

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pengolahan dan pemurnian air adalah prosedur menghilangkan pengotor dan bahan kimia yang terdapat pada bahan baku, kontaminan alami, padatan tersuspensi dari air, serta tidak menguntungkan dalam proses. Tujuannya adalah untuk menyediakan air pada aplikasi tertentu (Wiyono *et al.*, 2017) Air diolah untuk dikonsumsi, tetapi pengolahan air juga dapat dimaksudkan untuk tujuan yang berbeda, termasuk aplikasi kimia, medis, farmakologi, atau industri. Metode ini meliputi metode fisik seperti sedimentasi, distilasi, dan filterasi; metode biologis, misalkan filter pasir atau karbon aktif secara biologis; metode kimia seperti koagulasi, flokulasi, dan klorinasi selain penggunaan metode elektromagnetik seperti sinar ultraviolet (M.Amin Abdel-Fatah, *et al.*, 2020). Dalam proses produksi industri bahan kimia dibutuhkan unit utilitas berupa listrik, air, dan uap. Fungsi air pada industri adalah sebagai sumber energi, sumber perpindahan panas, pengangkut bahan dasar, juga sebagai bahan baku pengolahan. Umumnya, air mengandung kontaminan kimia seperti ion logam di samping kontaminan biologi dan fisik. Air yang mengandung ion logam dan mineral yang dapat menimbulkan permasalahan seperti *Scaling*, *Slagging*, dan *Fouling* yang dapat menyebabkan pengurangan daya hantar panas, pengurangan kecepatan alir fluida, korosi, dan memperpendek umur pemakaian alat. Agar air yang digunakan dapat memenuhi standar, perlu dilakukan treatment berupa desalinasi ataupun demineralisasi (Kencana *et al.*, 2018).

Desalinasi sendiri adalah proses menghilangkan kadar mineral berlebih pada sebuah cairan untuk mendapatkan air yang dapat digunakan oleh industri (Hanna *et al.*, 2016). Secara umum proses desalinasi merujuk pada pemurnian air laut menjadi air tawar. Terdapat beberapa teknologi proses desalinasi air laut, secara umum yang banyak digunakan adalah Desalinasi Proses Termal (*Thermal Desalination Process*), dan Desalinasi Proses Membran (*Membrane Desalination Process*). PT. Black Bear Resources Indonesia (PT. BBRI) adalah perusahaan yang memproduksi Ammonium Nitrate Solution (ANSOL) dengan kapasitas produksi mencapai 82.000 ton per tahun. Pada bulan September 2009 PT. BBRI melakukan

proses pembangunan awal pabrik, dilanjutkan dengan tahap pembangunan fasilitas dan konstruksi pabrik yang dimulai pada tahun 2010 sampai dengan akhir tahun 2013. PT. BBRI memanfaatkan teknologi desalinasi membran *Reverse Osmosis* untuk pemenuhan kebutuhan air bersih. Bahan baku air laut dikonversikan menjadi air tawar untuk digunakan sebagai bahan baku *Boiler*, serta digunakan sebagai bahan baku proses. Kualitas, kuantitas serta ketersediaan air bersih yang memadai sangat dibutuhkan untuk memastikan pabrik berjalan dengan optimal (Gusdini *et al.*, 2016).

Desalinasi dengan menggunakan membran yang memanfaatkan teknologi *Reverse Osmosis* mampu merejeksi garam yang terkandung dalam air laut dan mengolahnya menjadi air bersih. Kombinasi desalinasi *SWRO* (*Sea Water Reverse Osmosis*) & *BWRO* (*Brackish Water Reverse Osmosis*) PT. BBRI dapat memproduksi air bersih 210m³ per hari untuk unit *SWRO* dan 178m³ per hari untuk unit *BWRO* (BBRI Pure Inc Manual Book 2010). *SWRO* adalah desalinasi yang menggunakan air laut sebagai bahan baku, dalam hal ini tentu kadar salinitas air laut lebih tinggi, beberapa kendala terkait pemanfaatan air laut adalah proses treatment awal lebih banyak dan biaya lebih tinggi dibandingkan pemanfaatan air tawar/ payau. Tingkat korosif air laut juga lebih tinggi, sehingga dapat dengan mudah menyebabkan kerusakan pada logam. *SWRO* juga membutuhkan tekanan tinggi dalam pengoperasiannya, hal ini menyebabkan tingginya konsumsi energi. *BWRO* sendiri adalah desalinasi yang menggunakan air payau (*Brackish Water*) sebagai bahan baku, dalam hal ini produk dari *SWRO* (Teguh *et al.*, 2016).

Penurunan kapasitas produksi air bersih akan menyebabkan proses operasi pabrik terganggu. Pengoperasian desalinasi *Reverse Osmosis* juga perlu memperhitungkan Konsumsi Energi Spesifik (*Specific Energy Consumption*) *SEC* (Karabelas *et al.*, 2020) peningkatan salinitas atau laju aliran umpan menyebabkan peningkatan *SEC* dan pengurangan *Water Recovery* (Aladwani *et al.*, 2021). Kinerja proses produksi ini dipengaruhi banyak hal seperti karakteristik konsentrasi air umpan (*Feed Water*) akan sangat mempengaruhi kualitas air *Permeate* yang dihasilkan, suhu air umpan sangat berpengaruh terhadap *Recovery Rate* dan

persentasi *Salt Rejection*. Dengan terjadinya peningkatan suhu, kadar garam relatif meningkat pada sisi *Permeate* hasil produksi (Idrees., 2020).

Kebutuhan air bersih PT. BBRI sekitar 7 m³/jam atau sebanyak 168 m³/hari. Penurunan produksi air bersih menjadi hal yang sangat berpengaruh terhadap pengoperasian pabrik, analisa kinerja dibutuhkan untuk melihat parameter pengoperasian berjalan dengan baik atau tidak. Kinerja membran untuk mengkonversi air laut menjadi air tawar serta kemampuan untuk merejeksi salinitas air laut yang tinggi menjadi salah satu parameter penting. Penggunaan daya dalam hal ini energi listrik perlu diperhatikan untuk melihat berapa banyak daya yang digunakan untuk memproduksi air bersih dalam satu meter kubik. Oleh karena itu, evaluasi konsumsi energi spesifik desalinasi *SWRO & BWRO* PT. BBRI perlu untuk dikaji.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh karakteristik salinitas air umpan (*Feed Water*) terhadap *SEC* pada proses desalinasi *Reverse Osmosis (SWRO & BWRO)* di PT. BBRI?
2. Faktor-faktor apa saja yang dapat memengaruhi penurunan kinerja proses produksi desalinasi *Reverse Osmosis* di PT. BBRI ?
3. Apa saja yang menyebabkan *SEC* desalinasi *Reverse Osmosis* PT. BBRI meningkat?
4. Bagaimana upaya untuk mengoptimalkan *SEC* pada unit desalinasi *SWRO* dan *BWRO* agar dapat memenuhi kebutuhan air bersih perusahaan secara efisien?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah melakukan pengambilan data kondisi lingkungan, kebutuhan air bersih, serta produksi aktual desalinasi *Reverse*

Osmosis PT. BBRI Dari hasil penelitian tersebut akan diperoleh data yang digunakan untuk;

1. Menganalisa pengaruh karakteristik salinitas air umpan sejak pengolahan awal (*Pre-Treatment*) bahan baku air laut, pengolahan lanjutan (*Post-Treatment*) pada proses produksi terhadap *SEC* pada proses desalinasi *Reverse Osmosis* (*SWRO & BWRO*) di PT. BBRI.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan kinerja proses desalinasi *Reverse Osmosis* di PT. Black Bear Resources Indonesia
3. Melakukan analisa *SEC* desalinasi *SWRO & BWRO* PT. BBRI berdasarkan data produksi dan penggunaan daya energi listrik.
4. Memberikan rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energy dan kinerja proses desalinasi PT. BBRI

I.4 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi dunia akademis, sehingga memperluas ilmu pengetahuan terkait pemanfaatan teknologi desalinasi air laut menjadi air tawar *Reverse Osmosis*.
2. Dengan meningkatkan efisiensi desalinasi *RO*, perusahaan dapat memastikan ketersediaan air bersih yang stabil dan memadai untuk kebutuhan operasionalnya. Hal ini sangat penting terutama dalam industri seperti PT. BBRI yang memerlukan pasokan air bersih yang andal dan berkualitas tinggi.
3. Dapat mendukung optimalisasi produksi desalinasi *Reverse Osmosis* PT. BBRI sehingga produksi dapat tercapai dan konsumsi energi kaitannya dengan *SEC* dapat menurun.
4. Memberikan rekomendasi perbaikan yang sesuai untuk meningkatkan efisiensi energi dan menjaga kualitas produksi agar memenuhi standar yang dibutuhkan PT. BBRI.
5. Dengan mengurangi konsumsi energi dan penggunaan bahan kimia, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi positif terhadap

pengurangan jejak karbon dan dampak lingkungan dari proses desalinasi. Ini sejalan dengan prinsip keberlanjutan dan tanggung jawab sosial perusahaan.

I.5 Originalitas Penelitian

Beberapa penelitian terkait kinerja *Reverse Osmosis* telah dilakukan, hanya saja terdapat beberapa perbedaan seperti lokasi penelitian, komponen, konfigurasi membrane, kapasitas produksi serta desain dari perangkat pemulihan energi. Kebaruan dari penelitian ini adalah data komprehensif yang diperoleh dari pengumpulan lapangan terkait kinerja desalinasi *SWRO & BWRO* dari sisi *Recovery Rate* dan analisa *SEC* disertai simulasi menggunakan software *IMS Design Hydranautic*. Berikut beberapa ringkasan penelitian analisa kinerja *Reverse Osmosis*:

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap
1	Idrees, (2020).	<i>Performance Analysis and Treatment Technologies of Reverse Osmosis Plant – A case study.</i>	Penilaian yang komprehensif dan rinci tentang kinerja desalinasi <i>Reverse Osmosis</i> disajikan secara eksperimental. Parameter operasi yang berbeda dapat mempengaruhi kinerja secara langsung atau tidak langsung. Karakteristik konsentrasi air umpan (<i>Feed Water</i>) sangat mempengaruhi kualitas air <i>Permeate</i> yang dihasilkan, suhu air umpan sangat berpengaruh terhadap <i>Recovery Rate</i> dan persentasi <i>Salt Rejection</i> . Dengan terjadinya peningkatan suhu, kadar garam relatif meningkat pada sisi <i>Permeate</i> hasil produksi. Total coliform dan fecal coliform tidak terdeteksi dalam air <i>Permeate</i> . Laju aliran dipertahankan tetap untuk kapasitas membran yang dirancang. Berbagai	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak terdapat Analisa kinerja dari sisi konsumsi energi spesifik (<i>SEC</i>). - Tidak membahas perangkat pemulihan energi. - Penjelasan mengenai bahan dan merk membran tidak dijelaskan.

teknik perawatan yang digabungkan dengan teknik pra, intra dan pasca perawatan dipelajari dan dipilih sesuai dengan sifat kebutuhan air umpan. Terlihat bahwa peningkatan pH air umpan ke kisaran 3-10 mengarah pada peningkatan *Salt Rejection*, *Metal Ion Rejection* dan kemurnian Permeate. Juga dicatat bahwa pH Permeate meningkat secara bertahap dengan meningkatkan pH air umpan.

- 2 Leon, & Ramos, (2021). *Performance Analysis of a Full-Scale Desalination Plant with Reverse Osmosis Membranes for Irrigation.*
- Perhitungan koefisien air rata-rata (*Average Water Coefficient*) dalam operasi jangka panjang memungkinkan untuk menyesuaikan parameter dari tiga model berbeda. Hasil penelitian menunjukkan penurunan koefisien air rata-rata sebesar 30%, sedangkan parameter koefisien permeabilitas garam (*Salt Permeability Coefficient*) meningkat sekitar 70%. *SEC* berada di angka antara 3,75 - 4,25 kWh/m³ ini
- Desain produksi yang besar, sehingga jumlah elemen, *Module*, dan membran yang lebih banyak.
 - Perangkat pemulihan energi berupa Pelton Turbin.
 - Pengambilan data dilakukan dalam jangka waktu yang lumayan lama.

merupakan hasil yang baik mengingat perangkat penulihan energi yang digunakan adalah turbin jenis Pelton. Pengenalan lebih banyak bejana tekan (*Pressure Vessel*) dengan membrane elemen baru meningkatkan aliran *Permeate* setelah 1000 hari operasi, memulihkan kualitas *Permeate* dan konsumsi energi. Dengan menggunakan data operasi jangka panjang ini, dimungkinkan untuk mempelajari pabrik desalinasi *RO* dan meningkatkan kinerja pabrik selama 4 tahun tanpa penggantian membran dan langkah pembersihan secara kimia (*Chemical Cleaning*).

- 3 Alsarayreh *Performance evaluation et al., of a medium-scale industrial reverse osmosis brackish water desalination plant with* (2021). Penelitian yang dilakukan berfokus pada pengujian membran yang berbeda dari berbagai merk pemasok pada sistem *BWRO* bertingkat skala menengah dari Arab Potash Company (APC) untuk menentukan membran mana yang
- Penelitian menggunakan membran yang berbeda merk, sehingga dapat di pastikan terdapat perbedaan struktur,

different brands of membranes. simulation study

memberikan kinerja terbaik. Secara khusus, A indikator kinerja rejeksi zat terlarut, *Water Recovery*, produktivitas, salinitas produk dan *SEC* digunakan untuk membandingkan efisiensi membran ini dan dibandingkan dengan yang asli. Membran yang diuji dicirikan oleh nilai air yang berbeda dan parameter zat terlarut. Di antara sembilan belas membran yang diamati, Filmtec BW30LE-440 telah menunjukkan indikator kinerja terbaik dengan penghematan energi tertinggi. Dalam hal ini, membran Filmtec BW30LE-440 menunjukkan peningkatan 22,46% dalam *Water Recovery*, 15% dalam salinitas produk dan 9,62% di *SEC* dibandingkan dengan membran asli. Oleh karena itu, direkomendasikan sebagai pilihan terbaik untuk digunakan pada sistem RO APC.

jumlah layer dan parameter operasi.

- 4 Aladwani et al., (2021). *Performance of reverse osmosis based desalination process using spiral wound membrane: Sensitivity study of operating parameters under variable seawater conditions*
- Evaluasi kinerja yang terperinci (dalam hal *Salt Rejeksi*, kualitas air, *Water Recovery*, dan *SEC*) dari jenis membran *Spiral Wound* menggunakan model yang komprehensif dan realistis telah disajikan dalam makalah ini. Dalam hal ini, berbagai kondisi salinitas, suhu air laut dan berbagai tekanan umpan serta laju aliran proses *RO* dipertimbangkan dalam penelitian. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan dua parameter, tekanan umpan dan suhu, secara positif dapat meningkatkan kinerja membran *RO* dalam hal produktivitas dan konsumsi *SEC*. Meningkatkan suhu air umpan meningkatkan fluks air dan mengurangi salinitas *Permeate* yang mengakibatkan pengurangan *SEC*. Sebaliknya, peningkatan salinitas air umpan dan laju alir memiliki pengaruh negatif pada respon proses, peningkatan salinitas atau laju aliran
- Salinitas air umpan secara sengaja dibuat bervariasi.

umpan menyebabkan peningkatan konsumsi energi spesifik dan pengurangan *Water Recovery*.

- 5 Sitterley *et al.*, (2022). *Performance of reverse osmosis membrane with large feed pressure fluctuations from a wave-driven desalination system.*
- Penelitian ini menyajikan hasil eksperimen RO yang dilakukan dengan tekanan *Feed Water* hingga 400 psi (2,75 MPa) menggunakan komposisi air umpan NaCl dan air laut sintetis. Eksperimen memberikan pemahaman dasar tentang dampak perubahan tekanan besar yang konsisten pada integritas membran dan kualitas *Permeate* yang diperlukan untuk pengembangan *Wave Driven Desalination Systems* (WDDS) lebih lanjut. Integritas membran tidak terbukti dipengaruhi secara signifikan oleh eksperimen tekanan umpan yg bervariasi, sebagaimana dibuktikan oleh perubahan minimal dalam parameter kinerja kritis seperti koefisien permeabilitas air yang dihitung selama periode
- Tekanan air umpan yang sangat tinggi.
 - Teknologi *WDDS* belum digunakan pada skala industri.

fluks konstan dan diantara setiap eksperimen. Selain itu, meskipun konduktivitas *Permeate* bervariasi seperti yang diharapkan dengan peningkatan dan penurunan tekanan umpan, rejeksi kation dan anion dan konsentrasi air produk berada dalam kisaran yang diharapkan dan dapat diterima. Kondisi gelombang juga memengaruhi kualitas *Permeate*, dengan gelombang yang lebih panjang menghasilkan *Permeate* salinitas yang lebih rendah, menunjukkan bahwa WDDS dapat mengambil manfaat dari penyertaan teknologi yang mampu memuluskan output daya dari periode gelombang yang lebih kecil. Hasil ini tidak menunjukkan indikasi bahwa pengembangan lebih lanjut dalam teknologi membran diperlukan untuk melanjutkan penelitian.

