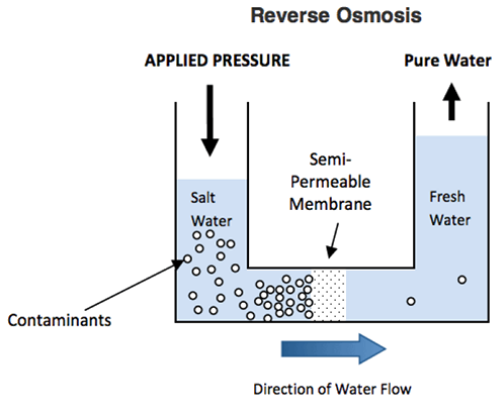
Membran	Asimetris atau Komposit
Ketebalan	Sublayer ≈ 150 µm ; top layer ≈ 1 µm
Ukuran Pori	< 2 nm
Driving Force	Air Payau 15 – 25 bar Air Laut 40 – 80 bar
Prinsip Pemisahan	*Solution Diffusion*
Material Membran	Selulosa triasetat, poliamida aromatik, Poliamida & polieterurea (polimerisasi interfasa)

Sumber, Diktat Pengantar Teknologi Membran, I.G Wenten, dkk

2.5 Definisi *Reverse Osmosis*

Osmosis merupakan fenomena alam yaitu peristiwa mengalirnya pelarut (biasanya air) mengalir melewati dinding lapisan semi – permiabel, dari larutan konsentrasi zat terlarut rendah ke larutan konsentrasi zat relarut tinggi. *Reverse osmosis* (RO) adalah suatu metode pemurnian melalui membran semi permeable di mana suatu tekanan tinggi diberikan melampaui tarikan osmosis sehingga akan memaksa air melewati proses osmosis terbalik dari bagian yang memiliki kepekatan tinggi ke bagian dengan kepekatan rendah. *Reverse Osmosis* (RO) merupakan salah satu teknologi pemurnian air yang sering digunakan karena bersifat ekonomis dan efektif. Karena pada sistem ini merupakan salah satu solusi untuk menghilangkan kadar garam pada air. Sistem RO memiliki kemampuan untuk menghilangkan kadar garam sebesar 100 sampai 50.000 mg/l. Oleh karena itu banyak sistem pemurnian air laut yang menggunakan sistem RO.

Reverse Osmosis dapat digambarkan sebagai suatu proses untuk mereduksi partikel yang memiliki berat molekul rendah, misalnya garam organik, molekul organic kecil (seperti glokusa) dari larutan pada berbagai jenis air dan merupakan tujuan dari pemberian tekanan. Kontaminan yang lain seperti bakteri, koloid tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring.



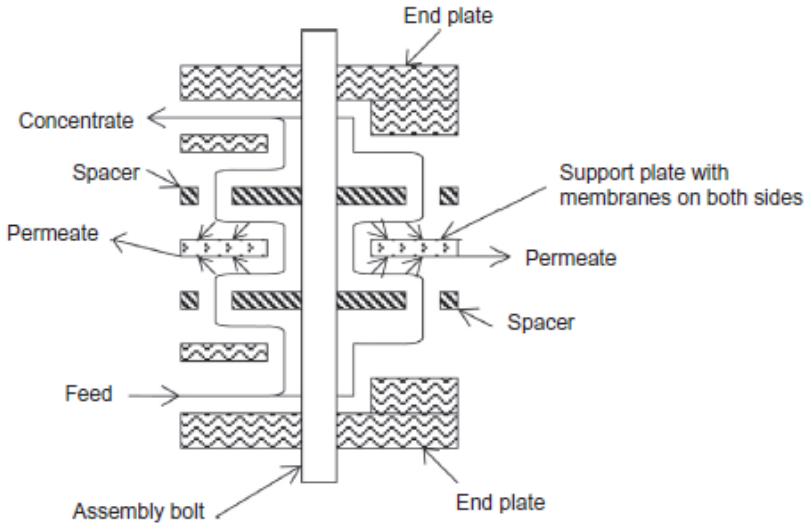
Gambar 2. 2 Prinsip reverse osmosis (Noble RD,1995)

2.6 Membran *Reverse Osmosis*

Membran dapat didefinisikan sebagai film tipis atau selaput yang bertindak sebagai pembatas selektif antara dua fasa atau lebih dikarenakan sifat semipermeable yang dimilikinya (Wenten, 2002). Membran *reverse osmosis* adalah membran semipermeabel, yaitu membran yang memiliki pori – pori kecil yang memungkinkan ion atau molekul melewatinya. Membran *reverse osmosis* memiliki material pembuat seperti *selulosa asetat (CA), poliamid, poliamida aromatis, polieteramida, polieteramina, polieterurea, polifelilene oksida, polifenilen bibenzinmidazol.* Membran *reverse osmosis* memiliki beberapa jenis modul yaitu:

2.6.1 *Plat – Frame Module*

Modul ini memiliki konstruksi berbentuk dua plate dimana diantara kedua plat tersebut terdapat membran, *feed spacer* dan *spacer product*. Pada modul ini air baku dipaksa masuk melewati membran kemudian masuk ke dalam saluran *permeat* dan menuju *central permeate collection manifold*. Modul jenis ini digunakan pada proses elektrodialisis, pervaporasi dan pemurnian kasar air sebelum aplikasi UF, NF dan RO dengan air dengan *fouling* yang besar. Namun modul ini cocok untuk aplikasi skala kecil karena membutuhkan biaya yang besar baik dalam hal operasi maupun pemeliharaan.



Gambar 2. 3 Membran plate – frame (K.Scott, 1996)

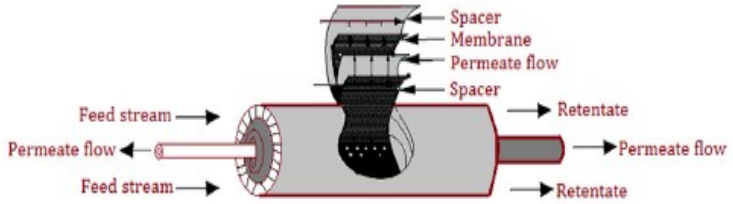
2.6.2 *Spiral Wound Module*

Membran modul *spiral wound* adalah membran yang terdiri beberapa lapisan berbentuk lembaran yang digulung secara spiral pada sebuah kerangka. Modul ini yang banyak dijual di pasaran dan memiliki harga yang lebih mura dari membran lainnya. Modul ini jika diaplikasikan pada air baku yang memiliki salinitas dengan konsentrasi yang tinggi akan menghasilkan fluks yang rendah. Fluks

yang rendah dapat menguranngi jumlah partikulat, organik foulant dan biofilm dengan meingkatnya konsentrasi baku. Modul ini adalah desain modul yang sering digunakan pada aplikasi RO dan UF serta unutk aplikasi pemisahan gas bertekanan tinggi di industri gas alam.

Berdasarkan diktat kuliah Desain Proses Berbasis Membran, membran modul *spiral wound* memiliki karakteristik, seperti:

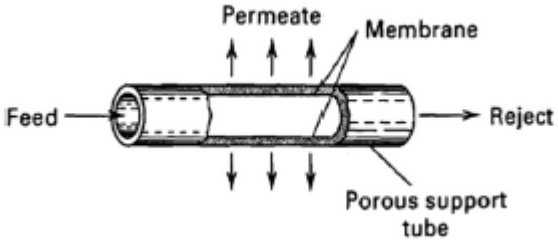
- Tekanan aksial berkurang pada sisi baku dan teknan radial berkurang pada sisi permeat
- Diameter standar yaitu 2,5', 4', dan 8'



Gambar 2. 4 Membran Spiral Wound (K.Scott, 1996)

2.6.3 *Tubular / Shell and Tube*

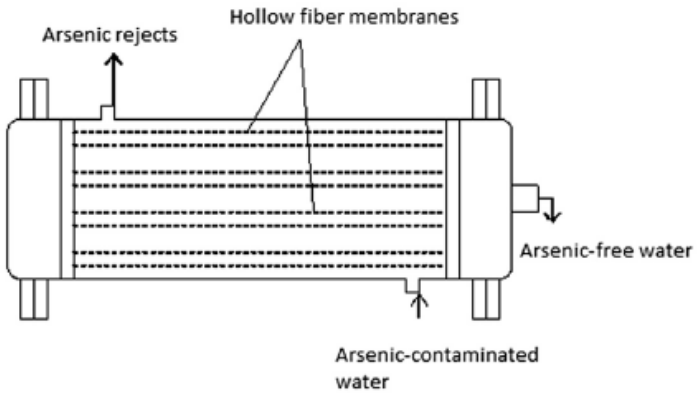
Membran modul Tubular merupakan membran yang berbentuk tabung yang memiliki diameter 5 – 15 nm yang diateur dalam shell. Tabung terdiri dari kertas berpori atau penopang *fibergalss* dengan memran yang dibentuk di dalam tabung. Modul jenis ini digunakan pada aplikasi UF, NF dan RO dengan air dengan *fouling* yang besar.



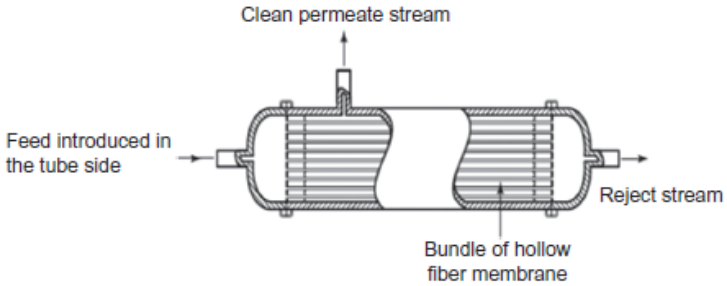
Gambar 2. 5 Membran *Tubular* (K.Scott, 1996)

2.6.4 *Hollow Fiber*

Modul membran *holow fiber* terdiri dari dua desain yaitu; *shell side feed design* dan *bore side feed design*. Dalam desain modul *shell side feed design* pada umumnya digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi hingga 70 bar. Sedangkan desain modul *bore side feed design* digunakan pada tekanan air baku di bawah 10 bar.



Gambar 2. 6 Membran Hollow fiber shell side feed design (K.Scott,1996)



Gambar 2. 7 Membran hollow fiber bore side feed design (K.Scott,1996)

2.7 Komponen *reverse osmosis*

Berikut adalah beberapa komponen yang digunakan pada sistem *reverse osmosis* untuk air laut:

a) Pompa Sentrifugal

Pompa *Clarifier* yaitu pompa yang berfungsi memompa air laut menuju ke *reverse osmosis plant*. Pompa yang digunakan merupakan pompa sentrifugal. Besarnya debit dan tekanan pompa ditentukan oleh *RO Plant*

b) *Pre Treatment System*

Pre Treatment System adalah sistem yang berfungsi untuk mengolah atau memperlakukan air terlebih dahulu sebelum masuk ke membran *Reverse Osmosis.* Adapun fungsi dari pengolahan awal desalinasi dengan menggunakan membran reverse osmosis yaitu mampu menjaga dan mempertahankan usia dari membran RO agar tidak cepat mengalami degradasi akibat berhubungan dengan air baku dan mengurangi fouling (komponen penyumbat) yang menempel pada membran akibat adanya partikel yang tidak lolos selektif oleh membran dan karakteristik dari kandungan yang terdapat di air baku desalinasi. Proses pengolahan awal terdapat beberapa metode seperti;

- Koagulasi dan flokuasi
- Menggunakan filter pasir bertekanan (*Pressure Sand Filter*)
- Menggunakan filter mangan zeolit

- Menggunakan filter karbon aktif
- Menggunakan *catridge filter*

c) *Feed Water Tank*

Tangki Air Baku (*Feed Water Tank*) berfungsi untuk menampung air hasil dari pengolahan awal yang nantinya air tersebut akan digunakan dengan cara di pompa ke dalam membran *reverse osmosis*.

d) Pompa Tekanan Tinggi (*High Pressure Pump*)

High Pressure Pump berfungsi untuk memompa air baku dari tangki air baku (*feed water tank*) menuju ke membran *reverse osmosis*. Tekanan pompa yang diperlukan tinggi agar dapat menembus dinding *reverse osmosis.*Tekanan pompa tergantung pada jenis membran yang digunakan serta spesifikasi membran tersebut. Dimana untuk tekanan untuk air payau yaitu 15 – 25 bar dan untuk air laut yaitu 40 – 80 bar.

e) Membran *Reverse Osmosis*

Membran *reverse osmosis* adalah komponen inti dari RO *plant*. Pada membran tersebut proses filtrasi dari air baku menjadi air tawar itu terjadi. Membran *reverse osmsosis* memiliki beberapa jenis seperti membran Tubular, *hollow fiber* dan *spiral wound*. Kinerja membran *reverse osmosis* ditentukan oleh besarnya tekanan dari pompa dan besarnya pori – pori membran tersebut. Semakin kecil pori – pori membran maka semakin besar tekanan pompa yang dibutuhkan. Selain itu juga proses operasi dan perawatan dapat mempengaruhi dari umur membran.

f) Tangki Air Konsentrat (*Concentrate Water Tank)*

Tangki air konsentrat berfungsi untuk menampung air yang tidak melewati proses di membran. Sehingga air tersebut masih memiliki konsesntrasi garam yang sangat tinggi

g) Tangki Air Produk (*Product Water Tank*)

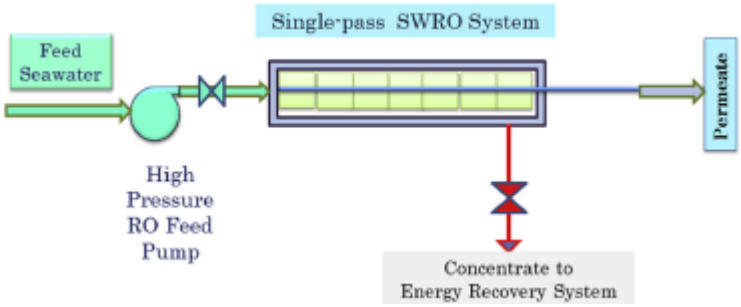
Tangki air produksi berfungsi untuk menampung hasil olahan dari membran *reverse osmosis* berupa air tawar sebelum di distribusikan ke penduduk yang membutuhkan.

2.8 Tipe Dan Konfigurasi Membran *Reverse Osmosis*

2.8.1 Single Stage

Sistem ini di desain untuk memproduksi air tawar (*permeate*) dengan menggunakan 1 (satu) tahapan dengan menggunakan *reverse osmossis* sederhana. Secara umum, diperlukan antara 800 sampai 900 membran yang di pasang di 100 – 150 bejana untuk menghasilkan 10.000 m^3/ hari (2,6 MGD).

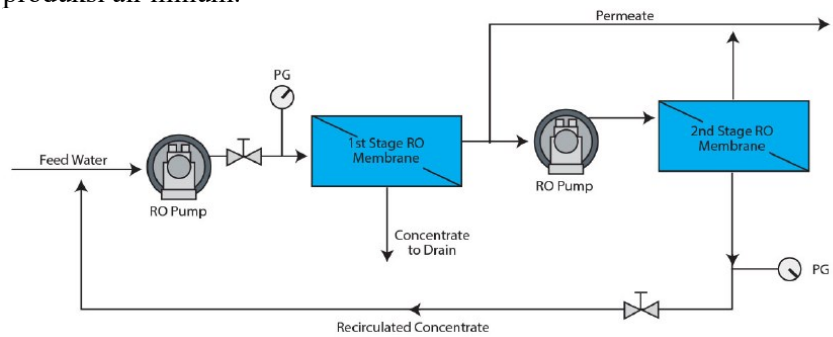
Pada konfigurasi ini setiap rangkaian RO memiliki sistem khusus pompa untuk mentransfer air laut preatreated yang diikuti oleh *High Pressure pump.* Konfigurasi sistem *single stage* banyak digunakan untuk produksi air minum.



Gambar 2. 8 Reverse osmosis single stage (Stoughton,2013)

2.8.2 *Two Stage / Multi Stage*

Konfigurasi sistem *two stage* pada umumnya digunakan pada air laut yang memiliki salinitas yang tinggi (misalkan lebih dari 35.000 mg/l). Sebagai contoh jika air di laut merah dan air laut teluk persia yang memiliki salinitias lebih dari 35.000 mg/l maka di gunakan dengan kombinasi penolakan 99,6 %. Maka dari itu sistem *single stage* tidak mampu menghasilkan permeat yang cocok untuk penggunaan air minum. Dalam hal ini konfigurasi *two stage* merupakan konfigurasi yang sangat efisien dan hemat biaya untuk produksi air minum.



Gambar 2. 9 Reverse osmosis two stage (Stoughton,2013)

2.9 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Membran

Berikut merupakan faktor – faktor yang mempengaruhi kinerja membrane yang terukur dari fluks dan rejeksi sangat tergantung pada:

2.9.1 Karakteristik Membran

Karakteristik membran merupakan material dari membran, ukuran pori yang diukur dengan MWCO (*Molecular Weight Cut Off*) dan kondisi operasi (tekanan dan pH) yang diterapkan. Selain itu rejeksi tergantung pada muatan dari organic itu sendiri. Organik yang bermuatan dapat direjeksi lebih baik daripada organik yang tidak

memiliki muaan sehingga jenis membran yang digunakan juga berpengaruh terhadap kemampuan rejeksi membran (**Rahmadyanti, 2004)**.

2.9.2 Tekanan Operasi

Tekanan operasi berpengaruh pada fluks dan rejeksi membrane. Duranceau (1992) menyatakan bahwa fluks akan meningkat seiring dengan kenaikan tekanan pada membrane. Sedangkan rejeksi dipengaruhi oleh kompaksi membran akibat adanya tekanan yang mengubah struktur pori membran (Azfah, R.A,2010).

2.9.3 pH Baku

Rejeksi akan meningkat seiring dengan kenaikan pH. Dimana fluks akan berlaku berlawanan yaitu menurun seiring dengan kenaikan pH. Permukaan membran umumnya bermuatan negatif dan menyebabkan gaya tolak elektrostatik dengan ion – ion negatif dari asam – asam organik yang mengikat seiring dengan peningkatan pH. Sehingga pada pH tinggi akan ada gaya tolak – menolak terhadap muatan negatif dari asam – asam organik akibat muatan negatif permukaan. Selain itu pH juga mempengaruhi sifat kelarutan dari larutan yang akan dipisahkan (Azfah, R.A,2010).

2.9.4 Periode Operasi

Periode operasi sangat berpengaruh terhadap performa membran tersebut. Karena semakin lama membran bekerja maka akan timbul penyumbatan pada pori membran. Sehingga akan menurunkan kinerja dari membran yang tergambar pada penurunan fluks (Azfah, R.A,2010).

2.9.5 Konsentrasi Baku

Konsentrasi baku juga berpengaruh terhadap fluks membran. Semakin tinggi dari konsentrai dari air baku tersebut maka kerja membran akan semakin berat (Azfah, R.A,2010).

2.9.6 Temperatur

Peningkatan temperatur larutan baku akan sangat mempengaruhi permeabilitas air. Alasan ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya temperature akan menurunkan viskositas dari larutan tersebut dan akan mempermudah permeat melewati membrane (Azfah, R.A,2010).

2.9.7 Suspended Solid

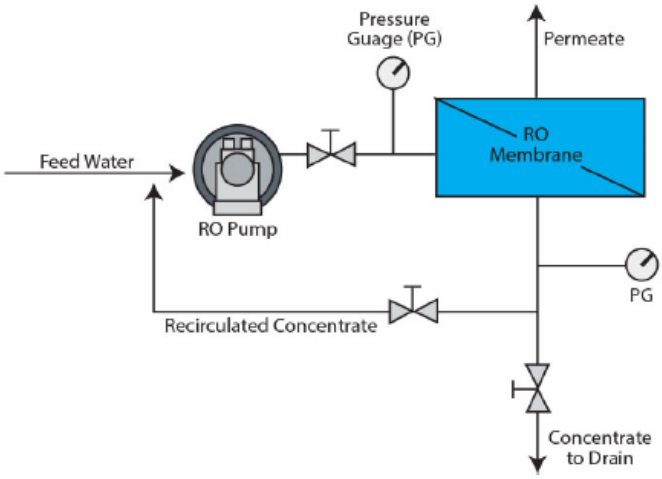
partikel berperan dalam penetuan transport partikel menuju dan melewati membrane. Bila partikel dipindahkan melalui membran, ukurannya akan menentukan cara partikel masuk ke dalam pori membrane, atau menahan yang masuk ke pori, dan apakah mereka akan mempengaruhi ketahanan ketahanan hidrolik lapisan deposit. Sebagaimana kasus ini, bahan koloid, ukuran dan bentuk molekul organik akan penting dalam penentuan transpor molekul ke dalam membran (Rahmadyanti,2004).

2.10 Sistem *Concentrate Recirculation*

Berdasarkan penelitian Hermantoro dan Rengga (2014), Kualitas air *rejected reverse osmosis* lebih baik dari filter pasir (*sand pressure filter)* yaitu memiliki kandugan pH 7,3, TDS 224 ppm, *Hardness* 0,3 ppm atau *treace*, dan *turbidity* 1,39 NTU. Pada umumnya air tersebut langsung dibuang kembali ke laut.

Concentrate Recirculation adalah sistem konfigurasi yang dapat meningkatkan laju pemulihan dari sistem secara keseluruhan dengan cara sebagian konsentrat di alirkan kembali ke dalam sistem membran *reverse osmosis*. Namun dalam aspek lain proses ini dapat merugikan karena kebutuhan pompa menjadi lebih besar untuk menangani tekanan yang lebih tinggi. Konfigurasi ini memerlukan energi yang lebih besar karena air baku menyatu dengan air konsentrat yang menyebabkan salinitas baku dapat berubah. Tujuan utama dari *concentrate recircultaion* adalah untuk mengurangi jumah konsemtrat atau air yang dibuang ke saluran pembuangan atau *drain*. Selain itu juga sistem ini dapat digunakan untuk mempertahankan kecepatan aliran optimal di permukaan membran.

Mekanisme kerja dari sistem ini yaitu konsentrat atau air pembuangan yang seharusnya dibuang tersebut di alirkan kembali ke sistem *reverse osmosis* melalui pompa RO secara kontinu. Dalam hal ini ukuran pompa di pengaruhi oleh 2 (dua) paramater yaitu parameter dari air baku membran RO dan parameter tambahan dari konsentrat atau air pembuangan.



Gambar 2. 10 Skema Concentrate Recirculation (Stoughton,2013)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi penelitian adalah langkah – langkah teknis yang akan dilakukan selama penelitian. Kerangka penelitian yang digunakan digambarkan oleh Gambar 3.1. Dari latar belakang yang telah diuraikan dalam Sub Bab 1.1, kemudian dikumpulkan literature dan peraturan pemerintah, yaitu Permenkes No., yang menunjang dalam penelitian ini. Langkah pertama, adalah mengumpulkan data. Pengumpulan data ini meliputi informasi mengenai spesifikasi membran yang akan digunakan yaitu BW60 – 1812 – 75, kemudian perakitan alat pemurnian air *reverse osmosis brine stage* yang merupakan sistem kontinu.

3.2 Alur Percobaan

Penelitian mengenai "Rancangan *Concentrate Recirculation* pada Sistem Membran *Reverse Osmosis* berjenis *Spiral Wound* untuk Meningkatkan Produksi Air Tawar" di lakukan dengan cara melakukan eksperimen melalui sebuah percobaan pada rancangan sebuah sistem dimana untuk alur penelitiannya di jelaskan pada *flow chart* di bawah ini

3.2.1 Identifikasi masalah

Sebelum melakukan penelitian perlu dilakukan identifikasi masalah apa saja yang terjadi di masyarakat. Dalam penelitian tugas akhir ini menjelaskan bahwa permasalahan yang terjadi di masyarakat khususnya masyarakat di daerah pesisir yaitu kurangnya jumlah persediaan air bersih. Dikarenakan daerah tersebut belum memiliki akses yang memadai untuk mendapatkan air bersih sehingga mereka harus menempuh jarak yang tidak dekat dari tempat tinggal mereka menuju tempat persediaan air minum terdekat. Hal itu lah yang menyebabkan biaya yang dibutuhkan untuk memperoleh air minum bisa dikatakan cukup tinggi. Namun wilayah pesisir memiliki keuntungan lain, yaitu jika ditinjau dari segi geografis, daerah pesisir memiliki sumber daya alam yang melimpah yaitu air laut. Oleh karena itu sistem pengolahan air minum sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat tersebut. Terdapat banyak sistem pengolahan air, salah satunya yaitu *reverse osmosis*. Alasan utama pemilihan teknologi *reverse osmosis* yaitu karena alat tersebut memiliki teknologi yang tidak terlalu rumit baik dalam hal pengoperasian maupun dalam hal perawatan. Selain itu juga teknologi *reverse osmosis* adalah teknologi yang sangat cocok digunakan dengan menggunakan sumber daya air laut.

Namun dalam teknologi tersebut memiliki beberapa permasalahan seperti presentase air yang dihasilkan oleh teknologi tersebut sangat sedikit. Dalam hal ini sangat bergantung pada membran yang terdapat pada sistem tersebut. Oleh karena itu pada penelitian tugas akhir ini, saya menawarkan solusi untuk meningkatkan jumlah produksi air hasil pengolahan dari *reverse osmosis* dengan cara melakukan modifikasi pada sistem membran tersebut. Dengan demikian jumlah

produksi air hasil pengolahan dari teknologi tersebut dapat memenuhi kebutuhan air bagi masyarakat di wilayah tersebut.

3.2.2 Kajian Pustaka

Kajian pustaka sangat penting dalam melakukan penelitian. Kajian pustaka memuat berbagai sumber yang diacu dan telah disajikan secara komprehensif serta membahas kesimpulan-kesimpulannya untuk selanjutnya dengan uraian peneliti sendiri sampai pada kesimpulan berdasarkan hasil-hasil penelitian orang lain. Adapun literatur yang menjadi menjadi referensi untuk melakukan kajian pustaka yaitu melalui buku, jurnal, *paper*, laporan hasil penelitian terkait, *guidance* serta peraturan – peraturan yang berlaku. Dalam hal ini kajian pustaka yang dilakukan lebih dikhususkan mengenai membran ro dan jumlah air baku yang di hasilkan oleh membran tersebut.

3.2.3 Tinjauan Lapangan

Tinjauan lapangan adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi dari lokasi yang dituju serta mengetahui keperluan apa yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian di daerah timur Surabaya lebih tepatnya pesisir pantai kenjeran. Sehingga dapat diproyeksikan lebih lanjut mengenai lokasi pemasangan alat teknologi desalinasi dengan membran *reverse* osmosis. Selain itu, juga dilakukan kegiatan pengambilan sampel air baku di lokasi. Bertujuan sebagai parameter awal dalam penentuan media filter yang tepat digunakan pada daerah timur Surabaya lebih tepatnya pesisir pantai kenjeran. Dengan demikian, dapat mewujudkan tujuan penelitian yaitu mengolah hasil dari *reverse osmosis* menjadi air bersih dan air siap minum sesuai dengan peraturan KEMENKES RI.

3.2.4 Perancangan Modifikasi sistem *Reverse Osmosis*

Pada tahap perancangan ini, akan dilakukan penelitian akan memodifikasi sistem membran *Reverse Osmosis.* Dimana penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan dalam pembuatan model. Modifikasi sistem tersebut mengacu pada beberapa literatur mapun penelitian yang sejenis yang menunjukkan susunan optimal dari membran yang mampu meningkatkan jumlah air baku yang dihasilkan. Pada perancangan tersebut membran disusun secara seri.

3.2.5 Melakukan percobaan

Setelah rancangan modifikasi selesai maka akan dilakukan uji coba pada alat tersebut. Dimana uji coba di lakukan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Untuk uji coba alat dilakukan dalam skala laboratorium

3.2.6 Pengujian Hasil Filtrasi

Pengujian terhadap air hasil pengolahan dari modifikasi sistem membran *reverse osmosis* yang telah dilakukan sangat diperlukan. Mengingat tujuan atau *output*an yang diharapkan adalah sebagai air siap minum. Tentunya pengujian air hasil tersebut juga akan dibenturkan dengan persyaratan baku mutu air minum yang dikeluarkan oleh PERMENKES RI. Sehingga air yang selanjutnya

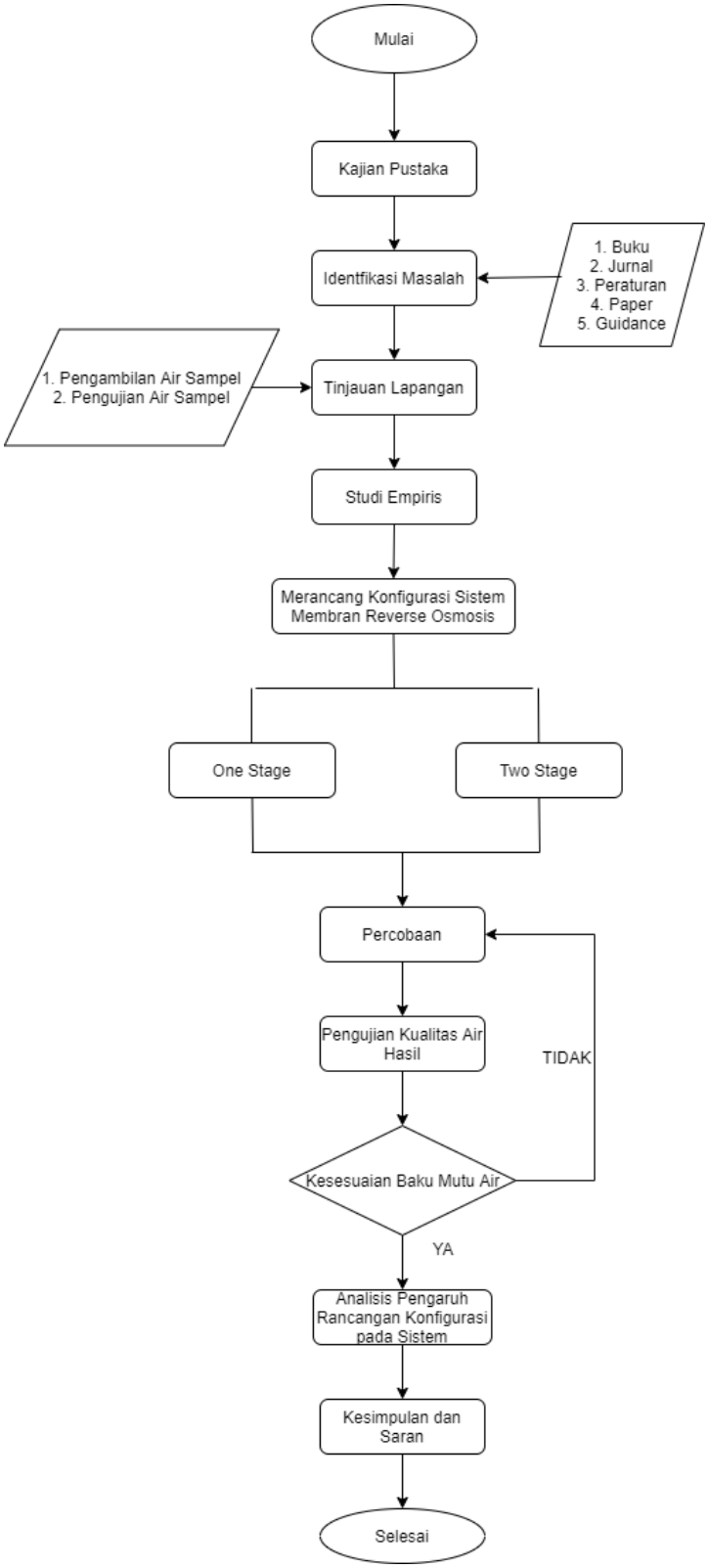
akan diperuntukkan bagi masyarakat pesisir dapat terjamin kualitasnya dan tidak malah menimbulkan berbagai macam penyakit. Pengujian air hasil olahan akan dilakukan di laboratorium.

3.2.7 Analisa Pengaruh Modifikasi Sistem Membran RO terhadap Hasil Pengujian

Ketika air hasil olahan *reverse osmosis* dilarutkan pada susunan media filter maka akan muncul air hasil olahan baru yang kemudian air tersebut harus dilakukan pengujian untuk mengetahui kadar kandungan yang terlarut didalamnya. Kemudian barulah dapat dilakukan analisa terkait dengan pengaruh bahan-bahan yang digunakan pada variasi susunan media filter yang telah dibuat. Seberapa mampu bahan tersebut dalam menjerap partikel dan kotoran yang masih terlarut dari proses *reverse osmosis*. Dengan dilakukan perbandingan dari air sebelum pengolahan variasi media filter dengan air setelah melalui filter tersebut.

3.2.8 Kesimpulan dan saran

Setelah percobaan selesai dilakukan, maka hasil dari percobaan pada penelitian tugas akhir ini akan dilaporan dalam bentuk laporan. Terkait dengan pengaruh membran yang disusun dalam mengelola air sehingga dapat menjadi air siap minum yang sesuai dengan baku mutu air minum dari KEMENKES RI. Dengan melampirkan hasil analisa pengujian air. Tidak lupa memberikan saran yang membangun, jika diperlukan ada penelitian lebih lanjut


Mulai
Kajian Pustaka
Identfikasi Masalah
1. Buku
2. Jurnal
3. Peraturan
4. Paper
5. Guidance
1. Pengambilan Air Sampel
2. Pengujian Air Sampel
Tinjauan Lapangan
Studi Empiris
Merancang Konfigurasi Sistem Membran Reverse Osmosis
One Stage
Two Stage
Percobaan
Pengujian Kualitas Air Hasil
TIDAK
Kesesuaian Baku Mutu Air
YA
Analisis Pengaruh Rancangan Konfigurasi pada Sistem
Kesimpulan dan Saran
Selesai

Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3 Parameter Percobaan

Pada penelitian ini, air yang digunakan merupakan air buatan yang memiliki kadar garam awal sebesar 2200 ppm .

Tabel 3. 1 Parameter penelitian tugas akhir

Judul	Variabel	Sub Variabel 1	Sub Variabel 2
PERANCANGAN *CONCENTRATE RECIRCULATION* PADA SISTEM MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS* TIPE *SPIRAL WOUND* UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI AIR TAWAR	Single Stage	31	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik
		35	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik
		40	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik
	Two Stage	31	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik
		35	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik
		40	Reaktor Organik
			Membran Keramik
			Reaktor Organik + Membran Keramik

Sumber : Dokumen Pribadi

3.4 Alat dan Bahan Percobaan

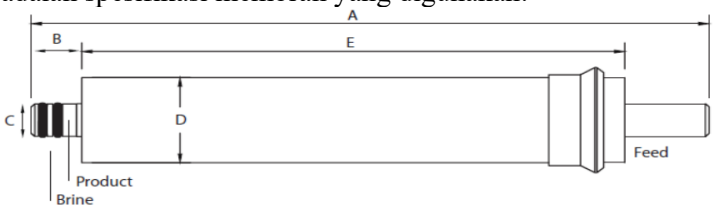
- Alat ukur untuk kadar: TDS, Salinitas, pH
- Membran *Reverse Osmosis* merk FilmTech tipe BW60 – 1812 – 75
- *Housing Membran*
- RO *fittings* untuk menyambung *housing membrane* dengan selang RO ¼ inchi
- Pompa RO 24 V + Adaptor
- Selang RO ukuran ¼ inchi
- *Pressure Gauge*
- Tangki air 60 L untuk menampung air baku

- Tangki air untuk menampung permeat
- Gelas Ukur
- Stopwacth
- Aquades
- Garam untuk mengolah air

3.5 Spesifikasi Alat

3.4.1 Spesifikasi membran *reverse osmosis* yang digunakan

Pada penelitian kali ini, sistem *reverse osmosis* menggunakan dua buah membran jenis *thin film composite* dengan merk FilmTec tipe BW 60-1812-75. Membran ini memiliki kapasitas pengolahan maksimum sebanyak 75 GPD (*gallons per day*). Berikut adalah spesifikasi membran yang digunakan:



*Gambar 3. 2 Dimensi membran FilmTec BW 60-1812-75 (*Sumber: *FilmTec™ BW60-1812-75 Element Product Data Sheet*)

Tabel 3. 2Dimensi membran Filmtec BW 60-1812-75

A		B		C	
Inch	mm	inch	mm	inch	mm
11,74	298	0,875	22,2	0,68	17

D		E	
Inch	mm	inch	Mm
1.75	44.5	9.4	239

Sumber: *FilmTec™ BW60-1812-75 Element Product Data Sheet*

Tabel 3. 3Spesifikasi Membran Reverse Osmosis Filmtech *BW 60-1812-75*

Spesifikasi Membran Reverse Osmosis	
Merk	Film Tech
Jenis Membran	*Polyamide thin film composite*
Tipe	BW 60 – 1812 -75
Tekanan Operasi Maksimum	150 psig (10 bar)
Temperatur Operasi Maksimum	113 ^{o}F (45°C)
Feed Flow Rate Maksimum	2.0 gpm (7.6 lpm)
pH	2 - 11
Feed Silt Density Index (SDI) Maksimum	SDI 5
Free Chorince Tolerance	< 0.1 ppm

Sumber: *FilmTec™ BW60-1812-75 Element Product Data Sheet*

3.4.2 Spesifikasi pompa *reverse osmosis* yang digunakan

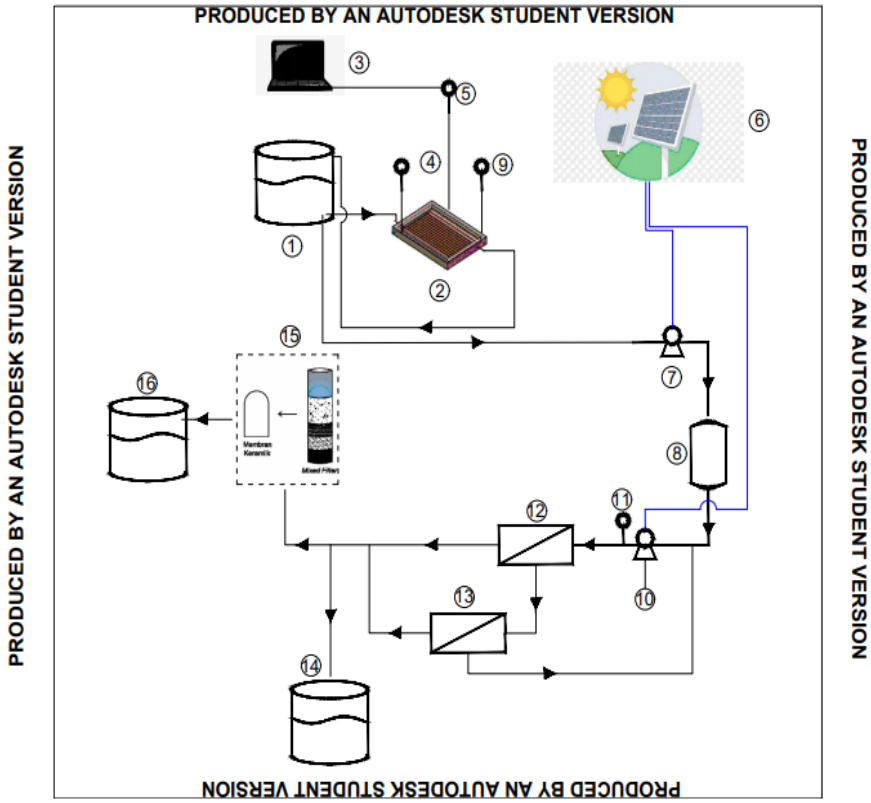
Pada penelitian kali ini, pompa *reverse osmosis* yang digunakan adalah jenis pompa diafragma. Pompa diafragma adalah jenis pompa yang memiliki daya untuk menghisap air masuk dan juga menekan air untuk keluar. Pada penelitian jenis pompa diafragma yang digunakan yaitu merk Kerter Model : KT – PU – 75 G. Dengan Spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Spesifikasi pompa reverse osmosis

Jenis Pompa	*Diaphargm Booster Pump*
Model	KT – PU – 75 G
Voltage	24 V
Tekanan operasi	70 Psi
Arus Operasi	1 A
Maximum Pressure	120 Psi
Working Flow	48 LPH

Sumber: *Diaphargm Booster Pump Kerter* KT – PU – 75 G *Data Sheet*

3.6 Rancangan Teknologi



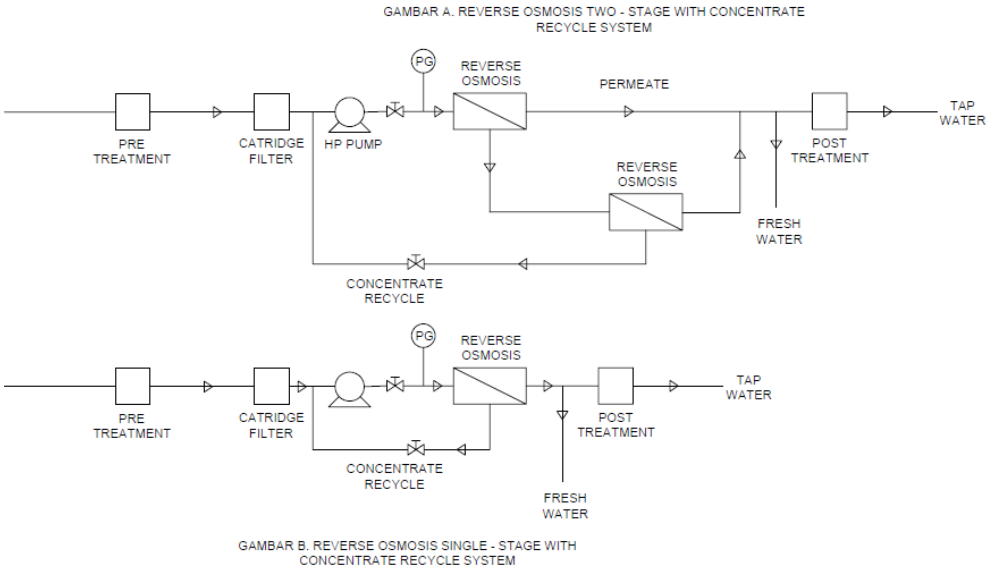
Gambar 3. 3 Aparatus penelitian (Sumber: Dokumen Pribadi)

Keterangan:

1. Tangki Sirkulasi
2. Solar Collector

3. Laptop
4. Termometer
5. Photovoltaic Cell
6. Pompla Supply
7. Filter
8. Termometer
9. Booster Pump
10. Pressure Gauge
11. Membran Reverse Osmosis 1
12. Membran Reverse Osmosis 2
13. Tangki Air Tawar
14. Membran Keramik
15. Tangki Air Minum

Teknologi yang akan dirancang merupakan teknologi *reverse osmosis* menggunakan tenaga berupa *solar collector* dan *fotovoltaic*. Sedangkan pada membrannya nanti akan menggunakan sistem *concentrate recirculation*. Dimana pada sistem tersebut nanti air yang yang tidak bisa di proses pada sistem membran akan dialirankan menuju ke dalam membran kembali. Untuk sistem membran *reverse osmosis* menggunakan 2 konfigurasi yaitu dengan *single – stage* dan *multi – stage*. Dimana untuk konfigurasi *single – stage,* konsentrat yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* yang pertama akan langsung dialirkan kembali ke dalam sistem tersebut (rancangan terlampir pada lampiran). Dan untuk konfigurasi *multi – stage* konsentrat yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* akan di proses kembali pada membran yang kedua sebelum dialirkan kembali melalui pompa *high pressure pump*.



Gambar 3. 4 P&ID rangkaian concentrate recirculation sistem reverse osmosis konfigurasi *two stage* (Gambar A) & konfigurasi *single stage* (gambar B)

Sumber : Dokumen Pribadi

3.7 Perancangan Rangkaian Sistem *Reverse Osmosis*

Pada penelitan, rangkaian sistem *reverse osmosis* yang digunakan adalah *concentrate recirculation*. Yaitu sistem yang dimana *concentrate* / *brine water* tidak langsung dibuang tetapi diproses kembali ke dalam sistem *reverse osmosis.* Sedangkan rangkaian yang digunakan kali ini yaitu meneggunakan konfigurasi *single stage* dengan menggunakan satu buah membran dan konfigurasi *two stage* dengan menggunakan dua buah membran.

Gambar 3. 5 Rangkaian *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan konfigurasi *single stage*

Sumber : Dokumen Pribadi

Rangkaian diatas merupakan jenis rangkaian *reverse omosis concentrate recirculation* konfigurasi *single stage*. Pada rangkaian tersebut terdiri dari satu buah membran jenis *polyamide thin film FilmTec* BW60-1812-75 beserta *housing* yang dilengkapi dengan *diaphragm pump*, tempat untuk menampung air produk, tempat untuk menampung air konsentrat, *pressure indicator*, *catridge filter* , *clamp meter* dan pengukur waktu (*timer*) yang berada di luar sistem.

Gambar 3. 6 Rangkaian *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan konfigurasi *two stage*

Sumber: Dokumen Pribadi

Rangkaian diatas merupakan jenis rangkaian *reverse omosis concentrate recirculation* konfigurasi *two stage*. Pada rangkaian tersebut terdiri dari dua buah membran jenis *polyamide thin film FilmTec* BW60-1812-75 beserta *housing* yang dilengkapi dengan *diaphragm pump*, tempat untuk menampung air produk, tempat untuk menampung air konsentrat, *pressure indicator*, *catridge filter* , *clamp meter* dan pengukur waktu (*timer*) yang berada di luar sistem.

3.8 Prosedur Percobaan

- Mempersiapkan air sumber untuk proses *reverse osmosis* di tangki penyimpanan
- Merancang konfigurasi sistem susunan membran *reverse osmosis*
- Pengujian dilakukan pada saat temperatur air pada suhu 30°C, 35 ^{O}C , dan 40 ^{O}C
- Melakukan percobaan pada rangkaian membran *reverse osmosis*
- Melakukan validasi mengenai jumlah konsentrat yang dihasilkan
- Melakukan validasi mengenai jumlah air tawar yang di dapat di hasilkan
- Jika validasi diterima maka kemudian dilakukan pengujian pada proses *post treatment*
- Proses pengambilan data menggunakan variasi tekanan pompa, suhu air yang masuk, konsumsi daya, dan jumlah air tawar yang dapat dihasilkan
- Melakukan analisa terkait percobaan yang akan dilakukan
- Membuat laporan hasil percobaan dan kesimpulan dari penelitian

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perlakuan awal membran

Sebelum membran dioperasikan menggunakan air baku yang rencana akan digunakan. Pada penelitian ini, membran akan diberi perlakuan terlebih dahulu agar pada saat pengoperasian membrane dapat beroperasi dengan maksimal. Dalam hal ini, perlakuan yang diberikan yaitu mencuci membran baru dengan menggunakan akuades. Hal ini bertujuan untuk membersihkan membran yang masih baru. Selain itu juga, pada setiap pergantian variabel percobaan dilakukan pencucian ulang menggunakan akuades.

4.2 Tekanan osmotic

Daya yang menyebabkan terjadi difusi pada air yang memiliki konsentrasi yang lebih pekat yang dibatasi oleh membrane semipermiabel disebut dengan tekanan osmosis. Proses osmosis terbalik (*reverse osmosis)* merupakan kebalikan dari proses osmosis, dimana pada proses *reverse osmosis,* sisi larutan yang memiliki konsentrasi lebih pekat akan dapat mengalir ke sisi larutan yang memiliki konsentrasi yang lebih rendah. Tekanan osmosis sendiri menggunakan rumus van hoff, yaitu:

$$\pi = \frac{0{,}0385C(t+273)}{1000 - \frac{C}{1000}} \qquad 1$$

Dimana:
C= Konsentrasi larutan (ppm)
T= suhu (K)
π= Tekanan osmosis (Psi)

Tabel 4.1 berikut adalah tabel yang menunjukkan tekanan osmosis pada penelitian berikut untuk setiap konsentrasi air baku berdasarkan variasi suhu

Tabel 4. 1 Tekanan Omosis masing – masing air baku

Konsentrasi Larutan	Suhu	Tekanan Osmosis (Psi)
2200	31°C	25,80557
2400	35°C	28,52767
2540	40°C	30,68621

Sumber: Data primer perhitungan

Berdasarkan tabel 4.1, menunjukkan bahwa tekanan osmosis bergantung dari konsentrasi larutan. Semakin tinggi atau semakin pekat konsentrasi dari larutan tersebut akan menghasilkan tekanan osmosis yang semakin besar. Hal ini menyatakan bahwa agar dapat mengalirkan tersebut maka membutuhkan tekanan yang besar pula.

4.3 Tekanan antar membrane

Tekanan transmembran (TMP atau ΔP) adalah perbedaan tekanan antara sisi umpan dan sisi rembesan atau pemeat. Tekanan ini pada umumnya diukur dalam satuan bar atau psi dan merupakan kekuatan

pendorong untuk pemisahaan membran dan meresap dari produksi. Secara umum peningkatan tekanan transmembran meningkatkan fluks yang melintasi membran. Tekanan transmembran dapat diketahui dengan;

$$TMP = \frac{P_f + P_C}{2} - P_p \qquad 2$$

Dimana,

Pp = Tekanan rembesan atau permeat

P_f = Tekanan sisi umpan

Pc = Tekanan konsentrat

Tabel 4.2 berikut adalah tabel yang menunjukkan tekanan osmosis pada penelitian berikut untuk setiap konsentrasi air baku berdasarkan variasi suhu

Tabel 4. 2 Tekanan antar membran masing – masing air baku

Suhu	Tekanan Umpan (Psi)	Tekanan Permeat (Psi)	Tekanan Konsentrat (Psi)	Tekanan Transfer Membran
31°C	70	0	70	70
35°C	65	0	65	65
40°C	60	0	60	60

Sumber: Data primer percobaan

Berdasarkan tabel 4.2, menunjukkan bahwa tekanan transmembrane atau tekanan antar membran itu bergantung pada tekanan umpan, tekanan permeat dan tekanan konsentrat. Dan pada saat percobaan permeat tidak memiliki tekanan sehingga tekanan transmembran hanya bergantung kepada tekanan umpan dan tekanan konsentrat. Itu yang menyebabkan tekanan transmembran

4.4 Pengaruh suhu terhadap tds produk yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. TDS air produk yang diukur merupakan air tds sampel yang diambil setiap 5 menit. Untuk data mengenai kadar TDS pada permeat selama waktu pengambilan sampel untuk tiap variasi perbedaan suhu.

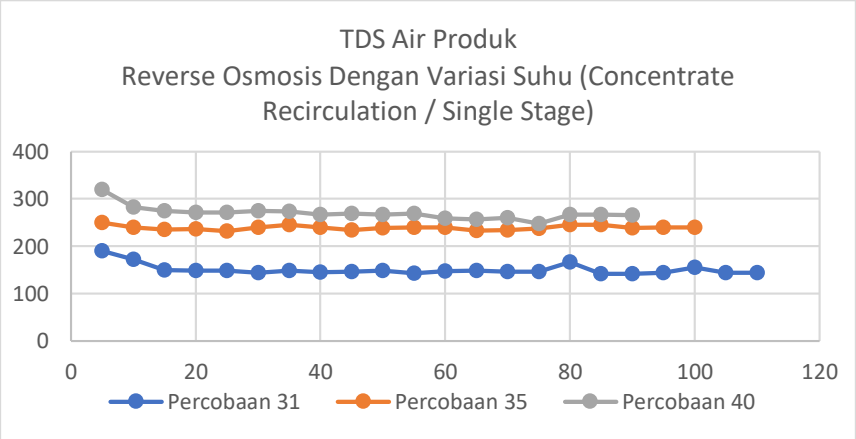
Tabel 4. 3 TDS air yang dihasilkan (ppm) dengan berbagai macam variasi suhu

Waktu	TDS air yang dihasilkan (Ppm)		
	31 ^{O}C	35 ^{O}C	40 ^{O}C
5	190	250	320
10	172	240	282
15	149	235	275
20	148	236	271
25	148	232	271
30	144	240	275
35	148	245	273

40	145	240	267
45	146	234	269
50	148	238	267
55	143	240	269
60	147	240	259
65	148	233	257
70	146	234	260
75	146	237	247
80	166	245	267
85	141	245	267
90	141	238	266
95	144	240	-
100	155	240	-
105	144	-	-
110	144	-	-

Sumber, Data Primer Percobaan

Pada gambar 4.3 berikut merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh perbedaan suhu pada air baku dengan kadar TDS permeat air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis*.



Gambar 4. 1 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap TDS air produk (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.1 berikut, TDS air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *single stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 141 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 190 ppm. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 232 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 250 ppm. Dan yang terakhir pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 247 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 320 ppm.

Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa kemampuan membran dalam menghasilkan TDS air yang dihasilkan antara 141 ppm sampai dengan 320 ppm . Hasil tersebut tergantung pada konsentrasi air baku dan suhu pada air baku tersebut. Kemampuan membran untuk menghasilkan TDS air yang dihasilkan paling rendah yaitu pada suhu $31^{O}C$ yaitu antara 141 ppm sampai dengan 320 ppm. Pada grafik 4.1 dapat dilihat bahwa peningkatan suhu sebanding dengan peningkatan TDS air yang dihasilkan . Karena meningkatnya suhu larutan akan meningkatkan disfusivitas dari larutan tersebut dan akan menyebabkan meningkatnya konsentrasi pada larutan air baku.

4.5 Pengaruh suhu terhadap *salt rejection* yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. *Salt Rejection* yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_{ave}}\right) x\ 100 \qquad 3$$

Dimana,

R = Zat yang di tahan

C_P = Konsentrasi Permeat

C_f = Konsentrasi Baku

Cc = Konsentrasi Konsentrat

C_{Ave} adalah rata – rata konsentrasi dari air baku, yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_{Ave} = \frac{C_f + C_c}{2} \qquad 4$$

Dan pada table 4.4, didapatkan dari rumus tersebut berdasarkan konsentrasi umpat, konsentrasi permeat dan konsentrasi konsentrat yang diambil sampel setiap 5 menit pada 60 liter air.

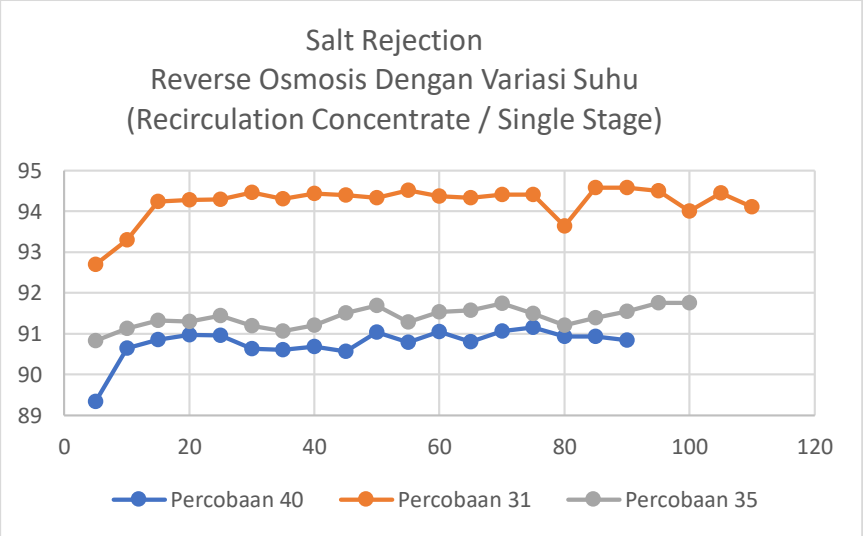
Tabel 4. 4 Kemampuan *salt rejection* membran dengan berbagai macam variasi suhu

Waktu	Salt Rejection (%)		
	$31^{O}C$	$35^{O}C$	$40^{O}C$
5	92,69231	90,82569	89,33333
10	93,29435	91,12754	90,64677
15	94,23598	91,32841	90,84859
20	94,28571	91,29151	90,96667
25	94,29672	91,43911	90,95159
30	94,46154	91,19266	90,63032
35	94,30769	91,05839	90,60241
40	94,43378	91,20879	90,68063
45	94,39539	91,50635	90,5614
50	94,3295	91,69284	91,04027
55	94,52107	91,28857	90,78767

60	94,36782	91,53439	91,05354
65	94,3295	91,57324	90,80501
70	94,40613	91,74603	91,06529
75	94,40613	91,49013	91,14695
80	93,63985	91,20287	90,93379
85	94,57692	91,3884	90,93379
90	94,57692	91,54529	90,84337
95	94,50382	91,75258	-
100	94,00387	91,75258	-
105	94,45087	-	-
110	94,11043	-	-

Sumber, Data Primer Percobaan

Pada gambar 4.2 berikut merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh perbedaan suhu pada air baku dengan *salt rejection* oleh membran *reverse osmosis*.



Gambar 4. 2 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap TDS air produk (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.2 berikut, pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 92,69 % dan yang paling tinggi adalah 96,58%. Pada suhu 35°C. memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 90,825 % dan yang paling tinggi adalah 91,75%. Pada suhu 40°C. memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 89,33 % dan yang paling tinggi adalah 91,14%.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin meningkatnya suhu dari air baku akan menyebabkan kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection*. Hal ini disebabkan karena meningkatkan TDS air baku yang akan digunakan. Hal itu lah yang menyebabkan membran *reverse osmosis* bekerja lebih berat. Karena konsentrasi air baku dan air baku meningkat akan menyebabkan

TDS yang dihasilkan meningkat dan kadar TDS konsentrat menjadi semakin menurun hal itulah yang menyebabkan hasil rejeksi pada suhu 40°C lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil rejeksi pada suhu 35°C dan 31°C.

4.6 Pengaruh suhu terhadap fluks yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. Fluks permeat yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$J_v = \frac{V}{AxT} \qquad 5$$

Dimana,

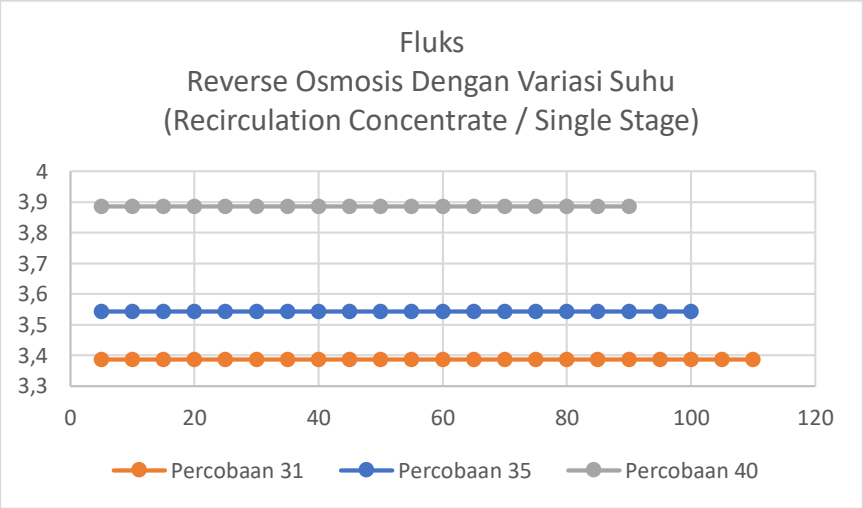
J_V = Permeat Fluks
A = Luas area membrane
V = Volume permeat
T = Waktu Pengoperasian

Dan pada tabel 4.5, didapatkan hasil dari rumus tersebut berdasarkan luas area membran dan Laju aliran permeat yang diambil berdasarkan variasi suhu 31°C, 35°C, dan 40°C. Dengan luas area membran yaitu sebesar 0,0438 m^2.

Tabel 4. 5 Fluks permeat yang dihasilkan oleh membran reverse osmosis dengan variasi suhu

Suhu	Volume Permeat (liter)	Waktu Pengoperasian (menit)	Fluks (liter/m^{2}menit)
31°C	16.3	110	3,386
35°C	15.5	100	3,542
40°C	15.3	90	3,885

Sumber : Data Primer Perhitungan



Gambar 4. 3 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap Fluks yang dihasilkan (Sumber: Data Primer)

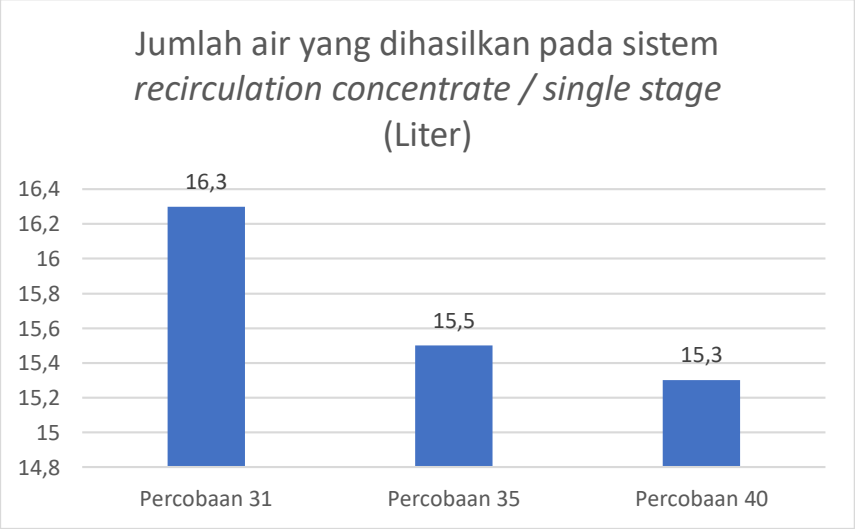
Dari gambar 4.3 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 3,387 Liter/(m^2.menit). Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 3,542 Liter/(m^2 . menit). Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 3,885 Liter/(m^2 . menit).

Pada penelitian kali ini fluks permeat paling tinggi yaitu pada percobaan dengan suhu 40°C yaitu sebesar 3,885 liter/menit dan yang paling rendah yaitu pada percobaan 31°C yaitu sebesar 3,386 liter/ menit.

Besarnya fluks tergantung pada suhu dan lama waktu pengolahan dimana dengan suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan fluks yang lebih tinggi. Dan untuk waktu pengolahan , semakin cepat waktu pada proses maka fluks yang dihasilkan semakin besar.

4.7 Pengaruh suhu terhadap jumlah air yang dihasilkan pada konfigurasi *single stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Jumlah air produk yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran hasil akhir dengan menggunakan gelas ukur dengan ukuran 1000 ml.



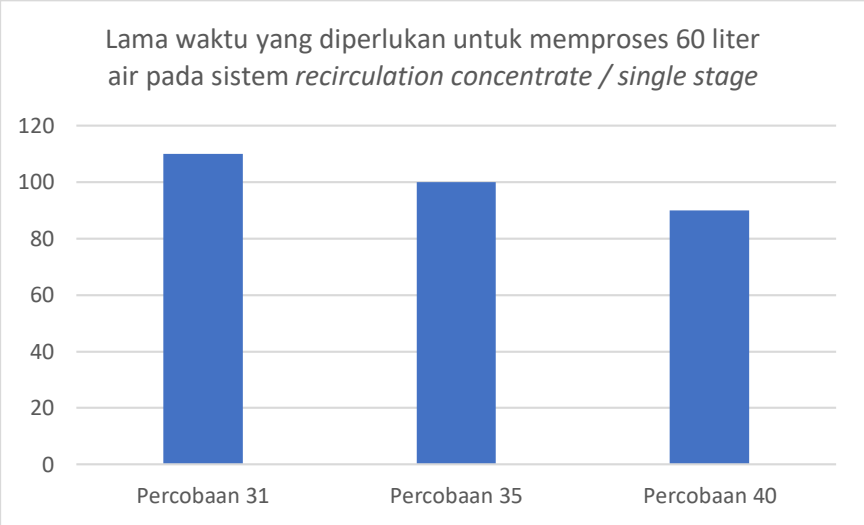
Gambar 4. 4 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap jumlah air produk yang dihasilkan (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.4 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 16300 ml atau sama dengan 16,3 liter. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 15500 ml atau sama dengan 15,5 liter. Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 15300 ml atau sama dengan 15,3 liter.

Pada penelitian ini, jumlah air produk yang dihasilkan paling banyak terjadi pada suhu 31°C yaitu sebanyak 16,3 liter dan yang paling sedikit pada suhu 40°C. Hal ini disebabkan karena kadar TDS air baku pada suhu 40°C lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar TDS air baku pada suhu 31°C. Hal tersebut menyebabkan membran *reverse osmosis* bekerja lebih berat sehingga kemampuan rejeksi pada membran tersebut menjadi berkurang sehingga jumlah air produk yang dihasilkan menjadi berkurang.

4.8 Pengaruh suhu terhadap lama pengoperasian pada konfigurasi *single stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Waktu pengoperasian diukur menggunakan stopwatch dari kondisi awal 60 liter sampai dengan habis.



Gambar 4. 5 Grafik pengaruh variasi suhu air baku lama waktu pengoperasian (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.5 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C membutuhkan waktu sebesar 110 menit untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 35°C membutuhkan waktu sebesar 100 menit untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 40°C membutuhkan waktu sebesar 90 menit untuk memproses air sebesar 60 liter.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan menyebabkan waktu pengolahan air semakin cepat. Hal itu disebabkan oleh meningkatnya disfusivitas air yang menyebabkan viskositas air menjadi lebih kecil hal itu lah yang menyebabkan air dapat mengalir lebih cepat. Hal ini dibuktikan bahwa pada suhu 40°C memiliki waktu lebih cepat jika dibandingkan pada percobaan untuk pengolahan air pada suhu 35°C dan 31°C.

4.9 Pengaruh suhu terhadap tds produk yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage*

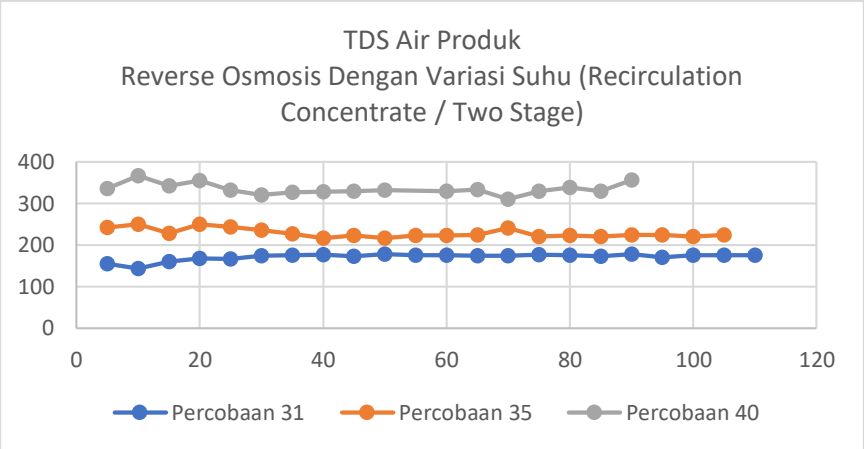
Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. TDS air produk yang diukur merupakan air tds sampel yang diambil setiap 5 menit. Untuk data mengenai kadar TDS pada permeat selama waktu pengambilan sampel untuk tiap variasi perbedaan suhu.

Tabel 4. 6 TDS air yang dihasilkan (ppm) dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi *two stage*

Waktu	TDS air yang dihasilkan (Ppm)		
	31 ^{O}C	35 ^{O}C	40 ^{O}C
5	155	242	336
10	166	244	332
15	178	216	332
20	174	241	310
25	174	224	333
30	168	250	355
35	160	228	342
40	174	236	320
45	144	250	366
50	177	220	329
55	176	227	327
60	175	223	338
65	177	217	328
70	173	221	330
75	178	224	356
80	176	223	331
85	175	223	330
90	173	223	329
95	171	224	-
100	175	220	-
105	175	224	-
110	175	-	-

Sumber: Data Primer

Pada gambar 4.6 berikut merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh perbedaan suhu pada air baku dengan kadar TDS permeat air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis*.



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap kadar TDS air produk (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.6 berikut, TDS air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 144 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 178 ppm. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 216 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 250 ppm. Dan yang terakhir pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 310 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 366 ppm.

Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa kemampuan membran dalam menghasilkan TDS air yang dihasilkan antara 144 ppm sampai dengan 366 ppm . Hasil tersebut tergantung pada konsentrasi air baku dan suhu pada air baku tersebut. Kemampuan membran untuk menghasilkan TDS air yang dihasilkan paling rendah yaitu pada suhu 31°C yaitu antara 144 ppm. Pada grafik 4.1 dapat dilihat bahwa peningkatan suhu sebanding dengan peningkatan TDS air yang dihasilkan . Karena meningkatnya suhu larutan akan meningkatkan disfusivitas dari larutan tersebut dan akan menyebabkan meningkatnya konsentrasi pada larutan air baku.

4.10 Pengaruh suhu terhadap *salt rejection* yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. *Salt Rejection* yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_{ave}}\right) x\ 100 \qquad 6$$

Dimana,

R = Zat yang di tahan

C_P = Konsentrasi Permeat
C_f = Konsentrasi Baku
Cc = Konsentrasi Konsentrat
C_{Ave} adalah rata – rata konsentrasi dari air baku, yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_{Ave} = \frac{C_f + C_c}{2} \quad 7$$

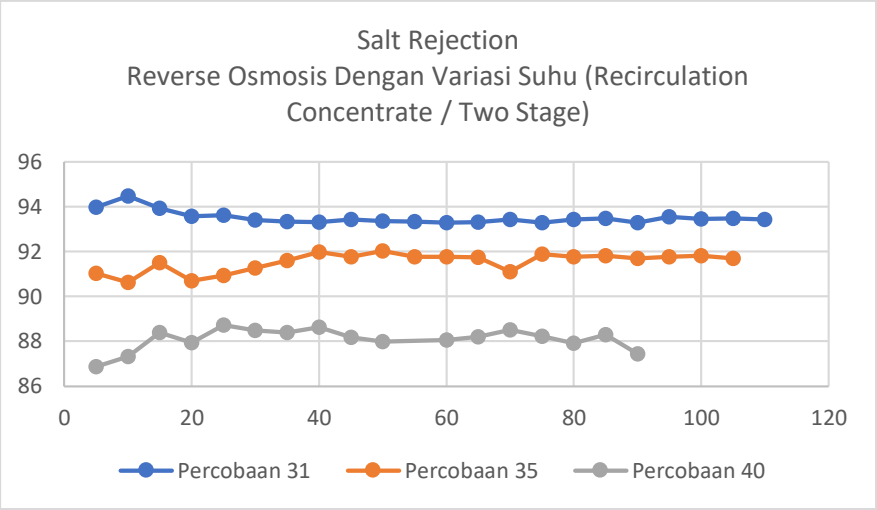
Dan pada tabel 4.7, didapatkan dari rumus tersebut berdasarkan konsentrasi umpat, konsentrasi permeat dan konsentrasi konsentrat yang diambil sampel setiap 5 menit pada 60 liter air.

Tabel 4. 7 kemampuan *salt rejection* membran dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi *two stage*

Waktu	Salt Rejection (%)		
	31°C	35°C	40°C
5	93,96887	91,03704	86,875
10	94,47217	90,61914	87,31369
15	93,92789	91,50838	88,3871
20	93,56322	90,70632	87,94567
25	93,62764	90,9462	88,72666
30	93,39658	91,25926	88,48921
35	93,33333	91,59259	88,38366
40	93,30813	91,97782	88,63085
45	93,42205	91,75601	88,18671
50	93,35821	92,02952	87,99277
55	93,33333	91,77122	88,02893
60	93,28215	91,77122	88,0651
65	93,32054	91,73432	88,19149
70	93,43396	91,10701	88,51852
75	93,28273	91,88192	88,22898
80	93,42105	91,77122	87,90698
85	93,4717	91,81481	88,29787
90	93,28302	91,7037	87,44268
95	93,54717	91,76471	-
100	93,44569	91,80633	-
105	93,47015	91,68831	-
110	93,42105	-	-

Sumber: Data Primer Perhitungan

Pada gambar 4.7 berikut merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh perbedaan suhu pada air baku dengan *salt rejection* oleh membran *reverse osmosis*.



Gambar 4. 7 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap kemampuan melakukan *salt rejection* (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.7 berikut, pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 93,282 % dan yang paling tinggi adalah 94,482 %. Pada suhu 35°C. memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 90,619 % dan yang paling tinggi adalah 92,030 %. Pada suhu 40°C. memiliki kemampuan rejeksi paling rendah adalah sebesar 86,857 % dan yang paling tinggi adalah 88,727 %

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin meningkatnya suhu dari air baku akan menyebabkan kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection*. Hal ini disebabkan karena meningkatkan TDS air baku yang akan digunakan. Hal itu lah yang menyebabkan membran *reverse osmosis* bekerja lebih berat. Karena konsentrasi air baku dan air baku meningkat akan menyebabkan TDS yang dihasilkan meningkat dan kadar TDS konsentrat menjadi semakin menurun hal itulah yang menyebabkan hasil rejeksi pada suhu 40°C lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil rejeksi pada suhu 35°C dan 31°C.

4.11 Pengaruh suhu terhadap fluks yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. Fluks permeat yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$J_v = \frac{V}{AxT} \qquad 8$$

Dimana,

J_V = Permeat Fluks
A = Luas area membrane
V = Volume permeat

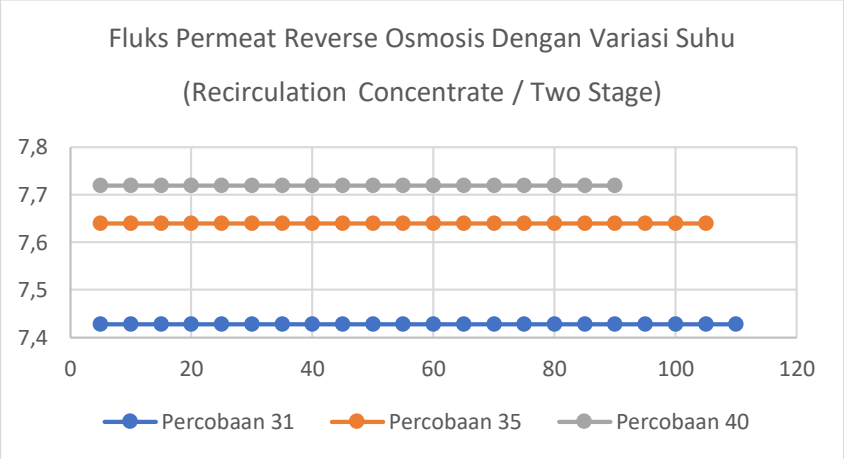
T = Waktu Pengoperasian

Dan pada tabel 4., didapatkan hasil dari rumus tersebut berdasarkan luas area membran dan Laju aliran permeat yang diambil berdasarkan variasi suhu 31°C, 35°C, dan 40°C. Dengan luas area membran yaitu sebesar 0,0438 m^2.

Tabel 4. 8 Fluks permeat yang dihasilkan dengan berbagai macam variasi suhu pada konfigurasi *two stage*

Suhu	Volume Permeat (liter)	Waktu Pengoperasian (menit)	Fluks (liter/m^{2}menit)
31°C	35,75	110	7,427
35°C	35,10	100	7,640
40°C	29,60	90	7.719

Pada gambar 4.8 berikut merupakan grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh perbedaan suhu pada air baku dengan fluks permeat oleh membran *reverse osmosis*.



Gambar 4. 8 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap fluks permeat yang dihasilkan (Sumber: Data Primer)

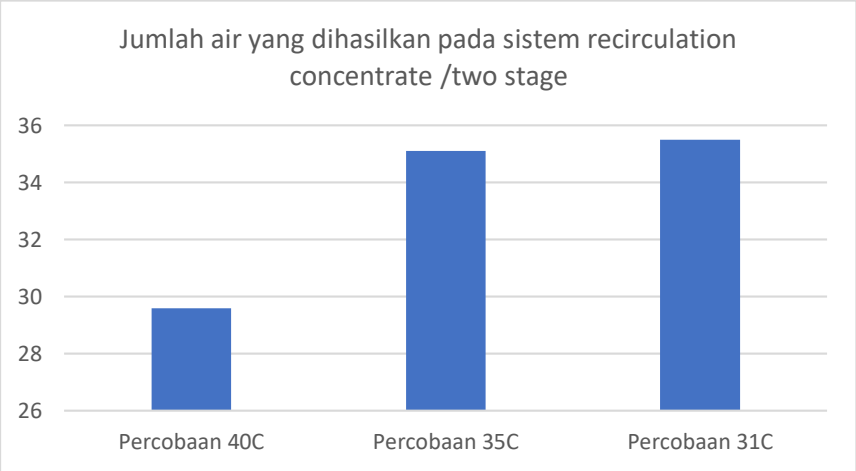
Dari gambar 4.8 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 7,427 Liter/(m^2 . menit). Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 7,640 Liter/(m^2 . menit). Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat sebesar 7.719 Liter/(m^2 . menit).

Besarnya fluks tergantung pada suhu dan lama waktu pengolahan dimana dengan suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan fluks yang lebih tinggi. Dan untuk waktu pengolahan , semakin cepat waktu pada proses maka fluks yang dihasilkan semakin besar.

4.12 Pengaruh suhu terhadap jumlah air yang dihasilkan pada konfigurasi *two stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Jumlah air produk yang dihasilkan itu

diperoleh dari pengukuran hasil akhir dengan menggunakan gelas ukur dengan ukuran 1000 ml.



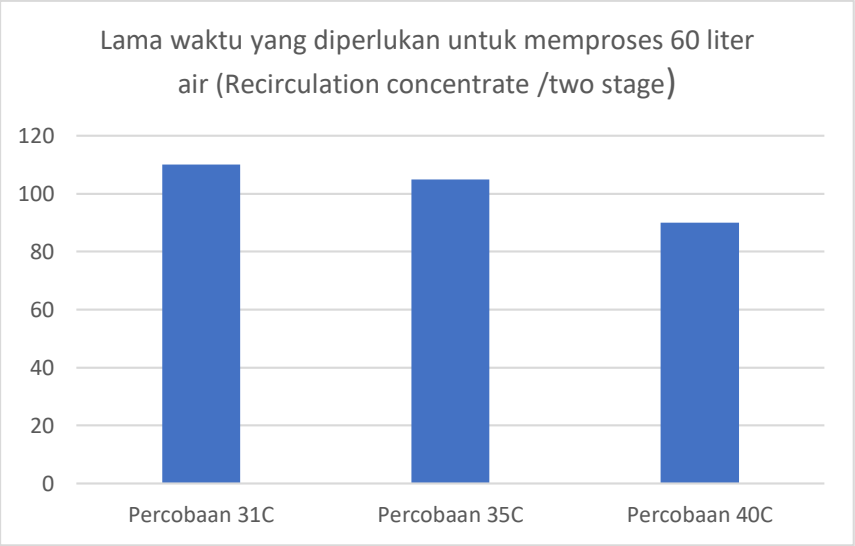
Gambar 4. 9 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap jumlah air produk yang dihasilkan (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.9 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 35500 ml atau sama dengan 35,5 liter. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 35100 ml atau sama dengan 35,1 liter. Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 29600 ml atau sama dengan 29,6 liter.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin meningkatnya suhu dari air baku akan menyebabkan kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection*. Hal ini disebabkan karena meningkatkan TDS air baku yang akan digunakan. Hal itu lah yang menyebabkan membran *reverse osmosis* bekerja lebih berat. Karena konsentrasi air baku dan air baku meningkat akan menyebabkan TDS yang dihasilkan meningkat dan kadar TDS konsentrat menjadi semakin menurun hal itulah yang menyebabkan hasil rejeksi pada suhu 40°C lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil rejeksi pada suhu 35°C dan 31°C.

4.13 Pengaruh suhu terhadap lama pengoperasian pada konfigurasi *two stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Waktu pengoperasian diukur menggunakan stopwatch dari kondisi awal 60 liter sampai dengan habis.



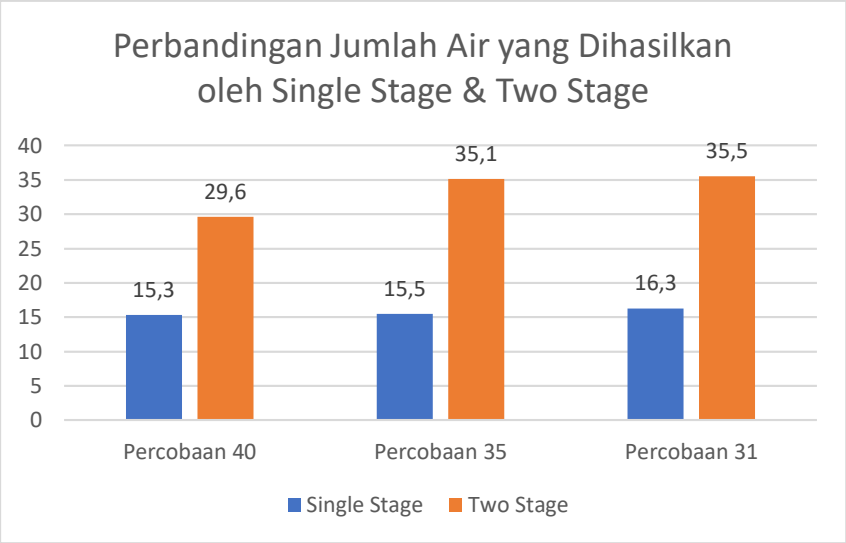
Gambar 4. 10 Grafik pengaruh variasi suhu air baku terhadap lama waktu pengoperasian (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.10 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C membutuhkan waktu sebesar 110 menit untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 35°C membutuhkan waktu sebesar 105 menit untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 40°C membutuhkan waktu sebesar 90 menit untuk memproses air sebesar 60 liter.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan menyebabkan waktu pengolahan air semakin cepat. Hal itu disebabkan oleh meningkatnya disfusivitas air yang menyebabkan viskositas air menjadi lebih kecil hal itu lah yang menyebabkan air dapat mengalir lebih cepat. Hal ini dibuktikan bahwa pada suhu 40°C memiliki waktu lebih cepat jika dibandingkan pada percobaan untuk pengolahan air pada suhu 35°C dan 31°C

4.14 Perbandingan Jumlah Air Yang Dihasilkan Dengan Menggunakan Sistem *single stage* dan *Two Stage*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Jumlah air produk yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran hasil akhir dengan menggunakan gelas ukur dengan ukuran 1000 ml.

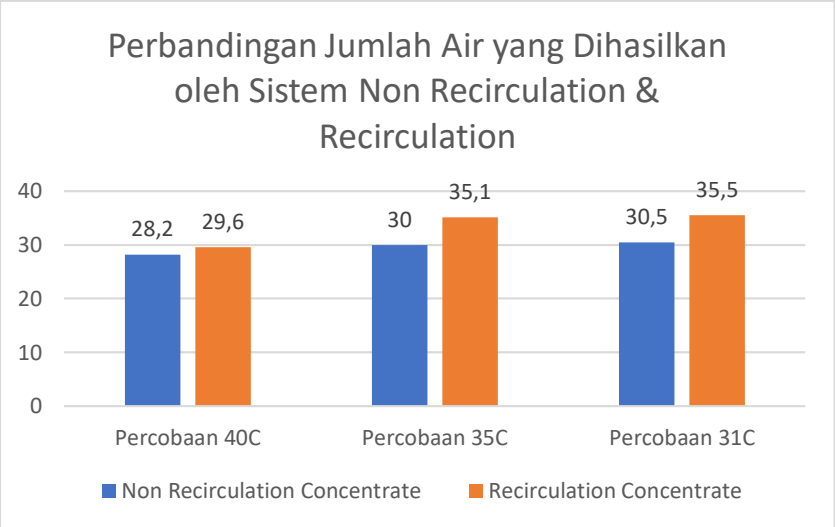


Gambar 4. 11 Grafik perbandingan jumlah air produk yang dihasilkan pada sistem *concentrate recirculation* antara konfigurasi single stage dan *two stage* (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.11 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 16300 ml atau sama dengan 16,3 liter pada konfigurasi *single stage* dan 35500 ml atau sama dengan 35,5 liter pada konfigurasi *double stage*. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 15500 ml atau sama dengan 15,5 liter pada konfigurasi *single stage* dan 35100 ml atau sama dengan 35,1 liter pada konfigurasi *double stage*. Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 15300 ml atau sama dengan 15,3 liter pada konfigurasi *single stage* dan 29600 ml atau sama dengan 29,6 liter.

4.15 Perbandingan Jumlah Air Yang Dihasilkan Dengan Menggunakan Sistem *Concentrate Recirculation* Dan *Non- Concentrate Recirculation*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Jumlah air produk yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran hasil akhir dengan menggunakan gelas ukur dengan ukuran 1000 ml.

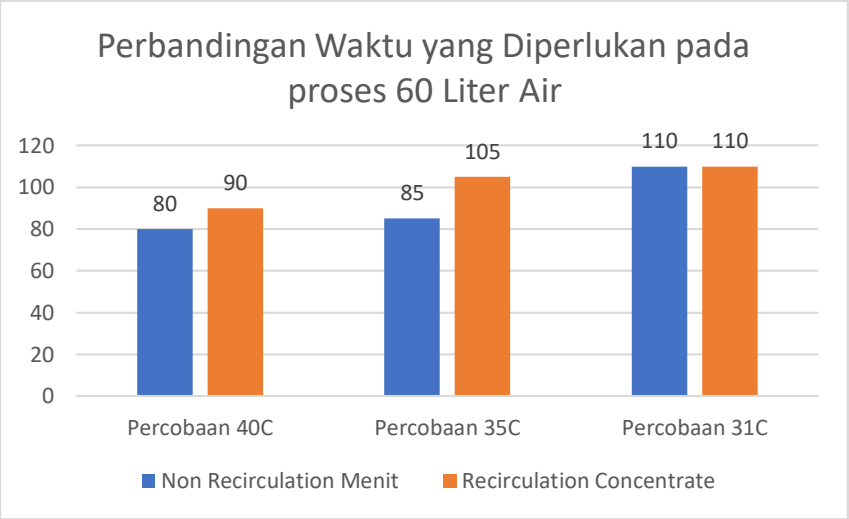


Gambar 4. 12 Grafik perbandingan jumlah air produk yang dihasilkan antara sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.13 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 35500 ml atau sama dengan 35,5 liter pada sistem *concentrate recirculation* dan 30500 ml atau sama dengan 30,5 liter pada sistem *non- concentrate recirculation*. Pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 35100 ml atau sama dengan 35,1 liter pada sistem *concentrate recirculation* dan 30000 ml atau sama dengan 30 liter pada sistem *non- concentrate recirculation*. Pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan air produk sebesar 29600 ml atau sama dengan 29,6 liter pada sistem *concentrate recirculation* dan 28200 ml atau sama dengan 28,2 liter pada sistem *non- concentrate recirculation*.

4.16 Perbandingan lama pengoperasian Dengan Menggunakan Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation*

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter . Waktu pengoperasian diukur menggunakan stopwatch dari kondisi awal 60 liter sampai dengan habis.



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan waktu yang diperlukan untuk pengoperasian pada air baku 60 liter antara sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.12 berikut, grafik pada air yang memiliki suhu sebesar 31°C membutuhkan waktu sebesar 110 menit pada sistem *concentrate recirculation* dan 110 menit pada sistem *non- concentrate recirculation* untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 35°C membutuhkan waktu sebesar 105 menit pada sistem *concentrate recirculation* dan 85 menit pada sistem *non- concentrate recirculation* untuk memproses air sebesar 60 liter. Pada suhu 40°C membutuhkan waktu sebesar 90 menit pada sistem *concentrate recirculation* dan 80 menit pada sistem *non-concentrate recirculation* untuk memproses air sebesar 60 liter.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa semakin tinggi suhu akan menyebabkan waktu pengolahan air semakin cepat. Hal itu disebabkan oleh meningkatnya disfusivitas air yang menyebabkan viskositas air menjadi lebih kecil hal itu lah yang menyebabkan air dapat mengalir lebih cepat. Hal ini dibuktikan bahwa pada suhu 40°C memiliki waktu lebih cepat jika dibandingkan pada percobaan untuk pengolahan air pada suhu 35°C dan 31°C.

4.17 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 31 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. TDS air produk yang diukur merupakan air tds sampel yang diambil setiap 5 menit. Untuk data mengenai kadar TDS pada permeat selama waktu pengambilan sampel untuk tiap variasi perbedaan suhu.

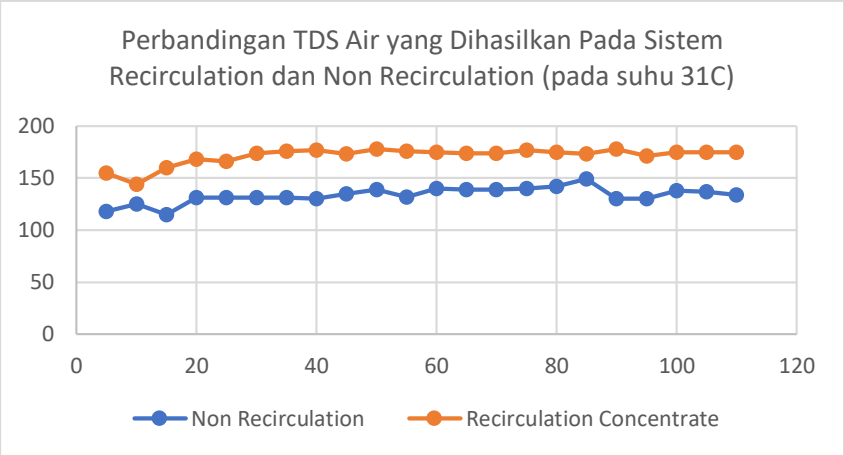
Tabel 4. 9 TDS air produk yang dihasilkan oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 31°C

Waktu	TDS Permeat pada suhu 31°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	155	118
10	144	125
90	160	115
80	168	131
20	166	131
50	174	131
55	176	131
60	177	130
45	173	135
65	178	139
75	176	132
85	175	140
35	174	139
15	174	139
30	177	140
70	175	142
40	173	149
25	178	130
95	171	130
100	175	138
105	175	137
110	175	134

Sumber : Data Primer

Pada gambar 4.14 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kadar TDS yang dihasilkan pada *reverse osmosis* sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage.*

Dari gambar 4.14 berikut, TDS air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 144 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 178 ppm. Pada sistem *non-concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 115 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 149 ppm.



Gambar 4. 14 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 31°C (Sumber: Data Primer)

Berdasarkan data grafik menunjukkan bahwa *concentrate recirculation* menghasilkan air produk dengan kadar TDS yang lebih besar jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh air konsentrat dari membran ke 2 dialirkan kembali ke dalam membran *reverse osmosis*. Hal itulah yang menyebabkan konsentrasi air yang akan melewat membran menjadi bertambah. Karena air yang mengalir memiliki dua konsentrasi yang dijadikan satu yaitu konsentrasi air baku ditambahkan dengan konsentrasi air konsentrat yang dialirkan kembali.

4.18 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 35 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. TDS air produk yang diukur merupakan air tds sampel yang diambil setiap 5 menit. Untuk data mengenai kadar TDS pada permeat selama waktu pengambilan sampel untuk tiap variasi perbedaan suhu.

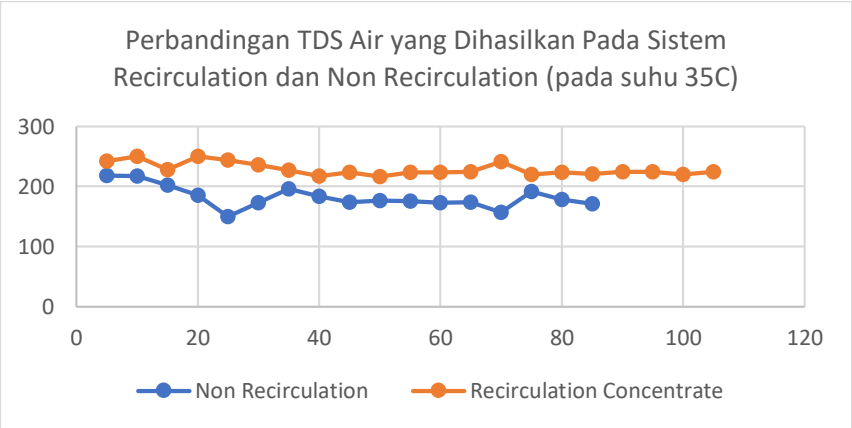
Pada gambar 4.15 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kadar TDS yang dihasilkan pada *reverse osmosis* sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage.*

Tabel 4. 10 TDS air priduk yang dihasilkan oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 35°C

Waktu	TDS Permeat pada suhu 35°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	242	150
10	250	157

15	228	171
20	250	173
25	244	173
30	236	174
35	227	174
40	217	175
45	223	176
50	216	178
55	223	183
60	223	185
65	224	191
70	241	196
75	220	202
80	223	217
85	221	218
90	224	-
95	224	-
100	220	-
105	224	

Sumber: Data Primer



Gambar 4. 15 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 35°C (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.15 berikut, TDS air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 216 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 250 ppm. Pada sistem *non-concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 150 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 218 ppm.

Berdasarkan data grafik menunjukkan bahwa *concentrate recirculation* menghasilkan air produk dengan kadar TDS yang lebih besar jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh air konsentrat dari membran ke 2 dialirkan kembali ke dalam membran *reverse osmosis*. Hal itulah yang menyebabkan konsentrasi air yang akan melewat membran menjadi bertambah. Karena air yang mengalir memiliki dua konsentrasi yang dijadikan satu yaitu konsentrasi air baku ditambahkan dengan konsentrasi air konsentrat yang dialirkan kembali.

4.19 Perbandingan TDS produk yang dihasilkan *Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 40 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. TDS air produk yang diukur merupakan air tds sampel yang diambil setiap 5 menit. Untuk data mengenai kadar TDS pada permeat selama waktu pengambilan sampel untuk tiap variasi perbedaan suhu.

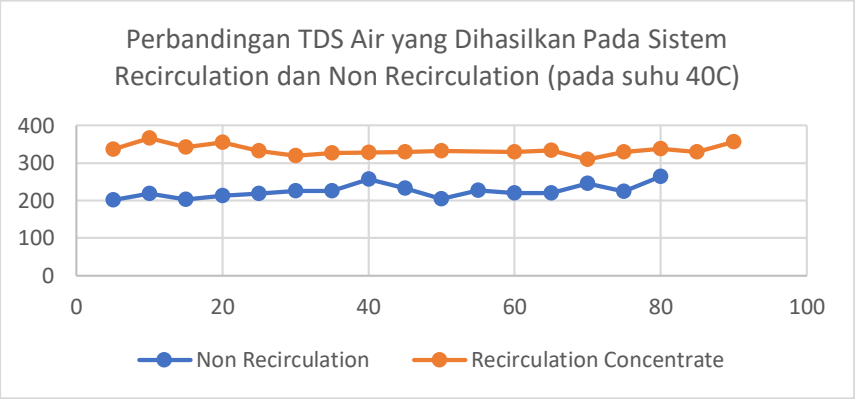
Tabel 4. 11 TDS air priduk yang dihasilkan oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 40°C

Waktu	TDS Permeat pada suhu 40°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	336	202
10	366	218
15	342	203
20	355	213
25	332	219
30	320	225
35	327	225
40	328	257
45	329	233
50	332	205
55	331	227
60	330	220
65	333	220
70	310	246
75	329	224
80	338	264
85	330	-
90	356	-

Sumber : Data Primer

Pada gambar 4.16 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kadar TDS yang dihasilkan pada *reverse osmosis* sistem

concentrate recirculation dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage*



Gambar 4. 16 Grafik perbandingan TDS air produk yang dihasilkan pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 31°C (Sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.16 berikut, TDS air yang dihasilkan oleh membran *reverse osmosis* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 310 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 366 ppm. Pada sistem *non-concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk menghasilkan kadar TDS air yang dihasilkan paling rendah adalah 202 ppm dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 264 ppm.

Berdasarkan data grafik menunjukkan bahwa *concentrate recirculation* menghasilkan air produk dengan kadar TDS yang lebih besar jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh air konsentrat dari membran ke 2 dialirkan kembali ke dalam membran *reverse osmosis*. Hal itulah yang menyebabkan konsentrasi air yang akan melewat membran menjadi bertambah. Karena air yang mengalir memiliki dua konsentrasi yang dijadikan satu yaitu konsentrasi air baku ditambahkan dengan konsentrasi air konsentrat yang dialirkan kembali.

4.20 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 31 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. *Salt Rejection* yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_{ave}}\right) x\ 100 \qquad 9$$

Dimana,

R = Zat yang di tahan

C_P = Konsentrasi Permeat
C_f = Konsentrasi Baku
Cc = Konsentrasi Konsentrat

C_{Ave} adalah rata – rata konsentrasi dari air baku, yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_{Ave} = \frac{C_f + C_c}{2} \quad 10$$

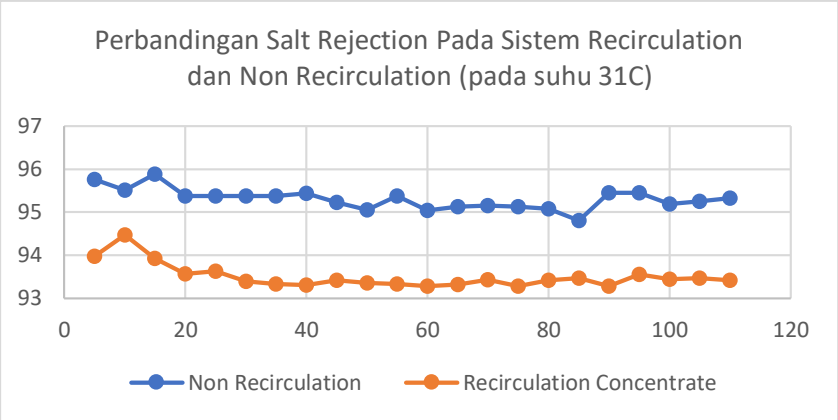
Dan pada tabel 4.10, didapatkan dari rumus tersebut berdasarkan konsentrasi umpat, konsentrasi permeat dan konsentrasi konsentrat yang diambil sampel setiap 5 menit pada 60 liter air.

Tabel 4. 12 kemampuan *salt rejection* oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 31°C

Waktu	*Salt Rejection* pada suhu 31°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	93,9688716	95,76301616
10	94,47216891	95,51166966
90	93,92789374	95,8781362
80	93,56321839	95,37102473
20	93,62763916	95,37102473
50	93,39658444	95,37102473
55	93,33333333	95,37102473
60	93,30812854	95,43057996
45	93,42205323	95,22123894
65	93,35820896	95,05338078
75	93,33333333	95,36842105
85	93,28214971	95,04424779
35	93,32053743	95,12280702
15	93,43396226	95,15679443
30	93,28273245	95,12195122
70	93,42105263	95,0779896
40	93,47169811	94,80836237
25	93,28301887	95,44658494
95	93,54716981	95,44658494
100	93,44569288	95,19163763
105	93,47014925	95,25129983
110	93,42105263	95,33101045

Sumber : Data Primer

Pada gambar 4.17 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kemampuan membran untuk melakukan *salt rejection* pada *reverse osmosis* sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage*



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan kemampuan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 31°C (sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.17 berikut, kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 93,282 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 94,472 %. Pada sistem *non- concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 31°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 94,808 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 95,878 %.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa *concentrate concentrate recirculation* memiliki kemampuan rejeksi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh kadar konsentrasi air baku yang meningkat karena adanya pencampuran dua konsentrasi yang berbeda yaitu konsentrasi dari air baku sendiri dan konsentrasi air hasil dari *concentrate recirculation*.

4.21 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 35 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. *Salt Rejection* yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_{ave}}\right) x\ 100 \qquad 11$$

Dimana,

R = Zat yang di tahan

C_P = Konsentrasi Permeat

C_f = Konsentrasi Baku

Cc = Konsentrasi Konsentrat

C_{Ave} adalah rata – rata konsentrasi dari air baku, yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_{Ave} = \frac{C_f + C_c}{2} \quad 12$$

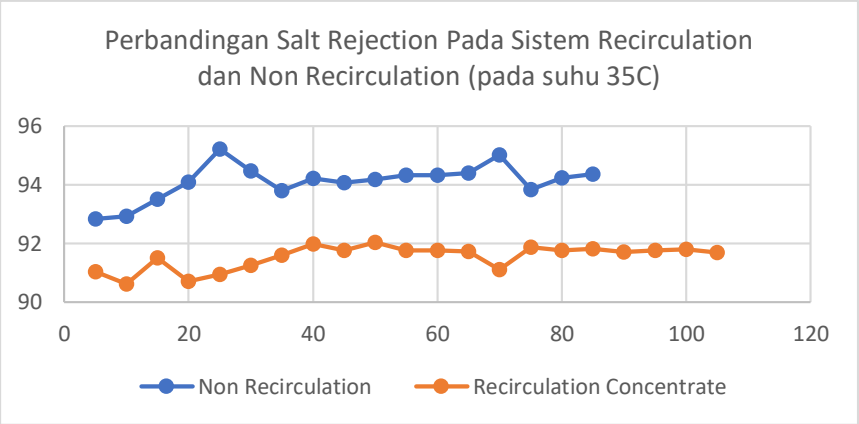
Dan pada tabel 4.11, didapatkan dari rumus tersebut berdasarkan konsentrasi umpat, konsentrasi permeat dan konsentrasi konsentrat yang diambil sampel setiap 5 menit pada 60 liter air.

Tabel 4. 13 Kemampuan *salt rejection* oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 35°C

Waktu	*Salt Rejection* pada suhu 35°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	91,03703704	92,82894737
10	90,61913696	92,92006525
15	91,50837989	93,50482315
20	90,7063197	94,08945687
25	90,94619666	95,22292994
30	91,25925926	94,47284345
35	91,59259259	93,80726698
40	91,97781885	94,21800948
45	91,75600739	94,07155026
50	92,0295203	94,17218543
55	91,77121771	94,31818182
60	91,77121771	94,31855501
65	91,73431734	94,39613527
70	91,10701107	95,02377179
75	91,88191882	93,82875606
80	91,77121771	94,23014587
85	91,81481481	94,35643564
90	91,7037037	-
95	91,76470588	-
100	91,80633147	-
105	91,68831169	-

Sumber: Data Primer Perhitungan

Pada gambar 4.18 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kemampuan membran untuk melakukan *salt rejection* pada *reverse osmosis* sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage*



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan kemampuan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 35°C (sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.18 berikut, kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 90,619 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 92,029 %. Pada sistem *non- concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 35°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 92,830 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 95,223 %.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa *concentrate concentrate recirculation* memiliki kemampuan rejeksi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh kadar konsentrasi air baku yang meningkat karena adanya pencampuran dua konsentrasi yang berbeda yaitu konsentrasi dari air baku sendiri dan konsentrasi air hasil dari *concentrate recirculation*.

4.22 Perbandingan *Salt Rejection Reverse Osmosis* Antara Sistem *Concentrate recirculation* Dan *Non- Concentrate recirculation* pada suhu 40 ^{O}C

Pada setiap variabel suhu dilakukan pada percobaan dalam memproses air sebanyak 60 liter dengan waktu pengambilan sampel setiap 5 menit. *Salt Rejection* yang dihasilkan itu diperolah dari perhitungan rumus berikut.

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_{ave}}\right) x\ 100 \qquad 13$$

Dimana,

R = Zat yang di tahan

C_P = Konsentrasi Permeat

C_f = Konsentrasi Baku

Cc = Konsentrasi Konsentrat

C_{Ave} adalah rata – rata konsentrasi dari air baku, yang dapat dihitung sebagai berikut.

$$C_{Ave} = \frac{C_f + C_c}{2} \quad 14$$

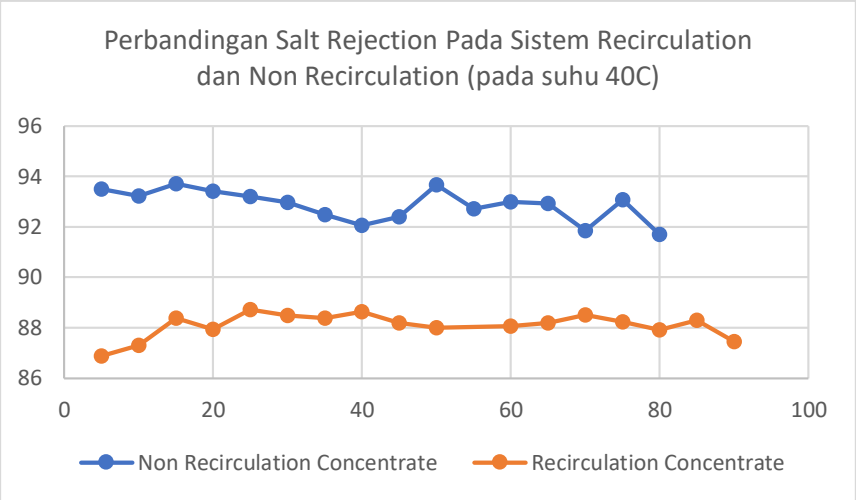
Dan pada tabel 4.12, didapatkan dari rumus tersebut berdasarkan konsentrasi umpat, konsentrasi permeat dan konsentrasi konsentrat yang diambil sampel setiap 5 menit pada 60 liter air.

Tabel 4. 14 Kemampuan *salt rejection* oleh *reverse osmosis* dengan sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 35°C

Waktu	*Salt Rejection* pada suhu 40°C	
	Concentrate recirculation	Non- Concentrate recirculation
5	86,875	93,64779874
10	87,31369151	93,36377473
15	88,38709677	93,84848485
20	87,94567063	93,54545455
25	88,72665535	93,34346505
30	88,48920863	93,11926606
35	88,38365897	92,64705882
40	88,63084922	92,23564955
45	88,18671454	92,57961783
50	87,99276673	93,80664653
55	88,02893309	92,87284144
60	88,06509946	93,13572543
65	88,19148936	93,08176101
70	88,51851852	92,03883495
75	88,22898032	93,2326284
80	87,90697674	91,88940092
85	88,29787234	
90	87,44268078	

Sumber: Data Primer Perhitungan

Pada gambar 4.19 berikut merupakan grafik yang menggambarkan perbandingan kemampuan membran untuk melakukan *salt rejection* pada *reverse osmosis* sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* dengan menggunakan konfigurasi *two stage*



Gambar 4. 19 Grafik perbandingan kemampuan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* dan *non- concentrate recirculation* pada suhu 40°C (sumber: Data Primer)

Dari gambar 4.19 berikut, kemampuan membran *reverse osmosis* dalam melakukan *salt rejection* pada sistem *concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 86,875 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 88,727 %. Pada sistem *non- concentrate recirculation* pada konfigurasi *two stage* pada suhu 40°C memiliki kemampuan untuk melakukan *salt rejection* paling rendah adalah 91,890 % dan TDS air yang dihasilkan paling tinggi adalah 93,848 %.

Berdasarkan grafik diatas menyatakan bahwa *concentrate concentrate recirculation* memiliki kemampuan rejeksi yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *non- concentrate recirculation*. Hal ini disebabkan oleh kadar konsentrasi air baku yang meningkat karena adanya pencampuran dua konsentrasi yang berbeda yaitu konsentrasi dari air baku sendiri dan konsentrasi air hasil dari *concentrate recirculation*.

4.23 Hasil air pengolahan dari sistem *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan menggunakan *solar collector* dan membran keramik

Berdasarkan hasil pengujian air sampel di laboratorium pengujian dan kalibrasi Baristan Industri Surabaya milik Badan Riset dan Standarisasi Nasional didapatkan hasil sebagai berikut:

Berdasarkan table 4.14, hasil pengujian air hasil sistem *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan menggunakan *solar collector* dan membran keramik belum memenuhi standar air minum Permenkes No 492/MENKES/Per/IV/2010 mengenai standar air minum yang diperbolehkan. Pada pengujian tersebut menggunakan air produk dengan sampel 5 liter. Dimana pada sampel tersebut hal yang tidak memenuhi standar yaitu pada parameter biologis yaitu E-coli dan bakteri coliform dimana pada hasil pengujian kedua parameter tersebut melebihi batas yang diperbolehkan yaitu <2 CFU/100 mL. Sedangkan air sampel tersebut

mengandung $1x10^3$ CFU/100 mL. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu waktu pengendapan air terlalu lama sehingga terdapat bakteri dan mikroba. Selain itu kondisi wadah air sampel untuk pengujian belum tentu steril karena wadah yang digunakan merupakan wadah bekas tempat mengambil air payau.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian air sampel sistem reverse osmosis

No	Paramater		Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimum yg Diperbolehkan Permenkes : 492/MENKES/Per/IV/2010
1	**Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan**				
	a. Parameter Mikrobiologi				
	1	E. Coli	CFU/100 mL	$1x10^3$	< 2
	2	Total bakteri coliform	CFU/100 mL	$1x10^3$	< 2
	b. Kimia an-organik				
	1	Arsen	mg/L	0.01	<0.003
	2	Fluorida	mg/L	1.5	0.1
	3	Total Kromium terlarut	mg/L	0.05	<0.001
	4	Kadmium (Cd) tungku karbon	mg/L	0.003	<0.0002
	5	Nitrit, (sebagai NO_2-)	mg/L	3	<0.011
	6	Nitrat, (sebagai NO_3-)*	mg/L	50	1.56
	7	Sianida (CN)*	mg/L	0.07	<0.002
	8	Selenium terlarut	mg/L	0.01	0.008
2	**Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan**				
	a. Parameter Fisik				
	1	Bau*	-	Tidak berbau	tidak berbau
	2	Warna	Unit Pt Co	15	<2
	3	Total zat padat terlarut	mg/L	500	202
	4	Kekeruhan	NTU	5	0.33
	5	Rasa*	-	tidak berasa	tidak berasa
	6	Suhu	ºC	Suhu Udara + 3	27.2
	b. Parameter kimiawi				
	1	Aluminium*	mg/L	0.2	0.04
	2	Besi terlarut	mg/L	0.3	0.009
	3	Kesadahan	mg/L	500	36
	4	Khlorida	mg/L	250	73.6
	5	Mangan terlarut	mg/L	0.4	<0.006
	6	pH	-	6.5 - 8.5	6.63
	7	Seng terlarut	mg/L	3	<0.031
	8	Sulfat	mg/L	250	8.5
	9	Tembaga	mg/L	2	<0.001
	10	Amonia	mg/L	1.5	0.08
	Parameter Tambahan				
1	**KIMIAWI**				
	a. Bahan Anorganik				

	1	Air Raksa	mg/L	0.001	0.0006
	2	Nikel	mg/L	0.07	<0.02
	3	Sodium*	mg/L	200	36.3
	4	Timbal (Pb) tungku karbon	mg/L	0.01	<0.006
	5	Boron	mg/L	0.5	2.68
	6	Barium terlarut	mg/L	0.7	0.13
	7	Antimon,Molybdenum dll **)	mg/L		-
	b.Bahan Organik				
	1	Zat Organik	mg/L	10	5.33
	2	Detergen	mg/L	0.05	<0.035
2	Radioaktifitas *)			-	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium Sampel Baristand, Surabaya

BAB V
KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Sistem yang cocok untuk digunakan pada sistem pengolahan air dengan menggunakan teknologi *reverse osmosis* yaitu:
   - Jika berfokus pada kuantitas air yang dihasilkan yaitu dengan menggunakan *concentrate recirculation* dengan konfigurasi 2 buah membran pada suhu 40°C.
   - Sedangkan jika berfokus pada kualitas air yang dihasilkan yaitu dengan menggunakan *non concentrate recirculation* dengan konfigurasi 2 membran pada suhu 35°C.
2. Membran *Reverse Osmosis* merk Dupont FilmTec tipe BW60-1812-75 bila diberikan air baku yang memiliki TDS awal sebesar 2200, dapat bekerja sebagai berikut

   A. *Concentrate recirculation* konfigurasi *Single Stage*
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan TDS air produk yaitu sebesar 141 ppm sampai dengan 320 ppm. Untuk variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 hingga 2540 ppm dan dengan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan rejeksi yaitu sebesar 89,33 % hingga 96,58 %. Pada percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 ppm hingga 2540 ppm dan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C.
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat yaitu sebesar 3,386 hingga 3,885 L/m^{2}menit. Pada percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 ppm hingga 2540 ppm dan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C.

   B. *Concentrate recirculation* konfigurasi *Two Stage*
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan TDS air produk yaitu sebesar 144 ppm sampai dengan 366 ppm. Untuk variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 hingga 2540 ppm dan dengan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C.
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan rejeksi yaitu sebesar 86,857 % hingga 94,482 %. Pada percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 ppm hingga 2540 ppm dan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C.
   - Memiliki kemampuan untuk menghasilkan fluks permeat yaitu sebesar 3,386 hingga 3,885 L/m^{2}menit. Pada percobaan ini menggunakan variasi konsentrasi larutan yaitu sebesar 2200 ppm hingga 2540 ppm dan variasi suhu dari 31°C, 35°C dan 40°C.
3. Sistem concentrate recirculation menghasilkan air produk dengan jumlah yang lebih banyak dibandingkan dengan non- concentrate recirculation. Sistem concentrate recirculation membutuhkan waktu yang lebih lama pada waktu pengolahan air jika dibandingkan dengan non-concentrate recirculation. Kemampuan rejeksi sistem concentrate

recirculation lebih rendah jika dibandingkan dengan kemampuan rejeksi non- concentrate recirculation.

4. Perubahan suhu pada air baku dapat mempengaruhi perubahan konsentrasi pada larutan tersebut. Itu dibuktikan bahwa pada suhu 31°C kadar TDS pada air baku yaitu sebesar 2200 ppm, pada suhu 35°C kadar TDS pada air baku yaitu sebesar 2400 ppm dan pada suhu 40°C memiliki kadar TDS pada air baku yaitu sebesar 5400 ppm. Peningkatan suhu pada air baku dapat mempengaruhi pada operasi kerja membrane reverse osmosis. Hal ini dibuktikan oleh pengujian air berikut, pada suhu 31°C tekanan operasi membran yaitu sebesar 70 psi, pada suhu 35°C tekanan operasi membran yaitu sebesar 65 psi, dan pada suhu 40°C tekanan operasi membran yaitu sebesar 60 psi. Peningkatan pada suhu air baku akan menyebabkan operasi pada sebuah membrane menjadi lebih cepat.
5. Air yang dihasilkan oleh sistem *reverse osmosis concentrate recirculation* dengan konfigurasi *two stage* dan dengan bantuan *solar collector* dan filter organik serta membran keramik setelah dilakukan uji laboratorium maka air tersebut tidak memenuhi standar Permenkes : 492/MENKES/Per/IV/2010 untuk standar air minum yaitu pada pada parameter kandungan mikrobiologi seperti bakteri e-coli dan bakteri coliform lainnya. Dimana kandungan mikrobiologi pada air pengujian tersebut yaitu sebesar 1x10^{3} CFU/100 mL sedangkan kandungan yang diperbolehkan yaitu <2 CFU/100 mL.

5.2 Saran

A. Perlu dilakukan pengujian pada air baku dan memastikan kondisi alat ukur dapat bekerja dengan baik agar tidak terjadi *error* yang ditimbulkan oleh alat ukur tersebut.
B. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan air laut .

Daftar Pustaka

Al-Bastaki, N.M. and Abbas, A., 1999. Improving the permeate flux by unsteady operation of a RO desalination unit. *Desalination*, *123*(2-3), pp.173-176.

Al-Ghamdi, A.A., 2017. Recycling of Reverse Osmosis (RO) reject streams in brackish water desalination plants using fixed bed column softener. *Energy Procedia*, *107*, pp.205-211.

Alsarayreh, A.A., Al-Obaidi, M.A., Al-Hroub, A.M., Patel, R. and Mujtaba, I.M., 2020. Performance evaluation of reverse osmosis brackish water desalination plant with different recycled ratios of retentate. *Computers & Chemical Engineering*, p.106729.

Ambarita, H., Sitorus, T.B., Nasution, D.M. and Sembiring, P.G., ANALISIS PENGARUH PENDINGINAN KACA LUAR ALAT DESALINASI AIR LAUT DOUBLE SLOPE SOLAR STILL. *Jurnal Dinamis*, *7*(2).

Azfah, R.A., LK, D. and Soedjono, E.S., STUDI AWAL REVERSE OSMOSIS TEKANAN RENDAH UNTUK AIR PAYAU DENGAN KADAR SALINITAS DAN SUSPENDED SOLID RENDAH.

Bastaki, N. and Abbas, A., 2003. Permeate recycle to improve the performance of a spiral-wound RO plant. *Desalination*, *158*(1-3), pp.119-126.

Diaphargm Booster Pump Kerter KT – PU – 75 G *Data Sheet*

FilmTec™ BW60-1812-75 Element Product Data Sheet

Herrmann, C.C. and Wydeven, T., 1990. Physical/chemical closed-loop water-recycling for long-duration missions. *SAE transactions*, pp.1330-1343.

Herrmann, C.C., 1993. High recovery reverse osmosis using a recycle loop. *Desalination*, *91*(3), pp.279-292.

Kemenkes, R.I., 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, Dan Pemandian Umum. *Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia*.

Kodoatie, R.J. and Sjarief, R., 2010. *Tata ruang air*. Penerbit Andi.

Lee, S., Kim, S.H. and Park, Y.G., 2018. High-Salinity Pressure Retarded Osmosis Using Seawater Reverse Osmosis Brine. In *Membrane-Based Salinity Gradient Processes for Water Treatment and Power Generation* (pp. 297-316). Elsevier.

McMordie Stoughton, K., Duan, X. and Wendel, E.M., 2013. *Reverse osmosis optimization* (No. PNNL-22682). Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

Mohammed, S.A., Abbas, A.D. and Sabry, L.S., 2014. Effect of operating conditions on reverse osmosis (RO) membrane performance. *Journal of Engineering*, *20*(12), pp.61-70.

Morao, A.I.C., Alves, A.M.B. and Geraldes, V., 2008. Concentration polarization in a reverse osmosis/nanofiltration plate-and-frame membrane module. *Journal of Membrane Science*, *325*(2), pp.580-591.

Mulder, M., 2012. *Basic principles of membrane technology*. Springer Science & Business Media.

Noble, R.D. and Stern, S.A. eds., 1995. *Membrane separations technology: principles and applications*. Elsevier.

Nugroho, A., 2004. Uraian umum tentang teknologi desalinasi. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, *6*(2).
Pangarkar, B.L., Sane, M.G. and Guddad, M., 2011. Reverse osmosis and membrane distillation for desalination of groundwater: a review. *ISRN Materials Science*, *2011*.
Rautenbach, R. and Dahm, W., 1987. Design and optimization of spiral-wound and hollow fiber RO-modules. *Desalination*, *65*, pp.259-275.
Sarkar, P., Goswami, D., Prabhakar, S. and Tewari, P.K., 2008. Optimized design of a reverse osmosis system with a recycle. *Desalination*, *230*(1-3), pp.128-139.
Scott, K., 1995. Membrane materials, preparation and characterisation. *Handbook of Industrial Membranes; Scott, K., Ed.; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands*, pp.187-269.
Voros, N., Maroulis, Z.B. and Marinos-Kouris, D., 1996. Optimization of reverse osmosis networks for seawater desalination. *Computers & chemical engineering*, *20*, pp.S345-S350.
Voutchkov, N., 2017. *Pretreatment for reverse osmosis desalination*. Elsevier.
Wenten, I.G., 2002. Recent development in membrane science and its industrial applications. *J Sci Technol Membrane Sci Technol*, *24*(Suppl), pp.1010-1024.
Wenten, I.G., Khoiruddin, K., Aryanti, P.T.P. and Hakim, A.N., 2010. Pengantar Teknologi Membran. *Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung*.
World Health Organization, 1993. *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
Yoshi, L.A. and Widiasa, I.N., 2016. Sistem Desalinasi Membran Reverse Osmosis (RO) untuk Penyediaan Air Bersih. In *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan* (p. 6).Al-

LAMPIRAN

Product Data Sheet

FilmTec™ BW60-1812-75 Element

Next Generation of Residential Reverse Osmosis Elements

Description

FilmTec™ Residential Elements are some of the most reliable, consistent and highest quality in the industry just got even better. Our 75 GPD elements offer the best balance of flow and highest rejection available in the market.

New FilmTec™ Residential Elements feature:

- New membrane (BW60) chemistry produces industry leading 99% stabilized salt rejection.
- Even longer lifetimes on high hardness water applications
- Even faster start-up to reach stabilized rejection
- High active membrane area and twin leaf design for optimized performance
- NSF58 safety Certification and reduced certification costs / resources with NSF data transfer Certification
- Fully-automated manufacturing that ensures consistent and high quality elements
- Dry shipping for convenient handling and longer shelf-life
- Proven consistency and reliability for longer membrane life

Product Type

Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane

Typical Properties

	Applied Pressure		Permeate Flow Rate		Typical Stabilized Salt
FilmTec™ Element	(psig)	(bar)	(GPD)	(l/h)	Rejection (%)
BW60-1812-75	50	3.4	75	12	99

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 250 ppm softened tap water, 77°F (25°C), 15% recovery and the specified applied pressure.
2. Minimum salt rejection is 98.0%.
3. Permeate flows for individual elements may vary ±20%.

Form No. 45-D01705-en, Rev. 4
January 2020

Element Dimensions

COMPONENT

FilmTec™ Element	A (inc)	A (mm.)	B (in.)	B (mm)	C (in.)	C (mm)	D (in.)	D (mm)	E (in.)	E (mm)
BW60-1812-75	11.74	298	0.875	22.2	0.68	17	1.75	44.5	9.4	239

BW60-1812 Home Drinking Water elements seal at a standard 2.0 inch – 2.05 inch I.D. within pressure vessels

Figure 1: Impact of Pressure on Permeate Flow (constant temperature, recovery)

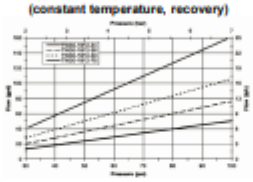
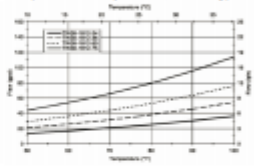


Figure 2: Impact of Temperature on Permeate Flow (constant temperature, recovery)



Operating and Cleaning Limits

Maximum Operating Temperature[a]	113°F (45°C)
Maximum Operating Pressure	150 psig (10 bar)
Maximum Feed Flow Rate	2.0 gpm (7.6 lpm)
pH Range, Continuous Operation[a]	2 – 11
Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
Free Chlorine Tolerance[b]	< 0.1 ppm

a. Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
b. Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, DuPont Water Solutions recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to Dechlorinating Feedwater (Form No. 45-D01569-en) for more information.

No		Parameter	Satuan	Hasil Uji	Kadar Maksimum yg Diperbolehkan Permenkes : 492/MENKE S/Per/IV/2010	Metode Uji
1		**Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan**				
		a. Parameter Mikrobiologi				
	1	E. Coli	CFU/100 mL	$1x10^0$	< 2	MU-5.4-2.1-10 (Membrane Filter)
	2	Total bakteri coliform	CFU/100 mL	$1x10^0$	< 2	MU-5.4-2.1-10 (Membrane Filter)
		b. Kimia an-organik				
	1	Arsen	mg/L	<0.003	0.01	SNI 06-6989.54 -2005
	2	Fluorida	mg/L	0.1	1.5	SNI 06 - 6989.29 - 2005
	3	Total Kromium terlarut	mg/L	<0.001	0.05	SNI 6989.65 : 2009
	4	Kadmium (Cd) tungku karbon	mg/L	<0.0002	0.003	SNI 06-6989.38 - 2005
	5	Nitrit, (sebagai NO_2-)	mg/L	<0.011	3	SNI 06 - 6989.9 - 2004
	6	Nitrat, (sebagai NO_3-)*	mg/L	1.56	50	Spektrofotometri
	7	Sianida (CN)*	mg/L	<0.002	0.07	Cyanide Test 1.14417.0001 Merck
	8	Selenium terlarut	mg/L	0.008	0.01	SNI 06 - 2475 - 1991
2		**Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan**				
		a. Parameter Fisik				
	1	Bau*	-	tidak berbau	Tidak berbau	-
	2	Warna	Unit Pt Co	<2	15	SNI 6989.80:2011
	3	Total zat padat terlarut	mg/L	202	500	SNI 06 - 6989.27 - 2005
	4	Kekeruhan	NTU	0.33	5	MU-5.4-2.1-11 (Turbidimeter)
	5	Rasa*	-	tidak berasa	tidak berasa	-
	6	Suhu	°C	27.2	Suhu Udara + 3	SNI 06 - 6989.23 - 2005
		b. Parameter kimiawi				
	1	Aluminium*	mg/L	0.04	0.2	Spektrofotometri
	2	Besi terlarut	mg/L	0.009	0.3	SNI 6989.4 : 2009
	3	Kesadahan	mg/L	36	500	SNI 06 - 6989.12 - 2004
	4	Khlorida	mg/L	73.8	250	SNI 06 - 6989.19 - 2004
	5	Mangan terlarut	mg/L	<0.006	0.4	SNI 06-6989.42 - 2005
	6	pH	-	6.63	6.5 - 8.5	SNI 06 - 6989.11 - 2004
	7	Seng terlarut	mg/L	<0.031	3	SNI 6989.7 : 2009
	8	Sulfat	mg/L	8.5	250	SNI 06 - 6989.20 - 2009
	9	Tembaga	mg/L	<0.001	2	SNI 6989.66 : 2009
	10	Amonia	mg/L	0.08	1.5	SNI 06- 6989.30-2005
		Parameter Tambahan				
1		**KIMIAWI**				
		a. Bahan Anorganik				
	1	Air Raksa	mg/L	0.0006	0.001	SNI 6989.78:2011
	2	Nikel	mg/L	<0.02	0.07	SNI 6989.18 : 2009
	3	Sodium*	mg/L	36.3	200	SNI 06 - 2428 - 1991
	4	Timbal (Pb) tungku karbon	mg/L	<0.006	0.01	SNI 06-6989.46: 2009
	5	Boron	mg/L	2.68	0.5	SNI 354:2015 butir 3.22
	6	Barium terlarut	mg/L	0.13	0.7	SNI 06-6989.40-2005
	7	Antimon,Molybdenum dll **)	mg/L	-		
		b.Bahan Organik				
	1	Zat Organik	mg/L	5.33	10	SNI 06 - 6989.22 - 2004
	2	Detergen	mg/L	<0.035	0.05	SNI 06 - 6989.51 - 2005
2		Radioaktifitas *)		-		

Catatan :
- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- pH diukur pada saat pengujian di laboratorium sehingga tidak dapat dibandingkan dengan baku mutu
- Tanda "<" menunjukan nilai Limit Of Quantity dari pengujian
- Pengiriman contoh tidak dilengkapi dengan BAPC
- *) Parameter uji belum masuk ruang lingkup akreditasi
- **) Parameter tidak diuji

Surabaya, 23 Juni 2020
Laboratorium
Kimia dan Lingkungan

Digitally signed by Ardhaningtyas Riza Utami

MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

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

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

I. PARAMETER WAJIB

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b.Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO_2^-)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO_3^-)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a.Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3)Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	□C	suhu udara ± 3
	b.Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Khlorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5

MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

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

MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

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

MENTERI KESEHATAN,

ttd

dr. Endang Rahayu Sedyaningsih, MPH, Dr. PH

MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

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

II. PARAMETER TAMBAHAN

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1.	KIMIAWI		
a.	Bahan Anorganik		
	Air Raksa	mg/l	0,001
	Antimon	mg/l	0,02
	Barium	mg/l	0,7
	Boron	mg/l	0,5
	Molybdenum	mg/l	0,07
	Nikel	mg/l	0,07
	Sodium	mg/l	200
	Timbal	mg/l	0,01
	Uranium	mg/l	0,015
b.	Bahan Organik		
	Zat Organik ($KMnO_4$)	mg/l	10
	Deterjen	mg/l	0,05
	Chlorinated alkanes		
	Carbon tetrachloride	mg/l	0,004
	Dichloromethane	mg/l	0,02
	1,2-Dichloroethane	mg/l	0,05
	Chlorinated ethenes		
	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,05
	Trichloroethene	mg/l	0,02
	Tetrachloroethene	mg/l	0,04
	Aromatic hydrocarbons		
	Benzene	mg/l	0,01
	Toluene	mg/l	0,7
	Xylenes	mg/l	0,5
	Ethylbenzene	mg/l	0,3
	Styrene	mg/l	0,02
	Chlorinated benzenes		
	1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB)	mg/l	1
	1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB)	mg/l	0,3
	Lain-lain		
	Di(2-ethylhexyl)phthalate	mg/l	0,008
	Acrylamide	mg/l	0,0005
	Epichlorohydrin	mg/l	0,0004
	Hexachlorobutadiene	mg/l	0,0006

Biodata Penulis

Penulis dilahirkan di Banjarmasin, 19 Desember 1997, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Pemurus Dalam 3 Banjarmasin, SMP Negeri 3 Banjarmasin, dan SMA Negeri 1 Banjarmasin. Penulis melanjutkan pendidikan S1 (Sarjana) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, ITS pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 04211640000016. Selama kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan ORMAWA dan Kepanitiaan. Mulai dari kegiatan di Himpunan (HIMASISKAL FTK – ITS) sampai dengan BEM ITS. Selain itu juga banyak mengikuti kegiatan kepanitiaan seperti GERIGI ITS pada tahun 2018, Marine Icon 2017 & 2018. Selain aktif kegiatan ormawa dan kepanitiaan. Penulis juga aktif di olahraga karate dan banyak memperoleh prestasi di Karate mulai dari tingkat kampus hingga tingkat Nasional. Pada tahun 2017, penulis memperoleh juara 3 pada Pekan Olahraga Mahasiswa tingkat Jawa Timur cabang olahraga Karate. Selain itu juga pernah mendapatkan juara 3 pada Kejuaraan Nasional Malang Open 2016 dan juara 1 pada Kejuaraan Nasional Karate Jombang Open 2017. Penulis juga merupakan salah satu peserta pada program ITS GOES TO GLOBAL, Singapore 2019. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di beberapa perusahaan seperti PT. PAL Indonesia ditempatkan di Divisi Desain, PT. Nogopatmolo ditempatkan di bagian produksi dan reparasi kapal, dan Biro Klasifikasi Indonesia divisi Surveyor.