



Pengaruh Tekanan pada Reverse Osmosis terhadap Penyisihan Kadar Ion Klorida (Cl⁻) dan Total Dissolved Solids (TDS) pada Pengolahan Air Payau

Effect of Pressure on Reverse Osmosis to Removed Chloride Ion (Cl⁻) and Total Dissolved Solids (TDS) Levels at Brackish Water Treatment

AGUS RIFAI^{1*}, DINDA RITA KRISHUMARTANI HARTAJA¹, OMAN SULAEMAN¹, IMAM SETIADI¹,
IIK NURUL IKHSAN¹, MUHAMMAD RIZKY DARMAWANGSA¹, CITRA ARDIANA², ACHMAD
SOFIAN¹, YUNUS¹

¹Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Puspitek Serpong, Tangerang Selatan, 15314

²Pusat Riset Sistem Produksi Berkelanjutan dan Penilaian Daur Hidup, Badan Riset dan Inovasi Nasional,

Puspitek Serpong, Tangerang Selatan, 15314

*agus114@brin.go.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 April 2023

Accepted 31 May 2024

Published 31 July 2024

Keywords:

brackish water

pressure

reverse osmosis (RO)

Cl⁻ and TDS removal

ABSTRACT

In the operation and maintenance of reverse osmosis (RO) systems, various challenges arise. One common issue faced is pressure fluctuations that can affect the quality of the produced water, shorten the lifespan of the membrane, and lead to system failure. This study aims to evaluate the performance of thin film composite spiral wound RO membranes in reducing Chloride ion (Cl⁻) and Total Dissolved Solids (TDS) levels in brackish water using low pressure. The RO membrane used in this research is made of polysulfone (PSF) with a thin film composite spiral wound type. The variables analyzed are the flow rate (Q) ranging from 1,000 to 2,000 mL/minute and the operational pressure (P) between 3.5 and 5 bar. The research results show that the RO membrane can reduce the Cl⁻ level by 99.79% and TDS by 99.92% at a flow rate of 2000 mL/minute with an operational pressure of 5 bar. From the research findings, it can be concluded that an increase in operational pressure enhances the efficiency of reducing Cl⁻ and TDS levels. This is due to the strong push on the feed that accelerates the salt penetration process through the membrane, which is then expelled through the retentate or wastewater stream.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 12 April 2024

Disetujui 31 Mei 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

air payau

tekanan

reverse osmosis (RO)

penyisihan Cl⁻ dan TDS

ABSTRAK

Selama pengoperasian dan pemeliharaan sistem reverse osmosis (RO), berbagai tantangan muncul. Masalah yang umum terjadi adalah fluktuasi tekanan yang dapat mempengaruhi kualitas air yang dihasilkan, memperpendek umur membran dan menyebabkan kegagalan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja membran RO tipe thin film composite spiral wound dalam mengurangi kadar ion klorida (Cl⁻) dan TDS (Total Dissolved Solid) dalam air payau dengan menggunakan tekanan rendah. Membran RO yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari polysulfon (PSF) dengan jenis thin film composite spiral wound. Variabel yang dianalisis adalah laju aliran (Q) antara 1.000–2.000 mL/menit dan tekanan operasional (P) antara 3,5–5 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran RO mampu mengurangi kadar Cl⁻ sebesar 99,79% dan TDS sebesar 99,92% pada laju aliran 2.000 mL/menit dengan tekanan operasional 5 bar. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan operasional meningkatkan efisiensi pengurangan kadar Cl⁻ dan TDS. Hal ini disebabkan oleh dorongan kuat pada umpan yang mempercepat proses penetrasi garam melalui membran, yang kemudian dikeluarkan melalui aliran retentate atau air buangan.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengadaan air bersih di Indonesia, khususnya untuk skala besar, masih dominan di daerah perkotaan yang dioperasikan oleh Perusahaan Air Minum (PAM) (Pulungan *et al.*, 2021). Untuk wilayah pedesaan yang lebih kecil, pelayanannya baru mencapai beberapa Ibu Kota Kecamatan. Secara keseluruhan, penyediaan air bersih di tingkat nasional masih jauh dari memadai. Akses air minum yang aman di Indonesia baru mencapai 11,9% pada tahun 2020 (Kemenkes, 2021), dan hanya sekitar 19% penduduk yang mendapatkan akses ke fasilitas air bersih. Sebagai hasilnya, daerah yang belum tersentuh oleh PAM biasanya menggunakan sumber air seperti air tanah (melalui sumur), air sungai, air hujan, mata air, dan sumber air lainnya sebagaimana disebutkan oleh Herlambang (2016).

Masalah kekurangan pasokan air bersih sering dialami oleh penduduk yang tinggal di sekitar pantai atau pulau-pulau kecil. Hal ini dikarenakan air tanah di daerah tersebut telah terkontaminasi oleh air laut, menjadikannya bersifat asin dan ada juga yang bersifat payau. Intrusi air laut pada dasarnya adalah proses masuknya air laut di bawah permukaan air tanah melalui akuifer di daratan atau di daerah pantai. Intrusi menyebabkan rasa asin yang berlebih pada air payau yang disebabkan adanya kandungan Natrium Klorida (NaCl) yang tinggi. Klorida (Cl⁻) merupakan anion pembentuk NaCl yang menyebabkan rasa asin dalam air (Musyarrofah *et al.*, 2020), air payau dapat terbuat dari campuran antara air laut dan air tawar, baik tercampur secara alamiah maupun melalui proses buatan. Air payau memiliki salinitas antara 0,5 ppt sampai dengan 35 ppt (Purwaningtyas, 2020). Salinitas dapat didefinisikan sebagai total konsentrasi ion-ion terlarut dalam air yang dinyatakan dalam satuan permil (‰) atau ppt (*part per thousand*) atau gram/liter (Mairi, 2019; Pasaribu *et al.*, 2023). Salah satu parameter kimia yang harus berada dibawah kadar maksimum yang diperbolehkan adalah parameter ion klorida. Klorida merupakan anion yang mudah larut dalam sampel air. Anion Klorida (Cl⁻), merupakan anion anorganik yang terdapat dalam sampel perairan yang jumlahnya lebih banyak daripada anion-anion halogen yang lain (Ngibad & Herawati, 2019). Total Padatan Terlarut (TDS) adalah ukuran kandungan total semua zat anorganik dan organik atau garam yang ada dalam air. Komponen utama umumnya adalah ion kationik seperti kalsium, magnesium, dan kalium serta anion seperti bikarbonat karbonat, nitrat, sulfat klorida, dll. Diantara komponen TDS, kalsium, dan magnesium larut disebut "kesadahan" (Islam *et al.*, 2016). Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk mengolah air payau menjadi air bersih agar memenuhi baku mutu air bersih (Eka, 2020). Untuk mengatasi situasi ini, perlu ditemukan inovasi teknologi yang mampu mengubah air payau menjadi air bersih. Selama ini, teknologi desalinasi yang dikenal sebagai solusi untuk mengubah payau menjadi air bersih dianggap memiliki biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan yang tinggi. Sebagai tanggapan terhadap masalah ini, dunia kini semakin mengandalkan desalinasi air laut yang cenderung bersifat air payau sebagai sumber utama pasokan air yang dapat diandalkan (Baig *et al.*, 2023). Untuk mengimbangi

peningkatan kebutuhan akan air tawar, strategi utama yang diambil adalah melalui desalinasi dengan metode termal dan teknik pemisahan berbasis membran (Curto *et al.*, 2021). Desalinasi air payau dianggap sebagai alternatif untuk memperluas pasokan air minum di daerah pedalaman dan pesisir. Sekitar 22% dari total kapasitas terpasang di seluruh dunia terdiri atas air payau, tekanan osmotik yang jauh lebih rendah dari air payau memungkinkan produksi air melalui desalinasi RO dengan konsumsi energi yang jauh lebih rendah dibandingkan desalinasi air laut. Kebutuhan energi RO air payau (*brackish water reverse osmosis*, BWRO) berkisar antara 0,5 hingga 2,5 kWh/m³ sementara desalinasi RO air laut adalah 3–4 kWh/m³ (Xianhui *et al.*, 2021).

Berbagai tantangan yang dihadapi dalam penggunaan sistem konvensional telah mendorong pengembangan sistem alternatif. Dalam beberapa tahun belakangan, sistem filtrasi membran telah menjadi salah satu alternatif yang paling populer untuk instalasi pengolahan air baik dalam skala besar maupun sistem terdesentralisasi skala kecil (Lakho *et al.*, 2021). Berbeda dengan metode pengolahan kimia, sistem filtrasi membran dapat menghasilkan air minum yang aman secara mikrobiologis tanpa perlu tambahan bahan kimia, sehingga cocok untuk kebutuhan minum dan sanitasi. Keunggulan dari sistem membran adalah kemampuannya yang modular, memungkinkan penyesuaian kapasitas pengolahan sesuai dengan kebutuhan (Othman *et al.*, 2021). Sistem *reverse osmosis* (RO) adalah teknologi membran semi-permeabel yang dapat memisahkan ion-ion terlarut dari aliran umpan (*feed stream*) melalui mekanisme difusi garam. Dalam sistem RO, aliran umpan dibagi menjadi dua jenis, yaitu aliran dengan salinitas rendah (*permeate*) yang merupakan produk air hasil filtrasi, dan aliran dengan salinitas tinggi (*concentrate*) yang merupakan air dengan kandungan mineral garam yang tinggi (Ferdinand & Savitri, 2023). Teknologi RO menggunakan membran padat dengan ukuran pori kurang dari 1 nm (< 1nm) (Shah & Rodriguez-Couto, 2021), sehingga mampu menghilangkan hampir semua kontaminan anorganik dan molekul organik terkecil. Selain dikenal sebagai teknologi desalinasi air laut, RO juga diterima secara luas dalam aplikasinya (Othman *et al.*, 2021). Sistem RO air payau (BWRO) merupakan proses desalinasi yang digunakan untuk mengolah air payau menjadi air bersih. Proses ini telah diterapkan di berbagai wilayah di dunia yang memiliki cadangan air tanah payau yang besar, seperti di Amerika Serikat dan Afrika Utara. Biaya operasional (OPEX) untuk BWRO berkisar antara USD 0,39 hingga USD 0,66 per meter kubik, dengan biaya yang cenderung menurun seiring dengan peningkatan kapasitas pabrik (Pearson *et al.*, 2021)

Prinsip kerja RO mengharuskan penggunaan tekanan tinggi, biasanya lebih dari 5 bar. Salah satu tantangan dalam penggunaan RO adalah biaya investasi dan operasional yang tinggi, terutama dikarenakan biaya pompa. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja sistem *reverse osmosis* (RO) antara lain adalah suhu, tekanan umpan, kualitas air baku, persentase pemulihan atau *recovery*, polarisasi konsentrasi, dan waktu pengoperasian (Ruiz-Saavedra *et al.*, 2021). Suhu air baku mempengaruhi koefisien *permeabilitas* air pada membran RO. Peningkatan suhu umpan biasanya meningkatkan *permeabilitas* air, namun juga dapat

meningkatkan laju pengotoran membran. Tekanan umpan yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju aliran *permeate*, namun juga meningkatkan konsumsi energi dan risiko kerusakan membran. Tekanan umpan harus dioptimalkan untuk mencapai keseimbangan antara kinerja dan efisiensi energi.

Konsentrasi garam dan kontaminan lainnya dalam air umpan mempengaruhi tekanan osmotik dan laju pengotoran membran. Air baku dengan kualitas lebih rendah memerlukan pengolahan awal yang lebih intensif untuk mengurangi pengotoran dan kerak. Selain suhu, tekanan, dan kualitas air baku, faktor yang mempengaruhi kinerja sistem RO adalah prosentase pemulihan atau *recovery*, yang merupakan persentase air baku yang diubah menjadi air yang telah terfiltrasi atau *permeate*. Persentase *recovery* yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air tetapi juga dapat meningkatkan konsentrasi garam pada sisi pembuangan, yang dapat mempercepat pengotoran. Polarisasi konsentrasi terjadi ketika terdapat perbedaan konsentrasi garam di dekat permukaan membran dibandingkan dengan larutan yang melewati membran. Hal ini dapat mengurangi efektivitas membran dan meningkatkan risiko pengotoran. Waktu pengoperasian yang lebih lama dapat menyebabkan kerak dan residu menumpuk pada membran, sehingga memerlukan periode pembersihan atau penggantian membran untuk menjaga kinerja membran. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, desain dan pengoperasian sistem RO dapat dioptimalkan untuk mencapai kinerja dan umur membran yang lebih baik (Ruiz-Saavedra *et al.*, 2021). Oleh karena itu, untuk mengurangi biaya investasi dan operasional, dilakukan penelitian mengenai performa atau kinerja RO pada alat uji skala kecil, khususnya mengenai pengaruh tekanan dan debit aliran terhadap penyisihan kadar ion klorida (Cl⁻) dan TDS (*Total Dissolved Solid*) dalam air hasil filtrasi.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengetahui kinerja membran RO terhadap kualitas air produk khususnya kadar Cl⁻ dan TDS pada pengolahan air payau pada pengaruh tekanan dan debit alirannya.

2. METODE

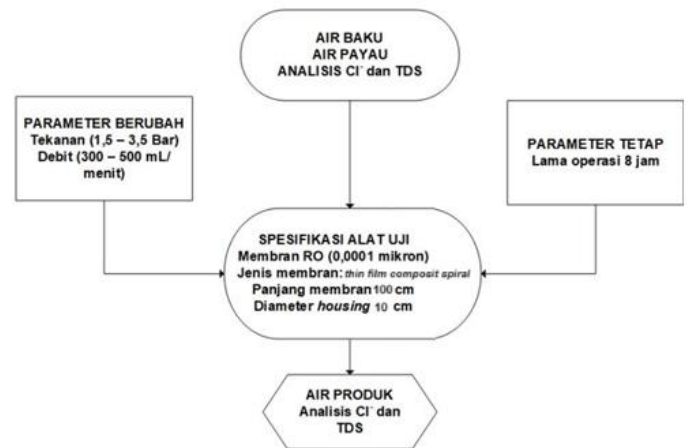
2.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Secara umum tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

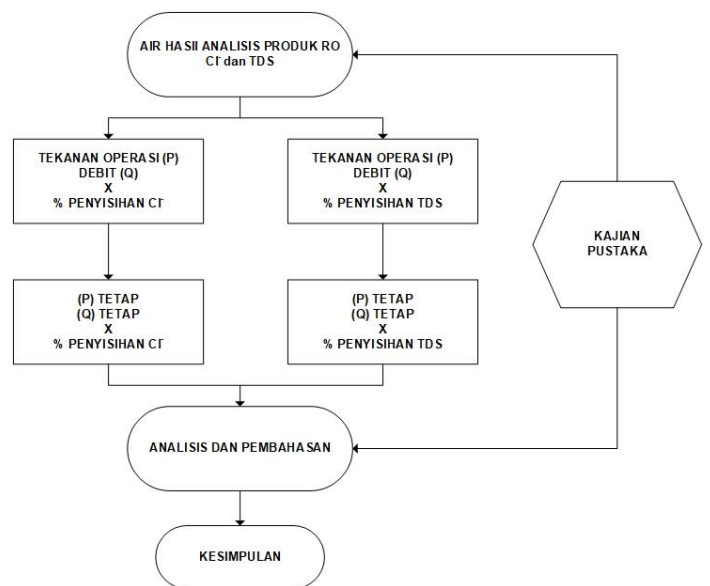
1. Analisis air baku bertujuan untuk mengetahui konsentrasi Cl⁻ dan TDS yang terdapat pada air payau yang diambil dari wilayah kepulauan di Sulawesi Selatan, tepatnya di Pulau Salemo.
2. Menentukan spesifikasi alat uji untuk penelitian yaitu 1 (satu) unit RO tipe *thin film composit sprial wound* dengan panjang modul 100 cm dan diameter *housing* 10 cm.
3. Alat uji di *running* selama 8 jam dengan air baku berupa air payau dengan melakukan variasi tekanan yaitu 3,5–5 bar dan debit yaitu 1.000–2.000 mL/menit, dengan perbandingan produk dan *reject* sebesar 40% banding 60%, dan *recovery rate* 40%.

4. Air produk dari alat uji dilakukan analisis laboratorium untuk parameter Cl⁻ dan TDS
5. Menghitung efisiensi nilai parameter hasil analisis laboratorium Cl⁻ dan TDS pada saat tekanan (P) tetap dan debit aliran (Q) berubah.
6. Melakukan analisis hasil terhadap nilai efisiensi pada tiap-tiap variasi berdasarkan rujukan literatur.

Secara detail tahapan penelitian proses pengolahan air payau dengan sistem *reverse osmosis* dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 1. Detail tahapan penelitian



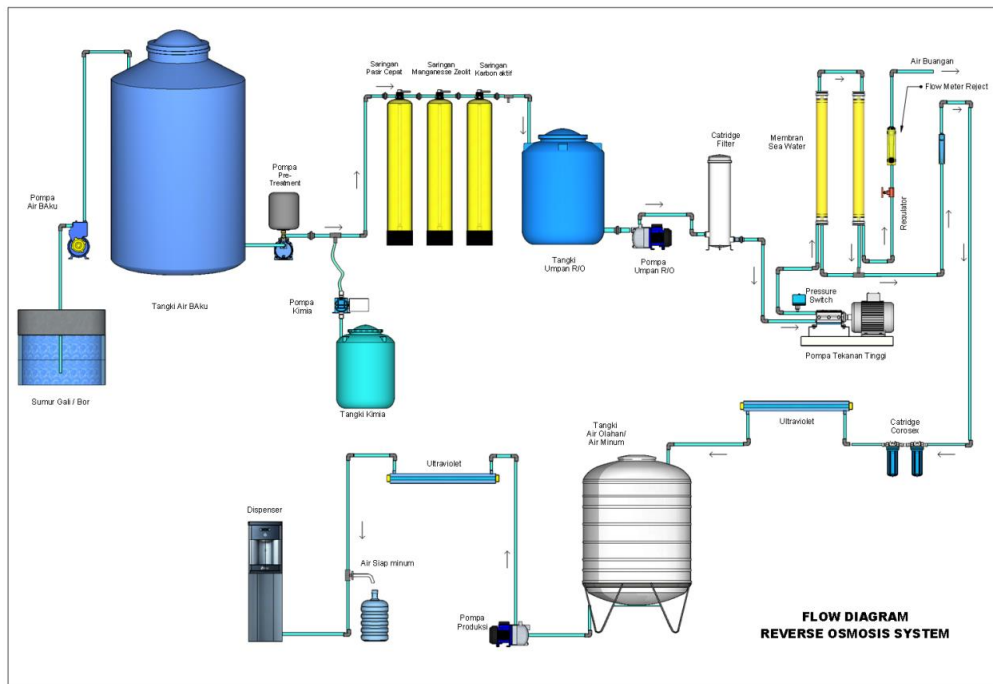
Gambar 2. Diagram alir metodologi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan membran RO tipe *thin film composit sprial wound* dengan panjang modul 100 cm dan diameter *housing* 10 cm. Adapun cara kerja sistem *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) adalah dengan melewati air payau ke pengolahan pendahuluan atau *pretreatment*, yang terdiri atas injeksi bahan kimia (kalium permanganat), multimedia filter, dan *cartridge filter*. Air hasil pengolahan pendahuluan kemudian dipompakan menuju membran SWRO. Pada proses ini, nantinya akan dilakukan variasi tekanan dan debit yang dilakukan dengan menggunakan

regulator flow. Dan proses terakhir adalah pengolahan lanjutan, yaitu air dari hasil olahan RO akan dilewatkan lampu Ultraviolet (UV) yang bertujuan untuk disinfeksi, sehingga air hasil olahan layak untuk dikonsumsi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram skema unit RO

untuk mengolah air payau yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan peralatan sistem SWRO yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram alir sistem SWRO



Gambar 4. Peralatan sistem SWRO yang digunakan dalam penelitian

2.3 Metode Pengujian

Metode pengujian klorida menggunakan metode argentometri sesuai dengan SNI 6989.19:2009. Prinsip metode ini menjelaskan bahwa dalam larutan netral atau sedikit basa, ion perak bereaksi secara kuantitatif dengan ion klorida. Titrasi diakhiri dengan pembentukan perak kromat yang berwarna merah hasil reaksi kelebihan ion perak dengan ion kromat.

Metode pengujian TDS dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan metode *direct reading* atau pembacaan langsung di tempat dengan menggunakan TDS meter. Dan yang kedua adalah dengan uji laboratorium, yang bertujuan untuk memverifikasi pembacaan TDS meter. Uji TDS di laboratorium menggunakan metode gravimetri berdasarkan SNI 06-6989.27: 2004. Prinsip pengujian dengan metode gravimetri adalah contoh uji yang telah homogen disaring dengan kertas saring, filtrat ditampung dalam cawan dan

dievaporasi pada suhu $180^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ serta ditimbang hingga didapat berat konstan. Kenaikan berat cawan sebanding dengan berat padatan terlarut total (TDS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Air Baku

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi atau kinerja membran RO terhadap kualitas air produk khususnya kadar Cl^- dan TDS pada pengolahan air payau pada pengaruh tekanan dan debit alirannya, maka hal pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan analisis terhadap air payau yang akan dijadikan sebagai air baku. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar cemaran yang terdapat di dalam air baku, dan sebagai data awal untuk menguji kinerja membran RO. Air baku yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sumur di wilayah Kepulauan

Salemo, Sulawesi Selatan. Hasil analisis air baku air payau tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik air baku air payau

Parameter	Satuan	Air baku
TDS	mg/L	4.200
Turbidity	NTU	4,3
Cl ⁻	mg/L	1.700

Sebelum masuk ke dalam membran RO, air baku akan diolah terlebih dahulu dengan menggunakan pengolahan awal atau *pretreatment*, yang terdiri atas pengolahan kimia dengan penambahan larutan KMnO₄. Fungsi pengolahan kimia ini adalah sebagai desinfeksi awal, serta untuk mengoksidasi kandungan besi yang terdapat pada air baku agar nantinya dapat tersaring di multimedia filter. Selain pengolahan kimia, pada *pretreatment* terdapat multimedia filter, yang terdiri atas saringan pasir, manganese zeolit, dan karbon aktif. Hasil dari pengolahan pendahuluan, air baku secara fisik terlihat jernih, tetapi kandungan salinitas masih tinggi, yang ditandai dengan air masih berasa sedikit asin. Tujuan dari *pretreatment* sendiri adalah mengurangi kandungan padatan tersuspensi atau padatan tidak terlarut, kekeruhan, serta polutan mikro lainnya, termasuk TDS, sehingga akan memperpanjang kinerja membran RO dan memperpanjang umur membran RO.

Berdasarkan hasil analisis, air hasil olahan *pretreatment* mengalami penurunan kadar TDS dan salinitasnya, meskipun tidak signifikan. Hal ini dikarenakan fungsi utama *pretreatment* bukan untuk menghilangkan TDS dan salinitas, tetapi seperti yang disebutkan sebelumnya tujuannya adalah untuk mengurangi padatan tersuspensi, dan kekeruhan agar tidak terbawa pada pengolahan membran, sehingga memperpanjang kinerja membran. Konsentrasi TDS air baku yang semula 4.200 mg/L turun menjadi 3.915 mg/L, atau hanya turun 6,78%, sedangkan untuk salinitas hanya turun 1,18%, yang semula 1.700 mg/L pada air baku turun menjadi 1.680 mg/L setelah melalui tahapan *pretreatment*. Selanjutnya air hasil olahan *pretreatment* akan diolah menggunakan membran RO tipe *thin film composite spiral wound*. Tekanan yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 3,5 hingga 5 bar, dan variasi debit berkisar antara 1,0–2,0 L/menit.

3.2 Pengaruh Tekanan Operasi dan Debit Aliran terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar Ion Klorida (Cl⁻)

Air hasil olahan *pretreatment* masih memiliki kandungan salinitas yang tinggi, ditandai dengan air tersebut masih berasa asin, meskipun kondisi air sudah lebih jernih dibandingkan dengan kondisi air baku. Salah satu teknologi untuk menghilangkan kadar salinitas adalah penyaringan atau filtrasi dengan menggunakan membran RO.

Dalam sistem RO, aliran masukan terbagi menjadi dua, yaitu aliran yang memiliki salinitas rendah disebut sebagai

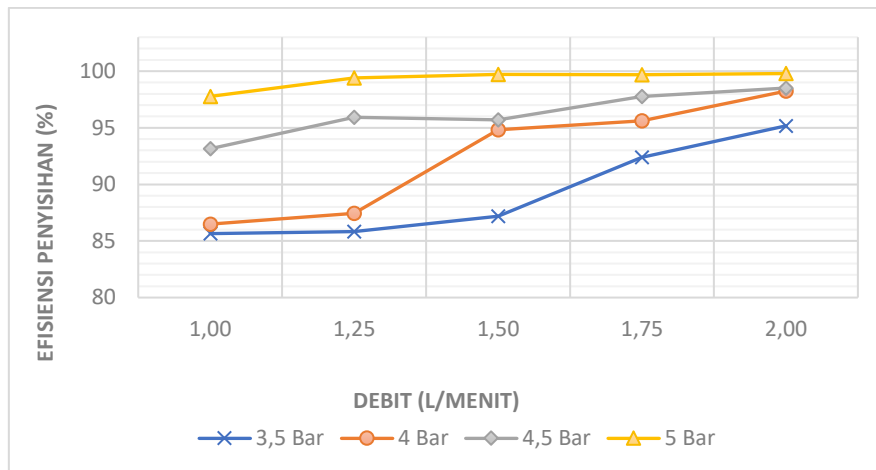
permeate atau produk air yang dihasilkan, sementara aliran yang memiliki salinitas tinggi disebut sebagai *concentrate*. Jika tekanan air payau lebih tinggi dari tekanan osmotik, partikel air dalam aliran bersalinitas tinggi akan terdorong ke arah aliran bersalinitas rendah (Ferdinand & Savitri, 2023). Hasil penelitian pengaruh tekanan operasi terhadap efisiensi penyisihan kadar Cl⁻ pada berbagai laju alir atau debit dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Efisiensi penyisihan kadar Cl⁻ pada berbagai laju alir dan tekanan

Q (L/mnt)	P (Bar)			
	3,5	4	4,5	5
	Penyisihan Cl ⁻ (%)			
1,00	85,65	86,49	93,15	97,77
1,25	85,83	87,44	95,93	99,40
1,50	87,20	94,83	95,71	99,71
1,75	92,38	95,61	97,77	99,70
2,00	95,17	98,24	98,51	99,79

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa penyisihan terbesar adalah 99,79% dan terjadi ketika debit 2,00 L/menit dengan menggunakan tekanan sebesar 5 bar. Pada kondisi tersebut, konsentrasi Cl⁻ sebelum melalui membran RO adalah sebesar 1.680 mg/L, dan setelah melewati membran konsentrasi Cl⁻ turun signifikan menjadi 3,46 mg/L. Efisiensi penyisihan salinitas terkecil adalah sebesar 85,65%, yaitu konsentrasi Cl⁻ turun menjadi 241 mg/L setelah melewati membran RO. Kondisi ini terjadi ketika penelitian menggunakan debit 1,00 L/menit dan tekanan 3,5 bar. Untuk dapat membandingkan seluruh kondisi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5, yaitu grafik penyisihan kadar Cl⁻ pada berbagai debit.

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa semakin tinggi debit dan tekanan yang digunakan dalam penelitian, maka efisiensi penyisihan kadar Cl⁻ akan semakin besar. Dan sebaliknya, semakin kecil debit dan tekanan, maka efisiensi penyisihannya pun akan semakin kecil. Tetapi perlu diingat, bahwa semakin besar tekanan yang digunakan, maka energi yang digunakan untuk menyisihkan kadar salinitas tersebut juga akan semakin besar. Pada saat tekanan operasi 4,5 bar, terdapat anomali data, dimana pada saat debit 1,52 L/menit efisiensi penyisihan Cl⁻ mengalami kenaikan yaitu 95,93%, tetapi pada saat debit 1,50 L/menit mengalami sedikit penurunan menjadi sebesar 95,71%. Hal ini disebabkan karena membran jenuh atau mengalami penyumbatan (*clogging*) sehingga mempengaruhi jumlah volume air produk dan menaikkan tekanan operasi. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka membran RO perlu dilakukan pencucian secara rutin.



Gambar 5. Efisiensi penyisihan kadar Cl⁻ pada berbagai laju alir dan tekanan operasi

Penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan operasi sangat mempengaruhi kinerja membran RO. Selain itu, tekanan osmotik juga mempengaruhi kualitas air hasil olahan. Hal ini dapat dilihat dari persentase penghilangan Cl⁻. Sebaliknya dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi laju alir atau debit yang masuk ke dalam membran RO maka akan semakin tinggi pula kadar Cl⁻ yang dapat dihilangkan pada air payau tersebut. Sebaliknya jika laju aliran atau debit yang masuk ke dalam membran semakin rendah maka kadar Cl⁻ yang dihilangkan juga semakin rendah.

3.3 Pengaruh Tekanan Operasi dan Debit Aliran terhadap Efisiensi Penyisihan Kadar TDS

Sama seperti penghilangan kadar salinitas, tekanan operasi dan laju aliran atau debit juga berpengaruh terhadap efisiensi penghilangan padatan terlarut (TDS). Konsentrasi TDS pada pengolahan *pretreatment* hanya mengalami penurunan sebesar 6,78% atau air baku yang semula 4.200 mg/L turun menjadi 3.915 mg/L. Hasil tersebut belum memenuhi standar air minum yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat, sehingga perlu dilanjutkan dengan pengolahan membran RO. Hasil penelitian tentang efisiensi penyisihan kadar TDS pada berbagai laju alir atau debit dan tekanan operasi dapat dilihat pada Tabel 3.

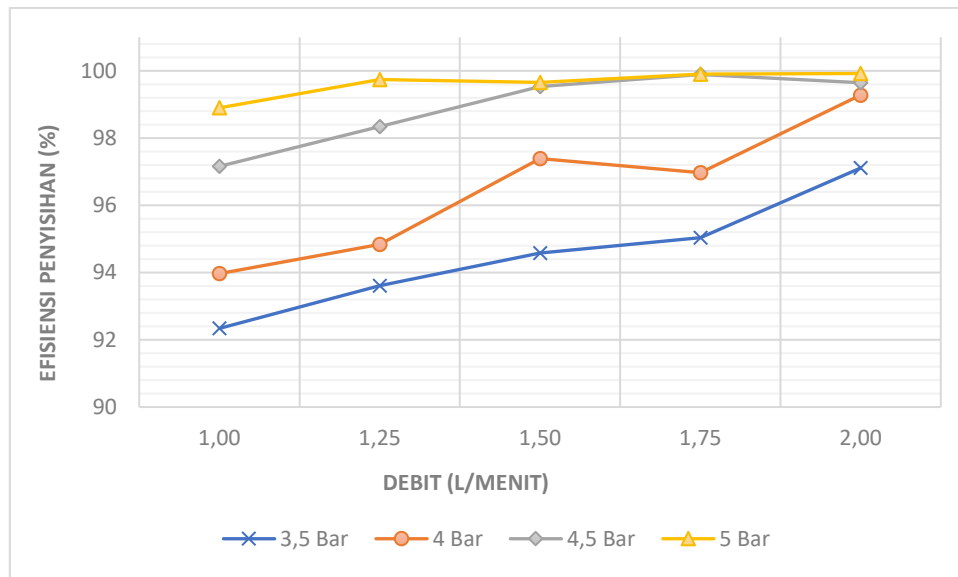
Tabel 3. Efisiensi penyisihan kadar padatan terlarut (TDS) pada berbagai laju alir dan tekanan

Q (L/mnt)	P (Bar)			
	3,5	4	4,5	5
	Penyisihan TDS (%)			
1,00	92,34	93,97	97,16	98,90
1,25	93,61	94,84	98,34	99,74
1,50	94,58	97,39	99,53	99,66
1,75	95,04	96,97	99,89	99,90
2,00	97,11	99,28	99,65	99,92

Berdasarkan data pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa efisiensi penyisihan padatan terlarut (TDS) di berbagai laju aliran atau debit dan tekanan relatif tinggi di atas 90%, yaitu diantara rentang 92% hingga 99%. Efisiensi penyisihan terendah yaitu 92,34% terjadi ketika debit 1,00 L/menit dan tekanan 3,5 bar. Pada kondisi tersebut, konsentrasi TDS awal adalah 3.915 mg/L dan setelah melewati membran menjadi 300 mg/L, sedangkan efisiensi penyisihan terbesar, yaitu 99,92% terjadi ketika menggunakan tekanan operasi 5 bar dan laju aliran atau debit 2,00 L/menit, mampu menurunkan konsentrasi TDS hingga 3,02 mg/L. Hasil tersebut menjadikan air hasil olahan membran RO sudah memenuhi baku mutu air minum, sehingga sudah aman untuk dijadikan sumber air minum masyarakat. Untuk lebih jelas perbandingan seluruh kondisi penelitian dapat dilihat pada Gambar 6, yaitu grafik efisiensi penyisihan TDS pada berbagai laju aliran atau debit dan tekanan.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6, dapat diketahui bahwa semakin tinggi tekanan operasi dan semakin besar laju aliran atau debit maka efisiensi penyisihan TDS akan semakin besar. Dengan tingginya tekanan operasi, maka volume air produk atau permeate akan lebih banyak, dan air buangan atau retentate yang mengandung kadar TDS tinggi akan semakin sedikit. Akan tetapi jika terus menerus membran RO dioperasikan pada tekanan operasi tinggi akan mengakibatkan usia membran lebih pendek dan menyebabkan membran RO akan lebih cepat buntu atau *clogging*.

Apabila membran RO dioperasikan dengan tekanan yang lebih rendah, umur membran akan semakin lama, namun volume *permeate* akan kecil dan akan semakin banyak air baku yang dibuang sebagai *retentate*. Permasalahan *fouling* atau *clogging* pada membran dapat diatasi dengan penjadwalan pencucian membran secara rutin, sehingga membran tidak cepat jenuh



Gambar 6. Efisiensi penyisihan kadar TDS pada berbagai laju alir dan tekanan operasi

4. KESIMPULAN

Efisiensi dalam mengurangi kadar Cl⁻ dan TDS pada air payau menggunakan membran *reverse osmosis* tipe *thin film composite spiral wound* dapat dicapai secara optimal dengan menerapkan tekanan yang tinggi. Membran tersebut mampu mengurangi kadar Cl⁻ dalam air payau hingga 99,79%, mengurangi kadar awal Cl⁻ dari 1.680 mg/L menjadi 3,46 mg/L. Sementara itu, penurunan kadar padatan terlarut (TDS) mencapai 99,92%, mengurangi kadar awal TDS dari 3.915 mg/L menjadi 3,02 mg/L. Efisiensi tertinggi dalam penurunan kadar TDS dan Cl⁻ terjadi pada tekanan 5 bar dengan laju alir 2,00 L/menit.

Peningkatan tekanan operasi akan meningkatkan efisiensi penyisihan konsentrasi Cl⁻. Tekanan yang lebih tinggi memungkinkan lebih banyak garam disaring melalui membran. Hal ini disebabkan karena kekuatan air umpan yang melewati membran begitu kuat sehingga garam pada permukaan membran dapat melewati membran bersama dengan makanan dan dikeluarkan karena retensi air atau erosi. Prinsip yang sama berlaku untuk penyisihan TDS; Semakin tinggi tekanan operasi yang diterapkan pada membran, semakin efektif membran tersebut menghilangkan kadar TDS di air payau. Prinsip yang sama berlaku untuk penghilangan TDS; Semakin tinggi tekanan operasi yang diterapkan pada membran, semakin efektif membran tersebut menghilangkan kadar TDS di air payau.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Disperkintan Provinsi Sulawesi Selatan atas dukungan penelitian ini melalui skema kerjasama antara BRIN dan Disperkintan Provinsi Sulawesi Selatan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada PRLTB BRIN atas kesempatan dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Islam, Mohammad & Sarkar, Mohammad Khairul & Afrin, Tanzina & Rahman, Shafkat Shamim & Talukder,

Rabiul & Howlader, Barun & Khaleque, Abdul. (2016). A Study on the Total Dissolved Solids and Hardness Level of Drinking Mineral Water in Bangladesh. *American Journal of Applied Chemistry*. 4. 164-169. [10.11648/j.ajac.20160405.11](https://doi.org/10.11648/j.ajac.20160405.11).

Baig, N., Usman, J., Abba, S. I., Benaafi, M., & Aljundi, I. H. (2023). Fractionation of dyes/salts using loose nanofiltration membranes: Insight from machine learning prediction. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138193. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138193>

Curto, D., Franzitta, V., & Guercio, A. (2021). A review of the water desalination technologies. *Applied Sciences*, 11(2), 670. <https://doi.org/10.3390/app11020670>

Eka, H. (2020). Removal Natrium (Na⁺), Klorida (Cl⁻) dan Kesadahan Air Payau Dengan Resin Penukar Ion, *Jurnal Teknik Waktu*, 18 (1), 7-14. <https://doi.org/10.36456/waktu.v18i1.2305>

Ferdinand, M. A., & Savitri, A. (2023). Upaya Pemenuhan Air Bersih Masyarakat Pulau Belakang Padang Melalui Sistem Sea Water Reverse Osmosis. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(2), 470-483. DOI: <http://dx.doi.org/10.31602/jk.v5i2.9094>

Herlambang, A. (2016). Aplikasi Sistem Penyediaan Air Bersih Berbasis Masyarakat di Pulau Pandangan, Kabupaten Pangkajene, Sulawesi Selatan. *Jurnal Air Indonesia*, 9(1), Hal.:29-36. DOI: <https://doi.org/10.29122/jai.v9i1.2473>

Kemenkes. (2021). Survei Kualitas Air Minum 2021. Jakarta: Kementerian Kesehatan.

Lakho, F. H., Le, H. Q., Mattheeuws, F., Igodt, W., Depuydt, V., Desloover, J., Rousseau, D. P. L., & Van Hulle, S. W. (2021). Decentralized grey and black water reuse by combining a vertical flow constructed wetland and membrane based potable water system: Full scale demonstration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104688.

- <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104688>
- Mairi, V. G. (2019). Makalah Salinitas Air Laut. Makalah Salinitas Air Laut.
- Musyarrofah, M., Irfai, M., & Khair, A. (2020). Penurunan Salinitas (Kadar Klorida) Artifisial Dengan Proses Pertukaran Ion (Ion Exchange). *Jurnal Kesehatan Lingkungan: Jurnal dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 17(2), 127-134. <https://doi.org/10.31964/jkl.v17i2.38>
- Ngibad, K., Herawati, D. (2019). Analisis Kadar Klorida Dalam Air Sumur dan PDAM di Desa Ngelom Sidoarjo. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v4i1.24526>
- Othman, N. H., Alias, N. H., Fuzil, N. S., Marpani, F., Shahrudin, M. Z., Chew, C. M., David Ng, K. M., et al. (2021). A Review on the Use of Membrane Technology Systems in Developing Countries. *Membranes*, 12(1), 30. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/membranes12010030>
- Pasaribu, R. P., Tanjung, A., Ramadhany, R. (2023). Pemodelan parameter salinitas menggunakan software mike-21 di perairan pangandaran Aurelia, *Journal* vol. 5 (1) april 2023: 55-66 <http://dx.doi.org/10.15578/aj.v5i1.11659>
- Pearson JL, Michael PR, Ghaffour N, Missimer TM. (2021). Economics and Energy Consumption of Brackish Water Reverse Osmosis Desalination: Innovations and Impacts of Feedwater Quality. *Membranes*, 11(8): 616. 1-21. <https://doi.org/10.3390/membranes11080616>
- Pulungan A. N., Sutiani A., Nasution H. I., Sihombing J. L., Herlinawati dan Syuhada F. A. (2021). Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) dalam Pengolahan Air Bersih di Desa Sukajadi. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Tabikpun*, 2(1). e-ISSN: 2745-7699; p-ISSN: 2746-7759
- Purwaningtyas, F. Y. (2020). Pengaruh Ukuran Zeolit Teraktivasi terhadap Salinitas Air Payau di Desa Kemudi dengan Metode Adsorpsi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. ISSN 1693-4393. <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kejuangan/article/view/3604/2724>
- Ruiz-Saavedra, E., Ruiz-García, A., & Ramos-Martín, A. (2014). A design method of the RO system in reverse osmosis brackish water desalination plants (calculations and simulations). *Desalination and Water Treatment*, 55(9), 2562–2572. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.939489>
- Shah M. P., & Rodriguez-Couto S., (2021). Membrane-Based Hybrid Processes for Wastewater Treatment, Elsevier, 2021, 367-383. ISBN 9780128238042. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823804-2.00023-9>.
- Xianhui Li, David Hasson, Raphael Semiat, Hilla Shemer. (2019). Intermediate concentrate demineralization techniques for enhanced brackish water reverse osmosis water recovery – A review. *Desalination*, 466, 24-35. ISSN 0011-9164, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.05.004>