



**Evaluasi Kinerja *Membrane Sea Water Reverse Osmosis* Sebelum dan Sesudah *Maintenance* di
PLTGU Tanjung Uncang**

Tugas Akhir

**Oleh:
Olfhie Stevani Yunda Nugraha (4232111005)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam**

2025

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Evaluasi Kinerja *Membrane Sea Water Reverse Osmosis* Sebelum dan Sesudah *Proses Maintenance* di PLTGU Tanjung Uncang” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 08 Januari 2025



Olfhie Stevani Yunda Nugraha
NIM: 4232111005

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Olfhie Stevani Yunda Nugraha (4232111005)

Tanggal Sidang: 08 Januari 2025

Disetujui oleh :

Dosen Penguji I



Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng
NIK: 118200

Dosen Pembimbing



Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK: 113112

Dosen Penguji II

A large, stylized handwritten signature in black ink, written over the name and NIK of the second examiner.

2. Handri Toar S.ST., M.Tr. T
NIK: 113114

Evaluasi Kinerja *Membrane Sea Water Reverse Osmosis* Sebelum dan Sesudah *Proses Maintenance* di PLTGU Tanjung Uncang

Abstrak

Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) adalah salah satu proses dalam memenuhi kebutuhan air baku untuk keperluan operasional pembangkit listrik, termasuk di PLTGU Tanjung Uncang. Dalam operasional SWRO, *membrane* adalah peralatan utama yang digunakan untuk memurnikan air laut dengan proses penyarangan garam dan partikel lainnya. Namun, pengoperasian *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) menghadapi tantangan berupa *fouling* dan *scalling* yang dapat menurunkan kinerja sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *membrane* SWRO sebelum dan sesudah penerapan metode pembersihan *cleaning in place* dan pembersihan secara manual (pembongkaran). Metodologi penelitian ini meliputi pengumpulan data parameter *conductivity* dan *differential pressure* pada tiga kondisi : sebelum CIP, sesudah CIP, dan sesudah pembersihan manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *cleaning in place* mampu mengurangi *fouling* ringan dan meningkatkan performa *membrane*, akan tetapi tidak efektif untuk *fouling* berat (padatan) seperti adanya sisa lumpur di dalam *membrane*. Namun pada metode pembersihan manual memberikan hasil optimal dengan mengembalikan nilai *differential pressure* ($\leq 1,5$ bar) dan *conductivity* ($\leq 600 \mu\text{S/cm}$) ke batas normal, meskipun memerlukan waktu lebih lama. Dengan kombinasi kedua metode ini efisiensi operasional sistem SWRO dapat ditingkatkan.

Kata Kunci : *Sea Water Reverse Osmosis* , *Cleaning in Place*, *Fouling*, *Scalling*, PLTGU Tanjung Uncang

Performance Evaluation Of Sea Water Reverse Osmosis Membrane Before and After Maintenance Process at PLTGU Tanjung Uncang

Abstract

Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) is one of the processes in meeting raw water needs for operational purposes of power plants, including at PLTGU Tanjung Uncang. In SWRO operations, the membrane is the main equipment used to purify seawater by filtering salt and other particles. However, the operation of Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) faces challenges in the form of fouling and scalling that can reduce system performance. This study aims to evaluate the performance of SWRO membranes before and after the application of cleaning in place and manual cleaning (disassembly) methods. The research methodology includes collecting data on conductivity parameters and differential pressure in three conditions: before CIP, after CIP, and after manual cleaning. The results showed that the cleaning in place method was able to reduce light fouling and improve membrane performance, but was not effective for heavy fouling (solids) such as residual mud in the membrane. However, the manual cleaning method provides optimal results by returning the differential pressure ($\leq 1,5$ bar) and conductivity ($\leq 600 \mu\text{S}/\text{cm}$). values to normal limits, although it takes longer. With the combination of these two methods, the operational efficiency of the SWRO system can be improved.

Keywords: Sea Water Reverse Osmosis, Cleaning in Place, Fouling, Scalling, PLTGU Tanjung Uncang

Kata Pengantar

Alhamdulillahirobbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT atas segala limpahan dan karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Evaluasi Kinerja Membran *Sea Water Reverse Osmosis* Sebelum dan Sesudah Proses *Maintenance* di PLTGU Tanjung Uncang". Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabatnya sampai yaumul qiyamah.

Tugas Akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi penulis pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam. Penulisan proposal tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepada kedua orang tua Ibu dan Bapak yang memberi dukungan baik secara mental, finansial dan memberikan semangat dan doa kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng selaku Koordinator Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam.
3. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T. selaku Koordinator Magang Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi dan selaku Dosen Pembimbing penulisan Laporan Tugas Akhir selama dimasa perkuliahan yang telah bersedia memberikan bimbingan serta arahan dan saran kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Fauzun Atabiq, S.T., M. Cs selaku wali dosen Prodi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi kelas malam yang senantiasa memberikan semangat dan nasehat selama perkuliahan berlangsung.
5. Bapak Rudi Antoro selaku pembimbing magang di perusahaan PT. PLTGU Tanjung Uncang yang telah memberikan ilmu, motivasi, waktu, dan membantu selama penelitian kepada penulis.
6. Seluruh pegawai dan staff khususnya Tim pemeliharaan PLTGU Tanjung Uncang Bapak Yofandra, Bapak Ghia, Bapak Ahmdasyah, Bapak Rapid, dan Bapak Juniardi yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian dan membantu selama penelitian.
7. Teman-teman seperjuangan magang di PLTGU 120 MW Tanjung Uncang Evita Christine Manullang, Ari Vilanda, Sulfahmi, Indra Saputra, Daffa Alghani, Tengku Rian dan Andonia Pratama. yang telah membantu keberlangsungan serta kelancaran Tugas Akhir ini.

8. Kepada Khairuddin Umar Lubis salah satu yang berperan penting dalam memberikan support dan doa kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang disusun ini masih banyak mempunyai kekurangan. Karena itu saran dan kritikan yang membangun dari semua pihak atau pembaca yang budiman sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi dimasa yang akan datang.

Terakhir, penulis menyampaikan harapan semoga penelitian yang disusun ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan kemajuan pendidikan dimasa yang akan datang. Aamiin

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	x
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1. <i>Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)</i>	3
2.1.1. Cara Kerja SWRO	3
2.2. <i>Scaling dan Fouling Membrane SWRO</i>	4
2.3. <i>Proses Cleaning in Place (CIP)</i>	5
2.3.1. Tujuan Proses dari <i>Cleaning In Place</i> pada <i>Membrane SWRO</i>	5
2.3.2. Jenis Bahan <i>Chemical</i>	6
2.4. Pembersihan Manual atau Pembongkaran	6
Bab 3. Metodologi Penelitian	7
3.1. <i>FlowChart</i> Penelitian	7
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.3. Alat dan Bahan	8
3.3.1. <i>Reverse Osmosis Cleaning System</i>	8
3.3.2. <i>RO Flushing / Cleaning Pumps</i>	9

3.3.3. <i>Reverse Osmosis (RO) Cleaning Cartridge Filter</i>	9
3.3.4. Bahan Kimia Alkali dan Acid	10
3.3.5. <i>Membrane Cleaner</i>	10
3.4. Teknik Analisis.....	11
3.4.1. Teknik Pengumpulan Data.....	11
3.5. Proses Analisis Data.....	12
3.5.1. Pengumpulan Data	12
3.6. Time Line Penelitian	13
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	14
4.1. Data Hasil Penelitian	14
4.1.1. Data Sebelum <i>Cleaning in Place (CIP)</i>	14
4.1.2. Data Sesudah <i>Cleaning in Place (CIP)</i>	16
4.1.3. Data Sesudah Proses Manual (Pembongkaran).....	19
4.2. Analisis dan Pembahasan	22
4.2.1 <i>Sebelum Cleaning in Place (CIP)</i>	22
4.2.2 <i>Setelah Cleaning in Place (CIP)</i>	22
4.2.3 <i>Setelah Pembersihan Manual (Pembongkaran)</i>	22
4.2.4. Efektivitas <i>Cleaning in Place (CIP)</i> dan Manual (Pembongkaran)	23
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	24
5.1. Kesimpulan	24
5.2. Saran	25
Daftar Pustaka.....	26
Biodata	28

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 <i>Membrane Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)</i>	3
Gambar 2. 2 <i>Scalling dan Fouling Membrane</i>	4
Gambar 2. 3 <i>Pembongakran Membrane</i>	6
Gambar 3. 1 <i>Diagram Alir Penelitian</i>	7
Gambar 3. 2 <i>Waktu dan Tempat Penelitian</i>	8
Gambar 3. 3 <i>Reverse Osmosis (RO) Cleaning Tank</i>	8
Gambar 3. 4 <i>Cleaning Pump</i>	9
Gambar 3. 5 <i>Cartridge Filter</i>	9
Gambar 3. 6 <i>Bahan Acid dan Alkali</i>	10
Gambar 3. 7 <i>Membrane Cleaner</i>	10
Gambar 4. 1 <i>Conductivity Sebelum Cleaning in Place (CIP)</i>	15
Gambar 4. 2 <i>Differential Pressure Sebelum Cleaning in Place (CIP)</i>	16
Gambar 4. 3 <i>Conductivity Sesudah Cleaning in Place (CIP)</i>	18
Gambar 4. 4 <i>Differential Pressure Sesudah Cleaning in Place (CIP)</i>	18
Gambar 4. 5 <i>Conductivity Sesudah Proses Secara Manual</i>	21
Gambar 4. 6 <i>Differential Pressure Sesudah Proses Secara Manual</i>	21

Daftar Tabel

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan	13
Tabel 4. 1 Data Sebelum Proses <i>Cleaning in Place</i> (CIP).....	14
Tabel 4. 2 Data Sesudah Proses <i>Cleaning in Place</i> (CIP)	16
Tabel 4. 3 Data Sesudah Proses Secara Manual (pembongkaran).....	19
Tabel 4. 4 Efektivitas <i>Cleaning in Place</i> dan Manual	23

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Penggunaan teknologi *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) adalah salah satu proses dalam memenuhi kebutuhan air baku untuk keperluan operasional pembangkit listrik, termasuk di PLTGU Tanjung Uncang. Selain untuk digunakan sebagai air *service* produk dari SWRO juga digunakan untuk *fire hydrant* dan terutama digunakan untuk produksi air demin (*Demineralisasi*), melalui proses BWRO dan *MixedBed*.

Sistem kerja SWRO yaitu memisahkan garam (mineral-mineral) yang terkandung di dalam air laut sehingga menghasilkan air tawar yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan di PLTGU Tanjung Uncang, yang berkapasitas 120 MW, sistem SWRO berperan penting dalam menyuplai air baku (Demin) yang digunakan untuk kebutuhan *Steam Turbine*. Selain itu juga digunakan untuk pendingin (*close cooling*)[1].

Dalam operasional SWRO, *membrane* adalah peralatan utama yang digunakan untuk memurnikan air laut dengan proses penyaringan garam dan partikel lainnya[2]. Pengoperasian SWRO secara kontinu maka akan terbentuk *fouling* (penumpukan partikel organik dan anorganik) dan *scaling* (pembentukan kerak garam) pada *membrane*. Kedua fenomena ini dapat menurunkan kinerja sistem, meningkatkan tekanan operasi, mengurangi volume produksi air bersih dan pada akhirnya meningkatkan biaya energi serta pemeliharaan[3]. Apabila *fouling* dan *scaling* tidak ditangani dengan baik, hal ini dapat memperpendek umur *membrane* dan meningkatkan biaya penggantian komponen secara signifikan.

Untuk menjaga performa *membrane*, metode *Cleaning in Place* (CIP) dan metode Manual (pembongkaran) menjadi salah satu solusi pembersihan *membrane*. *Cleaning in Place* adalah metode pembersihan *membrane* tanpa perlu membongkar sistem. Pembersihan pada *membrane* secara manual atau dengan metode pembongkaran merupakan salah satu untuk menghilangkan *scaling* dan *fouling* pada permukaan *membrane* yang tidak dapat diatasi melalui metode *cleaning in place*. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis metode pembersihan yang efektif.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan cara untuk mengoptimalkan performa *membrane*, mengurangi *downtime*, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem SWRO di PLTGU Tanjung Uncang.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja *membrane* SWRO sebelum dan sesudah *maintenance* ?
2. Seberapa efektif pembersihan *membrane* SWRO dengan metode *Cleaning in Place (CIP)* dan metode pembersihan secara manual (pembongkaran) ?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis Performa *Membrane* Sebelum dan Sesudah Pembersihan dengan metode CIP (*Cleaning in Place*).
2. Menganalisis Performa *Membrane* Sesudah Pembersihan dengan Metode Manual (Pembongkaran).

1.4. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi operasional sistem SWRO dengan memberikan data perbandingan kinerja *membrane* sebelum dan sesudah pembersihan.
2. Menghemat biaya perawatan *membrane* SWRO.

1.5. Batasan

Adapun Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada sistem SWRO di PT. PLTGU Tanjung Uncang dan tidak mencakup sistem SWRO lainnya.
2. Penelitian ini memfokuskan pada metode pembersihan *Cleaning in Place (CIP)* dan Manual (pembongkaran).
3. Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan selama 1 bulan secara berkala.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)

Sea water reverse osmosis system adalah peralatan unit desalinasi yang digunakan untuk mengolah air laut dengan proses penyaringan menggunakan *membrane*. Prinsip osmosis terbalik atau *reverse osmosis* dilakukan dengan memberikan tekanan tinggi (*Water Treatment Plant* Tanjung Uncang 50 Bar) pada air laut umpan dengan menggunakan pompa *multistage* bertekanan tinggi yaitu *SWRO High pressure pump* dan menambah tekanan dari *energy recovery device (turbo charger)* yang memanfaatkan energi dari tekanan *rejection air concentrate* setelah penyaringan di module *membrane reverse osmosis*[4]. Proses pengolahan menggunakan *Reverse Osmosis* dilakukan dengan memberikan tekanan untuk memisahkan air murni dari ion-ion serta mineral garam yang tertahan, sehingga menghasilkan air bersih dan membuang air kotor. Keunggulan dari metode ini adalah kemampuannya untuk menghilangkan zat organik, bakteri, pirogen, dan koloid adanya struktur pori pada *membrane reverse osmosis* yang berfungsi sebagai penyaring zat-zat tersebut[5].



Gambar 2. 1 Membrane Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)

2.1.1. Cara Kerja SWRO

Proses SWRO dimulai dengan *pre-treatment*, di mana air laut disaring untuk menghilangkan partikel besar dan sedimen. Setelah itu, air dipompa melalui *membrane reverse osmosis* dengan tekanan tinggi[6]. *Membrane* ini dirancang untuk memungkinkan molekul air melewatinya, tetapi tidak ion garam atau kontaminan lain. Tekanan yang diterapkan merupakan faktor kunci dalam proses

ini, karena tanpa tekanan yang cukup *reverse osmosis* tidak akan terjadi. Hasil akhirnya adalah air yang telah dihilangkan sebagian besar garam dan kontaminan, yang kemudian melalui proses *pasca-treatment* untuk menyesuaikan kualitas.

Selama tahap *pre-treatment*, sering kali diperlukan penggunaan bahan kimia untuk menghilangkan klorin dan mikro organisme yang dapat merusak *membrane*. Proses ini juga mencakup penyesuaian pH dan penghilangan karbon dioksida untuk mencegah kerusakan pada *membrane*. Setelah air melewati *membrane reverse osmosis*, tahap *pasca-treatment* biasanya melibatkan pengaturan keseimbangan mineral, penghilangan jejak kontaminan yang tersisa, dan penyesuaian kualitas. Sistem SWRO modern juga sering dilengkapi dengan teknologi pemantauan dan kontrol otomatis untuk mengoptimalkan efisiensi dan memastikan kualitas air yang konsisten [7].

2.2. *Scaling* dan *Fouling Membrane SWRO*

Pada *membrane*, *fouling* dan *scaling* adalah permasalahan umum yang terjadi dalam penggunaan *membrane*. *Fouling* mengacu pada proses terbentuknya lapisan material yang tidak diinginkan pada permukaan *membrane*. Sementara itu, *scaling* merupakan akumulasi kerak (*scale*) yang terjadi akibat peningkatan konsentrasi materi anorganik hingga melampaui hasil kali kelarutannya, sehingga menurunkan kinerja *membrane*. Dalam penggunaannya, *scaling* sebenarnya termasuk kategori *fouling*. Istilah *fouling* umumnya digunakan untuk merujuk pada akumulasi materi biologis dan koloid, sedangkan *scaling* lebih sering dikaitkan dengan pengendapan garam atau mineral anorganik[8].



Gambar 2. 2 *Scaling* dan *Fouling Membrane*

2.3. Proses *Cleaning in Place* (CIP)

Cleaning in Place (CIP) adalah sebuah metode untuk menghilangkan pengotor dan mengembalikan performa seperti *membrane* baru dengan menggunakan larutan asam dan basa. Bahan kimia yang digunakan pada prosedur CIP dari *membrane* RO yaitu Alkali dan Acid. Secara umum larutan asam seperti HCl dan larutan basa seperti NaOH digunakan sebagai bahan kimia untuk prosedur CIP pada *membrane* RO dengan kelebihan nilai ekonomis [9]. Tujuan utama dari CIP adalah untuk membersihkan *membrane* tanpa perlu membongkar unit SWRO, sehingga dapat mengurangi *downtime* dan menjaga efisiensi operasional sistem.

2.3.1. Tujuan Proses dari *Cleaning In Place* pada *Membrane* SWRO

- 1. Menghilangkan *Fouling***
Fouling bertujuan untuk membersihkan kotoran seperti partikel organik, anorganik, dan mikroorganisme yang menempel pada permukaan *membrane*, sehingga meningkatkan permeabilitas dan mengurangi hambatan aliran air.
- 2. Mengatasi *Scaling***
Scaling membantu menghilangkan endapan mineral seperti kalsium karbonat atau silika yang terbentuk pada *membrane*, yang dapat menghambat aliran air dan menurunkan efisiensi sistem.
- 3. Memulihkan Kinerja *Membrane***
Proses *cleaning in place* (CIP) mengembalikan parameter kinerja *membrane*, seperti flux air, rejeksi garam, dan tekanan operasional, mendekati kondisi optimal setelah terjadi penurunan akibat *fouling* dan *scaling*.
- 4. Mencegah Kerusakan Permanen**
Cleaning in place (CIP) dilakukan untuk mencegah kerusakan struktural *membrane* yang dapat terjadi jika *fouling* dan *scaling* dibiarkan menumpuk terlalu lama, sehingga memperpanjang umur pakai *membrane*.
- 5. Meningkatkan Efisiensi Operasional**
Dengan mengurangi *fouling* dan *scaling*, *cleaning in place* (CIP) membantu meningkatkan efisiensi energi dan volume produksi air bersih, sehingga sistem SWRO dapat beroperasi dengan lebih optimal dan ekonomis.
- 6. Meminimalkan *Downtime***
Melalui perawatan terjadwal, CIP membantu mencegah gangguan atau *downtime* yang lebih lama akibat kerusakan atau penurunan kinerja *membrane*, memastikan keberlangsungan operasional sistem SWRO.

2.3.2. Jenis Bahan *Chemical*

Dalam pembersihan *membrane* SWRO ada beberapa bahan kimia yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan atau *fouling* yang terjadi pada *membrane* salah satunya yaitu :

1. asam Klorin (*Acid*)

Asam klorida adalah zat kimia anorganik. Asam ini merupakan asam korosif kuat dengan rumus kimia HCl. Asam ini juga dikenal sebagai hidrogen klorida atau asam muriatik.

2. basa (*Alkali*)

basa adalah senyawa yang cenderung menerima ion H⁺ dalam larutan, sehingga menghasilkan larutan dengan sifat basa dan pH tinggi (lebih dari 7 pada skala pH). Secara sederhana, basa merupakan zat yang dapat menerima proton hidrogen dalam larutan. Basa juga didefinisikan sebagai senyawa yang memiliki kemampuan untuk menerima ion H⁺. senyawa ini berfungsi untuk menetralkan larutan asam dan memiliki berbagai kegunaan dalam aplikasi kimia serta industri[10].

2.4. Pembersihan Manual atau Pembongkaran

Pembersihan manual *membrane* merupakan metode yang dilakukan Ketika sistem *cleaning in place* (CIP) tidak cukup untuk menghilangkan *fouling* dan *scaling* yang berat. Dalam pembersihan manual, modul *membrane* dilepas dari pressure vessel untuk dibersihkan secara fisik. *Fouling* dan *scaling* berat, terutama pada *membrane* yang sudah lama digunakan, sering kali tidak bisa diatasi dengan hanya menggunakan pembersih *cleaning in place* (CIP) karena terbatasnya durasi perendaman atau pada larutan pembersih. Pembersihan manual memungkinkan penanganan lebih mendalam sehingga kinerja *membrane* dapat pulih lebih optimal.

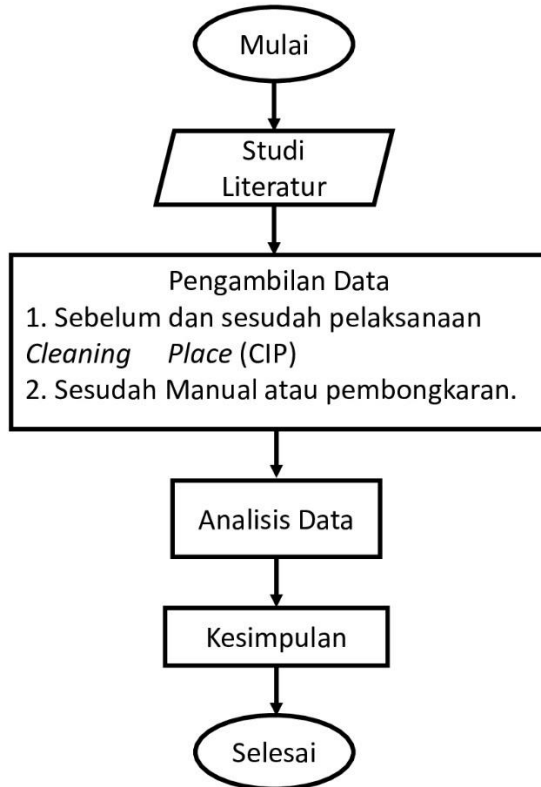


Gambar 2. 3 Pembongkaran *Membrane*

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. FlowChart Penelitian

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuan yang ditentukan, berikut *Flow Chart* Penelitian :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada PLTGU Tanjung Uncang 120 MW (Mega Watt) yang berlokasi, 3WR2+2JV, Jl. Brigjen Katamso, Tj. Uncang, Kec. Batu Aji, Kota Batam, Kepulauan Riau. Yang berlangsung selama delapan bulan yakni, 19 Agustus 2024 sampai 18 April 2025. Adapun penulis dalam melakukan pengambilan data dan melakukan riset terhadap objek penelitian dilakukan pada tanggal 25 September 2024.



Gambar 3. 2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.3. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

3.3.1. *Reverse Osmosis Cleaning System*

Pada tangki *reverse osmosis* (RO) *Cleaning* ini berfungsi untuk menyimpan larutan bahan kimia yang akan digunakan dalam proses pembersihan. Bahan kimia yang digunakan bisa berupa larutan asam untuk menghilangkan deposit anorganik seperti kalsium karbonat, atau larutan basa untuk mengatasi *fouling* organik dan *biofouling*.



Gambar 3. 3 *Reverse Osmosis* (RO) *Cleaning Tank*

3.3.2. RO Flushing / Cleaning Pumps

Pompa ini berfungsi untuk mentransfer larutan kimia yang disimpan di *reverse osmosis (RO) Cleaning Tank* ke dalam *membrane*. Pompa ini memastikan bahwa larutan asam atau basa yang digunakan dalam *cleaning in place (CIP)* dapat mengalir secara kontinu melalui seluruh permukaan *membrane*.



Gambar 3. 4 Cleaning Pump

3.3.3. Reverse Osmosis (RO) Cleaning Cartridge Filter

Cartridge filter digunakan untuk menyaring partikel dan kontaminan dari larutan pembersih sebelum dialirkan melalui *membrane* selama proses *cleaning in place (CIP)*.



Gambar 3. 5 Cartridge Filter

3.3.4. Bahan Kimia Alkali dan Acid

Dalam proses *Cleaning-In-Place* (CIP) pada *membrane Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO), bahan kimia asam dan basa digunakan untuk menghilangkan berbagai jenis *fouling* (penyumbatan) yang terbentuk pada permukaan *membrane*.



Gambar 3. 6 Bahan Acid dan Alkali

3.3.5. *Membrane Cleaner*

Pipa berbentuk silinder berdiameter besar berfungsi sebagai tempat atau wadah untuk memasukkan *membrane* SWRO. *Membrane* SWRO dimasukkan ke dalam tabung ini untuk dilakukan pembersihan secara manual. Pada bagian belakang pipa terdapat pipa dan keran pengatur aliran air. Selang atau pipa yang terhubung dengan keran digunakan untuk mengalirkan air bersih ke dalam pipa aliran ini akan membantu membilas permukaan *membrane* dan menghilangkan kotoran yang menempel *fouling* dan *scaling*.



Gambar 3. 7 *Membrane Cleaner*

3.4. Teknik Analisis

3.4.1. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data ini bertujuan untuk memudahkan pembaca sekaligus pengamatan yang dilakukan peneliti untuk mendapatkan data-data pada penelitian ini.

1. Pengamatan Langsung (Observasi)

Pada metode ini dilakukan pengamatan langsung dilapangan untuk mengetahui data langsung yang ada di area (WTP) *Water Treatment Plant* dan melalui informasi lapangan proses pengamatan:

- a. **Pengumpulan Data Awal:** mengamati parameter *conductivity* dan *differential pressure*
- b. **Pelaksanaan proses *Cleaning in Place* (CIP):** proses pembersihan ini dilakukan menggunakan larutan kimia berupa acid (pH rendah) untuk membersihkan senyawa anorganik, dan alkali (pH tinggi) untuk menghilangkan *fouling* organik atau *biofouling*.
- c. **Pelaksanaan proses manual (pembongkaran):** proses pembersihan ini dilakukan dengan membongkar *membrane* dari vessel lalu di masukkan ke dalam *membrane cleaner* proses ini untuk membersihkan sisa kotoran lumpur yang menempel pada permukaan *membrane*.

2. Study Literature

Untuk Membantu penulis menyelesaikan studi ini penulis mengambil beberapa sumber teori dalam hal ini adalah sebagai referensi yaitu pada (buku dan internet) yang berkaitan dengan Evaluasi Kinerja *Membrane Sea Water Reverse Osmosis* Sebelum dan Sesudah *Maintenance* di PLTGU Tanjung Uncang.

3. Wawancara

Pada metode wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi dan permasalahan pada *membrane* SWRO. Wawancara dilakukan dengan Bapak Rudi Antoro yang memiliki peran langsung (narasumber) dalam operasional dan pemeliharaan sistem SWRO di PLTGU Tanjung Uncang. Teknik wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dimana penelitian ini memberikan beberapa pertanyaan ke narasumber untuk memberikan informasi tambahan yang relevan. Berikut beberapa pertanyaan yang diajukan:

- a. Bagaimana kondisi *membrane* SWRO sebelum dilakukan proses *maintenance*?
- b. Apa saja bahan kimia yang digunakan selama proses CIP?
- c. Berapa lama waktu yang diperlukan untuk satu siklus CIP, dari awal hingga selesai?
- d. Parameter apa saja yang diukur sebelum dan sesudah CIP untuk mengevaluasi keberhasilannya?
- e. Apa Langkah-langkah utama yang dilakukan saat pembersihan manual pada *membrane*?
- f. Bagaimana hasil pembersihan manual dibandingkan dengan CIP dalam mengatasi *fouling* atau *scaling* berat?

3.5. Proses Analisis Data

Tahapan awal analisis dilakukan dengan pengamatan terhadap masalah apa saja yang akan dijadikan tujuan dari penelitian ini. Dimulai dengan mempelajari dan mencari yang berkaitan dengan kenaikan *Differential Pressure* dan *Conductivity* pada *membrane Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)*.

3.5.1. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis melakukan pengumpulan data secara langsung untuk memperoleh data primer tepatnya di area *water treatment plant*. Pada penelitian ini, data langsung menggunakan metode observasi dengan cara diskusi bersama pembimbing magang, adapun data yang dikumpulkan di penelitian tugas akhir ini adalah:

- a. Data sebelum naiknya *conductivity* dan *differential pressure*.
- b. Data sesudah turun/normalnya *conductivity* dan *differential pressure*.

3.6. Time Line Penelitian

Jadwal pelaksanaan sidang tugas akhir ini dibuat sebagai pedoman dalam melakukan penelitian agar selesai dengan tepat waktu.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan

Kegiatan	Agustus				September				Oktober				November				Desember			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literature																				
Mencari Referensi																				
Bab 1																				
Bab 2																				
Bab 3																				
Pengambilan Data																				
Bab 4																				
Bab 5																				

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Data yang digunakan adalah data pengukuran kondisi sebelum dan sesudah pelaksanaan *Cleaning in Place* (CIP) dan pelaksanaan secara manual atau pembongkaran. Parameter utama yang digunakan pada penelitian ini adalah *differetial pressure*: Nilai tekanan diferensial menunjukkan tingkat *fouling* atau penyumbatan pada *membrane*. dan *conductivity*: nilai konduktivitas menunjukkan kualitas air hasil yang dihasilkan oleh *membrane*.

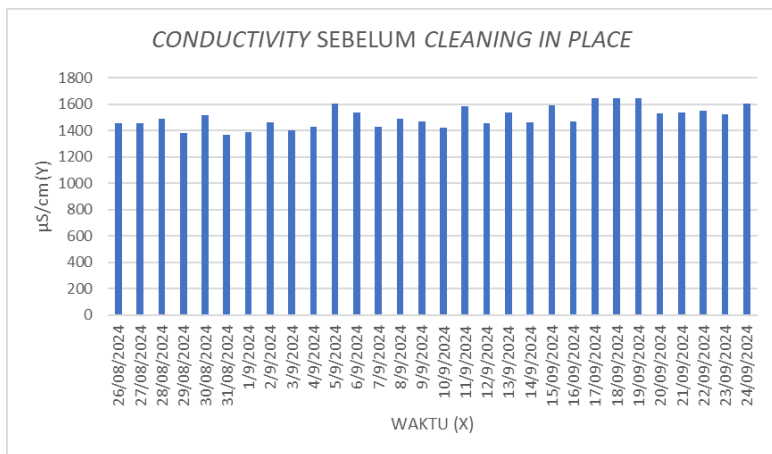
4.1.1. Data Sebelum *Cleaning in Place* (CIP)

Tabel 4. 1 Data Sebelum Proses *Cleaning in Place* (CIP)

SEBELUM <i>CLEANING IN PLACE</i> (CIP)			
NO	TANGGAL	CONDUCTIVITY ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DIFFERENTIALPRESSURE (BAR)
1	26/08/2024	1451.388	1.31
2	27/08/2024	1456.597	1.31
3	28/08/2024	1490.742	1.32
4	29/08/2024	1383.101	1.32
5	30/08/2024	1517.361	1.33
6	31/08/2024	1368.634	1.35
7	01/09/2024	1389.467	1.41
8	02/09/2024	1464.122	1.41
9	03/09/2024	1400.463	1.43
10	04/09/2024	1426.504	1.45
11	05/09/2024	1600.694	1.43
12	06/09/2024	1537.296	1.41
13	07/09/2024	1429.865	1.44
14	08/09/2024	1486.111	1.41
15	09/09/2024	1471.643	1.47
16	10/09/2024	1423.875	1.46
17	11/09/2024	1586.176	1.48
18	12/09/2024	1454.861	1.49
19	13/09/2024	1536.301	1.49
20	14/09/2024	1461.805	1.53
21	15/09/2024	1592.013	1.53
22	16/09/2024	1468.013	1.56
23	17/09/2024	1641.203	1.54
24	18/09/2024	1641.783	1.55

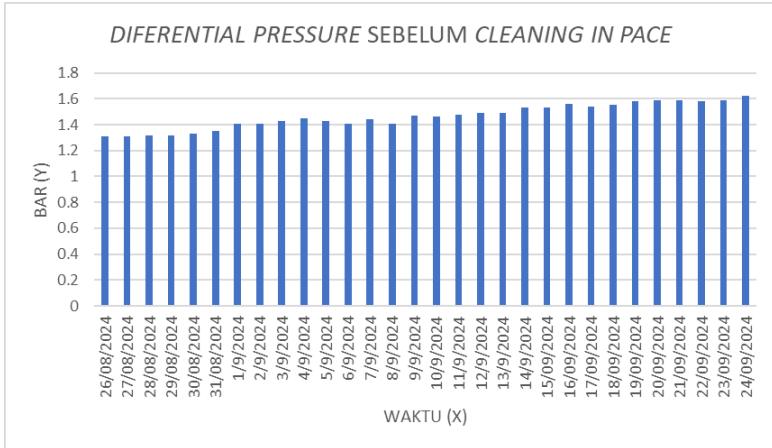
25	19/09/2024	1646.411	1.58
26	20/09/2024	1526.041	1.59
27	21/09/2024	1537.458	1.59
28	22/09/2024	1546.717	1.58
29	23/09/2024	1520.833	1.59
30	24/09/2024	1602.430	1.62

Pada table 4.1 data sebelum *Cleaning in Place* memperlihatkan bahwa untuk parameter *conductivity* awal masa pengamatan 26/08/2024 tingkat *conductivity* berada di angka 1451.388 $\mu\text{S/cm}$. Hingga akhir rentang waktu 24/09/2024 mengalami kenaikan pada nilai *conductivity* hingga mencapai 1602.430 $\mu\text{S/cm}$. Untuk parameter *differential pressure* pada 26/08/2024, tekanan awal tercatat sebesar 1.31 bar, kemudian secara bertahap meningkat hingga mencapai 1.62 bar 24/09/2024



Gambar 4. 1 *Conductivity* Sebelum *Cleaning in Place* (CIP)

Berdasarkan gambar 4.1 menampilkan nilai konduktivitas yang fluktuatif dari sekitar 1450 $\mu\text{S/cm}$ hingga 1600 $\mu\text{S/cm}$. kenaikan ini disebabkan adanya *fouling* dan *scaling* pada permukaan *membrane*.



Gambar 4. 2 *Differential Presurre Sebelum Cleaning in Place (CIP)*

Pada gambar 4.2 menampilkan grafik *Differential Presurre Sebelum Cleaning in Place (CIP)* dari 1.31 bar hingga 1.62 bar dengan beberapa titik dimana mulai stabil sementara, sebelum meningkat lagi.

4.1.2. Data Sesudah *Cleaning in Place (CIP)*

Setelah pelaksanaan proses *cleaning in place (CIP)*, yang dilakukan selama 2 hari kinerja *membrane* SWRO Kembali dianalisis untuk mengevaluasi perubahan terjadi. Pada proses *Cleaning in place (CIP)* dilakukan menggunakan bahan kimia yaitu berupa bahan acid dan alkali untuk membersihkan *fouling* yang menempel pada permukaan *membrane*.

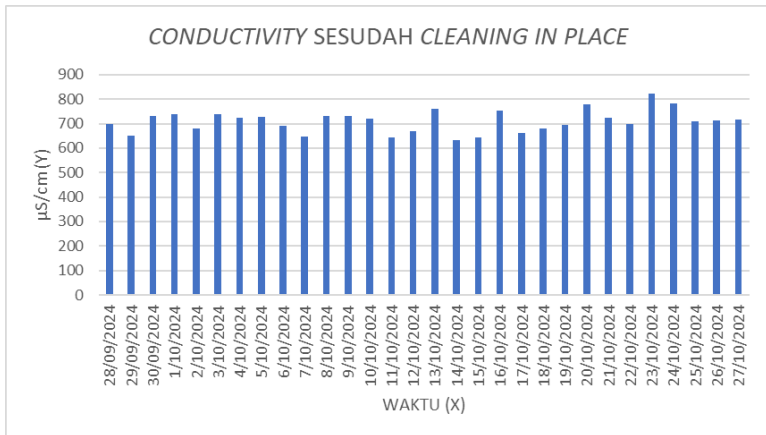
Tabel 4. 2 Data Sesudah Proses *Cleaning in Place (CIP)*

SESUDAH CLEANING IN PLACE			
NO	TANGGAL	CONDUCTIVITY (μS/cm)	DIFFERENTIAL PRESSURE (BAR)
1	28/09/2024	697.916	1.83
2	29/09/2024	651.041	1.82
3	30/09/2024	729.745	1.82
4	01/10/2024	740.161	1.89
5	02/10/2024	680.543	1.86
6	03/10/2024	740.161	1.83

7	04/10/2024	723.958	1.75
8	05/10/2024	726.115	1.71
9	06/10/2024	689.398	1.67
10	07/10/2024	646.411	1.65
11	08/10/2024	729.745	1.71
12	09/10/2024	732.241	1.71
13	10/10/2024	722.013	1.61
14	11/10/2024	642.939	1.51
15	12/10/2024	668.402	1.60
16	13/10/2024	761.574	1.52
17	14/10/2024	633.101	1.59
18	15/10/2024	642.939	1.61
19	16/10/2024	754.472	1.69
20	17/10/2024	662.036	1.48
21	18/10/2024	681.347	1.49
22	19/10/2024	694.444	1.51
23	20/10/2024	677.083	1.60
24	21/10/2024	725.115	1.41
25	22/10/2024	697.338	1.42
26	23/10/2024	822.338	1.56
27	24/10/2024	783.356	1.58
28	25/10/2024	710.069	1.52
29	26/10/2024	712.226	1.55
30	27/10/2024	715.277	1.60

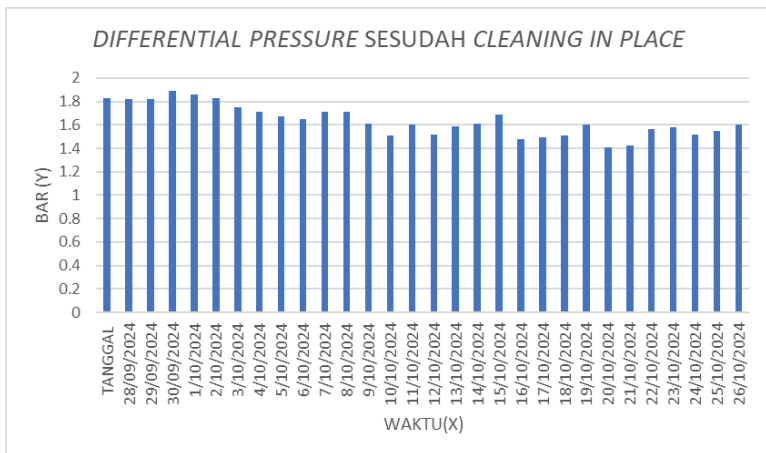
Pada Tabel 4.2 Sesudah *cleaning in place* pada parameter *conductivity* awal tahap pengamatan 28/09/2024 tercatat sebesar 697.916 $\mu\text{S/cm}$ dan akhir periode 27/10/2024 meningkat menjadi 715.277, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada 23/10/2024 822.388 $\mu\text{S/cm}$. Fluktuasi ini bisa diakibatkan oleh kualitas air baku yang berubah-ubah atau pengaruh kondisi operasi sistem. *Differential pressure* secara umum menunjukkan tren penurunan dari angka awal 1.83 bar (28/09/2024) ke tingkat yang lebih rendah di pertengahan durasi dengan titik

terendah pada 21/10/2024 yaitu 1.41 bar. Namun, terdapat sedikit kenaikan pada hari-hari terakhir hingga mencapai 1.60 bar (27/10/2024).



Gambar 4. 3 Conductivity Sesudah Cleaning in Place (CIP)

Pada gambar 4.3 menampilkan grafik *Conductivity* yang mengalami penurunan nilai konduktivitasnya, dibandingkan dengan nilai sebelum proses *cleaning in place*.



Gambar 4. 4 Differential Pressure Sesudah Cleaning in Place (CIP)

Pada gambar 4.4 menampilkan grafik *Differential Pressure* yang mengalami penurunan setelah proses *cleaning in place* (CIP).

4.1.3. Data Sesudah Proses Manual (Pembongkaran)

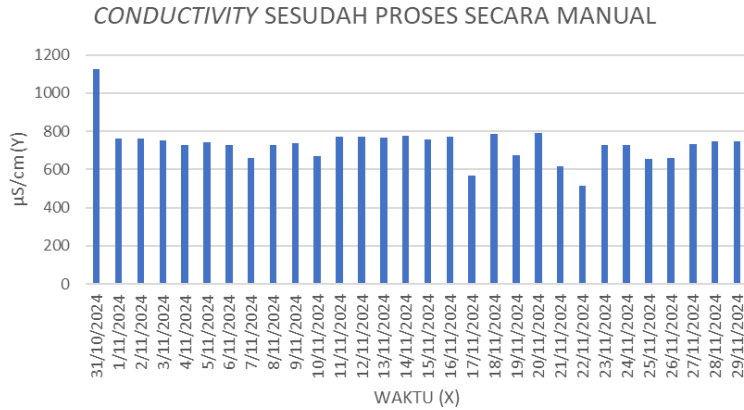
Pada tahap ini, proses manual dilakukan dengan mengeluarkan *membrane* dari vessel, lalu memasukkan *membrane* satu-per-satu kedalam pembersih untuk dilakukan pembilasan dengan tekanan 2.4 bar - 3.5 bar. Proses ini memungkinkan pembersihan secara menyeluruh sehingga kinerja *membrane* dapat mengembalikan kondisi optimal.

Tabel 4. 3 Data Sesudah Proses Secara Manual (pembongkaran)

SESUDAH PROSES SECARA MANUAL (PEMBONGKARAN)			
NO	TANGGAL	CONDUCTIVITY ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	DIFFERENTIAL PRESSURE (BAR)
1	31/10/2024	1124.421	1.31
2	01/11/2024	763.310	1.28
3	02/11/2024	759.859	0.97
4	03/11/2024	752.944	0.98
5	04/11/2024	730.217	0.99
6	05/11/2024	742.055	1.22
7	06/11/2024	729.312	1.21
8	07/11/2024	659.402	1.23
9	08/11/2024	729.217	1.22
10	09/11/2024	735.689	1.21
11	10/11/2024	671.875	1.19
12	11/11/2024	771.411	1.09
13	12/11/2024	770.254	1.18
14	13/11/2024	766.625	1.17
15	14/11/2024	774.305	1.08
16	15/11/2024	756.944	1.05
17	16/11/2024	770.254	1.02
18	17/11/2024	570.023	1.06

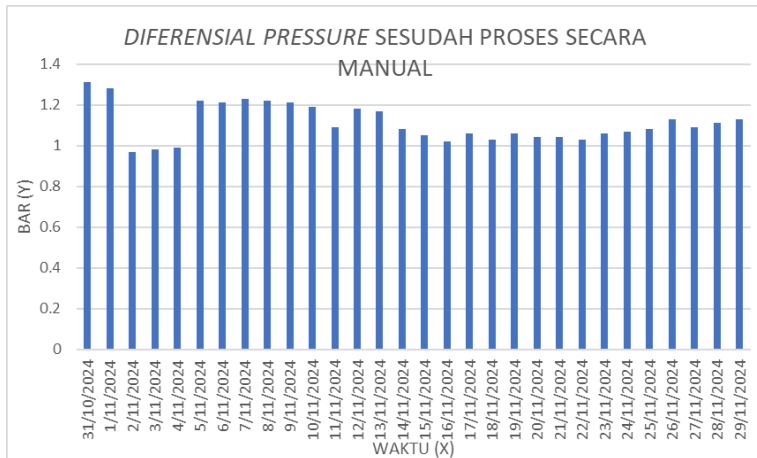
19	18/11/2024	784.722	1.03
20	19/11/2024	676.504	1.06
21	20/11/2024	793.138	1.04
22	21/11/2024	617.708	1.04
23	22/11/2024	513.078	1.03
24	23/11/2024	729.016	1.06
25	24/11/2024	729.861	1.07
26	25/11/2024	656.189	1.08
27	26/11/2024	662.152	1.13
28	27/11/2024	732.217	1.09
29	28/11/2024	745.421	1.11
30	29/11/2024	745.370	1.13

Pada tabel 4.3 sesudah proses secara manual menampilkan nilai *differential pressure* yang lebih baik dibandingkan proses *cleaning in place*. Pada awal nilai *differential pressure* 31/10/2024 sebesar 1.31 bar menurun hingga nilai terendah 0.097 bar pada 02/11/2024 , lalu stabil pada rentang 1.02-1.23 bar hingga akhir pengamatan pada priode 29/11/2024 1.13 bar. Pada nilai *conductivity* pengamatan yang paling tinggi adalah periode 31/10/2024 sebesar 1124.421 $\mu\text{S/cm}$ setelah itu, *conductivity* turun dan stabil pada rentang 513.078–793.138 $\mu\text{S/cm}$ hingga akhir periode pengamatan 29/11/2024 745.370 $\mu\text{S/cm}$.



Gambar 4. 5 Conductivity Sesudah Proses Secara Manual

Pada gambar 4.5 menampilkan grafik *Conductivity* sesudah Proses pembersihan *membrane* secara manual yang menunjukkan penurunan nilai *conductivity* dalam 1 bulan.



Gambar 4. 6 Differential Pressure Sesudah Proses Secara Manual

Pada gambar 4.6 menampilkan grafik *differential pressure* dalam periode 1 bulan.

4.2. Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Sebelum *Cleaning in Place* (CIP)

Nilai *conductivity* awal 1451.388 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (26/08/2024) meningkat menjadi 1602.430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (24/09/2024). *Differential pressure* naik dari 1.31 bar (26/08/2024) menjadi 1.62 bar (24/09/2024). Kenaikan ini menunjukkan terjadinya akumulasi material yang menghalangi aliran air, meningkatkan beban kerja pompa. Peningkatan pada *conductivity* dan *differential pressure* menunjukkan bahwa *membrane* mengalami penurunan kinerja. Hal ini disebabkan oleh akumulasi material seperti kotoran organik, *scaling*, atau partikel padat yang menyumbat permukaan *membrane*.

4.2.2 Setelah *Cleaning in Place* (CIP)

Setelah *cleaning in place* (CIP) parameter *conductivity* menurun pada nilai awal 697.916 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (28/09/2024), meningkat menjadi 715.277 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (27/10/2024) pada akhir periode. Namun, kenaikan sementara hingga 822.338 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23/10/2024) menunjukkan bahwa *fouling* baru mulai muncul kembali. *Differential pressure* menurun dari 1.83 bar (28/09/2024) menjadi 1.60 bar (27/10/2024). Penurunan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar *fouling* telah berhasil dihilangkan. Namun, nilai akhir masih jauh dari target optimal sekitar 1.5 bar.

Cleaning in Place (CIP) mengurangi *fouling* dan *scaling*, tetapi tidak sepenuhnya efektif. Masih terdapat sisa material pada *membrane* atau vessel, seperti lumpur, yang tidak terbilas sepenuhnya selama proses *flushing*.

4.2.3 Setelah Pembersihan Manual (Pembongkaran)

Pada tanggal 31/10/2024, nilai *Conductivity* sebesar 1124.421 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang merupakan nilai tertinggi. Penurunan drastis pada tanggal 17/11/2024 dengan nilai 570,023 $\mu\text{S}/\text{cm}$, yang merupakan nilai terendah. Setelah penurunan signifikan, terjadi fluktuasi kecil, dimana nilai berkisar antara 656 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hingga 784 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada sebagian besar waktu.

Nilai *Differential pressure* awal pada 31/10/2024 1.31 bar. Setelah pembersihan manual, *differential pressure* menurun hingga 0.97 pada tanggal 02/11/2024. Penurunan *differential pressure* ini menunjukkan bahwa pembersihan manual berhasil mengurangi *fouling* atau penyumbatan pada *membrane*, sehingga aliran air melalui *membrane* menjadi lebih lancar. Peningkatan kecil hingga 1.13 bar pada tanggal 29/11/2024 dapat diindikasikan sebagai awal pembentukan *fouling* baru, yang mungkin memerlukan pemantauan lebih lanjut.

Proses manual memberikan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan *cleaning in place* (CIP) dalam mengembalikan kinerja *membrane*. Namun, metode ini memerlukan lebih banyak waktu, biaya, dan tenaga.

4.2.4. Efektivitas *Cleaning in Place* (CIP) dan Manual (Pembongkaran)

Tabel 4. 4 Efektivitas *Cleaning in Place* dan Manual

Parametre	Standar Optimal	Sebelum Proses <i>Cleaning in Place</i> (CIP)	Setelah Proses <i>Cleaning in Place</i> (CIP)	Setelah Proses Manual (pembongkaran)	Catatan Efektivitas
Conductivity ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 600	1451.388 – 1602.430	697.916 – 822.338	570.023 – 784.000	Manual lebih efektif menurunkan nilai conductivity.
Differential Pressure (bar)	≤ 1.5	1.31 – 1.62	1.83 – 1.60	0.97 – 1.13	Manual lebih efektif menurunkan DP hingga di bawah standar.
Efektivitas Penurunan Conductivity	-	-	49.8% (1451.388 \rightarrow 697.916)	60.7% (1451.388 \rightarrow 570.023)	Manual mengurangi <i>fouling</i> lebih signifikan.
Efektivitas Penurunan DP	-	-	1.85% (1.62 \rightarrow 1.60)	26.0% (1.31 \rightarrow 0.97)	Manual lebih efektif untuk mengurangi DP.
Durasi Pembersihan	-	-	1-2 hari	2–3 hari	CIP lebih cepat, tetapi manual membutuhkan lebih banyak waktu.
Kemunculan <i>Fouling</i> Baru	-	-	Sedang (mulai 822.338 $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Rendah (peningkatan hingga 1.13 bar)	<i>Fouling</i> baru lebih lambat muncul setelah manual.
Biaya Operasional	-	-	Rendah	Tinggi	CIP lebih hemat biaya dibandingkan manual.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Kinerja *membrane* SWRO sebelum proses *cleaning in place* (CIP) mengalami penurunan performan dengan nilai *conductivity* yang tinggi (1451.388 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dan *differential pressure* yang melebihi batas optimal (1.31-1.62 bar). Hal ini menunjukkan adanya *fouling*, *Scaling* dan akumulasi kotoran seperti lumpur atau garam yang tidak terlarut sempurna, yang menyebabkan penurunan kinerja. Setelah dilakukan proses CIP kinerja *membrane* menunjukkan perbaikan dengan penurunan *conductivity* hingga 49.8% (697.916 $\mu\text{S}/\text{cm}$) akan tetapi *differential pressure* masih diangka 1.60 bar. Hal ini menandakan masih ada sisa kotoran yang tertinggal didalam *membrane* sehingga perlu dilakukan pembersihan tambahan secara manual. Proses pembersihan manual dilakukan di luar vessel, sehingga seluruh kotoran pada *membrane* dapat dikeluarkan hingga bersih. Setelah dilakukan proses pembersihan manual nilai *conductivity* menurun hingga 60.7% (570.023 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dan *differential pressure* kembali ke bawah standar optimal (0.97-1.13) bar. Hal ini menunjukkan dengan dilakukannya pembersihan manual setelah CIP mendapatkan hasil yang lebih maksimal pada *membrane* saat proses CIP.
2. Dengan menggunakan metode *Cleaning in Place* (CIP) lebih efektif untuk mengatasi *fouling* ringan dengan waktu pelaksanaan (1-2 hari) dan lebih hemat waktu dan tenaga. Namun, kekurangan dari CIP ini kotoran yang ada pada *membrane* tidak terlihat dan sisa kotoran yang terhambat. Sedangkan dengan menggunakan metode manual memberikan perbaikan yang lebih signifikan, dengan nilai akhir *conductivity* (570.023 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dan *differential pressure* (0.97 bar), yang sesuai dengan standar optimal. Metode ini lebih efektif dalam mengatasi *fouling* berat secara menyeluruh, meskipun membutuhkan waktu pelaksanaan yang lebih lama (2–3 hari) dan sumber daya yang lebih besar.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis pada penelitian ini untuk pengembangan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Disarankan untuk mengombinasikan metode *cleaning in place* (CIP) dan pembersih manual dalam melakukan pemeliharaan *membrane*. *Cleaning in place* (CIP) dapat digunakan sebagai langkah rutin untuk menjaga kebersihan *membrane*, sedangkan metode manual dilakukan sebagai tambahan setelah proses CIP untuk memastikan bahwa *membrane* sudah benar-benar bersih sehingga diharapkan *membrane* dapat bekerja secara optimal.
2. Perlu dilakukan monitoring kinerja *membrane* secara berkala untuk mendeteksi penurunan performa sejak dini, sehingga tindakan pembersihan dapat dilakukan tepat waktu.

Daftar Pustaka

- [1] D. D. S. Putri And A. Purnomo, "Kajian Instalasi Pengolahan Air Demineralisasi Dari Nalco Water An Ecolab Company," *J. Tek. Its*, Vol. 12, No. 2, Pp. 123–128, 2023, Doi: 10.12962/J23373539.V12i2.120029.
- [2] N. Imaruzi, Z. Zulkifli, And T. Rihayat, "Optimasi Unit Desalinasi Air Laut Dengan Alat Seawater Reverse Osmosis (Membran) Pada Unit Pltu Sulbagut I Gorontalo Menggunakan Metode Pendekatan Response Surface I-Optimal Design Expert," *J. Teknol.*, Vol. 24, No. 1, P. 52, 2024, Doi: 10.30811/Teknologi.V24i1.5068.
- [3] R. Nugroho, S. Yudo, D. R. K. Hartaja, Setiyono, Ikbal, And C. Ardiana, "Upaya Mempertahankan Kapasitas Membran Reverse Osmosis (Ro) Pada Instalasi Daur Ulang Air Limbah Di Industri Kaleng," *J. Teknol. Lingkungan.*, Vol. 24, No. 2, Pp. 264–272, 2023, Doi: 10.55981/Jtl.2023.987.
- [4] A. Rahman, "Penggunaan Teknologi Sea Water Reverse Osmosis (Swro) Pada Proses Desalinasi Air Laut Using Seawater Reverse Osmosis (Swro) Technology In Seawater Larasati Putri Hapsari * , Aris Kabul Pranoto , Widi Ayu Rinjani , Anasri , Ika Penggunaan Teknologi Sea , " Vol. 3, No. September, Pp. 153–164, 2022.
- [5] M. Thohirin And A. Apriyanto, "Modifikasi Jalur Pipa Pada Keluaran Peralatan Media Penyaring Bertingkat Dengan Pemasangan Penyaring Tipe Y Pada Pltu Sebalang," *Tek. Sains J. Ilmu Tek.*, Vol. 6, No. 1, Pp. 35–42, 2021, Doi: 10.24967/Teksis.V6i1.1235.
- [6] A. A. Ragetisvara And H. S. Titah, "Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (Swro) Pada Kapal Pesiar," *J. Tek. Its*, Vol. 10, No. 2, 2021, Doi: 10.12962/J23373539.V10i2.63933.
- [7] A. L. Kamal, A. H. Azzahra, A. Padmasari, And A. C. Santoso, "Implementasi Teknologi Sea Water Reverse Osmosis Dalam Mewujudkan Air Bersih Di Kepulauan Seribu," *Innov. J. Soc. Sci. Res. Vol.*, Vol. 4, No. 3, Pp. 10049–10058, 2024, [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/innovative%0aimplementasi>
- [8] D. Ariyanti, "Pengendalian Scaling Pada Sistem Membran Reverse Osmosis Skala Program Pascasarjana," *Tesis*, P. 101, 2009.
- [9] M. B. S. R. Febriansyah, "Evaluasi Kinerja Membran Reverse Osmosis Dengan Metode Normalized Permeate Flow Di Water Treatment Plant Pt . X Muhamad Bilal Sabilassalam Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon-Banten Dengan Metode Normalized Permeate Flow Di Water Treatment Plant Pt," No. 33335200075, 2023.
- [10] Kumparan.Com, "Pengertian Asam Dan Basa Serta Fungsinya," *Pengertian Dan Istilah*. [Online]. Available:

<https://kumparan.com/pengertian-dan-istilah/pengertian-asam-dan-basa-serta-fungsinya-dalam-kehidupan-21uk0ptyutr/full>

Biodata



Nama : Olfhie Stevani Yunda Nugraha
TTL : Batam, 18 Agustus 2001
Agama : Islam
Alamat : Sagulung Baru Blok E No.159 RT.003
RW.003 Kec. Sagulung Kel. Sei Binti

Email : Olfhiestevani@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMA/SMK : SMK Negeri 5 Batam
SMP : SMP Negeri 50 Batam