

Efektivitas Membran *Reverse Osmosis* pada Pengolahan Limbah Cair di Industri Migas

Adinda Dhayu Anggraini¹, Heri Mulyanti²

^{1,2}Ilmu Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro, Indonesia

e-mail: ¹adindadhayu08@gmail.com, ²herimulyanti.unigoro@gmail.com

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of Reverse Osmosis (RO) membranes in reducing Total Dissolved Solids (TDS) in wastewater treatment in the oil and gas industry. High levels of TDS in industrial wastewater can affect equipment performance and does not meet water quality standards. The study used a descriptive quantitative approach with observation, interviews, literature studies, and company data analysis methods. The RO system implemented included pretreatment, chemical injection, high-pressure filtration, and storage of treated water. The results showed a significant decrease in TDS from 1,200 mg/L to 150 mg/L (efficiency 87.5%), turbidity from 3.2 NTU to 0.8 NTU (75%), and total hardness from 450 mg/L to 80 mg/L (82.2%), while pH was stable in the range of 6.8–7.1. These results prove that RO technology is capable of producing water with quality that meets the quality standards of the Minister of Health Regulation No. 492 of 2010. This study confirms the superiority of RO as an effective industrial water treatment method and recommends further research on operational costs, energy efficiency, and fouling control for long-term optimization.

Keywords : *Reverse Osmosis, Total Dissolved Solid, Water Quality, Oil and Gas Industry, Membrane Technology*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas membran *Reverse Osmosis* (RO) dalam menurunkan *Total Dissolved Solid* (TDS) pada pengolahan limbah cair di industri migas. Tingginya kadar TDS pada limbah cair industri dapat memengaruhi kinerja peralatan serta tidak memenuhi standar kualitas air. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif

deskriptif dengan metode observasi, wawancara, studi literatur, dan analisis data perusahaan. Sistem RO yang diterapkan meliputi *pretreatment*, injeksi bahan kimia, filtrasi bertekanan tinggi, dan penyimpanan air hasil olahan. Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan pada TDS dari 1.200 mg/L menjadi 150 mg/L (efisiensi 87,5%), kekeruhan dari 3,2 NTU menjadi 0,8 NTU (75%), dan total hardness dari 450 mg/L menjadi 80 mg/L (82,2%), sementara pH stabil di kisaran 6,8–7,1. Hasil ini membuktikan bahwa teknologi RO mampu menghasilkan air dengan kualitas sesuai baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010. Penelitian ini menegaskan keunggulan RO sebagai metode pengolahan air industri yang efektif, sekaligus merekomendasikan penelitian lanjutan terkait biaya operasional, efisiensi energi, dan pengendalian *fouling* untuk optimalisasi jangka panjang.

Kata Kunci: *Reverse Osmosis, Total Dissolved Solid, Kualitas Air, Industri Migas, Teknologi Membran*

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan mendasar dalam berbagai aktivitas industri, termasuk industri minyak dan gas bumi (migas). Dalam kegiatan operasional, air digunakan sebagai air proses, air utilitas, maupun air domestik (Widjaja & Rahardjo, 2013). Kualitas air yang buruk dapat menimbulkan masalah serius, terutama jika kandungan padatan terlarut (*Total Dissolved Solid*/TDS) melebihi ambang batas yang ditentukan. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010, kadar TDS yang diperbolehkan pada air minum maksimal 500 mg/L. TDS yang tinggi tidak hanya memengaruhi rasa dan bau, tetapi juga dapat menimbulkan dampak negatif pada peralatan

industri dan kesehatan manusia (WHO, 2017).

Salah satu teknologi yang banyak diterapkan untuk menurunkan TDS adalah *Reverse Osmosis* (RO). Teknologi ini bekerja dengan menggunakan membran *semi-permeabel* dan tekanan tinggi untuk memisahkan molekul air dari zat terlarut seperti garam, logam berat, dan senyawa organik (Elimelech *et al.*, 2023). Keunggulan RO terletak pada efisiensinya yang tinggi, sehingga mampu menghasilkan air dengan kualitas mendekati standar air murni (Wu *et al.*, 2022).

Sejumlah penelitian telah menunjukkan efektivitas RO dalam mengolah air dengan TDS tinggi. Aziz *et al.*, (2024) melaporkan bahwa sistem RO mampu menurunkan TDS hingga lebih dari 95% pada instalansi pengolahan air industri. Sementara itu, Wibowo *et al.*, (2021) membuktikan bahwa kinerja RO dipengaruhi oleh tekanan operasi, kondisi membran, dan kualitas air baku. Penelitian lain oleh Wulandari *et al.*, (2020) menekankan pentingnya tahap pra-pengolahan (*pretreatment*) untuk mencegah *fouling* pada membran dan menjaga efisiensi proses.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas membran RO dalam menurunkan kadar TDS pada limbah cair (air baku hasil proses industri migas). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kinerja RO dalam menghasilkan air bersih sesuai standar, sekaligus menjadi referensi dalam pengelolaan air limbah industri migas secara berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif untuk mengevaluasi efektivitas sistem RO dalam menurunkan kadar TDS pada limbah cair industri migas yang digunakan sebagai air baku pengolahan..

Analisis Permasalahan

Permasalahan utama pada pengolahan air di industri migas adalah tingginya kadar TDS pada limbah cair yang digunakan sebagai air baku proses. Nilai TDS yang melebihi baku mutu (maksimal 500 mg/L) menurut Permenkes No. 492 Tahun 2010 dapat menimbulkan dampak negati, baik pada peralatan industri (korosi dan *scaling*), maupun pada kualitas air yang tidak layak digunakan sebagai air bersih.

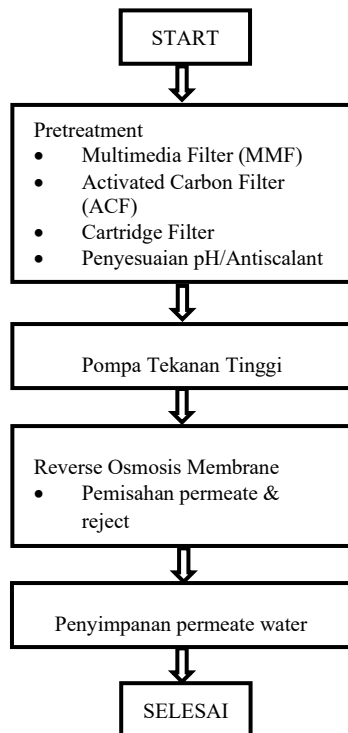
Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada penerapan teknologi membran RO sebagai solusi untuk menurunkan kadar TDS dan parameter kualitas air lainnya sehingga sesuai dengan standar.

Rancangan Metode

Proses pengolahan air limbah cair industri migas dengan sistem RO dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. *Pretreatment*: Air limbah terlebih dahulu disaring menggunakan *Multimedia Filter* (MMF), *Activated Carbon Filter* (ACF), dan *Cartridge Filter* untuk menurunkan kekeruhan, partikel halus, serta kandungan organik. Pada tahap ini juga dilakukan penambahan bahan kimia seperti antiscalant untuk mencegah pengendapan dan penyesuaian pH.
2. Injeksi bahan kimia: Dilakukan penambahan sodium metabisulfite untuk menghilangkan klorin, serta NaOH dan H₂SO₄ untuk menstabilkan pH sesuai kebutuhan proses.
3. *Reverse Osmosis*: Air yang telah melalui *pretreatment* dipompa dengan tekanan 100-154 psig ($\pm 6,9-10,6$ bar) melewati membran *semi-permeabel*. Proses ini memisahkan air menjadi *permeate* (air hasil olahan) dan *reject* (air buangan).
4. Penyimpanan air hasil olahan: *Permeate* ditampung pada tangki air bersih (*Permeate Water Tank*) untuk dimanfaatkan lebih lanjut, baik sebagai air domestik, air utilitas, maupun kebutuhan demineralisasi.

Alur proses pengolahan RO ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Alur proses pengolahan limbah cair industri migas menggunakan sistem RO

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh dari berbagai sumber, yaitu:

- Wawancara, dengan operator dan pembimbing lapangan terkait teknis operasional unit RO.
- Observasi, dengan mengamati secara langsung jalannya proses pengolahan air dan kegiatan rutin setiap *backwash* filter.
- Studi literatur, dari buku, jurnal serta peraturan mengenai standar kualitas air dan teknologi RO.
- Data perusahaan, berupa hasil uji laboratorium kualitas limbah cair industri migas sebelum (*inlet*) dan sesudah melalui unit RO (*outlet*).

Teknik Analisis Data

Analisis data kuantitatif dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas membran RO dengan menghitung efisiensi penurunan berbagai parameter kualitas air. Parameter kunci yang dianalisis meliputi TDS, pH, kekeruhan, dan

Efektivitas Membran Reverse Osmosis total hardness. Perhitungan efisiensi ini menggunakan **persamaan (1)** berikut:

$$\text{Efisiensi Penurunan (\%)} = \left(\frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}}{C_{\text{awal}}} \right) \times 100\%$$

Dengan keterangan:

- C awal = konsentrasi parameter pada *inlet* RO
- C akhir = konsentrasi parameter pada *outlet* RO

Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menilai sejauh mana sistem RO mampu menghasilkan air dengan kualitas yang sesuai standar kesehatan dan kebutuhan industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengujian kualitas limbah cair dilakukan pada *inlet* (sebelum) dan *outlet* (*permeate*) unit RO dengan parameter pH, kekeruhan, TDS dan total hardness. Ringkasan hasil pengujian ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Air pada *Inlet* dan *Outlet* RO

Parameter	Inlet (Air Baku)	Outlet (Permeate Water)	Efisiensi (%)	Baku Mutu
TDS (mg/L)	1200	150	87,5	<500
Kekeruhan (NTU)	3,2	0,8	75,0	<5
Total Hardness (mg/L)	450	80	82,2	<500
pH	6,8	7,1	-	6,5-8,5

Hasil pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa seluruh parameter mengalami penurunan signifikan setelah melalui proses RO. Nilai TDS berhasil diturunkan dari 1.200 mg/L menjadi 150 mg/L (efisiensi 87,5%), kekeruhan berkurang dari 3,2 NTU menjadi 0,8 NTU (75%), dan total hardness turun dari 450 mg/L menjadi 80 mg/L (82,2%). Sementara itu, nilai pH tetap stabil dalam rentang standar, yaitu dari 6,8 menjadi 7,1.

Pembahasan

Hasil penelitian membuktikan bahwa sistem RO mampu menurunkan kadar TDS sebesar 87,5%. Penurunan ini menunjukkan kinerja membran *semi-permeabel* yang optimal dalam menyaring mineral dan zat terlarut. Temuan ini konsisten dengan Aziz *et al.* (2024), yang melaporkan bahwa teknologi RO dapat menurunkan TDS hingga lebih dari 90% pada unit pengolahan air industri.

Selain itu, kekeruhan berhasil diturunkan sebesar 75%. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem *pretreatment* (*Multimedia Filter*, *Activated Carbon Filter*, dan *Cartridge Filter*) berfungsi dengan baik dalam mengurangi partikel tersuspensi. Temuan ini sejalan dengan Wulandari *et al.* (2020), yang menegaskan bahwa *pretreatment* yang optimal dapat mencegah *fouling* pada membran dan mempertahankan efisiensi RO.

Parameter total hardness juga mengalami penurunan signifikan, yaitu 82,2%. Hardness yang tinggi umumnya disebabkan oleh kandungan ion kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}), yang dapat membentuk kerak pada peralatan industri. Penurunan ini membuktikan efektivitas RO dalam memisahkan ion-ion penyebab hardness. Hal ini sejalan dengan Wu *et al.* (2022), menyebutkan bahwa membran RO mampu mengurangi kesadahan air hingga lebih dari 80%.

Sementara itu, nilai pH relatif stabil dalam kisaran 6,8-7,1. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem injeksi kimia (NaOH dan H_2SO_4) bekerja dengan baik untuk menjaga pH tetap sesuai standar mutu air bersih (6,5-8,5). Stabilitas pH ini penting karena air dengan pH ekstrem dapat merusak membran dan peralatan distribusi (Elimelech *et al.*, 2023).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem RO efektif dalam meningkatkan kualitas air sehingga memenuhi standar Permenkes No. 492 Tahun 2010. Penerapan teknologi ini di industri migas tidak hanya menjamin ketersediaan air bersih untuk kebutuhan domestik dan utilitas, tetapi juga mendukung keberlanjutan operasional industri.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem RO pada industri migas efektif dalam menurunkan kandungan TDS, kekeruhan, dan total hardness pada limbah cair industri migas. Hasil pengujian membuktikan bahwa kadar TDS berhasil diturunkan sebesar

87,5%, kekeruhan menurun sebesar 75%, dan total hardness turun sebesar 82,2%, sehingga seluruh parameter memenuhi standar baku mutu air bersih menurut Permenkes No. 492 Tahun 2010. Selain itu, nilai pH tetap stabil dalam rentang 6,8-7,1 yang sesuai dengan standar kesehatan. Keberhasilan sistem RO ini didukung oleh tahapan *pretreatment*, injeksi bahan kimia, dan proses membran yang berjalan efektif. Kelebihan penelitian ini adalah tersedianya data empiris dari uji lapangan yang menggambarkan kinerja nyata unit RO di industri migas, sementara keterbatasannya adalah penelitian masih terbatas pada parameter dasar kualitas air dan belum mencakup analisis biaya operasional maupun potensi *fouling* membran secara jangka panjang.

Sebagai saran, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan analisis efisiensi energi dan biaya operasional sistem RO, serta kajian mendalam mengenai perawatan membran dan pengaruh *fouling* terhadap kinerja jangka panjang. Selain itu, pengembangan penelitian dapat diarahkan pada perbandingan efektivitas RO dengan metode pengolahan air lain, sehingga diperoleh alternatif teknologi yang paling sesuai untuk kebutuhan industri migas di masa depan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada industri migas yang telah memberikan kesempatan, dukungan, dan data penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Ilmu Lingkungan yang telah mendukung secara akademik dalam proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A., Pratama, R., & Kurniawan, H. (2024). Performance evaluation of reverse osmosis membrane in industrial water treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104527. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104527>
- Elimelech, M., Phillip, W. A., & Werber, J. R. (2023). The future of reverse osmosis membranes: Opportunities and challenges. *Desalination*, 553, 116548. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116548>
- Kumar, R., Singh, P., & Sharma, V. (2021). Reverse osmosis for industrial wastewater

- treatment: Current status and future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126156>.
- Li, J., Chen, X., & Zhao, Y. (2020). Total dissolved solids and their impact on industrial water use efficiency. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100923. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100923>
- Rahman, A., & Setiawan, D. (2022). Application of reverse osmosis technology in oil and gas industry wastewater management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 967, 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/967/1/012025>
- Widjaja, E. A., & Rahardjo, A. T. (2013). *Pengelolaan air di industri*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Wibowo, S., Hidayat, A., & Firmansyah, R. (2021). Optimization of operating pressure in reverse osmosis system for industrial water treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(12), 3635–3646. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02976-4>
- World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the first addendum). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Wu, C., Li, X., & Zhang, Y. (2022). Effectiveness of reverse osmosis membrane for hardness removal in groundwater treatment. *Journal of Membrane Science*, 658, 120735. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120735>
- Wulandari, D., Santoso, H., & Kurniasih, T. (2020). Pretreatment optimization to reduce fouling in reverse osmosis system. *Environmental Engineering Research*, 25(5), 651–660. <https://doi.org/10.4491/eer.2019.387>.

Adinda Dhayu Anggraini, Heri Mulyanti

Submitted: **02/08/2025**; Revised: **11/09/2025**; Accepted: **02/10/2025**; Published: **31/10/2025**