

LAPORAN PENELITIAN

EVALUASI KINERJA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*
DENGAN METODE *NORMALIZED PERMEATE FLOW*
DI *WATER TREATMENT PLANT PT. X*



Disusun Oleh:

MUHAMAD BILAL SABILASSALAM (33335200075)

RIO FEBRIANSYAH (33335200084)

JURUSAN TEKNIK KIMIA - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN

2023

LAPORAN PENELITIAN
EVALUASI KINERJA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*
DENGAN METODE *NORMALIZED PERMEATE FLOW*
DI *WATER TREATMENT PLANT PT. X*

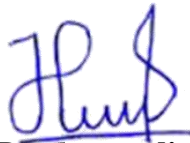
Disusun Oleh:

MUHAMAD BILAL SABILASSALAM (33335200075)

RIO FEBRIANSYAH (33335200084)

Telah Diperiksa Dan Disetujui Oleh Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng

Tanggal 3 Oktober 2023

NIP: 197808112005011003

Dosen Pembimbing II



Ir. Tatang Kusmara, M.Eng.

Tanggal 5 Oktober 2023

NIDK: 201307051335

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rio Febriansyah

NIM : 3335200084

Jurusan : Teknik Kimia

Judul : EVALUASI KINERJA MEMBRAN REVERSE OSMOSIS
DENGAN METODE NORMALIZED PERMEATE FLOW DI
WATER TREATMENT PLANT PT. X

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut diatas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila dikedudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 15 Juli 2024



Rio Febriansyah

LAPORAN PENELITIAN

**EVALUASI KINERJA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*
DENGAN METODE *NORMALIZED PERMEATE FLOW*
DI *WATER TREATMENT PLANT PT. X***

Disusun Oleh:

MUHAMAD BILAL SABILASSALAM (33335200075)

RIO FEBRIANSYAH (33335200084)

Telah Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Dan Telah Dipertahankan Dihadapan
Dewan penguji

Pada Tanggal 13 Oktober 2023

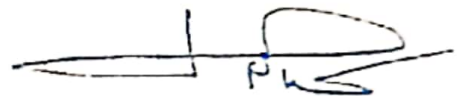
Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng

NIP: 197808112005011003

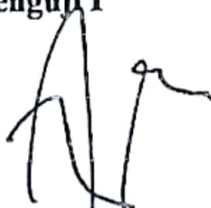
Dosen Pembimbing II



Ir. Tatang Kusmara, M.Eng,

NIDK: 201307051335

Dosen Penguji I



Sri Agustina, S.T., M.T., M.E., PhD,

NIP: 197908142003122003

Dosen Penguji II

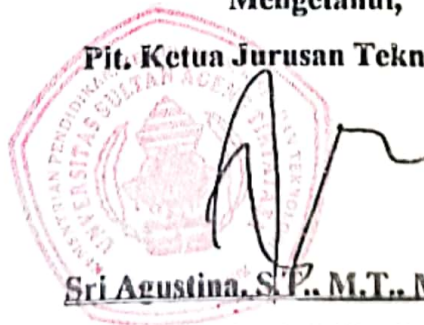


Wardalia, S.T., M.T.,

NIP: 198406202008122002

Mengetahui,

Pit. Ketua Jurusan Teknik Kimia



Sri Agustina, S.T., M.T., M.E., PhD,

NIP: 197908142003122003

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS* DENGAN METODE *NORMALIZED PERMEATE FLOW* DI *WATER TREATMENT PLANT PT. X*

Oleh:

MUHAMAD BILAL SABILASSALAM (33335200075)

RIO FEBRIANSYAH (33335200084)

Water Treatment Plant yang dimiliki oleh PT X memproduksi air demin untuk kebutuhan air proses di PT M. Peralatan utama yang digunakan untuk memproduksi air demin tersebut adalah membran *Reverse osmosis*. Seiring dengan penggunaan yang terus menerus dan intensif pada RO, kinerja dari alat tersebut dapat menurun. Pembersihan membran atau *clean in place* menjadi salah satu cara untuk menjaga stabilitas kinerja membrane. Untuk mengetahui waktu tersebut dibutuhkan analisa terhadap *Normalized Permeate Flow* (NPF). Dari normalisasi dapat menjelaskan penurunan performa dari sistem RO yang disebabkan oleh *fouling*, *scaling*, atau degradasi membran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dari membran *Reverse osmosis* pengolahan air demin di PT X dengan menggunakan metode *Normalization Permeate Flow* (NPF). Normalisasi aliran *permeate* dilakukan dengan membandingkan kondisi operasi harian dengan kondisi standarisasi setelah pembersihan (*start up*). Metode pengolahan data dilakukan dengan mengumpulkan data operasi harian membran RO yaitu tekanan umpan, tekanan produk, temperatur, dan TDS pada umpan. Hasil yang didapatkan pada penilitan ini menunjukkan bahwa kinerja masing masing *Train* dari bulan Februari-Mei mengalami penurunan sebesar 5.02% pada *Train A*, 3.33% & 4.91% pada *Train B* dan 0.92% pada *Train C*. Besar penurunan ini masih dibawah batas menurut standarisasi merek membran filmtech dengan penurunan sebesar 10%. Pembersihan dilakukan pada penurunan 5% karena terjadi kenaikan *pressure drop* pada sistem RO hingga 3,5 bar. Jika tidak dilakukan pembersihan maka akan terjadi kerusakan pada membran.

Kata Kunci: *air demin, membran, normalized permeate flow, Reverse osmosis*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami sampaikan kepada Allah SWT yang telah memberikan kami kemudahan dalam menyelesaikan Laporan Penelitian yang berjudul “**Evaluasi Kinerja Membran Reverse osmosis Dengan Metode Normalized Permeate Flow Di Water Treatment Plant PT. X**”.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat baik secara langsung maupun secara tidak langsung sampai pada penyusunan laporan penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang Tua dan Keluarga penulis yang sudah memberikan doa serta dukungan baik secara moril maupun material
2. Ibu Wardalia, S.T., M.T. selaku Dosen Pengampu I Mata Kuliah Metode Penelitian Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
3. Ibu Dhena Ria Barleany, S.T., M.Eng selaku Dosen Pengampu II Mata Kuliah Metode Penelitian Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
4. Bapak Prof. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Penelitian I.
5. Bapak Ir. Tatang Kusmara. M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Penelitian II.
6. Para Pimpinan dan Pegawai PT. X yang telah membimbing dalam Penyusunan Proposal Penelitian ini.
7. Teman-teman angkatan 2020 Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak terlepas dari kesalahan baik dalam penulisan maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kesalahan yang pernah dilakukan baik disengaja ataupun tidak. Penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat

dan digunakan dengan baik. Penulis sangat menghargai kritik dan saran yang bersifat konstruktif yang dapat membantu untuk melakukan perbaikan dan penyempurnaan terhadap isi laporan ini. Semoga dengan adanya respon positif tersebut, laporan ini dapat ditingkatkan kualitasnya dan menjadi lebih bermanfaat bagi pembaca. Penulis berharap laporan ini dapat digunakan dengan sebaik-baiknya dan mampu memberikan manfaat bagi semua pihak yang terlibat

Cilegon, Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Air Demin	4
2.2 <i>Reverse osmosis</i>	4
2.3 Prinsip <i>Reverse osmosis</i>	5
2.4 <i>Recovery</i>	6
2.5 Permeabilitas	6
2.6 <i>Rejection</i>	7
2.7 <i>Scaling</i> dan <i>Fouling</i> Membran RO.....	7
2.8 <i>Total Dissolved Solid</i>	8
2.9 Sumber Air Baku <i>Reverse osmosis</i>	8
2.10 Desain Sistem <i>Reverse osmosis</i>	9
2.11 Modul Membran <i>Spiral Wound</i>	10
2.12 <i>Normalized Permeate Flow</i>	11
2.13 Penurunan <i>Normalized Permeate Flow</i>	13

2.14	Kenaikan <i>Normalized Permeate Flow</i>	14
2.15	<i>Cleaning in Place</i>	14
2.16	Proses Pengolahan Air Demin PT.X	15
2.17	<i>State Of The Art</i>	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Metode Percobaan	18
3.1.1	Diagram Alir Percobaan Pengujian.....	19
3.1.2	Diagram Alir Pengolahan Data <i>Normalized Permeate Flow</i>	21
3.2	Prosedur Penelitian	22
3.2.1	Percobaan Penelitian	22
3.2.2	Pengamatan Kualitas Air.....	23
3.2.3	Pengolahan Data <i>Normalized Permeate Flow</i>	23
3.3	Bahan dan Alat.....	24
3.3.1	Alat.....	24
3.3.2	Bahan.....	24
3.4	Variabel Percobaan	24
3.5	Metode Pengumpulan dan Analisis Data	25

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Proses Pengolahan Air Demin Menggunakan Membran <i>Reverse osmosis</i> di PT. X	26
4.2	Analisa Performa Unit <i>Reverse osmosis</i>	31
4.3	Analisa <i>Normalized Permeate Flow</i>	36

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran	41

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Kondisi Operasi SWRO dan BWRO	9
Tabel 2.2 <i>Review</i> Penelitian Terdahulu	17
Tabel 4.1 Spesifikasi Produk PT X	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ukuran Membran Berbagai Macam Metode Filtrasi	4
Gambar 2.2 Prinsip <i>Reverse Osmosis</i>	6
Gambar 2.3 Pengaruh TDS umpan terhadap Fluks pada Tekanan Konstan	9
Gambar 2.4 Modul Membran <i>Spiral Wound</i>	10
Gambar 2.5 Konfigurasi Modul Membran <i>Spiral Wound</i>	10
Gambar 2.6 Diagram Alir Pengolahan Air PT. X	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penentuan TDS dan Temperatur	20
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data Normalized Permeate Flow	22
Gambar 4.1 Rangkaian <i>Membran Reverse Osmosis</i> PT X	27
Gambar 4.2 Membran <i>Reverse Osmosis</i> Sistem Dua Tahap	28
Gambar 4.3 Debit Permeate Harian <i>Membran Reverse Osmosis</i> PT X	28
Gambar 4.4 Debit Permeate Setiap <i>Train Membran Reverse Osmosis</i> PT X	29
Gambar 4.5 Tekanan Umpan Harian <i>Reverse Osmosis Train A</i>	31
Gambar 4.6 Tekanan Umpan Harian <i>Reverse Osmosis Train B</i>	32
Gambar 4.7 Tekanan Umpan Harian <i>Reverse Osmosis Train C</i>	32
Gambar 4.8 <i>Pressure Drop RO Train A</i>	33
Gambar 4.9 <i>Pressure Drop RO Train B</i>	34
Gambar 4.10 <i>Pressure Drop RO Train C</i>	34
Gambar 4.11 Kualitas Air Umpan PT. X yang diperoleh dari PT. K	35
Gambar 4.12 <i>Train A Normalized Permeate Flow</i>	37

Gambar 4.13 <i>Train B Normalized Permeat Flow</i>	38
Gambar 4.14 <i>Train C Normalized Permeat Flow</i>	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT X merupakan industri pengolahan air demin yang berada di Kota Cilegon. Bahan baku pembuatan air demin berasal dari PT K dengan sumber air yang berasal dari salah satu sungai besar di yang berlokasi tidak terlalu jauh dari Kota tersebut. PT. X menyuplai kebutuhan air demin untuk PT M. Air demin (*demineralization water*) merupakan air yang tidak mengandung mineral akibat proses demineralisasi. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kadar mineral garam pada air, sehingga air yang terbentuk memiliki kemurnian yang tinggi. (Suryani dkk., 2022). Pada industri, air demin digunakan sebagai air proses, air sanitasi, air pendingin dan air boiler. Air demin digunakan agar air yang digunakan tidak mengandung kontaminan mineral yang dapat menimbulkan masalah seperti *scaling*, korosi hingga *carry over*. Alat proses utama yang digunakan oleh PT X untuk mengolah raw water menjadi air demin adalah membran *Reverse osmosis* (RO) yang disusun secara parallel dan terdiri dari 3 (tiga) *Train* (A, B dan C).

Reverse osmosis merupakan perpindahan air dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah yang dipisahkan melalui membran. Membran merupakan media berpori dengan bentuk film tipis dan bersifat semipermeabel yang berfungsi memisahkan partikel sesuai dengan ukuran spesi pada suatu larutan. Membran akan menahan partikel yang berukuran lebih besar dibanding ukuran pori membran, sedangkan partikel yang berukuran lebih kecil dibanding ukuran pori membran akan lolos. Hasil dari partikel yang dapat lolos dari membran disebut *permeate* sedangkan yang tertahan disebut sebagai *concentrate* (Yoshi & Widiassa, 2016). Seiring dengan berjalannya waktu operasi membran RO, kinerja alat tersebut akan berkurang karena terjadi *scaling* dan *fouling* pada permukaan membran. Untuk mengevaluasi kinerja membran RO setelah start up dapat dilakukan dengan metode normalisasi aliran permeate atau *normalization permeate flow* (NPF).

Normalisasi aliran *permeate* dilakukan untuk menyajikan perubahan kinerja membran RO selama waktu beroperasi akibat dampak dari suhu, pH, tekanan, dan

kandungan kesadahan pada air sebagai parameter operasi. Normalisasi aliran *permeate* dilakukan dengan membandingkan data yang telah didapatkan dengan kondisi unit membran RO Start up. Nilai normalisasi aliran *permeate* yang berubah-ubah merupakan dampak dari *fouling*, *scaling*, atau kerusakan pada membran. Normalisasi aliran *permeate* dilakukan untuk mengetahui waktu untuk membran RO dilakukan proses pembersihan membran atau *cleaning in place* (CIP).

Evaluasi kinerja membran RO pada PT. X dilakukan oleh pihak ketiga, sehingga pihak pertama tidak dapat mengevaluasi kinerja membran RO selama beroperasi. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan penelitian ini untuk menguji normalisasi aliran *permeate* yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Seiring dengan lamanya operasi, kinerja membran dapat mengalami penurunan kinerja akibat *fouling* dan *scaling*. Penurunan kinerja ini dapat diketahui lebih awal dan dievaluasi menggunakan metode *Normalized Permeate Flow* (NPF) untuk kemudian hasil analisa tersebut dapat dijadikan rekomendasi dalam pembersihan membran (CIP). Pada penelitian ini dilakukan pengujian terkait hasil laju alir *permeate* harian untuk selanjutnya dilakukan normalisasi untuk dilakukan pengamatan kinerja membran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dari membran *Reverse osmosis* pengolahan air demin di PT X dengan menggunakan metode normalisasi aliran *permeate* atau *normalized permeate flow* (NPF).

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini yaitu dilakukan dalam skala industri dengan menggunakan bahan baku air bersih (*hygien water*) yang berasal dari PT K. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif penentuan *normalized permeate flow* (NPF). Penelitian ini dilakukan di lokasi PT X yang terletak di Kota Cilegon.

BAB II

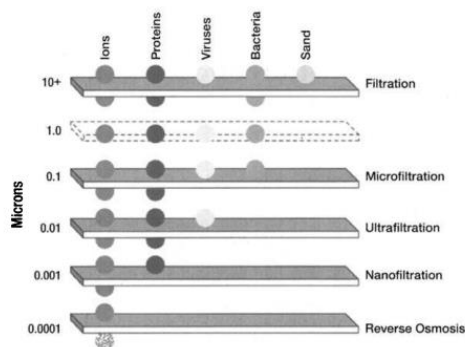
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Demin

Air demin adalah air yang tidak terkandung mineral berupa garam-garam. Mineral-mineral pengotor dapat menyebabkan kerusakan dan korosi pada jalur pipa dan peralatan proses karena menimbulkan endapan dan kerak. Air yang dipakai untuk air proses atau untuk kebutuhan boiler tidak cukup hanya memanfaatkan air bersih saja. Di dalam Raw water bisa saja terdapat suspended solid (impurities tidak larut) dan dissolved solid (impurities terlarut). Suspended solid bisa dihilangkan dengan proses klarifikasi (penjernihan) dengan menggunakan clarifier. *Dissolved solid* bisa dihilangkan melalui proses demineralisasi (penghilangan mineral-mineral dalam air) (Gulton, 2021).

2.2 Reverse osmosis

Reverse osmosis (RO) adalah teknik demineralisasi berbasis membran yang digunakan untuk memisahkan padatan terlarut seperti ion. Membran pada umumnya bertindak sebagai penghalang selektif yang memungkinkan beberapa komponen (seperti air) untuk secara selektif menembusnya mempertahankan zat terlarut. Pada gambar 2.1 menunjukkan bagaimana RO bersifat selektif dibandingkan dengan teknik filtrasi berbasis membran lainnya. Seperti ditunjukkan pada gambar bahwa RO menawarkan filtrasi terbaik tersedia saat ini, menolak sebagian besar padatan terlarut serta padatan tersuspensi (Kucera, 2010)



Gambar 2.1 Ukuran Membran Berbagai Macam Metode Filtrasi

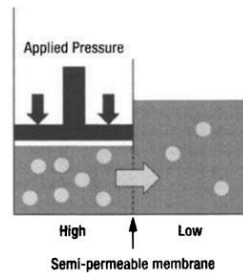
Reverse osmosis digunakan untuk memurnikan air atau mengkonsentrasikan dan mendaur ulang zat terlarut dalam air umpan (*dewatering*). Aplikasi umum dari penggunaan RO adalah untuk menghasilkan air murni yang dapat digunakan sebagai air pengisi untuk boiler tekanan rendah hingga menengah, karena kualitas produk dari RO dapat langsung memenuhi persyaratan air pengisi boiler pada tekanan tersebut. Untuk boiler dengan tekanan tinggi dan generator uap, RO digunakan bersama dengan penukar ion. RO digunakan sebelum sistem penukar ion dua kolom atau kolom campuran. Pengguna RO sebelum pertukaran ion dapat secara signifikan mengurangi frekuensi regenerasi resin, mengurangi bahan regeneran yang digunakan, dan mengurangi limbah yang harus ditangani (Kucera, 2010).

2.3 Prinsip *Reverse osmosis*

Reverse osmosis adalah proses demineralisasi yang menggunakan membran semipermeabel untuk menghasilkan pemisahan zat terlarut dari cairan. Membran semipermeabel memungkinkan cairan dan beberapa ion untuk melewati, tetapi menahan sebagian besar zat terlarut. Aplikasi utama RO adalah pada sistem berbasis air (Kucera, 2010).

Reverse osmosis adalah proses di mana tekanan yang diberikan melebihi tekanan osmosis (Gambar 2.2). Tekanan ini memaksa air melewati membran dalam arah yang berlawanan dengan osmosis. Air sekarang mengalir dari bagian dengan larutan konsentrasi tinggi ke bagian dengan larutan konsentrasi rendah. Dengan cara ini, air yang relatif murni melewati membran ke satu bagian sementara zat terlarut tetap di bagian tersebut. Oleh karena itu, air di satu bagian menjadi murni atau demineralisasi, sementara zat terlarut di kompartemen lain menjadi terkonsentrasi atau dewatered (Kucera, 2010).

Membran menimbulkan adanya hambatan, sehingga tekanan diperlukan untuk mencapai *Reverse osmosis* jauh lebih tinggi daripada tekanan osmosis. Sebagai contoh, untuk air payau dengan total dissolved solids (TDS) sebanyak 1.500 ppm, tekanan operasional RO dapat berkisar antara sekitar 150 psi hingga 400 psi. Kemudian, untuk air laut dengan TDS sebanyak 35.000 ppm, tekanan operasional RO yang diterapkan 1.500 psi atau lebih (Kucera, 2010).



Gambar 2.2 Prinsip *Reverse osmosis*

2.4 *Recovery*

Recovery atau konversi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan persentase volume air influen yang akan menjadi permeat. Secara umum, *recovery* sistem RO berkisar dari 50% hingga 85%, dengan sebagian besar sistem dirancang untuk *recovery* sekitar 75%. *Recovery* sistem sebesar 75% berarti bahwa untuk setiap 100 gpm air influen, 75 gpm akan menjadi permeat dan 25 gpm akan disimpan sebagai konsentrat. *Recovery* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Kucera, 2010):

$$\%recovery = \left(\frac{\text{permeate flow}}{\text{feed flow}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

2.5 *Permeabilitas*

Permeabilitas sebuah membran adalah ukuran kecepatan di mana suatu spesies atau komponen melewati membran. Dalam istilah kuantitas, permeabilitas membran sering diukur sebagai fluks atau koefisien permeabilitas. Fluks didefinisikan sebagai volume permeat yang melewati satu unit luas membran dalam waktu tertentu dengan pengaruh tekanan. Fluks membran merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kinerja membran. Seiring berjalannya waktu, laju fluks dapat mengalami penurunan akibat pengendapan atau penempelan material pada permukaan membran, yang dikenal dengan istilah *fouling* dan *scaling*. Secara umum, fluks dapat diungkapkan dalam rumus sebagai berikut (Mulder, 1996):

$$J = \frac{V}{A \times t} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

J = fluks (l/m² jam)

V = volume (l)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

2.6 Rejection

Rejection adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan persentase dari suatu spesies influen yang ditahan oleh membran. Sebagai contoh, 98% rejection terhadap silika berarti bahwa membran akan menahan 98% dari silika influen. Ini juga berarti bahwa 2% dari silika influen akan melewati membran ke dalam permeate (yang dikenal sebagai salt passage). Perhitungan rejection dari suatu spesies tertentu dihitung menggunakan persamaan berikut (Kucera, 2010):

$$\%rejection = \left(\frac{C_f - C_p}{C_f} \right) \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

C_f = influen konsentrasi dari komponen tertentu

C_p = permeate konsentrasi dari komponen tertentu

Perhitungan salt passage dari suatu spesies tertentu berlawanan dari *rejection*, permasalahannya adalah sebagai berikut (Kucera, 2010):

$$\%salt\ passage = (100 - \%rejection) \dots \dots \dots (4)$$

$$\%salt\ passage = \left(\frac{C_p}{C_f} \right) \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

2.7 Scaling dan Fouling Membran RO

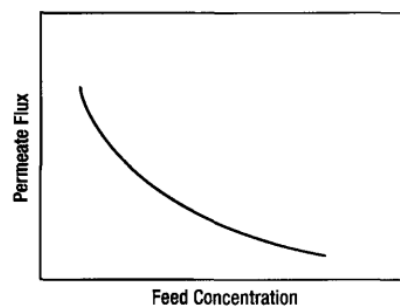
Fouling adalah proses zat organik atau anorganik dalam air umpan mengendap pada membran, menyumbat pori-pori, dan mengganggu kinerja. Selama fouling, zat terlarut, seperti garam-garam larut atau biomateri yang ada dalam umpan, mengendap pada permukaan membran dan mengurangi kinerja membran. Fouling dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu organik dan anorganik. Fouling organik adalah fouling yang disebabkan oleh materi organik dalam umpan. Materi organik tersebut dapat berupa bakteri, alga, protein, zat humik, asam lemak, asam organik, senyawa sel, dll. *Fouling* anorganik adalah proses pengendapan

garam dalam larutan pada permukaan membran atau benda padat terlarut lainnya dalam larutan umpan. Fouling anorganik juga dapat dikategorikan lebih lanjut sebagai *scaling* oleh garam-garam larut dan logam (Burlace and Davies, 2022).

2.8 *Total Dissolved Solid*

TDS adalah terlarutnya zat padat berupa senyawa, ion-ion, koloid di dalam air (Ruseffandi & Gusman, 2020). Air yang memiliki kandungan TDS tinggi sangat tidak baik digunakan untuk kebutuhan utilitas sebuah industri. Kandungan TDS yang tinggi akan menimbulkan kerak pada alat-alat proses, seperti boiler. Timbulnya kerak pada boiler berpotensi untuk menyebabkan ledakan pada boiler (Fernando, dkk. 2022).

Konsentrasi *Total Dissolved Solids* (TDS) mempengaruhi baik fluks sistem maupun *salt rejection* dari sistem RO. Gambar 2.3 menunjukkan pengaruh TDS pada fluks dalam kondisi tekanan konstan. Ketika TDS umpan meningkat, gaya dorong untuk air berkurang (pada tekanan terapkan yang konstan), karena peningkatan tekanan osmotik umpan. Hal ini mengakibatkan penurunan fluks sistem (Kucera, 2010).



Gambar 2.3 Pengaruh TDS umpan terhadap Fluks pada Tekanan Konstan

2.9 *Sumber Air Baku Reverse osmosis*

Sumber air baku yang digunakan pada proses desalinasi dengan menggunakan teknologi *Reverse osmosis* lebih banyak menggunakan air laut, air payau, dan air tawar. Sumber air baku untuk *sea water Reverse osmosis* (SWRO) adalah sumur air laut (*beach wells*) atau air laut (*open sea water intake*). Konsentrasi

padatan terlarut (TDS) didalam air laut umumnya berkisar antara 38.000-40.000 mg/L (Greenlee dkk., 2009).

Sumber air baku untuk *breakish water Reverse osmosis* (BWRO) adalah air payau, dan air tawar seperti air sungai. Air payau merupakan air tanah yang tercampur dengan air laut sehingga memiliki konsentrasi garam yang lebih tinggi dibandingkan dengan air tanah. Kandungan padatan terlarut pada air payau lebih rendah dibandingkan dengan air laut berkisar 1.000-10.000 mg/L. Air tawar seperti air sungai memiliki kandungan garam dan mineral yang rendah jika dibandingkan dengan air laut dan air payau.

2.10 Desain Sistem *Reverse osmosis*

Desain sistem pada unit *Reverse osmosis* memperhitungkan berbagai hal seperti karakteristik air umpan, kualitas produk, biaya kapital, dan biaya operasi dan perawatan. Kandungan padatan terlarut yang diolah dengan sistem BWRO memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan SWRO, hal ini mempengaruhi kondisi operasi pada BWRO lebih rendah dibandingkan dengan SWRO (Yoshi & Widiassa, 2016). SWRO dan BWRO memiliki perbedaan desain sitem ditinjau dari kebutuhan untuk tekanan dan recovery seperti pada tabel 2.2 (Greenlee dkk., 2009).

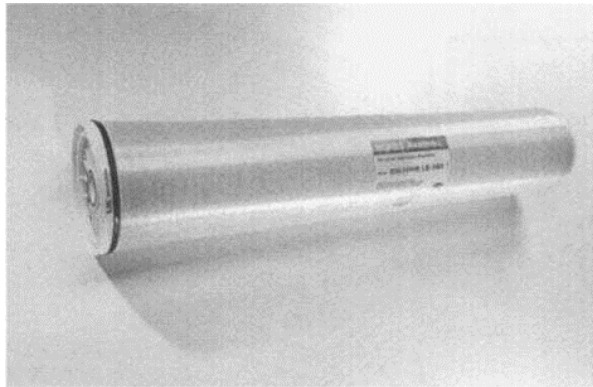
Tabel 2.1 Perbandingan Kondisi Operasi SWRO dan BWRO

Parameter	SWRO	BWRO
Tekanan Hidrostatik (Bar)	55-80	6-30
Pegantian membran	Setiap 2-5 tahun	Setiap 5-7 tahun
<i>Recovery</i> (%)	30-45	75-90
pH	5,5-7	5,5-7
<i>Salt rejection</i>	99,4-99,7	95-99

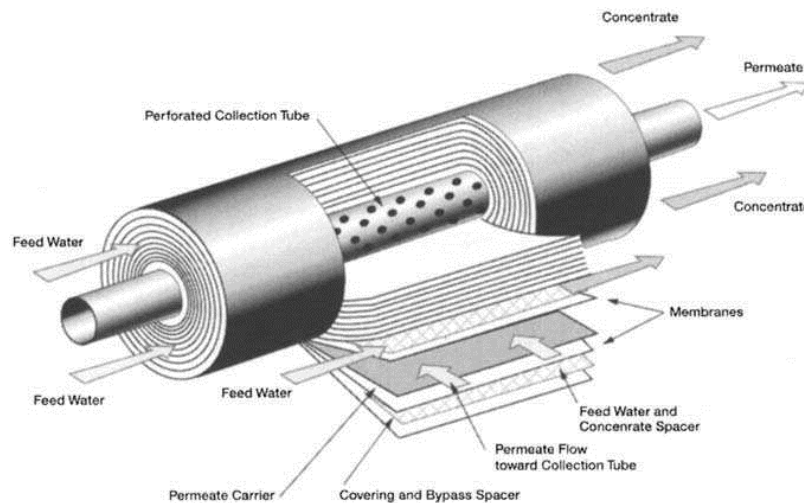
Sumber: Greenlee, dkk. (2009:2325)

2.11 Modul Membran *Spiral Wound*

Modul membran berbentuk spiral adalah jenis modul yang paling umum digunakan dalam sistem RO saat ini. Gambar 2.4 menunjukkan sebuah modul membran berbentuk spiral dengan diameter 8 inci.



Gambar 2.4 Modul Membran *Spiral Wound*



Gambar 2.5 Konfigurasi Modul Membran *Spiral Wound*

Gambar 4.15 menunjukkan bagian dari modul membran berbentuk spiral. Konstruksi spiral dimulai dengan dua lembaran membran yang ditempatkan satu sama lain dengan bahan pengisi spacer nylon tricot di antara keduanya. *Spacer tricot* ini menyediakan saluran permeat untuk membran. Lembaran membran dan *spacer* ini ditempelkan pada 3 sisi sehingga permeat hanya dapat keluar dari *spacer* di satu sisi. Kumpulan membran dan spacer ini disebut daun. Daun-daun ini kemudian ditempatkan bersama dengan spacer berbahan dasar polipropilena berkepadatan rendah untuk menyediakan saluran umpan/penolakan untuk

membran. Ketebalan *spacer* umpan berbahan dasar jaring ini dapat diatur dari 28 mil hingga 34 mil untuk menyesuaikan air influen berkadar padat. Seluruh kumpulan daun dan *spacer* umpan berbahan dasar jaring kemudian dibungkus di sekitar tabung pengumpulan permeat berlubang sehingga sisi terbuka dari daun menghadap tabung pengumpulan permeat berlubang tersebut. Modul membran berdiameter 8 inci memiliki sekitar 16 daun, dan setiap daun memiliki panjang sekitar 50 inci.

2.12 Normalized Permeate Flow

Normalized permeate flow (NPF) merupakan suatu metode untuk mendapatkan performa kinerja dari unit *Reverse osmosis* dengan membandingkan data laju alir permeat aktual dan laju alir permeat dengan kondisi standarisasi. Normalisasi mengacu pada kinerja awal sistem yang berguna untuk menampilkan setiap perubahan kinerja dari awal operasi hingga pada waktu sebenarnya. Penurunan laju alir permeat standarisasi sebesar 10%-15% menunjukkan bahwa pembersihan membran diperlukan (*clean in place*). Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk mencari nilai *normalized permeate flow* dengan menggunakan metode Filmtech.

$$Q_s = \frac{P_{fs} - \frac{\Delta P_s}{2} - P_{ps} - \pi_{fcs}}{P_{fo} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{po} - \pi_{fco}} \times \frac{TCF_s}{TCF_o} \times Q_o \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

Q = Debit produk

P_f = Tekanan umpan

ΔP = *Pressure drop*

P_p = Tekanan produk

π_{fc} = Tekanan osmotik

TCF = Faktor koreksi temperatur

S = Kondisi standar

O = kondisi operasi

TCF (*Temperature Correction Factor*) bergantung dengan bentuk membran yang digunakan (*spiral, hollow fiber*) dan bergantung jenis membran (*cellulose acetate polymide composite*) (Safar, dkk. 1998). Dalam metode *Filmtech* faktor koreksi temperatur adalah sebagai berikut . Ketika temperatur memiliki nilai ≥ 25 °C menggunakan persamaan (7), sedangkan ketika temperatur memiliki nilai ≤ 25 °C menggunakan persamaan (8).

$$TCF = EXP \left[2640 \times \left\{ \frac{1}{298} - 1/(273 + T) \right\} \right] \dots\dots\dots(7)$$

$$TCF = EXP \left[3020 \times \left\{ \frac{1}{298} - 1/(273 + T) \right\} \right] \dots\dots\dots(8)$$

Dimana T = temperatur sebagai °C.

Pada tekanan osmotik terdapat dua persamaan yang dapat digunakan. Ketika nilai $C_{fc} < 20000$ mg/l persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\pi_{fc} = \frac{C_{fc} \times (T+320)}{491000} \dots\dots\dots(9)$$

Kemudian, jika tekanan osmotik memiliki nilai $C_{fc} > 20000$ mg/l persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\pi_{fc} = \frac{0.0117 \times C_{fc} - 34}{14.23} \times \frac{T+320}{345} \dots\dots\dots(10)$$

Nilai C_{fc} merupakan konstrasi dari *concentrate* didalam umpan. Nilai C_{fc} dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_{fc} = C_f \times \frac{\ln \frac{1}{1-Y}}{Y} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

C_f = TDS umpan mg/l

Y = *ratio recovery*

Recovery ratio dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$Y = \frac{\text{debit produk}}{\text{debit umpan}} \dots\dots\dots(12)$$

2.13 Penurunan *Normalized Permeate Flow*

Fouling dan *Scaling* yang terjadi pada membran dapat menyebabkan nilai NPF menjadi turun. Selain itu, pepadatan membran akan menghasilkan penurunan nilai NPF (Kucera, 2010).

1. *Fouling* pada Membran

Fouling membran melibatkan pengendapan padatan tersuspensi, termasuk bakteri, pada membran atau komponen di dalam modul membran. *Foulant* ini membentuk lapisan pada permukaan membran yang menjadi penghalang tambahan bagi air untuk mengalir ke sisi permeat membran. Oleh karena itu, jika tekanan umpan dipertahankan konstan, aliran permeat akan berkurang.

Secara umum, operator fokus pada aliran permeat yang diamati dan menyesuaikan variabel operasi untuk menghasilkan aliran permeat yang diperlukan. Jadi, jika aliran permeat berkurang karena pengotoran, tekanan operasi biasanya dinaikkan untuk mengatasi penghalang tambahan untuk pengangkutan dan untuk mempertahankan aliran permeat yang diamati secara konstan.

2. *Scaling* pada Membran

Scaling pada membran melibatkan pengendapan garam jenuh pada permukaan membran. Kerak membentuk lapisan pada permukaan membran yang menjadi penghalang tambahan bagi air untuk mengalir ke sisi *permeate* membran, biasanya tekanan operasi dinaikkan untuk menyesuaikan hilangnya aliran *permeate* karena *scaling*. Aliran *permeate* yang dinormalisasi akan mencerminkan kebutuhan untuk meningkatkan tekanan akibat dari *scaling*. Dengan demikian, *scaling* pada membran akan menghasilkan penurunan NPF.

3. Pepadatan pada Membran

Pepadatan membran terjadi akibat kompresi pada membran yang membuat membran lebih padat atau lebih tebal dan mengurangi aliran dan garam yang melewatinya. Pepadatan dapat terjadi akibat tekanan umpan yang tinggi, suhu tinggi, dan *water hammer* (*Water hammer* terjadi ketika pompa umpan tekanan tinggi RO dihidupkan dan ada udara yang terperangkap dalam modul membran). Pepadatan pada membran akan menurunkan nilai NPF.

2.14 Kenaikan *Normalized Permeate Flow*

Peningkatan nilai NPF biasanya terjadi karena rusaknya membran akibat paparan pengoksidasi seperti klorin (Kucera, 2010).

1. Degradasi Membran

Degradasi membran merupakan hilangnya sebagian polimer membran. Hal ini diakibatkan terjadi oksidasi pada membran. Oksidator menyerang polimer membran, menyebabkan pemutusan rantai. Hal ini menyebabkan peningkatan aliran *permeate* dan penurunan kualitas produk.

Membran juga dapat teroksidasi dengan adanya besi, mangan, dan logam lainnya. Logam-logam ini mempercepat oksidasi pada membran RO. Ketika degradasi ini terjadi, air umpan masuk ke *permeate* menghasilkan peningkatan aliran *permeate* dan penurunan kualitas produk.

Paparan temperatur tinggi dapat menyebabkan degradasi pada membran. Pada suhu lebih besar dari 45 °C struktur membran berubah menjadi lebih padat. Jika air dipaksakan melewati membran yang lebih padat akan menimbulkan kerusakan pada membran sehingga air umpan masuk ke *permeate* menghasilkan peningkatan aliran *permeate* dan penurunan kualitas produk.

Degradasi membran juga disebabkan oleh fenomena fisik seperti granular karbon aktif halus mengikis permukaan membran dan menyebabkan robekan mikroskopis pada membran sehingga air umpan dapat menembus membran dan meningkatkan aliran *permeate*. Selain itu, tekanan balik *permeate* yang berlebihan dapat menyebabkan pecahnya membran menyebabkan kebocoran dimana air umpan dapat masuk ke *permeate*.

2.15 *Cleaning in Place*

Cleaning in Place (CIP) adalah sebuah metode untuk menghilangkan pengotor dan mengembalikan performa dari membran seperti membran baru dengan menggunakan larutan asam dan basa. Bahan kimia yang digunakan pada prosedur CIP dari membran RO yaitu larutan asam, basa, surfaktan, *chelating agents*, *oxidizing agent*, dan *enzym*. Secara umum larutan asam seperti HCl dan

larutan basa seperti NaOH digunakan sebagai bahan kimia untuk prosedur CIP pada membran RO dengan kelebihan nilai ekonomis (Jafari dkk., 2020).

2.16 Proses Pengolahan Air Demin PT.X

1. Tahap *Pretreatment*

Tahap *pretreatment* bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi didalam air dengan menggunakan metode secara fisik. *Pretreatment* dilakukan di unit *sand filter*, membran ultrafiltrasi, dan *cartridge filter*. Proses pada tahap ini diawali dengan air yang berasal dari PT. Y diumpankan menuju *sand filter* untuk menghilangkan pengotor dengan ukuran partikel yang besar seperti pasir, lumpur dan lumut, lalu dialirkan menuju *feed tanks*. Selanjutnya air dipompa menuju membran ultrafiltrasi untuk menyaring sisa-sisa pengotor yang lolos pada *sand filter* dengan ukuran pori pada membran sebesar 0,1 micron. Setelah itu air dialirkan menuju *intermediate tank*, lalu dipompkan menuju *cartridge filter*. Pada *cartridge filter* dilakukan injeksi bahan kimia berupa Sodium metabisulfite yang memiliki fungsi untuk menurunkan kadar *chlorine*, Biocide memiliki fungsi untuk menghilangkan bakteri, dan Hyperspersf MSI410 yang memiliki fungsi untuk menjegah terbentuknya kerak atau sebagai *antisclant* dalam membran *Reverse osmosis*. *Cartridge filter* memiliki fungsi untuk memisahkan partikel dengan ukuran 0,04 – 100 mikron dengan total padatan terlarut tidak lebih dari 100 ppm.

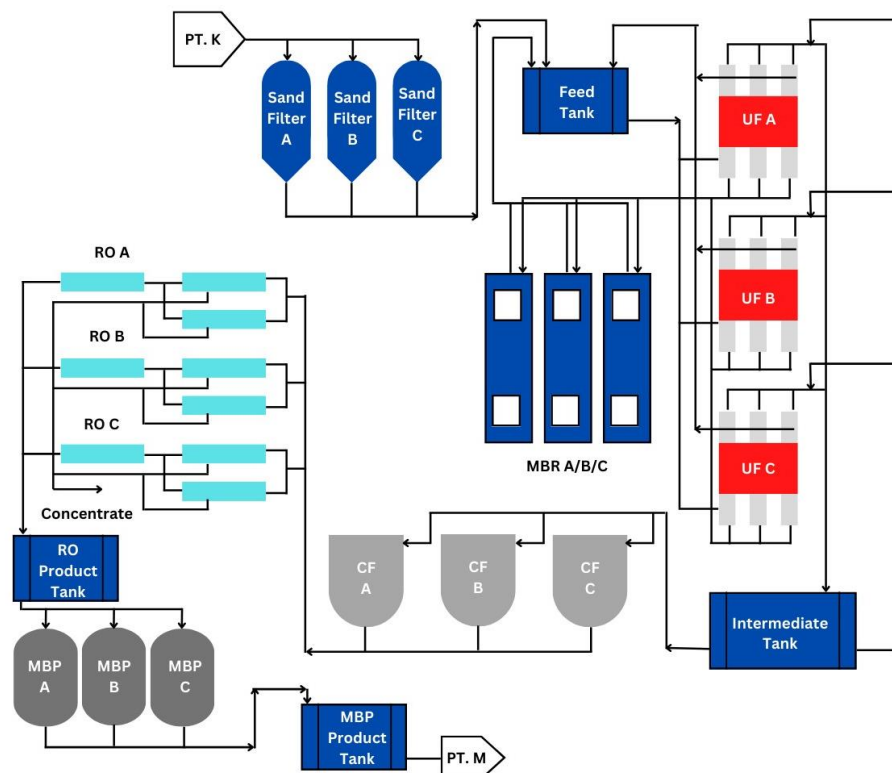
2. Tahap *Treatment*

Tahap *treatment* adalah tahap lanjutan dari tahap *pretreatment*. Pada tahap ini memiliki tujuan untuk menghilangkan zat yang terlarut didalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan proses fisik. Tahap *treatment* dilakukan di unit membran *Reverse osmosis* dan *mixed polisher*. Proses dimulai dari air yang telah melalui proses *pretreatment* dipompakan menuju *Reverse osmosis* menggunakan *high pressure pump*. Unit *Reverse osmosis* memiliki fungsi untuk mengurangi padatan terlarut (TDS) yang terdapat didalam air umpan dengan ukuran pori membran sebesar 0,001 mikron. Air selanjutnya diumpankan ke RO *product* untuk menampung *permeate* hasil proses *Reverse osmosis*. Selanjutnya air dialirkan ke unit *mixed bed*

polisher menggunakan pompa. *Mixed bed polisher* memiliki fungsi untuk menghilangkan kadar ion positif dan ion negatif didalam air.

3. Tahap *Recycle Backwash* Ultrafiltrasi

Tahap *Recycle Backwash* Ultrafiltrasi memiliki tujuan untuk mengolah air *backwash* pada proses ultrafiltrasi. Air *backwash* dari unit ultrafiltrasi diumpankan menuju membran bioreaktor untuk difiltrasi kembali, kemudian hasilnya diumpankan menuju tangki penampungan (*feed water tank*).



Gambar 2.6 Diagram Alir Pengolahan Air PT. X

2.17 *State Of The Art*

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.2 Review Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Variasi	Hasil
1	Hicham Boulahfa, Sakina Belhamidi, Fatima Elhannouni, Mohamed Taky, Abdelhakim El Fadil, dan Azzedine Elmindaoui	<i>Impact of the Raw Water Seasonal Variations on the Reverse Osmosis Performance: Khenifra Plant, Morocco</i>	Variasi air permukaan yang memiliki temperatur dan kandungan garam yang berbeda akibat perubahan musim	Air umpan yang berasal dari musim yang berbeda berpengaruh terhadap tekanan umpan dan <i>permeate</i> yang dihasilkann

BAB III

METODE PENELITIAN

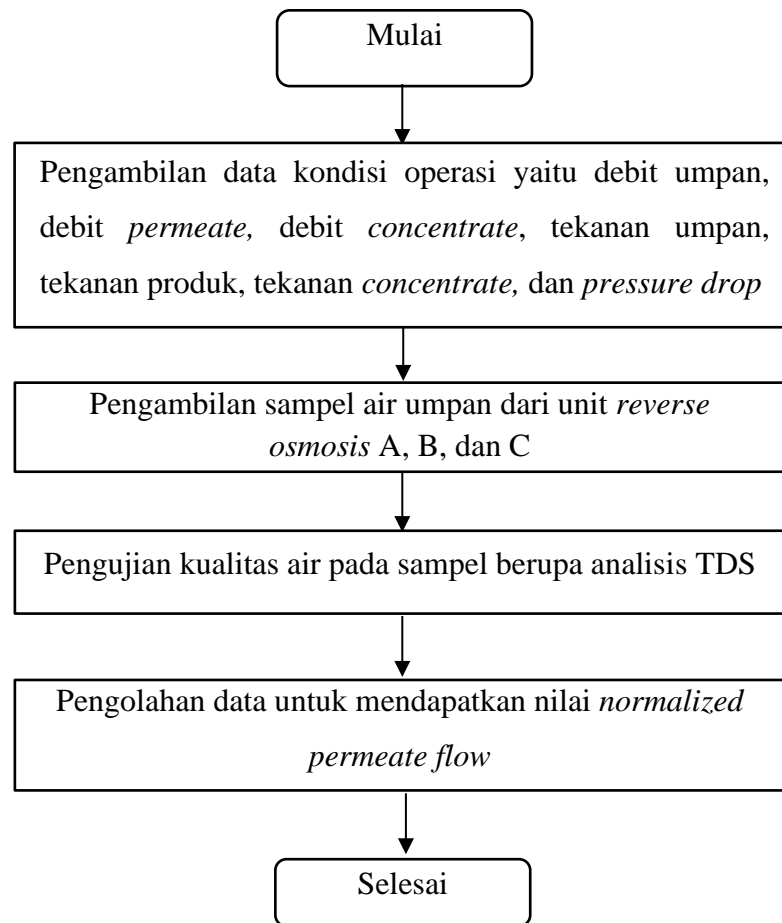
3.1 Metode Percobaan

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dari membran *Reverse osmosis* pengolahan air demin di PT X dengan menggunakan metode normalisasi aliran *permeate* atau *normalized permeate flow* (NPF). Sebelum dialirkan pada membran *Reverse osmosis*, air bersih telah mengalami proses *pre-treatment* di unit *sand filter*, membran Ultrafiltrasi dan *Cartridge Filter* untuk kemudian diolah oleh membran *Reverse osmosis* dan selanjutnya diumpukan ke *Mix Bed Polisher* (MBP) untuk proses pertukaran ion, kemudian air demin di distribusikan ke PT M sesuai dengan permintaan.

PT X memiliki membran *Reverse osmosis* dengan jumlah 3 *train* yaitu *train A*, *train B* dan *train C*. Sering dengan berjalannya waktu operasi membran RO pada ketiga *train* tersebut akan mengalami penurunan kinerja, dengan metode NPF dapat diketahui kinerja membran RO selama beroperasi. Nilai NPF didapatkan dengan mengumpulkan data harian ketika membran RO sedang beroperasi, kemudian membandingkan nilai operasi tersebut pada saat kondisi *start up* dan setelah *start up*. Nilai NPF dapat memberikan informasi bahwa *fouling* dan *scaling* pada membran RO terjadi sehingga perlu dilakukan pembersihan membran atau *cleaning in place* (CIP). Pembersihan membran dilakukan jika nilai NPF yang didapatkan menurun hingga 10-15% (Kucera, 2010)

3.1.1 Diagram Alir Percobaan Pengujian

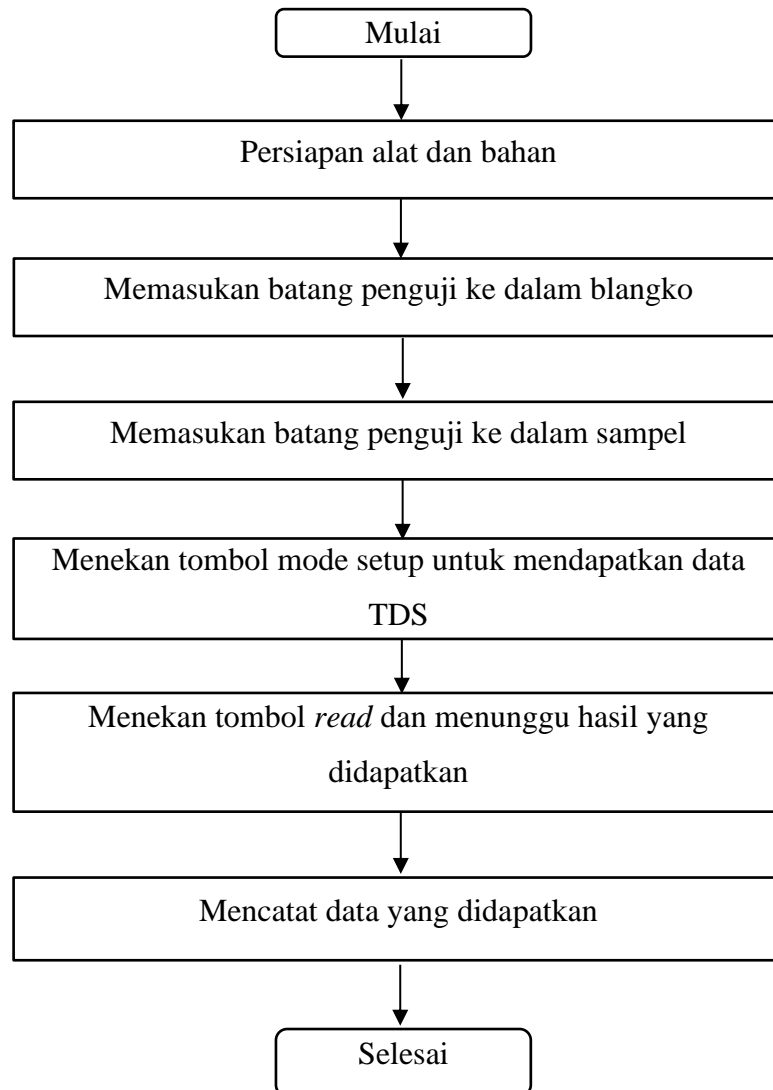
Penelitian yang dilakukan adalah *normalized permeate flow* pada alat membran *Reverse osmosis* di WTP PT. X, berikut ini tahapan yang akan dilakukan:



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

3.1.2 Diagram Alir Pengamatan Kualitas Air

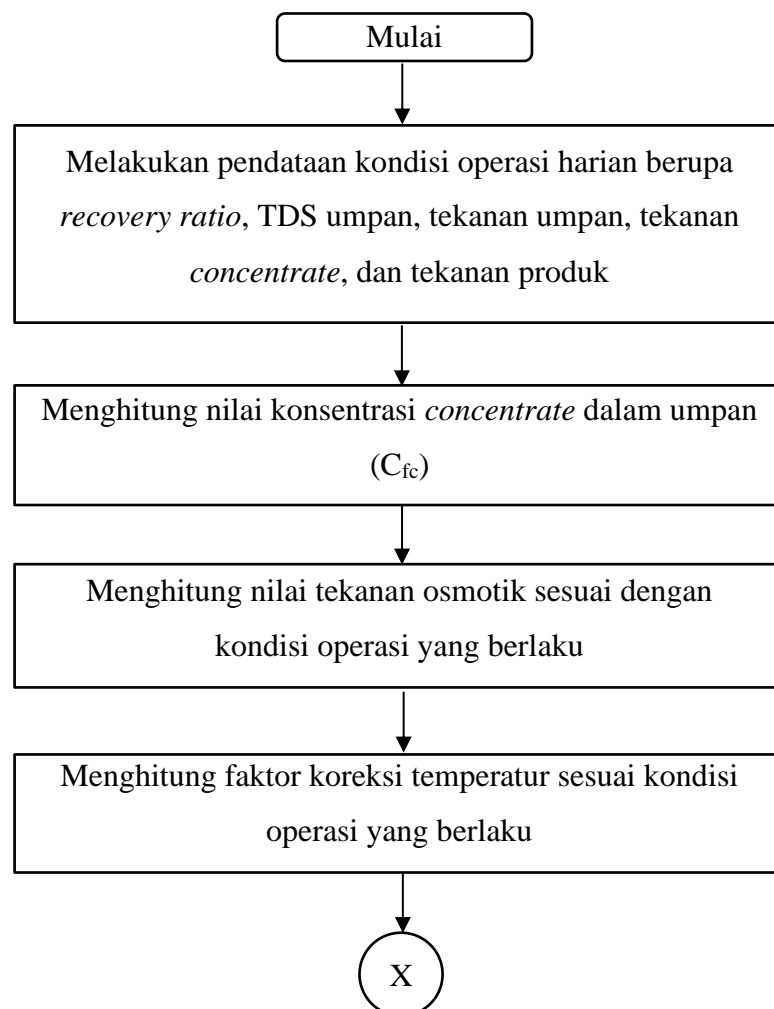
Pengujian nilai Kualitas Air dilakukan pada air umpan di setiap *train* untuk parameter TDS dan temperatur. Adapun tahapan pengujian kualitas air adalah sebagai berikut:

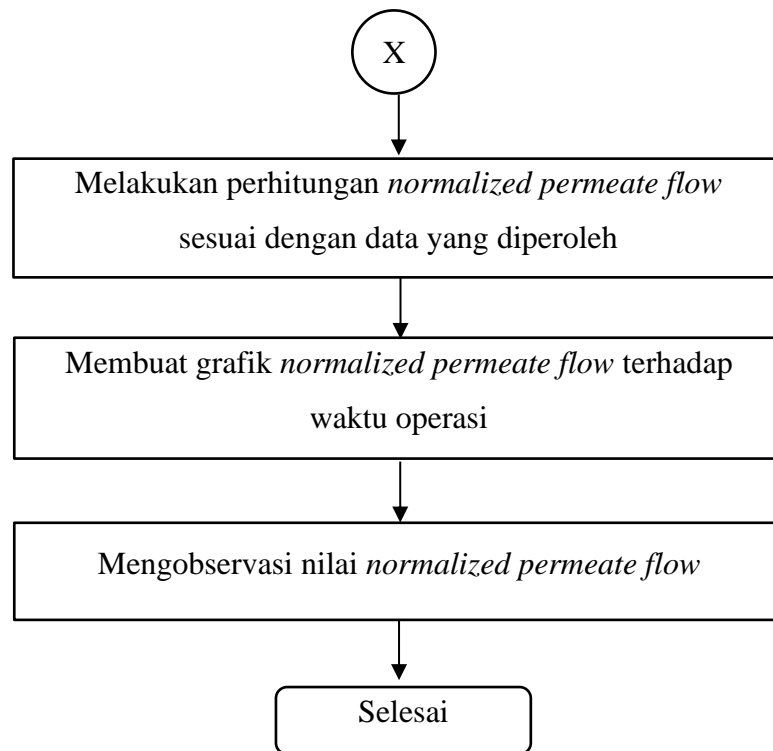


Gambar 3.2 Diagram Alir Penentuan TDS

3.1.2 Diagram Alir Pengolahan Data *Normalized Permeate Flow*

Data yang dihasilkan dari setiap *train* berupa kondisi operasi yaitu debit umpan, debit *permeate*, debit *concentrate*, tekanan umpan, tekanan *concentrate*, dan tekanan produk yang kemudian dilakukan pengolahan data agar menghasilkan grafik NPF terhadap lamanya waktu operasi. Penurunan hasil *normalized permeate flow* sebesar 15% menunjukkan waktu pembersihan pada alat membran (*cleaning in place*), adapun langkah yang dilakukan pada pengolahan data adalah sebagai berikut :





Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data *Normalized Permeate Flow*

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Percobaan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ada merujuk pada proses pengolahan air demin oleh PT. X. Untuk mengetahui nilai *normalized permeate flow* pada unit *Reverse osmosis* berdasarkan fluktuasi kondisi operasi dan menyelidiki faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *normalized permeate flow* maka dilakukan penelitian ini.

Penelitian dimulai dengan mengambil data berupa kondisi operasi seperti debit umpan, debit *permeate*, debit *concentrate*, tekanan umpan, tekanan *concentrate*, dan tekanan produk untuk mengetahui kinerja dari unit membran *Reverse osmosis*. Sampel air diambil dari umpan unit membran *Reverse osmosis*. Selanjutnya pengambilan data *permeate flow* dan

concentrate flow pada unit membran *Reverse osmosis*. Sampel dilakukan uji karakterisasi untuk mendapatkan TDS (*Total Dissolved Solid*) dengan TDS meter Setelah data-data uji karakterisasi pada air didapatkan, selanjutnya mengolah data tersebut untuk mendapatkan nilai *normalized permeate flow*.mendapatkan TDS (*Total Dissolved Solid*) dengan TDS meter Setelah data-data uji karakterisasi pada air didapatkan, selanjutnya mengolah data tersebut untuk mendapatkan nilai *normalized permeate flow*.

3.2.2 Pengamatan Kualitas Air

TDS (Total Dissolved Solid) atau padatan terlarut adalah terlarutnya zat padat di dalam air. Alat yang digunakan untuk mengukur TDS adalah TDS meter. Penggunaan alat ini dimulai dengan mempersiapkan bahan berupa sampel dan blangko. Setelah itu memasukan batang penguji ke dalam blangko. Selanjutnya memasukan batang penguji ke dalam sampel. Menekan tombol “*mode setup*” untuk mendapatkan data TDS. Menekan tombol “*read*” kemudian menunggu hasil pengukuran yang didapatkan. Mencatat hasil pengukuran TDS yang didapatkan.

3.2.3 Pengolahan Data *Normalized Permeate Flow*

Pada pengolahan data NPF, pertama-tama melakukan pengumpulan data harian berupa kondisi operasi data berupa kondisi operasi seperti debit umpan, debit *permeate*, debit *concentrate*, tekanan umpan, tekanan *concentrate*, tekanan produk, temperatur, setelah itu lakukan perhitungan konsentrasi *concentrate* dalam umpan (C_{fc}) dengan *ratio recovery* sebesar 75%, setelah mendapatkan data tersebut lakukan perhitungan tekanan osmotik sesuai dengan besarnya nilai C_{fc} yang diperoleh. Kemudian melakukan perhitungan faktor koreksi temperatur, nilai ini dipengaruhi temperatur operasi. Pada percobaan jenis membran *Reverse osmosis* yang digunakan yaitu BMW 30-400 Filmtec.

Lakukan perhitungan *normalized permeate flow* sesuai dengan data kondisi operasi dan data kondisi standart. Data kondisi standart yang digunakan ialah ketika *start up* membran RO setelah melakukan proses *clean*

in place. Setelah didapatkan data *normalized* harian, membuat grafik untuk mengamati perubahan nilai *normalized permeate flow* dengan garis-X berupa waktu operasi setiap harinya dalam kurun waktu 4 bulan dan garis-Y berupa nilai *normalized permeate flow* (NPF). Setelah dilakukan perhitungan data harian, grafik akan menunjukkan perubahan nilai NPF, apabila nilai NPF tersebut turun sebesar 15% maka dapat diajukan proses pada membran untuk kemudian diamati sebab-akibat penurunan nilai tersebut.

3.3 Bahan dan Alat

3.3.1 Alat

Berikut ini adalah alat-alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

- a. *Reverse osmosis* tipe BMW 30-400
- b. Gelas beaker 250 ml
- c. TDS meter
- d. *Software Excell*

3.3.2 Bahan

Berikut ini adalah bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

- a. Air bersih PT.K

3.4 Variabel Percobaan

Penelitian dilakukan dengan melihat pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sehingga dapat dilakukan analisa performa nilai *normalized permeate flow* unit *Reverse osmosis* pada produksi air demin. Variabel bebas pada penelitian ini adalah kondisis operasi berupa debit umpan, debit *permeate*, debit *concentrate*, tekanan umpan, tekanan produk, temperatur. Variabel tetap pada penelitian ini adalah *recovery ratio*. Variabel terikat yang diamati adalah *normalized permeate flow* (NPF) pada unit *Reverse osmosis* di PT. X.

3.5 Metode Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengumpulan data harian nilai dan kondisi operasi berupa berupa *recovery ratio*, TDS umpan, temperatur umpan, tekanan umpan, tekanan *concentrate* tekanan produk dan *pressure drop* selama rentang waktu 4 bulan pengamatan. Untuk selanjutnya dilakukan perhitungan nilai normalisasi laju alir *permeate*, kemudian pemodelan nilai laju alir *permeate* aktual dan nilai laju alir *permeate* normalisasi. Hasil dari pemodelan kemudian dilakukan pengamatan terhadap perubahan nilai *Normalized Permeate Flow*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengolahan Air Demin Menggunakan Membran *Reverse osmosis* di PT. X

Pada *Water Treatment Plant* PT X dilakukan pengolahan air demineralisasi untuk memenuhi kebutuhan khusus PT M sebagai air proses. Air umpan pada pada PT X berasal dari hasil pengolahan PT K dengan melalui beberapa proses berupa koagulasi, flokulasi sedimentasi filtrasi, netralisasi dan desinfeksi. Air bersih selanjutnya memasuki proses pretreatment di PT X. Proses tersebut memiliki fungsi untuk menghilangkan pengotor dengan ukuran partikel yang besar seperti pasir, lumpur, dan lumut sehingga menghasilkan tingkat kekeruhan yang rendah. Hasil *pretreatment* akan dialirkan menuju membran *Reverse osmosis* untuk menghilangkan padatan terlarut.

Adapun hasil air produk PT X yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

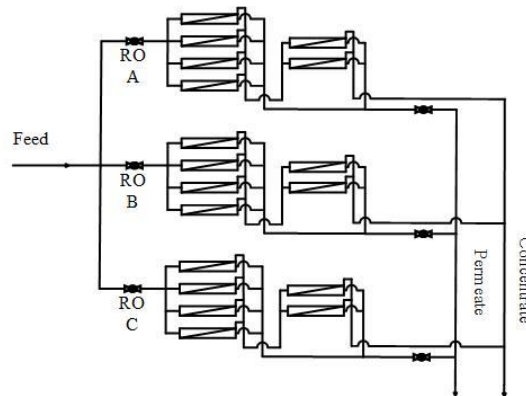
Tabel 4.1 Spesifikasi Produk PT X

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Turbidity</i>	<1	NTU
TDS	<5	mg/L
<i>Conductivity</i>	<10	μS/cm
pH	5.5-8.5	
<i>Calcium</i>	<0.1	mg/L
Magnesium	<0.1	mg/L
<i>Chloride</i>	<5.5	mg/L
<i>Sulphate</i>	<0.8	mg/L
<i>Silica</i>	<2.20	mg/L
<i>Dissolved Iron</i>	<0.3	mg/L

Sumber: PT X

Berdasarkan Badan Standar Nasional dengan nomor SNI 01-6241-2000 standarisasi baku air demineralisasi menyatakan bahwa air demineralisasi PT X

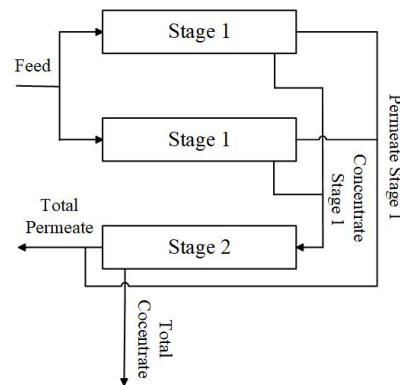
berada pada syarat mutu air keluaran *Reverse osmosis* dan/atau proses setara lainnya



Gambar 4.1 Rangkaian Membran *Reverse osmosis* PT X

Pada prosesnya digunakan teknologi membran *Reverse osmosis* sebagai teknologi untuk mengurangi kadar mineral didalam air berbasis membran. Membran pada umumnya bertindak sebagai penghalang selektif yang memungkinkan beberapa komponen (seperti air) untuk secara selektif menembusnya (Kucera, 2010). Hasil pengolahan membran *Reverse osmosis* akan menghasilkan *permeate* (bagian campuran yang melewati membran) sebagai produk utama dan konsentrat (bagian campuran yang tidak melewati membran) sebagai produk samping.

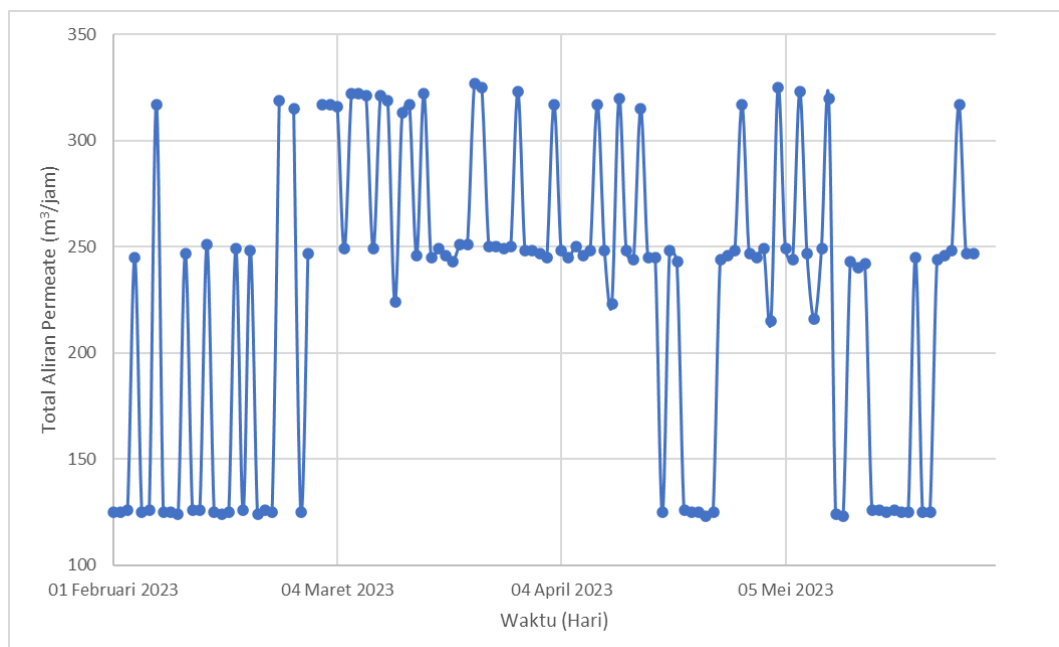
Membran reverse osmosi di PT. X berjalan dengan dua tahap seperti pada gambar 4.1, pada tahap pertama air umpan melewati membran sehingga memisahkan konsentrat dan permeate. Konstrat hasil dari tahap pertama akan diumpan ke tahap kedua. Permeate dari tahap kedua akan bergabung dengan *permeate* dari tahap pertama. RO dua tahap akan menghasilkan volume *permeate* yang lebih banyak. Tahap pertama RO akan menghilangkan sebagian besar zat terlarut, partikel, dan kontaminan dari air umpan. Kemudian, pada tahap kedua RO akan mengolah air konstrat dari tahap pertama. Dengan cara ini, *permeate* yang dihasilkan akan lebih banyak (Sasono, 2016).



Gambar 4.2 Membran *Reverse Osmosis* Sistem Dua Tahap

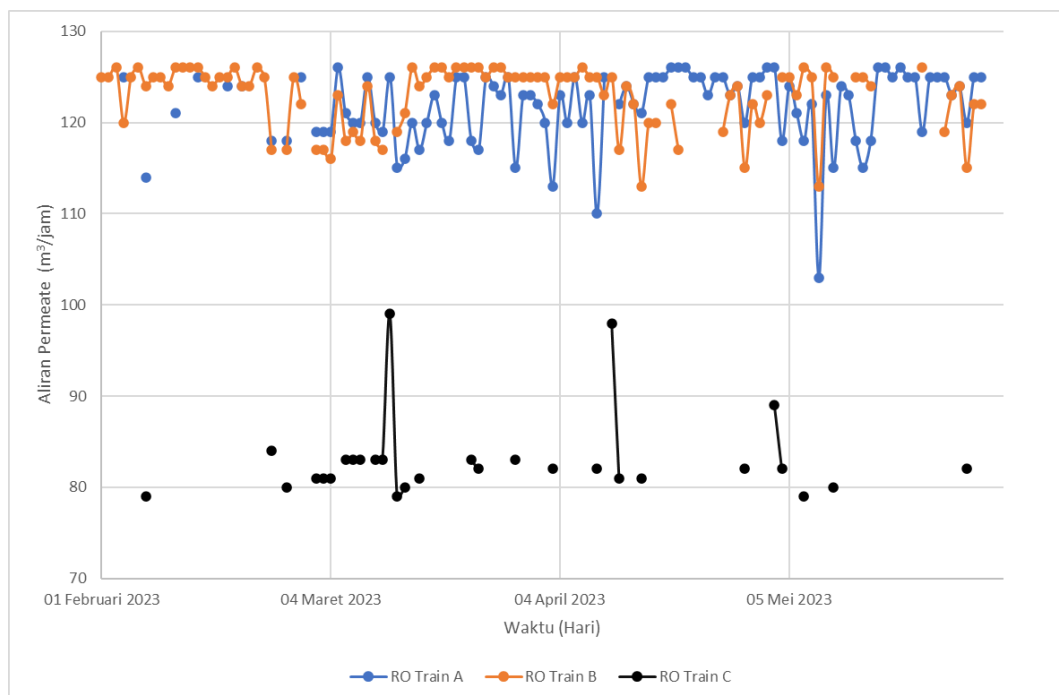
PT. X memiliki membran *Reverse osmosis* dengan kapasitas *permeate* yang dihasilkan dapat mencapai $330 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan *recovery* 75%. *Production planning* WTP PT X mengikuti akan kebutuhan PT M, hal itu berdampak terhadap kuantitas *Permeate* yang dihasilkan dari membran *Reverse osmosis*, apabila kebutuhan PT M meningkat maka penyesuaian kinerja *train* membran pada PT X akan menyesuaikan.

Berikut ini adalah debit *permeate* yang dihasilkan oleh membran *Reverse osmosis* PT X pada periode bulan Februari 2023 hingga Mei 2023.



Gambar 4.3 Debit *Permeate* Harian Membran *Reverse osmosis* PT X

PT. X memiliki membran *Reverse osmosis* sebanyak tiga unit yaitu *train A*, *train B*, dan *train C*. *Train* berisikan rangkaian membran *Reverse osmosis* yang ditopang oleh sebuah *bracket*. Jika kebutuhan air demin di PT. M tinggi maka seluruh *train* membrane *Reverse osmosis* akan berkeja, kemudian jika kebutuhan air demin di PT. M rendah maka membran *Reverse osmosis* yang bekerja hanya satu atau dua saja. Berikut ini adalah debit *permeate* yang dihasilkan pada setiap *train* membran *Reverse osmosis*.



Gambar 4.4 Debit *Permeate* Setiap *Train* Membran *Reverse osmosis* PT X

Pada gambar 4.4 menunjukkan perbedaan jumlah titik data pada penggunaan *train* di setiap bulannya. Pada bulan Februari, penggunaan kinerja *Train A* sebanyak 9 hari, dengan 1 hari *stop* dan 18 *standby*, *Train B* sebanyak 27 hari penggunaan dan 1 hari *stop*, *Train C* sebanyak 3 hari penggunaan dan 24 hari *standby* dan 1 hari *stop*. Pada Bulan Maret, *Train A* sebanyak 30 hari penggunaan dan 1 hari *stop*, *Train B* sebanyak 29 hari penggunaan, 1 hari *stop* dan 1 hari *Clean In Place*, *Train C* sebanyak 15 hari penggunaan, 1 hari *stop* dan 15 hari *standby*. Pada bulan April, *Train A* sebanyak 29 hari penggunaan dan 1 hari *Clean In Place*, *Train B* sebanyak 24 hari penggunaan, 6 hari *standby*, *Train C* sebanyak 6 hari penggunaan dan 24 hari *standby*. Dan pada Bulan Mei, *Train A* sebanyak 31 hari

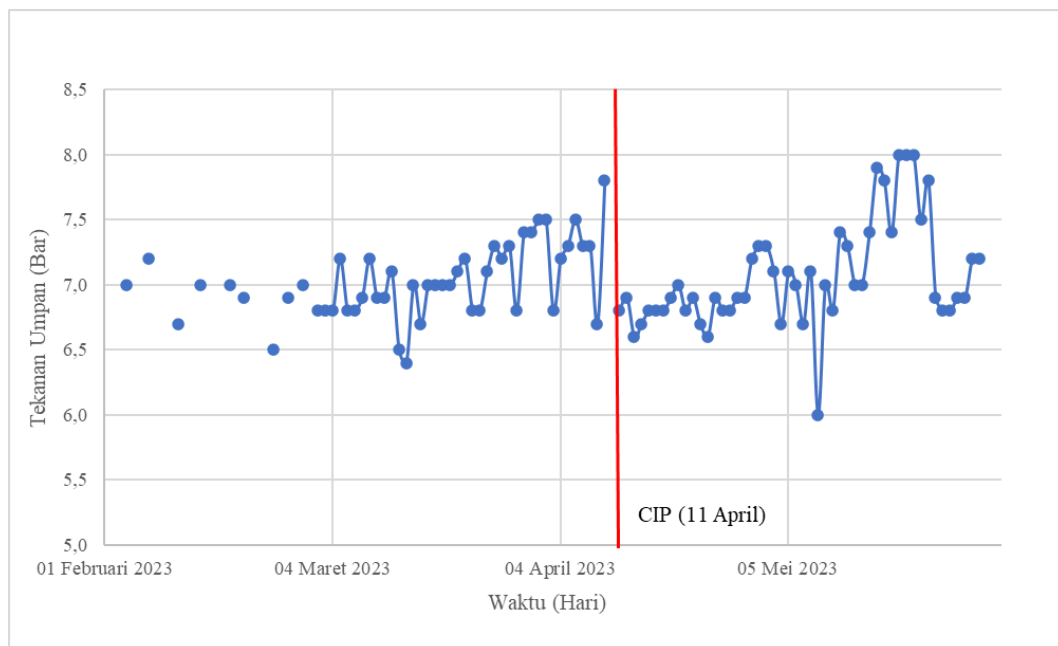
penggunaan, *Train B* sebanyak 20 hari penggunaan, 10 hari *standby* dan 1 hari *Cleaning In Place*, *Train C* sebanyak 5 hari penggunaan dan 26 hari *standby*.

Pada penggunaan Train ditentukan oleh *production planning* sesuai dengan kebutuhan PT.M selaku konsumen, penentuan jumlah train berdasarkan kuantitas volume yang akan dihasilkan berdasarkan acuan setiap train dapat menghasilkan kuantitas maksimal permeat sebesar $110 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan besar *recovery* pada membran sebesar 75%. Pada grafik menunjukkan bahwa penggunaan kinerja *train C* sangat jarang digunakan, hal ini dapat disebabkan oleh pergantian umur membran yang dilakukan. Pada *train A* dan *C* dilakukan pergantian modul membran pada tahun 2020, sedangkan pada *train C* pergantian modul membran secara parsial pada tahun 2021. Hal ini berdampak terhadap besar tekanan input yang harus diberikan pada *train C* lebih besar dikarenakan ukuran pori pada membran lebih kecil (dampak degradasi membran oleh klorin lebih kecil) dibanding dengan train lainnya untuk menghasilkan produk dengan nilai *recovery* yang sama. Hasil tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan penggunaan tekanan pada membran dengan kondisi pori lebih kecil akan semakin besar untuk menghasilkan fluks yang sama dibanding dengan membran berukuran lebih besar, sehingga konsumsi energi akan semakin besar (Jang Jaewon et. al., 2022).

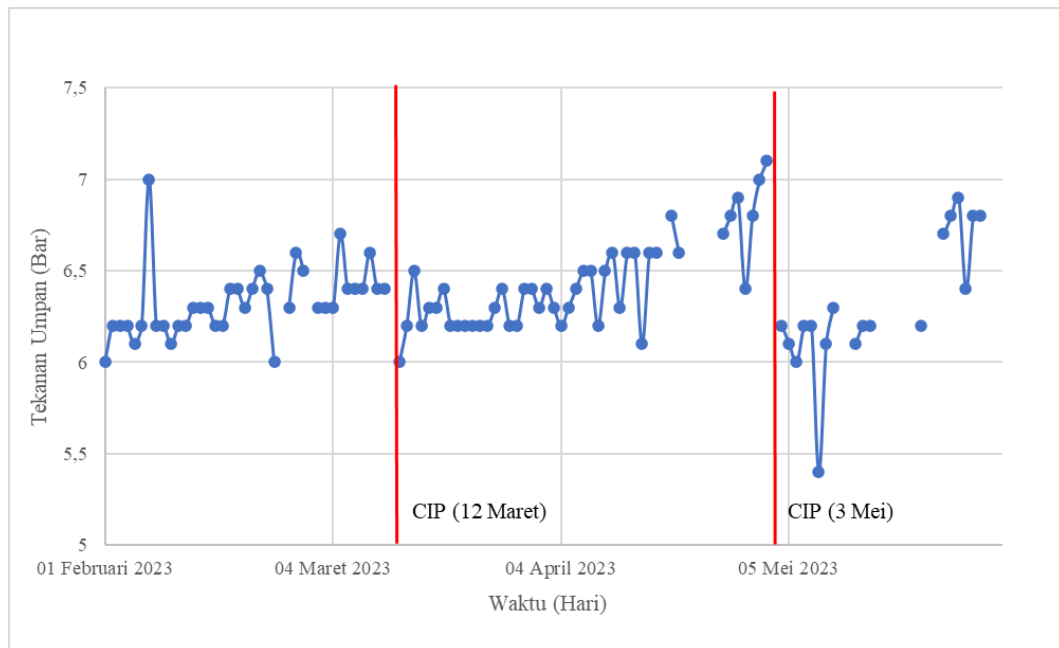
Selain itu penempatan *High pressure pump* sebagai sumber *driving force* utama pada rangkaian yang disusun secara seri mempengaruhi besar tekanan yang diberikan. Pada lapangan, penggunaan 3 *train Reverse osmosis* hanya didukung oleh satu *High Pressure Pump*, penempatan pompa secara seri yang kurang tepat menyebabkan pompa lebih memberikan besar tekanan lebih maksimal pada *train A* dan *train B*. sedangkan untuk memberikan *driving force* yang melebihi tekanan osmotik pada *train c* membutuhkan tekanan yang lebih besar, disebabkan lebihnya panjang pipa dan komponen perpipaan yang menyebabkan adanya *pressure drop* akibat jumlah friksi dan perubahan arah aliran (Sreenivas Jayanti, 2011).

4.2 Analisa Performa Unit *Reverse osmosis*

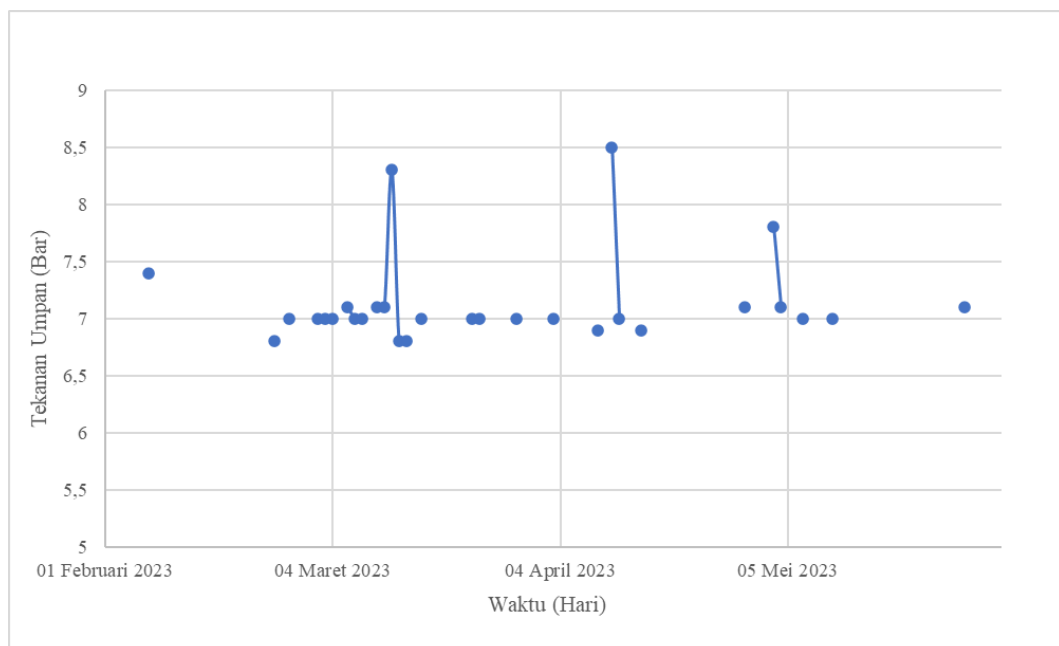
Unit RO yang menjadi subjek penelitian ini berjumlah 3 *train* yaitu A, B, dan C yang berada pada kondisi tekanan tinggi. Alat ini memerlukan tekanan tinggi dari pompa untuk mendorong air melewati membran dan memisahkan komponen-komponen yang tidak diinginkan (Ariyanti dan Widiassa, 2011). Tekanan ini diperlukan untuk mengatasi tekanan osmotik, friction loss, dan resistensi membran (Boulahfa, et. al. 2019). Parameter yang akan dievaluasi yaitu kondisi operasi harian dari unit RO seperti tekanan umpan, tekanan diferensial, aliran *permeate*, dan TDS umpan. Parameter ini diperiksa setiap hari bertujuan untuk memberikan informasi untuk mengurangi dan mengantisipasi kemungkinan tingkat *fouling* dan *scaling* pada unit RO (Boulahfa et. al., 2019). Parameter tersebut mengalami fluktuasi dari bulan Februari 2023 hingga Mei 2023.



Gambar 4.5 Tekanan Umpan Harian *Reverse osmosis Train A*



Gambar 4.6 Tekanan Umpan Harian *Reverse osmosis* Train B

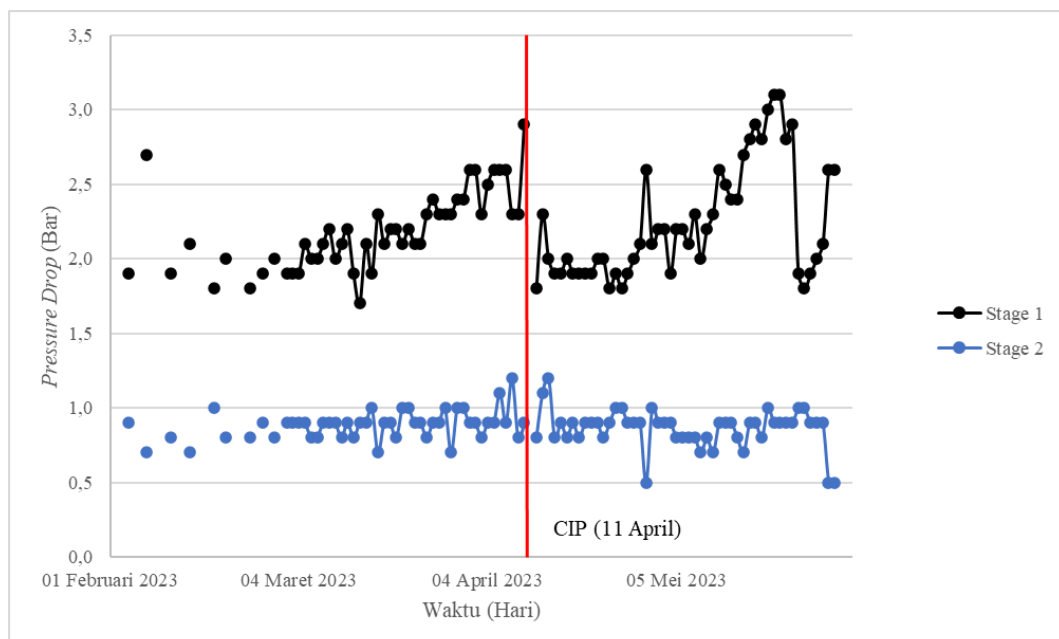


Gambar 4.7 Tekanan Umpan Harian *Reverse osmosis* Train C

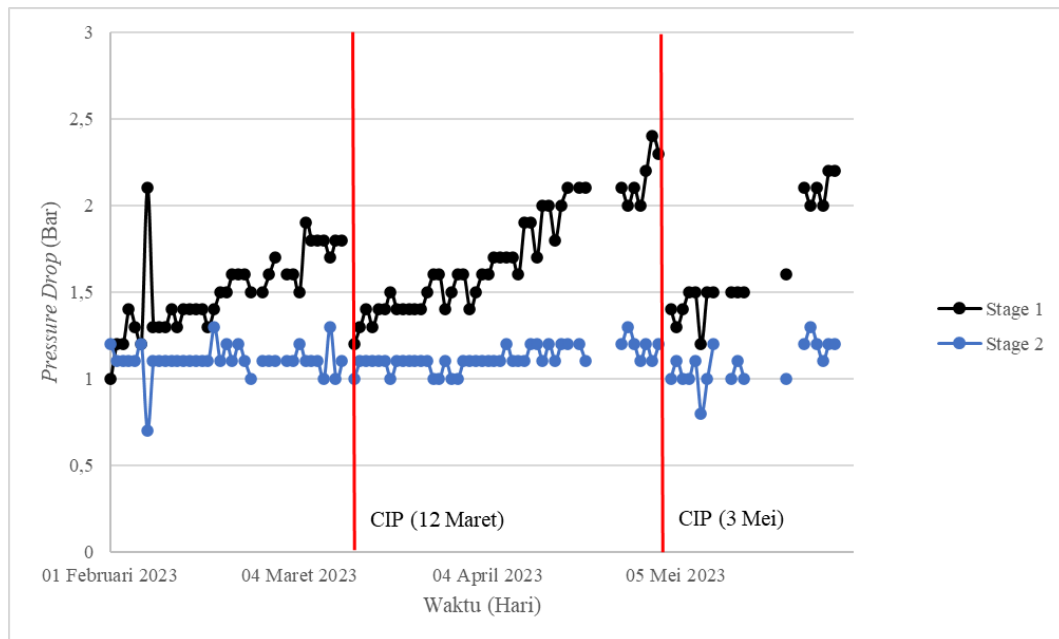
Berdasarkan pada gambar 4.5 hingga 4.6 dari Februari 2023 hingga Mei 2023 tekanan umpan pada *Reverse osmosis* mengalami kenaikan dan penurunan. Peningkatan tekanan dapat disebabkan oleh terjadi *fouling* dan *scaling* pada permukaan membran (Hibatullah dkk., 2019). Menurut Shaban dan Yahya (2017) peningkatan tekanan diakibatkan oleh meningkatnya tekanan osmotik dengan

peningkatan konsentrasi zat terlarut dalam umpan. Meningkatnya konsentrasi zat terlarut dalam umpan meningkatkan kemungkinan terjadinya *scaling* dan *fouling*. Selain itu, peningkatan tekanan juga dapat terjadi karena permintaan air demin pada PT. M semakin meningkat seperti pada gambar 4.4. Menurut Sari, dkk. (2010) tekanan dapat mempengaruhi laju alir yang melewati membran. Peningkatan tekanan akan meningkatkan laju aliran sehingga *permeate* yang dihasilkan juga meningkat. Penurunan tekanan terjadi secara signifikan terjadi pada gambar 4.5 hingga 4.6 setelah proses pembersihan membran RO. Proses pembersihan membran RO dapat menurunkan tekanan pada sistem. Pembersihan menggunakan bahan kimia merupakan metode yang tepat untuk menjaga kinerja membran serta memaksimalkan umur membran (Alimah, dkk., 2014).

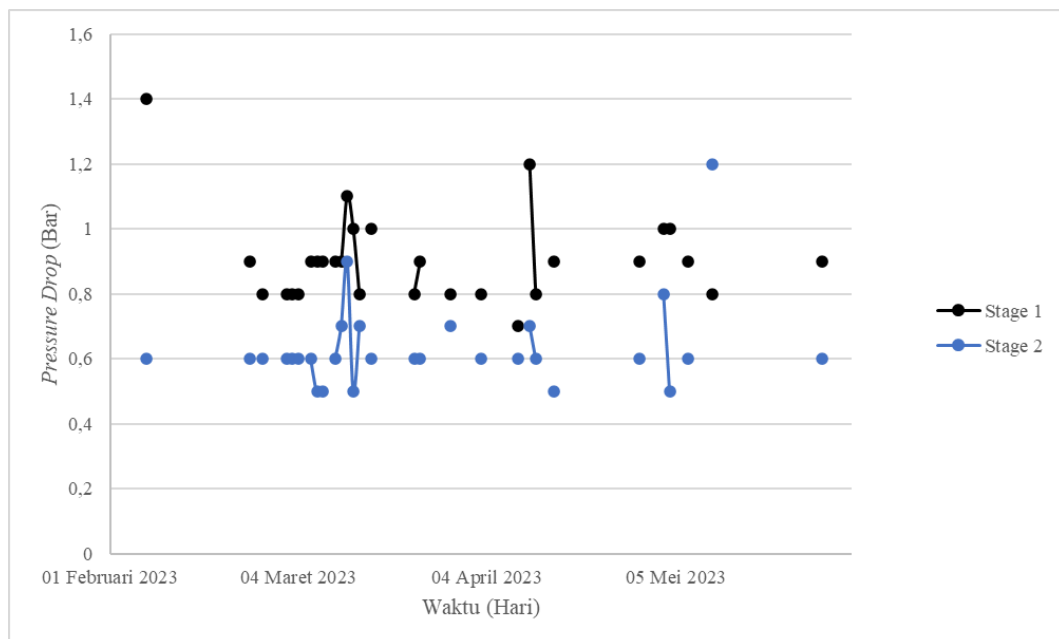
Berdasarkan grafik tekanan umpan RO pada gambar 4.5 dan 4.6, RO *train* A dan *train* B mengalami peningkatan tekanan umpan seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Sementara itu, RO C memiliki tekanan umpan yang stabil. RO C selalu dalam kondisi *stand by* sehingga dilakukan proses flushing setiap 24 jam yang memiliki tujuan untuk menghilangkan partikel dan garam yang ada pada permukaan membran pada saat kondisi *stand by*, meminimalkan potensi *fouling* dan *scaling* pada membran pada saat tidak digunakan (Kucera, 2010).



Gambar 4.8 Pressure Drop RO Train A



Gambar 4.9 *Pressure Drop RO Train B*



Gambar 4.10 *Pressure Drop RO Train C*

Pressure drop pada RO adalah hilangnya tekanan dari umpan ke konsentrat. Terjadi kenaikan *pressure drop* pada RO pada stage 1 dan 2 seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Faktor yang dapat menyebabkan *pressure drop* tinggi adalah *fouling* dan *scaling*. Faktor ini menyebabkan pengendapan material ke permukaan membran serta ke komponen modul membran. Hal ini dapat

pendek dan jangka panjang. Pada jangka pendek kualitas permeat akan menurun dan produktivitasnya juga. Pada jangka panjang jika dosis antiscalant tidak disesuaikan, maka membran akan mengalami *scaling* dan *fouling* yang sangat berat bahkan bisa bersifat irreversible yang akan mengakibatkan penurunan kinerja membran (Boulahfa dkk., 2019). Kualitas air yang dihasilkan oleh PT K sebagai umpan oleh PT X telah sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 tahun 2023 untuk media air keperluan hygiene dengan nilai TDS dibawah 300 ppm.

4.3 Analisa *Normalized Permeate Flow*

Pada Gambar 4.4 sebelumnya dijelaskan bahwa pada kondisi aktual, setiap train menghasilkan debit permeate harian secara terus menerus sesuai dengan penyesuaian kebutuhan produksi terhadap acuan nilai recovery sebesar 75%. Peningkatan dan penurunan laju permeat pada grafik harian tersebut tidak dapat menunjukkan efektivitas membran dalam merejeksi garam. Berdasarkan teori, kinerja desalinasi membran terhadap menolak garam mengalami penurunan akibat penggunaan terus menerus dan intensif dalam jangka waktu yang lama. Penurunan efektivitas tersebut pula didukung dengan munculnya *fouling* yang menumpuk dipermukaan membran (Ahmed, dkk. 2023).

Sistem RO dirancang untuk berkerja pada kondisi operasi yang telah ditentukan. Pada kenyataannya, tekanan umpan dan konsentrasi air umpan tidak selalu konstan untuk mencapai recovery yang diinginkan. Untuk mengatasi dampak dari tekanan umpan dan konsentrasi umpan pada parameter operasi RO dan menilai performa dari RO terhadap permasalahan pada membran dapat dilakukan evaluasi dengan pengamatan lebih lanjut terhadap tiga acuan berupa peningkatan kadar garam yang lolos, peningkatan *pressure drop* dan penurunan laju alir normalisasi permeat (Kucera, 2010).

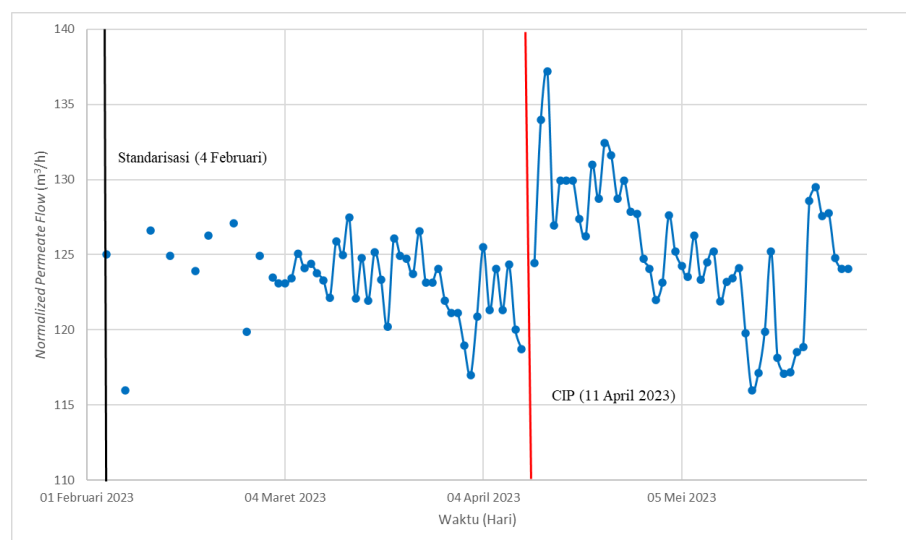
Metode *normalized permeate flow* (NPF) atau normalisasi aliran permeat dengan menggunakan data-data kondisi operasi aktual yang telah didapatkan selama alat beroperasi. Pada gambar 4.10 hingga 4.11 merupakan hasil normalisasi unit RO PT X yang berjumlah 3 *train*, yaitu *train A*, *train B*, dan *train C* pada bulan Februari 2023 hingga Mei 2023.

Normalisasi aliran *permeate* dilakukan dengan membandingkan aliran permeat aktual yang didapatkan dengan hasil perhitungan normalisasi *permeate*. Hasil perbandingannya seperti pada gambar 4.10 hingga 4.11. Normalisasi aliran *permeate* dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_s = \frac{P_{fs} - \frac{\Delta P_s}{2} - P_{Ps} - \pi_{fcs}}{P_{fo} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{Po} - \pi_{fco}} \times \frac{TCF_s}{TCF_o} \times Q_o$$

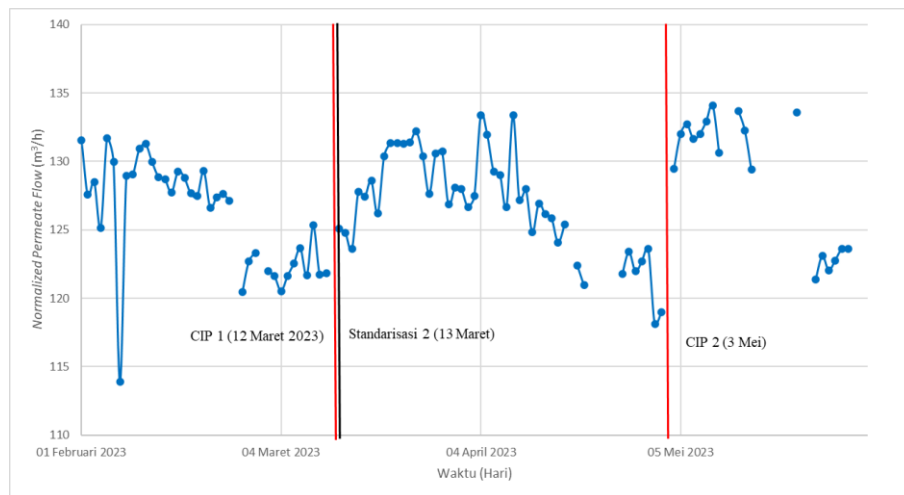
NPF dapat mengalami peningkatan dan juga penurunan. Menurut Kucera (2010) penurunan NPF dapat disebabkan oleh *fouling*, *scaling*, dan membran compaction. Sementara itu kenaikan NPF terjadi karena adanya indikasi kerusakan pada membran akibat degradasi dari paparan oksidator seperti klorin.

Pada RO *train A* nilai normalisasi mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu operasi seperti pada gambar 4.10. Penurunan terjadi pada bulan Februari 2023 hingga bulan April 2023, setelah proses CIP nilai normalisasi kembali konstan kemudian menurun kembali hingga bulan Mei 2023. Penurunan nilai normalisasi dari bulan Februari hingga bulan April memiliki presentase sebesar 5.02% setelah itu dilakukan proses CIP. Kemudian, penurunan nilai normalisasi hingga akhir Mei terjadi hingga 0,33%. Penurunan nilai normalisasi aliran *permeate* disebabkan oleh *scaling* dan *fouling* yang menutupi permukaan pori membran (Kucera, 2010).



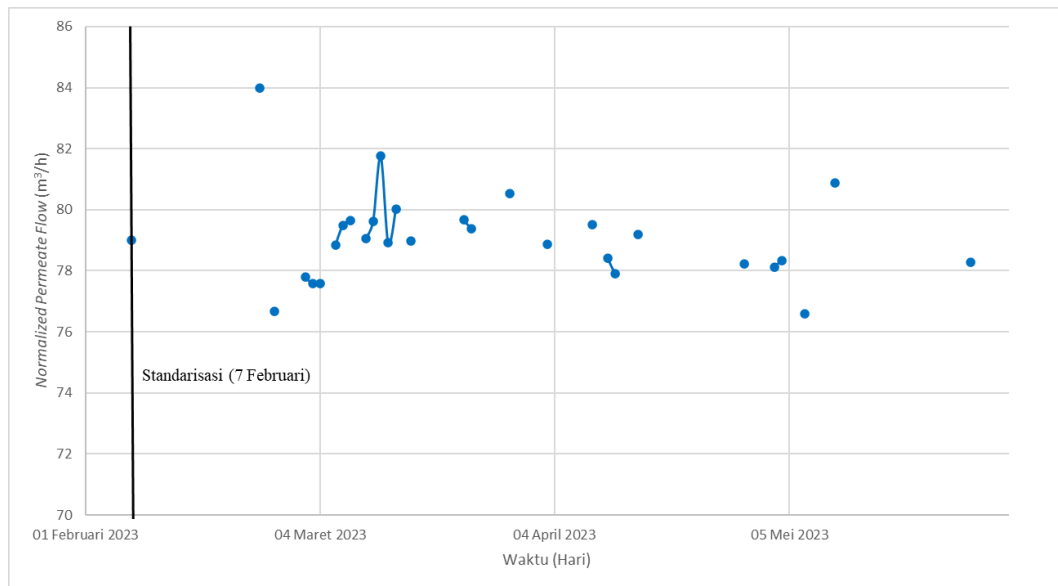
Gambar 4.12 Train A Normalized Permeate Flow

RO *train* B mengalami penurunan nilai normalisasi aliran *permeate* seiring dengan berjalannya waktu operasi seperti pada gambar 4.13. Sejak bulan Februari 2023 hingga Maret 2023 hingga CIP pertama mengalami penurunan nilai sebesar 3,33%. Kemudian Pada bulan Maret 2023 hingga April 2023 hingga CIP kedua mengalami penurunan nilai sebesar 4,91%. Setelah CIP kedua penurunan nilai terjadi pada bulan Mei 2023 hingga 4,55 %. Penurunan nilai normalisasi *permeate* disebabkan oleh *fouling* dan *scaling* pada permukaan membran akibat waktu operasi alat tersebut. Semakin lama waktu operasi maka kontaminan yang melewati membran semakin banyak karena terjadi *fouling* dan *scaling* secara bertahap (Kurniawan, 2017).



Gambar 4.13 Train B Normalized Permeate Flow

Pada RO *train* C data normalisasi aliran *permeate* yang didapatkan dari bulan Februari 2023 hingga Mei 2023 seperti pada gambar 4.14 memiliki jumlah data yang lebih sedikit dibandingkan dengan RO *train* A dan B. Hal ini diakibatkan oleh permintaan air demin PT. M sedikit sehingga PT X mengolah air bersih menjadi air demin lebih sedikit dengan hanya mengoperasikan RO *train* A dan B saja, RO C jika tidak digunakan berada dalam kondisi stand by. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, nilai normalisasi aliran *permeate* mengalami penurunan sebesar 0,92%. Menurut Kucera (2010), menurunnya nilai normalisasi aliran *permeate* diakibatkan oleh terjadinya *fouling* dan *scaling* yang menutupi permukaan membran.



Gambar 4.14 Train C Normalized Permeate Flow

Peningkatan nilai normalisasi aliran *permeate* pada RO *train* A, B dan C dapat terjadi akibat dari penurunan tekanan akibat TDS umpan yang menurun dan kesalahan paralaks. Menurut Sasono dkk. (2016), kandungan TDS pada air umpan akan berpengaruh terhadap nilai tekanan osmotik air, semakin tinggi kandungan TDS pada air maka nilai tekan osmotik juga akan semakin tinggi dan juga sebaliknya. Kesalahan paralaks merupakan bentuk kesalahan pembacaan hasil ukur yang disebabkan oleh keterbatasan fungsi penglihatan (Puspasari dkk., 2019). Kesalahan tersebut bisa terjadi pada alat ukur laju alir volume dan tekanan karena masih manual, kemudian letaknya yang sulit untuk diakses sehingga dapat meningkatkan resiko kesalahan pembacaan alat ukur.

Berdasarkan hasil normalisasi aliran *permeate* pada RO *train* A, B dan C terjadi penurunan pada setiap *train* berada dibawah standarisasi acuan merek dagang yang digunakan yaitu 10%. Pada PT. X, membran tetap dilakukan proses pembersihan dengan memperhatikan penyebab masalah dan tindakan korektif lainnya. Menurut Dow (2004) salah satu penyebab permasalahan pada RO diantaranya peningkatan *pressure drop* yang merupakan perbedaan tekanan umpan dengan tekanan konsentrat semakin meningkat dalam laju alir *permeate* yang konstan. Pada *train* A, proses *clean in place* pada tanggal 11 April 2023 disebabkan karena adanya peningkatan *pressure drop* dalam menghasilkan laju alir *permeate*

aktual sebesar 125 m³/h pada tanggal 25 maret, 28 maret, 6 April dan 10 April dengan besar peningkatan *pressure drop* berturut turut 3.1, 3.3, 3.7 dan 3.8 Bar. Pada Train B, terjadi *clean in place* pada tanggal 3 mei 2023 dengan ditandai peningkatan *pressure drop* pula dalam menghasilkan laju alir permeate 123 m³/h, peningkatan tersebut terjadi pada tanggal 27 April dan 2 Mei dengan peningkatan sebesar 3.3 dan 3.5 Bar.

Pemberlakuan pembersihan pada modul membran akibat peningkatan *pressure drop* ini sudah sesuai. Menurut DOW (2004), batas maksimal perbedaan tekanan untuk susunan rangkaian multi element sebesar 3.5 bar, ketika batasan ini terlampaui membran akan mengalami kerusakan mekanik walau dalam jangka waktu singkat penggunaan. Kerusakan dapat berupa terdorongnya bagian *endcap* dan bagian lainnya, kerusakan ini tidak mengganggu dalam proses secara langsung tetapi menunjukkan bahwa adanya *fouling* dan *scaling*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian kali ini yaitu kinerja dari membran *Reverse osmosis* mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Nilai normalisasi aliran *permeate* (NPF) yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja masing masing *Train* dari bulan Februari-Mei mengalami penurunan sebesar 5.02% pada *Train A*, 3.33% & 4.91% pada *Train B* dan 0.92% pada *Train C*. Besar penurunan ini masih dibawah batas menurut standarisasi merek membran filmtech dengan penurunan sebesar 10%. Hal ini karena pada sistem RO mengalami kenaikan *pressure drop* sebesar 3,5 bar ketika penurunan *normalized permeate flow* sebesar 5%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis pada penelitian ini untuk PT X adalah sebagai berikut.

1. PT X mempertimbangkan implementasi metode normalisasi perbedaan tekan (NPD) dan normalisasi garam yang terbuang (NSP) untuk dapat memperkirakan waktu pembersihan yang lebih tepat.
2. Meminimalisir kesalahan paralaks dapat dilakukan dengan cara mengubah posisi rotameter agar dapat mudah dijangkau pada saat pengukuran laju alir volume.
3. Melakukan modernisasi pada alat ukur terintegrasi dengan DCS agar mendapatkan hasil pengukuran dengan akurasi tinggi dan memudahkan dalam pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M. A., Amin, S., & Mohamed, A. A. (2023). *Fouling in Reverse osmosis membranes: monitoring, characterization, mitigation strategies and future directions*. Heliyon.
- Akbar, D. R., Kuspambudijaya, A. D., & Utami, I. (2020). DEMINERALISASI AIR AC DENGAN MEMBRAN *REVERSE OSMOSIS*. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 28-33.
- Alimah, S., S. Ariyanto, dan E. Dewita. Pembersihan Kimiawi *Fouling* Membran Desalinasi RO. Seminar Nasional X. Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN (2014). 413-419.
- Andayani, S. (2005). *Manajemen Kualitas Air untuk Budidaya Perairan*. Malang: Universitas Brawijaya
- Ariyanti, D., & Widiassa, I. N. (2011). Aplikasi teknologi *Reverse osmosis* untuk pemurnian air skala rumah tangga. *Teknik*, 32(3), 193-197.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. *Buletin Informasi Iklim April*. BMKG. Jakarta.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. *Buletin Informasi Iklim Maret*. BMKG. Jakarta.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. *Buletin Informasi Iklim Mei*. BMKG. Jakarta.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. *Buletin Informasi Iklim Juni*. BMKG. Jakarta.
- Boulahfa, H., Belhamidi, S., Elhannouni, F., Taky, M., El Fadil, A., & Elmidaoui, A. (2019). Impact of the Raw Water Seasonal Variations on the *Reverse osmosis* Performance: Khenifra Plant, Morocco. *Journal of Water and Environment Technology*, 17(5), 359-374.

- Byrne, W. (1995). *Reverse osmosis A Practical Guide For Industrial Users*. Tall oaks Publishing Inc., Littleton
- Dedy, P., Siti, A., & Erlan, D. (2009). Comparison Study of Water Demineralization System for the OPR 1000 and AP 1000 Nuclear Power Plant. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 11(2), 83-91.
- Fernando, N., P. A. Ransun, dan S. Redjeki. (2022). Studi Ion Exchangeair Umpan Boiler Berbahan Bak Air Sumur Kecamatan Rungkut. Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XVIII . 10 Agustus. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur : 98-102.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). *Reverse osmosis* desalination: water sources, technology, and today's challenges. *Water research*, 43(9), 2317-2348.
- Hartanto, P., Delinom, R. M., & Hendarmawan, H. (2019). Kualitas Air pada Puncak Musim Kemarau di Daerah Rawa Danau Kabupaten Serang. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 29(1), 13-25.
- Heitmann, Gunter – Hans. (1990). “Saline water Processing”, VCH Publishers, New York.
- Hibatullah, I., A. Syuriyadi., dan Fachruddin. Identifikasi Kemunculan Scaling pada Sistem SeaWater *Reverse osmosis* (SWRO). Prosiding Semnas Mesin PNJ. Politeknik Negeri Jakarta (2019). 1130-1137.
- Iskandar, I., Sulaiman, F., & Pramudita, M. (2021). Strategi Peningkatan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup Kabupaten Serang Berdasarkan Analisis Indeks Kualitas Air. *Prosiding SATU BUMI*, 3(1).
- Kucera, J. (2010). *Reverse osmosis* Industrial Applications and Processes. Canada: Scrivener.
- Kurniawan, I., S. Nasir, Hermansyah, dan Mardiyanto. Kinerja Proses Hibrid Membran (*Nanofiltrasi-Reverse osmosis*) dalam Pengolahan Air

- Mengandung Ciprofloxacin Antibiotik. Seminar Nasional AVoER IX 2017. Universitas Katolik Musi Charitas. (2017). 367-372.
- Masduqi, A, Slamet, A. (2009). Satuan Operasi untuk Pengolahan Air. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS
- Mulder M. (1996). Basic Principles of Membran Technology. Nederland: Kluwer Academic Publishers.
- Mutmainah, H. dan I. Adnan. 2018. Status Kualitas Perairan Kawasan Terpadu Pelabuhan Perikanan Samudera Bungus Menggunakan Metode Indeks Golongan Air. Jurnal Teknologi Lingkungan. 19 (1) : 107-116.
- Pratiwi, I., D. Kurniasari, dan S. Azalياهو. (2022). Efektivitas Kulit Udang (*Metapenaeus Monoceros*) sebagai Biokoagulan pada Air Sungai Kelekar menjadi Air Bersih (Studi Kasus : Air Sungai Kelekar Sebagai Air Bersih di Intake Water Plant PLTGU Indralaya). Jurnal Kinetika. 13 (1) : 1-11.
- Puspasari, F., I Fahrurrozi, T. P. Satya, dan G. Setyawan. 2019. Sensor Ultrasonik HCSR04 Berbasis Arduino Due untuk Sistem Monitoring Ketinggian. Jurnal Fisika dan Aplikasinya. 15 (2): 36-39.
- Ruseffandi, M. A. dan M. Gusman. (2020). Pemetaan Kualitas Air tanah Berdasarkan Parameter *Total Dissolved Solid* (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Metode *Ordinary Kriging* Di Kec. Padang Barat, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Jurnal Bina Tambang. 5 (1): 153-162.
- Sari, E., T. Agung R., dan R. Laksmono, 2010. Pengaruh Tekanan *Reverse osmosis* pada Pengolahan Air Payau menjadi Air Bersih. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2 (1): 78-87.
- Sasono, T., Udjianto, T., & Rizal, T. (2016). Rancangan *Multistage High Recovery Brackish Water Reverse osmosis* Pada PLTU Cilacap Kapasitas 660 MW. *Jurnal Teknik Energi*, 6(2), 541-546.

- Sehn, P. 2008. *Fluoride removal with extra low energy Reverse osmosis membranes: three years of large scale field experience in Finland. Desalination* 223. 73-84.
- Shaban, S. and H. Yahya. 2017. *Detailed analysis of Reverse osmosis systems in hot climate conditions. Desalination* 423. 41-51.
- Suryani, F., Madagaskar, M., & Moulita, R. N. (2022). ANALISIS PENGARUH WAKTU DAN TEKANAN TERHADAP DEMINERALISASI AIR BUANGAN AC DENGAN METODE *REVERSE OSMOSIS*. *Jurnal Redoks*, 7(1), 1-9.
- Sutopo, H. E. (2019). Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air TDS 0 Ppm Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method). *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(1), 10-22.
- Yoshi, L. A., & Widiassa, I. N. (2016). Sistem Desalinasi Membran *Reverse osmosis* (RO) untuk Penyediaan Air Bersih. In Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan (p. 6).
- Wenten, I. G. (1999). *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Zaidi, S. J. dan H. Saleem. (2022). *Reverse osmosis System Design, Optimizing, and Troubleshooting Guide*. Amsterdam: Elsevier.

LAMPIRAN

A. Pengolahan Data

1. Perhitungan Normalisasi Aliran *Permeate* (NPF) pada RO Train A

a. Menghitung *Pressure drop* (ΔP)

1) Pada tanggal 4 Februari 2023

Tekanan umpan = 7 bar

Tekanan produk = 4,2 bar

= Tekanan umpan – tekanan produk

= 7,5 – 4,2

= 2,8 bar

2) Pada tanggal 7 Februari 2023

Tekanan umpan = 7,2 bar

Tekanan produk = 3,8 bar

= Tekanan umpan – tekanan produk

= 7,2 – 3,8

= 3,4 bar

b. Menghitung Konsentrasi Konsentrate didalam Umpan (C_f)

1) Pada tanggal 4 Februari 2023

C_f (TDS umpan) = 79 mg/l

Y (rasio recovery) = 75%

= $C_f \times (\ln(1/1-Y)/Y)$

= $79 \times (\ln(1/1-0,75)/0,75)$

= 147,7 mg/l

2) Pada tanggal 4 Februari 2023

C_f (TDS umpan) = 74 mg/l

Y (rasio recovery) = 75%

= $C_f \times (\ln(1/1-Y)/Y)$

= $74 \times (\ln(1/1-0,75)/0,75)$

= 137,85 mg/l

c. Menghitung Tekanan Osmotik (Π_{fc})

1) Pada tanggal 4 Februari 2023

Temperatur = 27 °C

C_{fc} = 147,7 mg/l

$$\begin{aligned} &= C_{fc} \times (T+320) / 491000 \\ &= 147,7 \times (27+320) / 491000 \\ &= 0,104 \text{ bar} \end{aligned}$$

2) Pada tanggal 4 Februari 2023

Temperatur = 27 °C

C_{fc} = 137,85 mg/l

$$\begin{aligned} &= C_{fc} \times (T+320) / 491000 \\ &= 137,85 \times (27+320) / 491000 \\ &= 0,097 \text{ bar} \end{aligned}$$

d. Menghitung Temperature Correction Factor (TCF)

Temperatur = 27 °C

$$\begin{aligned} &= \text{EXP} (2640 \times ((1/298) - (1/273 + 27))) \\ &= 1,061 \end{aligned}$$

e. Menghitung NPF

P_f (o) = 7,2 bar

P_f (s) = 7 bar

P_p (o) = 0 bar

P_p (s) = 0 bar

Pressure drop (o) = 3,4 bar

Pressure drop (s) = 2,8 bar

Π_{fc} (o) = 0,097 bar

Π_{fc} (s) = 0,104 bar

TCF (o) = 1,061

TCF (s) = 1,061

Q (o) = 114 m³/jam

$$\begin{aligned} &= (P_f (s) - \Delta P/2 (s) - P_p (s) - \Pi_{fc} (s)) / (P_f (o) - \Delta P/2 (o) - P_p (o) - \Pi_{fc} (o)) \\ &\quad \times (TCF (s) / TCF (o)) \times Q (o) \\ &= (7,2 - 2,8/2 - 0 - 0,104) / (7,2 - 3,4/2 - 0 - 0,097) \times (1,061 / 1,061) \times \\ &\quad 114 \\ &= 115,96 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

B. Data Pendukung

1. RO Train A

RO A												
Tanggal	P ₁ (Bar)	P _m (Bar)	P _p (Bar)	ΔP1 (Bar)	ΔP2 (Bar)	ΔP (Bar)	Q _p (m ³ /jam)	Q _c (m ³ /jam)	Feed (m ³ /jam)	Effisiensi (%)	TDS Feed (mg/l)	Keterangan
01-Jun-23	7,5	4,6	3,8	2,9	0,8	3,7	114	37	151	0,75	64,00	
02-Jun-23	7,9	4,8	3,9	3,1	0,9	4,0	118	38	156	0,76	63,00	
03-Jun-23	7,5	4,6	3,8	2,9	0,8	3,7	114	37	151	0,75	72,00	
04-Jun-23	7,5	4,6	3,8	2,9	0,8	3,7	113	37	150	0,75	74,00	
05-Jun-23	7,5	4,7	3,8	2,8	0,9	3,7	113	37	150	0,75	72,00	
06-Jun-23	7,3	4,5	3,6	2,8	0,9	3,7	113	37	150	0,75	66,00	
07-Jun-23	7,2	4,5	3,8	2,7	0,7	3,4	114	37	151	0,75	68,00	
08-Jun-23	8,2	5,1	4,2	3,1	0,9	4,0	126	40	166	0,76	72,00	
09-Jun-23	7	4,3	3,6	2,7	0,7	3,4	110	36	146	0,75	73,00	
10-Jun-23	7	4,3	3,6	2,7	0,7	3,4	110	36	146	0,75	81,00	
11-Jun-23	7	4,2	3,6	2,8	0,6	3,4	108	36	144	0,75	84,00	
12-Jun-23	7,4	4,6	3,8	2,8	0,8	3,6	114	37	151	0,75	77,00	
13-Jun-23	7,4	4,7	3,8	2,7	0,9	3,6	114	37	151	0,75	83,00	
14-Jun-23	7,1	4,5	3,7	2,6	0,8	3,4	111	36	147	0,76	83,00	
15-Jun-23	7,7	4,8	3,9	2,9	0,9	3,8	118	39	157	0,75	81,00	
16-Jun-23	7,2	4,4	3,6	2,8	0,8	3,6	113	37	150	0,75	78,00	
17-Jun-23	7,2	4,5	3,5	2,7	1,0	3,7	113	37	150	0,75	88,00	
18-Jun-23	7,6	4,7	3,8	2,9	0,9	3,8	118	39	157	0,75	80,00	
19-Jun-23	7,2	4,5	3,8	2,7	0,7	3,4	112	37	149	0,75	77,00	
20-Jun-23	7,5	4,7	3,7	2,8	1,0	3,8	115	37	152	0,76	84,00	
21-Jun-23	7,3	4,6	3,7	2,7	0,9	3,6	115	37	152	0,76	80,00	
22-Jun-23	7,5	4,7	3,8	2,8	0,9	3,7	119	39	158	0,75	84,00	
23-Jun-23	8	4,9	4,0	3,1	0,9	4,0	124	40	164	0,76	87,00	
24-Jun-23	7,7	4,8	3,8	2,9	1,0	3,9	118	39	157	0,75	83,00	
25-Jun-23	7,3	5	4	2,3	1,0	3,3	124	40	164	0,76	74,00	
26-Jun-23	7,3	4,9	4	2,4	0,9	3,3	120	39	159	0,75	82,00	
27-Jun-23	8,1	5,1	4	3,0	1,1	4,1	124	40	164	0,76	76,00	
28-Jun-23	7,8	4,9	3,8	2,9	1,1	4,0	120	40	160	0,75	75,00	
29-Jun-23	8	5	4	3,0	1,0	4,0	124	40	164	0,76	72,00	
30-Jun-23	8,1	5,1	4	3,0	1,1	4,1	126	40	166	0,76	74,00	
31-Jun-23											77,00	Cleaning
01-Feb-23											74,00	Standby
02-Feb-23											74,00	Standby
03-Feb-23											72,00	Standby
04-Feb-23	7	5,1	4,2	1,9	0,9	2,8	125	40	165	0,76	79,00	
05-Feb-23											79,00	Standby
06-Feb-23											76,00	Standby
07-Feb-23	7,2	4,5	3,8	2,7	0,7	3,4	114	37	151	0,75	74,00	
08-Feb-23											74,00	Standby
09-Feb-23											80,00	Standby
10-Feb-23											86,00	Standby
11-Feb-23	6,7	4,8	4	1,9	0,8	2,7	121	40	161	0,75	75,00	
12-Feb-23											76,00	Standby
13-Feb-23											82,00	Standby
14-Feb-23	7	4,9	4,2	2,1	0,7	2,8	125	40	165	0,76	77,00	
15-Feb-23											79,00	Standby
16-Feb-23											78,00	Standby
17-Feb-23											73,00	Standby
18-Feb-23	7	5,2	4,2	1,8	1,0	2,8	124	40	164	0,76	77,00	
19-Feb-23											79,00	Standby
20-Feb-23	6,9	4,9	4,1	2,0	0,8	2,8	124	40	164	0,76	79,00	
21-Feb-23											77,00	Standby
22-Feb-23											77,00	Standby
23-Feb-23											76,00	Standby
24-Feb-23	6,5	4,7	3,9	1,8	0,8	2,6	118	39	157	0,75	75,00	
25-Feb-23												Stop
26-Feb-23	6,9	5	4,1	1,9	0,9	2,8	118	38	156	0,76	69,00	
27-Feb-23											77,00	Standby
28-Feb-23	7	5	4,2	2,0	0,8	2,8	125	40	165	0,76	77,00	
01-Mar-23												Stop
02-Mar-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	119	38	157	0,76	79	
03-Mar-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	119	39	158	0,75	67	
04-Mar-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	119	39	158	0,75	66	
05-Mar-23	7,2	5,1	4,2	2,1	0,9	3	126	40	166	0,76	68	
06-Mar-23	6,8	4,8	4	2,0	0,8	2,8	121	40	161	0,75	64	
07-Mar-23	6,8	4,8	4	2,0	0,8	2,8	120	39	159	0,75	66	
08-Mar-23	6,9	4,8	3,9	2,1	0,9	3	120	39	159	0,75	75	
09-Mar-23	7,2	5,0	4,1	2,2	0,9	3,1	125	40	165	0,76	76	
10-Mar-23	6,9	4,9	4	2,0	0,9	2,9	120	39	159	0,75	77	
11-Mar-23	6,9	4,8	4	2,1	0,8	2,9	119	39	158	0,75	73	
12-Mar-23	7,1	4,9	4	2,2	0,9	3,1	125	40	165	0,76	71	
13-Mar-23	6,5	4,6	3,8	1,9	0,8	2,7	115	38	153	0,75	71	
14-Mar-23	6,4	4,7	3,8	1,7	0,9	2,6	116	38	154	0,75	76	
15-Mar-23	7	4,9	4	2,1	0,9	3	120	39	159	0,75	74	
16-Mar-23	6,7	4,8	3,8	1,9	1,0	2,9	117	38	155	0,75	73	
17-Mar-23	7	4,7	4	2,3	0,7	3	120	40	160	0,75	70	
18-Mar-23	7	4,9	4	2,1	0,9	3	123	40	163	0,75	75	
19-Mar-23	7	4,8	3,9	2,2	0,9	3,1	120	40	160	0,75	79	
20-Mar-23	7	4,8	4	2,2	0,8	3	118	39	157	0,75	80	
21-Mar-23	7,1	5	4	2,1	1,0	3,1	125	40	165	0,76	77	
22-Mar-23	7,2	5	4	2,2	1,0	3,2	125	40	165	0,76	77	
23-Mar-23	6,8	4,7	3,8	2,1	0,9	3	118	38	156	0,76	76	
24-Mar-23	6,8	4,7	3,8	2,1	0,9	3	117	38	155	0,75	78	
25-Mar-23	7,1	4,80	4	2,3	0,8	3,1	125	40	165	0,76	92	
26-Mar-23	7,3	4,9	4	2,4	0,9	3,3	124	40	164	0,76	88	
27-Mar-23	7,2	4,9	4	2,3	0,9	3,2	123	40	163	0,75	84	
28-Mar-23	7,3	5	4	2,3	1,0	3,3	125	40	165	0,76	85	
29-Mar-23	6,8	4,5	3,8	2,3	0,7	3	115	38	153	0,75	89	
30-Mar-23	7,4	5	4	2,4	1,0	3,4	123	40	163	0,75	91	
31-Mar-23	7,4	5	4	2,4	1,0	3,4	123	40	163	0,75	90	

1-Apr-23	7,5	4,9	4,0	2,6	0,9	3,5	122	40	162	0,75	86	
2-Apr-23	7,5	4,9	4,0	2,6	0,9	3,5	120	39	159	0,75	86	
3-Apr-23	6,8	4,5	3,7	2,3	0,8	3,1	113	37	150	0,75	86	
4-Apr-23	7,2	4,7	3,8	2,5	0,9	3,4	123	40	163	0,75	86	
5-Apr-23	7,3	4,7	3,8	2,6	0,9	3,5	120	39	159	0,75	86	
6-Apr-23	7,5	4,9	3,8	2,6	1,1	3,7	125	40	165	0,76	86	
7-Apr-23	7,3	4,7	3,8	2,6	0,9	3,5	120	39	159	0,75	86	
8-Apr-23	7,3	5	3,8	2,3	1,2	3,5	123	40	163	0,75	86	
9-Apr-23	6,7	4,4	3,6	2,3	0,8	3,1	110	36	146	0,75	86	
10-Apr-23	7,8	4,9	4	2,9	0,9	3,8	125	40	165	0,76	86	
11-Apr-23											86	Cleaning
12-Apr-23	6,8	5,0	4,2	1,8	0,8	2,6	122	40	162	0,75	86	
13-Apr-23	6,9	4,6	3,5	2,3	1,1	3,4	124	40	164	0,76	86	
14-Apr-23	6,6	4,6	3,4	2,0	1,2	3,2	122	40	162	0,75	86	
15-Apr-23	6,7	4,8	4	1,9	0,8	2,7	121	40	161	0,75	86	
16-Apr-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	125	40	165	0,76	86	
17-Apr-23	6,8	4,8	4	2,0	0,8	2,8	125	40	165	0,76	86	
18-Apr-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	125	40	165	0,76	86	
19-Apr-23	6,9	5	4,2	1,9	0,8	2,7	126	40	166	0,76	86	
20-Apr-23	7	5,1	4,2	1,9	0,9	2,8	126	40	166	0,76	86	
21-Apr-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	126	40	166	0,76	86	
22-Apr-23	6,9	4,9	4	2,0	0,9	2,9	125	40	165	0,76	86	
23-Apr-23	6,7	4,7	3,9	2,0	0,8	2,8	125	40	165	0,76	86	
24-Apr-23	6,6	4,8	3,9	1,8	0,9	2,7	123	40	163	0,75	86	
25-Apr-23	6,9	5	4	1,9	1,0	2,9	125	40	165	0,76	86	
26-Apr-23	6,8	5	4	1,8	1,0	2,8	125	40	165	0,76	86	
27-Apr-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	123	40	163	0,75	86	
28-Apr-23	6,9	4,9	4	2,0	0,9	2,9	124	40	164	0,76	86	
29-Apr-23	6,9	4,8	3,9	2,1	0,9	3	120	39	159	0,75	86	
30-Apr-23	7,2	4,6	4,1	2,6	0,5	3,1	125	40	165	0,76	86	
1-May-23	7,3	5,2	4,2	2,1	1,0	3,1	125	40	165	0,76	89,00	
2-May-23	7,3	5,1	4,2	2,2	0,9	3,1	126	40	166	0,76	95,00	
3-May-23	7,1	4,9	4,0	2,2	0,9	3,1	126	40	166	0,76	93,00	
4-May-23	6,7	4,8	3,9	1,9	0,9	2,8	118	39	157	0,75	92,00	
5-May-23	7,1	4,9	4,1	2,2	0,8	3	124	40	164	0,76	87,00	
6-May-23	7	4,8	4	2,2	0,8	3	121	40	161	0,75	89,00	
7-May-23	6,7	4,6	3,8	2,1	0,8	2,9	118	38	156	0,76	86,00	
8-May-23	7,1	4,8	4	2,3	0,8	3,1	122	40	162	0,75	87,00	
9-May-23	6,0	4,0	3,3	2,0	0,7	2,7	103	34	137	0,75	79,00	
10-May-23	7	4,8	4	2,2	0,8	3	123	40	163	0,75	77,00	
11-May-23	6,8	4,5	3,8	2,3	0,7	3	115	37	152	0,76	87,00	
12-May-23	7,4	4,8	3,9	2,6	0,9	3,5	124	40	164	0,76	90,00	
13-May-23	7,3	4,8	3,9	2,5	0,9	3,4	123	40	163	0,75	94,00	
14-May-23	7	4,6	3,7	2,4	0,9	3,3	118	39	157	0,75	95,00	
15-May-23	7	4,6	3,8	2,4	0,8	3,2	115	38	153	0,75	94,00	
16-May-23	7,4	4,7	4	2,7	0,7	3,4	118	39	157	0,75	82,00	
17-May-23	7,9	5,1	4,2	2,8	0,9	3,7	126	40	166	0,76	104,00	
18-May-23	7,8	4,9	4	2,9	0,9	3,8	126	40	166	0,76	93,00	
19-May-23	7,4	4,6	3,8	2,8	0,8	3,6	125	40	165	0,76	86,00	
20-May-23	8	5	4	3,0	1,0	4	126	40	166	0,76	105,00	
21-May-23	8	4,9	4	3,1	0,9	4	125	40	165	0,76	100,00	
22-May-23	8	4,9	4	3,1	0,9	4	125	40	165	0,76	104,00	
23-May-23	7,5	4,7	3,8	2,8	0,9	3,7	119	39	158	0,75	100,00	
24-May-23	7,8	4,9	4	2,9	0,9	3,8	125	40	165	0,76	92,00	
25-May-23	6,9	5	4	1,9	1,0	2,9	125	40	165	0,76	82,00	
26-May-23	6,8	5	4	1,8	1,0	2,8	125	40	165	0,76	72,00	
27-May-23	6,8	4,9	4	1,9	0,9	2,8	123	40	163	0,75	77,00	
28-May-23	6,9	4,9	4	2,0	0,9	2,9	124	40	164	0,76	88,00	
29-May-23	6,9	4,8	3,9	2,1	0,9	3	120	39	159	0,75	88,00	
30-May-23	7,2	4,6	4,1	2,6	0,5	3,1	125	40	165	0,76	85,00	
31-May-23	7,2	4,6	4,1	2,6	0,5	3,1	125	40	165	0,76	85,00	

2. RO Train B

RO B											Keterangan	
Tanggal	P ₁ (Bar)	P _m (Bar)	P _p (Bar)	AP1 (Bar)	AP2 (Bar)	AP (Bar)	Q _p (m ³ /jam)	Qc (m ³ /jam)	Feed (m ³ /jam)	Effisiensi (%)		TDS Feed (mg/l)
01-Jan-23	7	4,8	3,8	2,2	1	3,2	118	38	156	0,76	64,00	
02-Jan-23	7,4	5,1	4	2,3	1,1	3,4	120	39	159	0,75	63,00	
03-Jan-23	7	5	3,8	2	1,2	3,2	118	38	156	0,76	72,00	
04-Jan-23	7	4,9	3,8	2,1	1,1	3,2	117	38	155	0,75	74,00	
05-Jan-23	7,0	4,9	3,8	2,1	1,1	3,2	118	38	156	0,76	72,00	
06-Jan-23	6,8	4,8	3,7	2	1,1	3,1	118	39	157	0,75	66,00	
07-Jan-23	6,7	4,8	3,6	1,9	1,2	3,1	119	39	158	0,75	68,00	
08-Jan-23												Cleaning
09-Jan-23	6,2	5,2	4,1	1	1,1	2,1	126	40	166	0,76	73,00	
10-Jan-23	6,2	5,2	4,1	1	1,1	2,1	126	40	166	0,76	81,00	
11-Jan-23	6,2	5,0	4,0	1,2	1	2,2	126	40	166	0,76	84,00	
12-Jan-23	6,0	5,0	3,9	1	1,1	2,1	125	40	165	0,76	77,00	
13-Jan-23	6	5	4	1	1	2,0	125	40	165	0,76	83,00	
14-Jan-23	6,1	5	4	1,1	1	2,1	125	40	165	0,76	83,00	
15-Jan-23	6,2	5	4	1,2	1	2,2	125	40	165	0,76	81,00	
16-Jan-23	6,2	5	4	1,2	1	2,2	126	40	166	0,76	78,00	
17-Jan-23	6,1	4,9	3,9	1,2	1	2,2	125	40	165	0,76	88,00	
18-Jan-23	6,2	5	3,9	1,2	1,1	2,3	126	40	166	0,76	80,00	
19-Jan-23	6,2	5	4	1,2	1	2,2	125	40	165	0,76	77,00	
20-Jan-23	6,2	5	4	1,2	1	2,2	125	40	165	0,76	84,00	
21-Jan-23	6,1	5	3,9	1,1	1,1	2,2	125	40	165	0,76	80,00	
22-Jan-23	6,1	4,9	3,8	1,2	1,1	2,3	125	40	165	0,76	84,00	
23-Jan-23												Standby
24-Jan-23	6,2	5	3,9	1,2	1,1	2,3	126	40	166	0,76	83,00	
25-Jan-23												Standby
26-Jan-23	6	5	3,9	1	1,1	2,1	124	40	164	0,76	82,00	
27-Jan-23												Standby
28-Jan-23												Standby
29-Jan-23												Standby
30-Jan-23												Standby
31-Jan-23	6	4,9	3,7	1,1	1,2	2,3	125	40	165	0,76	77,00	
01-Feb-23	6	5	3,8	1	1,2	2,2	125	40	165	0,76	74,00	
02-Feb-23	6,2	5	3,9	1,2	1,1	2,3	125	40	165	0,76	74,00	
03-Feb-23	6,2	5	3,9	1,2	1,1	2,3	126	40	166	0,76	72,00	
04-Feb-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	120	39	159	0,75	79,00	
05-Feb-23	6,1	4,8	3,7	1,3	1,1	2,4	125	40	165	0,76	79,00	
06-Feb-23	6,2	5	3,8	1,2	1,2	2,4	126	40	166	0,76	76,00	
07-Feb-23	7	4,9	4,2	2,1	0,7	2,8	124	40	164	0,76	74,00	
08-Feb-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	125	40	165	0,76	77,00	
09-Feb-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	125	40	165	0,76	80,00	
10-Feb-23	6,1	4,8	3,7	1,3	1,1	2,4	124	40	164	0,76	86,00	
11-Feb-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	75,00	
12-Feb-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	126	40	166	0,76	76,00	
13-Feb-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	82,00	
14-Feb-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	77,00	
15-Feb-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	125	40	165	0,76	79,00	
16-Feb-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	124	40	164	0,76	78,00	
17-Feb-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	125	40	165	0,76	73,00	
18-Feb-23	6,4	5	3,7	1,4	1,3	2,7	125	40	165	0,76	77,00	
19-Feb-23	6,4	4,9	3,8	1,5	1,1	2,6	126	40	166	0,76	79,00	
20-Feb-23	6,3	4,8	3,6	1,5	1,2	2,7	124	40	164	0,76	79,00	
21-Feb-23	6,4	4,8	3,7	1,6	1,1	2,7	124	40	164	0,76	77,00	
22-Feb-23	6,5	4,9	3,7	1,6	1,2	2,8	126	40	166	0,76	77,00	
23-Feb-23	6,4	4,8	3,7	1,6	1,1	2,7	125	40	165	0,76	76,00	
24-Feb-23	6	4,5	3,5	1,5	1	2,5	117	38	155	0,75	75,00	
25-Feb-23												Stop
26-Feb-23	6,3	4,8	3,7	1,5	1,1	2,6	117	38	155	0,75	69,00	
27-Feb-23	6,6	5	3,9	1,6	1,1	2,7	125	40	165	0,76	77,00	
28-Feb-23	6,5	4,8	3,7	1,7	1,1	2,8	122	40	162	0,75	77,00	
01-Mar-23												Stop
02-Mar-23	6,3	4,7	3,6	1,6	1,1	2,7	117	38	155	0,75	79	
03-Mar-23	6,3	4,7	3,6	1,6	1,1	2,7	117	38	155	0,75	67	
04-Mar-23	6,3	4,8	3,6	1,5	1,2	2,7	116	38	154	0,75	66	
05-Mar-23	6,7	4,8	3,7	1,9	1,1	3,0	123	40	163	0,75	68	
06-Mar-23	6,4	4,6	3,5	1,8	1,1	2,9	118	38	156	0,76	64	
07-Mar-23	6,4	4,6	3,5	1,8	1,1	2,9	119	38	157	0,76	66	
08-Mar-23	6,4	4,6	3,6	1,8	1	2,8	118	38	156	0,76	75	
09-Mar-23	6,6	4,9	3,6	1,7	1,3	3,0	124	40	164	0,76	76	
10-Mar-23	6,4	4,6	3,6	1,8	1	2,8	118	38	156	0,76	77	
11-Mar-23	6,4	4,6	3,5	1,8	1,1	2,9	117	38	155	0,75	73	
12-Mar-23												Cleaning
13-Mar-23	6	4,8	3,8	1,2	1	2,2	119	39	158	0,75	71	
14-Mar-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	121	40	161	0,75	76	
15-Mar-23	6,5	5,1	4	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	74	
16-Mar-23	6,2	4,9	3,8	1,3	1,1	2,4	124	40	164	0,76	73	
17-Mar-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	125	40	165	0,76	70	
18-Mar-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	75	
19-Mar-23	6,4	4,9	3,9	1,5	1	2,5	126	40	166	0,76	79	
20-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	125	40	165	0,76	80	
21-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	77	
22-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	77	
23-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	76	
24-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	126	40	166	0,76	78	
25-Mar-23	6,2	4,7	3,6	1,5	1,1	2,6	125	40	165	0,76	92	
26-Mar-23	6,3	4,7	3,7	1,6	1	2,6	126	40	166	0,76	88	
27-Mar-23	6,4	4,8	3,8	1,6	1	2,6	126	40	166	0,76	84	
28-Mar-23	6,2	4,8	3,7	1,4	1,1	2,5	125	40	165	0,76	85	
29-Mar-23	6,2	4,7	3,7	1,5	1	2,5	125	40	165	0,76	89	
30-Mar-23	6,4	4,8	3,8	1,6	1	2,6	125	40	165	0,76	91	
31-Mar-23	6,4	4,8	3,7	1,6	1,1	2,7	125	40	165	0,76	90	

1-Apr-23	6,3	4,9	3,8	1,4	1,1	2,5	125	40	165	0,76	86	
2-Apr-23	6,4	4,9	3,8	1,5	1,1	2,6	125	40	165	0,76	86	
3-Apr-23	6,3	4,7	3,6	1,6	1,1	2,7	122	40	162	0,75	86	
4-Apr-23	6,2	4,6	3,5	1,6	1,1	2,7	125	40	165	0,76	86	
5-Apr-23	6,3	4,6	3,5	1,7	1,1	2,8	125	40	165	0,76	86	
6-Apr-23	6,4	4,7	3,6	1,7	1,1	2,8	125	40	165	0,76	86	
7-Apr-23	6,5	4,8	3,6	1,7	1,2	2,9	126	40	166	0,76	86	
8-Apr-23	6,5	4,8	3,7	1,7	1,1	2,8	125	40	165	0,76	86	
9-Apr-23	6,2	4,6	3,5	1,6	1,1	2,7	125	40	165	0,76	86	
10-Apr-23	6,5	4,6	3,5	1,9	1,1	3,0	123	40	163	0,75	86	
11-Apr-23	6,6	4,7	3,5	1,9	1,2	3,1	125	40	165	0,76	86	
12-Apr-23	6,3	4,6	3,4	1,7	1,2	2,9	117	38	155	0,75	86	
13-Apr-23	6,6	4,6	3,5	2	1,1	3,1	124	40	164	0,76	86	
14-Apr-23	6,6	4,6	3,4	2	1,2	3,2	122	40	162	0,75	86	
15-Apr-23	6,1	4,3	3,2	1,8	1,1	2,9	113	37	150	0,75	86	
16-Apr-23	6,6	4,6	3,4	2	1,2	3,2	120	39	159	0,75	86	
17-Apr-23	6,6	4,5	3,3	2,1	1,2	3,3	120	39	159	0,75	86	
18-Apr-23												Standby
19-Apr-23	6,8	4,7	3,5	2,1	1,2	3,3	122	40	162	0,75	86	
20-Apr-23	6,6	4,5	3,4	2,1	1,1	3,2	117	38	155	0,75	86	
21-Apr-23												Standby
22-Apr-23												Standby
23-Apr-23												Standby
24-Apr-23												Standby
25-Apr-23												Standby
26-Apr-23	6,7	4,6	3,4	2,1	1,2	3,3	119	39	158	0,75	86	
27-Apr-23	6,8	4,8	3,5	2	1,3	3,3	123	40	163	0,75	86	
28-Apr-23	6,9	4,8	3,6	2,1	1,2	3,3	124	40	164	0,76	86	
29-Apr-23	6,4	4,4	3,3	2	1,1	3,1	115	37	152	0,76	86	
30-Apr-23	6,8	4,6	3,4	2,2	1,2	3,4	122	40	162	0,75	86	
1-May-23	7	4,6	3,5	2,4	1,1	3,5	120	39	159	0,75	89,00	
2-May-23	7,1	4,8	3,6	2,3	1,2	3,5	123	40	163	0,75	95,00	
3-May-23												Cleaning
4-May-23	6,2	4,8	3,8	1,4	1	2,4	125	40	165	0,76	92,00	
5-May-23	6,1	4,8	3,7	1,3	1,1	2,4	125	40	165	0,76	87,00	
6-May-23	6,0	4,6	3,6	1,4	1	2,4	123	40	163	0,75	89,00	
7-May-23	6,2	4,7	3,7	1,5	1	2,5	126	40	166	0,76	86,00	
8-May-23	6,2	4,7	3,6	1,5	1,1	2,6	125	40	165	0,76	87,00	
9-May-23	5,4	4,2	3,4	1,2	0,8	2,0	113	36	149	0,76	79,00	
10-May-23	6,1	4,6	3,6	1,5	1	2,5	126	40	166	0,76	77,00	
11-May-23	6,3	4,8	3,6	1,5	1,2	2,7	125	40	165	0,76	87,00	
12-May-23												Standby
13-May-23												Standby
14-May-23	6,1	4,6	3,6	1,5	1	2,5	125	40	165	0,76	95,00	
15-May-23	6,2	4,7	3,6	1,5	1,1	2,6	125	40	165	0,76	94,00	
16-May-23	6,2	4,7	3,7	1,5	1	2,5	124	40	164	0,76	82,00	
17-May-23												Standby
18-May-23												Standby
19-May-23												Standby
20-May-23												Standby
21-May-23												Standby
22-May-23												Standby
23-May-23	6,2	4,6	3,6	1,6	1	2,6	126	40	166	0,76	100,00	
24-May-23												Standby
25-May-23												Standby
26-May-23	6,7	4,6	3,4	2,1	1,2	3,3	119	39	158	0,75	72,00	
27-May-23	6,8	4,8	3,5	2	1,3	3,3	123	40	163	0,75	77,00	
28-May-23	6,9	4,8	3,6	2,1	1,2	3,3	124	40	164	0,76	88,00	
29-May-23	6,4	4,4	3,3	2	1,1	3,1	115	37	152	0,76	88,00	
30-May-23	6,8	4,6	3,4	2,2	1,2	3,4	122	40	162	0,75	85,00	
31-May-23	6,8	4,6	3,4	2,2	1,2	3,4	122	40	162	0,75	85,00	

C. Dokumentasi Penelitian



Gambar B.1 *Control Panel Water Treatment Plant PT X*



Gambar B.2 *Unit Membran Reverse osmosis*



Gambar B.3 *Pengambilan Sampel Umpan*



Gambar B.4 Pengujian TDS Umpan



Gambar B.5 Pengecekan Tekanan