

Komparasi Kinerja Membran Ultrafiltrasi *Polyvinylidene Fluoride* dan *Polivinyl Chloride* Pada Air Sungai Jagir dalam Menurunkan TDS

Shafa'ul Mufidah, Restu Hikmah Ayu Murti

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 21034010145@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 30 September 2025

Disetujui: 12 Oktober 2025

Abstract

This study aimed to evaluate the performance of PVDF and PVC ultrafiltration membranes coated with Al_2O_3 in removing total dissolved solids (TDS) from Sungai Jagir river water after a pre-treatment adsorption using Granular Activated Carbon (GAC). The adsorption process was conducted for 10 minutes before the water was filtered through the membranes under various operating pressures (1, 1.5, and 2 bar) and operation times (0.1–0.5 h). The results showed that both membranes exhibited an increase in TDS rejection efficiency with longer operation time, while pressure had a limited effect. The PVDF membrane demonstrated consistently higher TDS rejection compared to PVC, suggesting that membrane surface properties influence solute removal efficiency. Statistical analysis using three-way ANOVA revealed that operation time had a significant effect on TDS rejection, whereas pressure did not show a notable impact. These findings indicate that contact duration between water and membrane plays a crucial role in reducing TDS in river water through ultrafiltration.

Keywords: *pvd, pvc, al₂o₃, membrane ultrafiltration, tds*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja membran ultrafiltrasi berbahan PVDF dan PVC yang dilapisi Al_2O_3 dalam menyisihkan kandungan Total Dissolved Solids (TDS) pada air Sungai Jagir setelah dilakukan pre-treatment adsorpsi menggunakan Granular Activated Carbon (GAC). Proses adsorpsi dilakukan selama 10 menit sebelum air dialirkan ke sistem membran dengan variasi tekanan operasi (1, 1,5, dan 2 bar) serta waktu operasi (0,1–0,5 jam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum kedua jenis membran mengalami peningkatan efisiensi rejeksi TDS seiring dengan bertambahnya waktu operasi, namun peningkatan tekanan hanya memberikan pengaruh yang terbatas. Nilai efisiensi rejeksi TDS pada membran PVDF cenderung lebih tinggi dibandingkan membran PVC, yang mengindikasikan perbedaan karakteristik permukaan membran memengaruhi kemampuan penyisihan zat terlarut. Analisis statistik menggunakan uji Three Way ANOVA menunjukkan bahwa waktu operasi memberikan pengaruh signifikan terhadap rejeksi TDS, sedangkan tekanan tidak menunjukkan pengaruh nyata. Temuan ini mengindikasikan bahwa durasi kontak antara air dan membran menjadi faktor dominan dalam proses penurunan TDS pada air sungai menggunakan teknologi ultrafiltrasi.

Kata Kunci: *pvd, pvc, membran ultrafiltrasi, tds, al₂o₃*

1. Pendahuluan

Air sungai harus memiliki kualitas yang baik agar dapat dikonsumsi dan digunakan dengan aman, Namun, kualitas air terutama air sungai ini seringkali tidak memenuhi standar air bersih maupun air minum akibat tingginya kekeruhan, bahan organik, mikroorganisme dan kontaminan logam berat [1]. *Total Dissolve Solid* (TDS) atau padatan terlarut merupakan suatu ukuran kandungan kombinasi dari semua zat zat anorganik dan organik yang terlarut di dalam air termasuk kalsium, magnesium, natrium, klorida dan sulfat [2]. Konsentrasi TDS yang tinggi dapat disebabkan oleh limpasan permukaan, aktivitas industri, penggunaan pupuk pertanian, dan lain lain. Batas baku mutu standar TDS sebesar < 300 mg/L yang layak untuk dikonsumsi menjadi air minum [3]. Air sungai memiliki kandungan seperti *Total Dissolved Solid* (TDS) yang tinggi terutama pada air sungai Jagir, Wonokromo.

Berdasarkan hasil pengujian [4] bahwa nilai TDS didapatkan sebesar 1081 mg/L yang nilai ini melebihi baku mutu air minum yang sesuai dengan Permenkes 2 No. 23 Tahun 2023 sebesar <300 mg/L. Tingkat kekeruhan dan TDS yang tinggi ini dapat mengganggu proses desinfeksi seperti klorin dan dapat menjadi media tumbuh mikroba yang dapat membahayakan kesehatan apabila air dikonsumsi [5].

Kandungan TDS dan kekeruhan ini menyebabkan perubahan fisik pada air dan menyebabkan gangguan kesehatan pada kesehatan manusia jika air dikonsumsi dalam jangka panjang [6]. Salah satu teknologi yang efisien dalam penyisihan logam berat adalah penggunaan *Membrane Ultrafiltration* dengan *pre-treatment* adsorpsi. Menurut [7], *Membrane Ultrafiltration* adalah teknik proses pemisahan yang memanfaatkan membran *semi-permeabel* tipis yang menyisihkan padatan dan komponen terlarut dalam air dari aliran dikarenakan adanya gradien tekanan [8].

Teknologi membran ini dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang ada di dalam air tanpa menggunakan bahan kimia dalam pengolahannya [9]. *Polivinylidene floride* (PVDF) dan *polyvinyl chloride* (PVC) ini bersifat hidrofobik, memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, serta ketahanan kimia yang baik [10]. Penggunaan bahan anorganik pada penelitian ini menggunakan bahan Al_2O_3 yang dimana bahan ini dapat meningkatkan sifat hidrofilik membran serta meningkatkan kemampuan adsorpsi logam berat [11].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium (*laboratory scale experimental study*) dengan desain faktorial karena melibatkan tiga variabel bebas (jenis membran PVDF dan PVC, variasi tekanan, dan waktu operasi) serta rejeksi TDS. Penelitian ini menggunakan tiga tahapan proses yaitu:

1. Proses *Pre-treatment* Adsorpsi

Air Sungai Jagir dialirkan melalui kolom berisi *Granular Activated Carbon* (GAC) sebanyak 400 gr dengan ukuran 8x30 selama 10 menit waktu detensi untuk menurunkan kandungan awal kontaminan. Setelah dilakukan proses *pre-treatment* dilakukan pengujian TDS menggunakan TDS meter.

2. Proses Ultrafiltrasi membran PVDF dan PVC

Air hasil *pre-treatment* dialirkan ke dua modul membran *hollow fiber* berbahan PVDF dan PVC yang sebelumnya telah dilapisi Al_2O_3 menggunakan teknik *dip-coating* selama 10 detik lalu dilakukan pengeringan selama 24 jam. Selanjutnya proses operasi ultrafiltrasi membran dilakukan dengan variasi tekanan (1; 1,5; 2 bar) dan waktu operasi (0,1; 0,2; 0,3 ; 0,4; 0,5 jam).

3. Uji hasil kandungan TDS

Setelah dilakukan sampling pada variasi operasi waktu, hasil air baku setelah proses dilakukan uji TDS menggunakan TDS Meter. Perhitungan rejeksi TDS menggunakan rumus,

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100\%$$

Dimana,

R = Konsentrasi rejeksi (%)

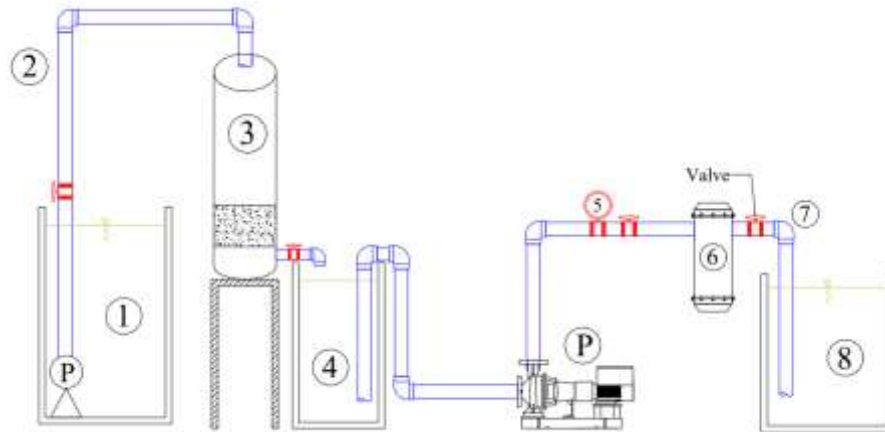
C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan (*feed*)

Data hasil dianalisis menggunakan uji *Three-way* ANOVA untuk menilai pengaruh tekanan, waktu, dan jenis membran terhadap setiap hasil rejeksi TDS.

Desain Reaktor

Reaktor yang digunakan terdiri dari unit adsorpsi dan unit membran ultrafiltrasi. Bak penampung dialirkan menuju kolom bak adsorpsi menggunakan pompa *submersible*. Setelah air melewati bak adsorpsi yang terdiri dari karbon aktif sebanyak 400 gram selama 10 menit selanjutnya air yang telah melalui proses adsorpsi ditampung pada bak penampung hasil adsorpsi dan dilakukan uji hasil air sampel pasca proses adsorpsi. Kemudian air dipompa menggunakan pompa *sentrifugal* menuju tabung membran ultrafiltrasi PVDF dan dilakukan variasi tekanan pada air yang masuk kedalam membran melalui valve yang ditunjukkan pada *preassure gauge* serta dilakukan variasi waktu proses ultrafiltrasi. Pada bak hasil/permeat dilakukan uji sampel TDS. Metode ultrafiltrasi yang digunakan dalam membran ultrafiltrasi ini yaitu sistem *dead end flow*. Berikut ini **Gambar 1** merupakan desain reaktor :



Gambar 1 Desain Reaktor *Pre-treatment* Adsorpsi dan Membran Ultrafiltrasi

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji Karakteristik Air Sungai Jagir

Sampel air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air sungai Jagir, Wonokromo. Air sampel yang digunakan memiliki ciri fisik air yang keruh dan sedikit berbau. Pada penelitian ini mengidentifikasi kandungan TDS yang terdapat pada air sampel maka dilakukan uji awal air sampel untuk mengetahui baku mutu yang terkandung. Standar baku mutu yang digunakan berpacu pada Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Analisa awal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi kualitas air sungai sebelum dilakukan perlakuan, serta menjadi dasar pembandingan dalam menilai efektivitas proses *pre-treatment* adsorpsi dan ultrafiltrasi membran terhadap parameter utama yang diuji *Total Dissolved Solids* (TDS). Pengujian awal pada air Sungai Jagir, Wonokromo dilakukan pada Selasa, 24 Juni 2025 pada pada pintu air Sungai Jagir, Wonokromo dengan titik koordinat -7.300419, 112.741162. Data karakteristik awal air sungai ditampilkan pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Awal Pengujian Sampel Air

Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu
TDS	mg/L	320	<300

Hasil analisa awal terhadap air Sungai Jagir menunjukkan parameter *Total Dissolved Solid* (TDS) berada pada konsentrasi 320 mg/l. Nilai ini tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Permenkes Nomor 2 Tahun 2023. Kondisi ini menandakan bahwa kandungan zat terlarut anorganik dalam air sungai relatif tinggi, sehingga kandungan mineral, garam, dan bahan organik lainnya dalam air tersebut terlalu tinggi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan sekitar sungai seperti aktivitas industri yang membuang limbah ke air sungai [12].

Hasil *Pre-Treatment* Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif

Setelah dilakukan pengujian karakteristik awal air Sungai Jagir, selanjutnya dilakukan *pre-treatment* adsorpsi. Proses *pre-treatment* ini bertujuan untuk menurunkan kandungan zat terlarut, partikel penyebab kekeruhan, serta sebagian bahan organik sebelum air baku dilanjutkan ke tahap membran ultrafiltrasi.

Tabel 2. Hasil *Pre-treatment* Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif

Parameter	Adsorben	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	%Removal
TDS (mg/L)	Karbon Aktif Granular	320 mg/L	292 mg/L	8,75

Hasil pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa *pre-treatment* adsorpsi menggunakan karbon aktif memberikan pengaruh yang terhadap kualitas air sungai sebelum memasuki tahap membran ultrafiltrasi. Proses adsorpsi dengan karbon aktif menurunkan nilai TDS awal pada air Sungai Jagir, yang pada konsentrasi awal sebesar 320 mg/l setelah dilakukan proses *pre-treatment* adsorpsi konsentrasi TDS menjadi 292 mg/l dengan % removal sebesar 8,75%. Jika dibandingkan dengan air sampel tanpa *pre-treatment*, kualitas air setelah adsorpsi mengalami penurunan bahan pencemar yang cukup baik. Air hasil

adsorpsi memperlihatkan beban pencemar awal yang lebih rendah, sehingga proses ultrafiltrasi oleh membran menjadi lebih optimal dengan risiko *fouling* yang berkurang.

Hasil Efisiensi Rejeksi TDS Pada Membran PVDF dan PVC

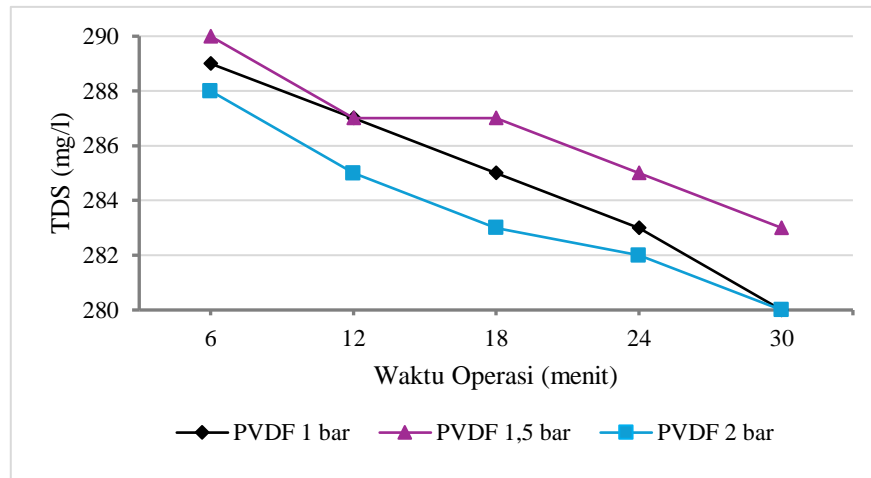
Parameter TDS dapat mendeskripsikan kandungan zat terlarut anorganik maupun organik dalam air yang dapat memengaruhi kualitas kimia dan rasa air [13]. Walaupun ukuran pori membran ultrafiltrasi relatif besar dibandingkan ukuran ion penyusun TDS, sebagian kandungan TDS tetap dapat berkurang akibat tertahannya molekul organik berukuran lebih besar. Dalam penelitian ini, kinerja membran PVDF dan PVC dibandingkan pada beberapa variasi tekanan dan waktu operasi untuk melihat sejauh mana kedua material mampu menurunkan konsentrasi TDS. Efisiensi rejeksi dihitung dengan membandingkan konsentrasi TDS pada air umpan dan air permeat, sehingga nilai rejeksi yang lebih tinggi menunjukkan performa membran yang lebih baik. Hasil perhitungan efisiensi rejeksi TDS oleh membran PVDF dan PVC disajikan dalam data **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Hasil Koefisien Rejeksi TDS Pada Membran PVDF dan PVC

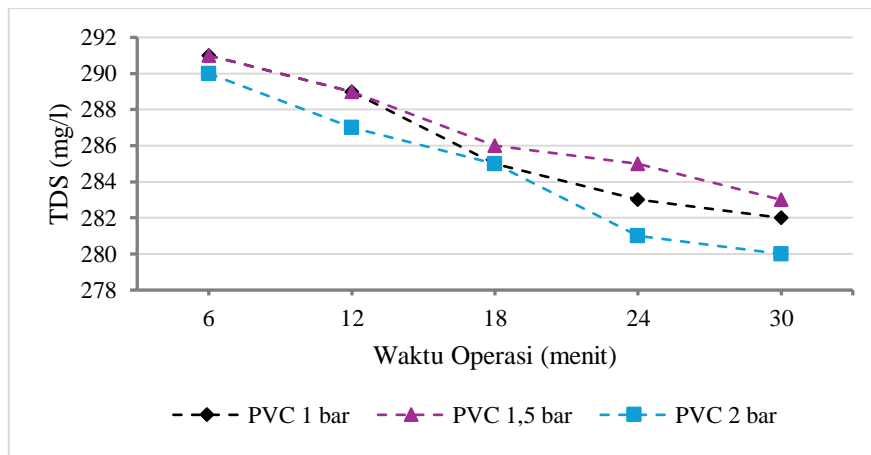
Membran	Tekanan (bar)	Waktu Operasi (menit)	TDS (mg/l)		Koefisien Rejeksi (%)
			Awal	Akhir	
PVDF	1	6	292	289	1,03
		12		287	1,71
		18		285	2,40
		24		283	3,08
		30		280	4,11
	1.5	6		290	0,68
		12		287	1,71
		18		287	1,71
		24		285	2,40
		30		283	3,08
	2	6		288	1,37
		12		285	2,40
		18		283	3,08
		24		282	3,42
		30		280	4,11
PVC	1	6	291	0,34	
		12	289	1,03	
		18	285	2,40	
		24	283	3,08	
		30	282	3,42	
	1.5	6	291	0,34	
		12	289	1,03	
		18	286	2,05	
		24	285	2,40	
		30	283	3,08	
	2	6	290	0,68	
		12	287	1,71	
		18	285	2,40	
		24	281	3,77	
		30	280	4,11	

Tabel 3 ini menampilkan pengaruh variasi tekanan operasi (1; 1,5; dan 2 bar) serta waktu operasi (6 hingga 30 menit) terhadap perubahan nilai TDS. Setiap kombinasi tekanan dan waktu memperlihatkan perbandingan antara konsentrasi TDS awal (292 mg/L) dan konsentrasi TDS akhir setelah proses filtrasi,

yang kemudian digunakan untuk menghitung koefisien rejeksi TDS dalam persen. Semakin tinggi nilai koefisien rejeksi, menunjukkan semakin efektif membran dalam menyisihkan kandungan TDS dari air sungai. Hasil tabel disajikan dalam bentuk grafik di **Gambar 2-3**.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Tekanan dan Waktu Operasi Terhadap Rejeksi TDS (PVDF)



Gambar 3. Pengaruh Variasi Tekanan dan Waktu Operasi Terhadap Rejeksi TDS (PVC)

Hasil penelitian pada **Gambar 2** yang merupakan kemampuan penyisihan TDS pada membran PVDF. Rata-rata nilai konsentrasi TDS menurun dengan variasi waktu operasi yang semakin lama pada tekanan 1 bar maupun 2 bar. Pada tekanan 1 bar, penurunan TDS stabil dari sekitar 289 mg/L pada menit ke-6 dan menjadi 280 mg/l pada menit ke-30. Namun pada tekanan 1,5 bar terdapat adanya kestabilan nilai TDS di menit ke-12 dan menit ke-18 yang bernilai 287 mg/L. Sedangkan pada grafik hasil penelitian Gambar 2. yang merupakan kemampuan penyisihan TDS pada membran PVC. Sama seperti membran PVDF, konsentrasi TDS cenderung menurun dengan bertambahnya waktu operasi. Namun, penurunan TDS pada membran PVC terlihat lebih lambat dibandingkan dengan membran PVDF, terutama pada tekanan rendah. Pada tekanan 2 bar memberikan kinerja terbaik dengan penurunan TDS yang lebih konsisten dibandingkan tekanan 1 bar dan 1,5 bar. Pada tekanan 1 dan 1,5 bar, nilai TDS turun dari sekitar 291 mg/L menjadi 283 mg/L hingga menit ke-30, sedangkan pada tekanan 2 bar, nilai TDS dapat mencapai 280 mg/L.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat rejeksi *Total Dissolved Solids* (TDS) oleh membran ultrafiltrasi berbahan PVDF dan PVC relatif rendah, dengan pola yang tidak terlalu dipengaruhi oleh variasi tekanan, namun mengalami kecenderungan perubahan seiring dengan lamanya waktu operasi. Hal ini dapat dijelaskan dari sifat dasar membran ultrafiltrasi itu sendiri yang memiliki ukuran pori berkisar antara 0,01–0,1 μm , sedangkan partikel penyusun TDS berupa ion-ion terlarut seperti kalsium, magnesium, natrium, dan klorida memiliki ukuran jauh lebih kecil (umumnya $<1\text{ nm}$ atau $<0,001\ \mu\text{m}$). Dengan demikian, secara prinsip mekanisme utama membran ultrafiltrasi lebih bersifat mekanis (*sieving*) sehingga tidak efektif dalam menahan molekul atau ion berukuran sangat kecil. Perbedaan ukuran pori yang jauh lebih besar daripada ukuran partikel terlarut menyebabkan sebagian besar ion dapat melewati membran sehingga tingkat rejeksi TDS tidak terlalu tinggi.

Meskipun demikian, terdapat penurunan TDS yang tetap diamati selama proses filtrasi, khususnya pada waktu operasi yang lebih lama. Pada membran PVDF dengan lama waktu operasi 0,5 jam didapatkan rata-rata rejeksi TDS sebesar 3,77%, sedangkan pada membran PVC didapatkan rata-rata rejeksi TDS sebesar 3,5%. Mekanisme penurunan TDS ini umumnya bukan akibat penyaringan langsung berdasarkan ukuran, melainkan terjadi secara tidak langsung melalui terbentuknya lapisan *fouling* pada permukaan membran. Seiring waktu, pengoperasian membran menyebabkan penumpukan partikel tersuspensi, bahan organik, dan mikroorganisme yang menempel membentuk lapisan *cake (cake layer)* atau *fouling*. Lapisan *fouling* ini memperkecil ukuran pori efektif dan menambah tahanan terhadap aliran, sehingga dapat meningkatkan kemampuan membran menahan molekul-molekul kecil termasuk sebagian fraksi TDS [14]. Selain itu, peningkatan tekanan operasi awalnya dapat meningkatkan laju alir air (*fluks*), namun pada saat tekanan terlalu tinggi justru mempercepat penekanan partikel ke permukaan membran yang memicu *fouling*, sehingga efek penurunan TDS akibat tekanan menjadi tidak konsisten atau bahkan menurun karena penurunan permeabilitas membran.

Hal ini menunjukkan bahwa membran PVC membutuhkan tekanan lebih tinggi agar mampu menyamakan performa PVDF dalam menurunkan TDS. Jika dibandingkan antara kedua membran, PVDF memiliki performa yang lebih konsisten dalam menyisihkan TDS pada semua variasi tekanan. Penurunan TDS pada PVDF relatif stabil tanpa peningkatan yang signifikan, sedangkan PVC lebih menunjukkan penurunan lebih lambat, khususnya pada tekanan rendah. Pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan menggunakan membran ultrafiltrasi dengan pre-treatment adsorpsi didapatkan penyisihan nilai TDS hingga 82,19% dengan nilai TDS awal sebesar 580 mg/L dan setelah dilakukan proses membran ultrafiltrasi sebesar 52 mg/L [15].

Berdasarkan hasil uji statistik *Three-way ANOVA*, diketahui bahwa waktu operasi merupakan satu-satunya faktor yang berpengaruh signifikan terhadap nilai rejeksi TDS, sedangkan variasi tekanan dan jenis membran tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Hal ini memperkuat bahwa mekanisme penurunan TDS pada membran ultrafiltrasi bukan berasal dari kemampuan pori membran, melainkan dari penumpukan *fouling* yang terjadi seiring waktu. Semakin lama membran dioperasikan, semakin tebal lapisan *fouling* yang terbentuk, sehingga semakin banyak pula ion-ion terlarut yang ikut terperangkap atau tertahan secara fisik karena interaksi pada lapisan *fouling* tersebut. Sementara itu, variasi tekanan tidak signifikan karena peningkatan tekanan hanya meningkatkan gaya dorong air tanpa memperbesar kemampuan membran menahan ion, sehingga efeknya terhadap rejeksi TDS tidak terlalu besar.

Hal ini menjelaskan secara statistik hanya waktu yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap penurunan kadar TDS dan menunjukkan bahwa membran PVC membutuhkan tekanan lebih tinggi agar mampu menyamakan performa PVDF dalam menurunkan TDS. Jika dibandingkan antara kedua membran, PVDF memiliki performa yang lebih konsisten dalam menyisihkan TDS pada semua variasi tekanan. Penurunan TDS pada PVDF relatif stabil tanpa peningkatan yang signifikan, sedangkan PVC lebih menunjukkan penurunan lebih lambat, khususnya pada tekanan rendah.

4. Kesimpulan

Pada parameter kualitas air, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua membran efektif menurunkan kadar kekeruhan dan *Total Dissolved Solids (TDS)*, namun membran PVDF menunjukkan efisiensi rejeksi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan PVC. Rejeksi TDS pada membran PVDF dan PVC sebesar 2,42% dan 2,12%. Mekanisme penyisihan terjadi secara dominan melalui proses penyaringan (*sieving*) karena ukuran pori membran ultrafiltrasi (0,01–0,1 μm) lebih kecil daripada partikel penyebab kekeruhan dan sel bakteri, serta melalui proses penumpukan *fouling* yang memperkecil ukuran pori efektif sehingga turut menahan sebagian TDS. Lapisan Al_2O_3 pada permukaan membran juga berperan dalam memperlambat *fouling*, sehingga efisiensi rejeksi dapat dipertahankan lebih baik terutama pada membran PVDF.

5. Referensi

- [1] Yustani Leluno, Kembarawati, and Basuki, "Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA Km 14 Kota Palangka Raya," *Journal of Environment and Management*, vol. 1, no. 1, pp. 75–82, 2020, doi: 10.37304/jem.v1i1.1208.
- [2] M. Faysal *et al.*, "Assessment of pH and total dissolved substances (TDS) in the commercially available bottled drinking water," *IOSR Journal of Nursing and Health Science*, vol. 6, no. 5, pp. 35–40, 2017, doi: 10.9790/1959-0605093540.
- [3] Kementerian Kesehatan, "Permenkes No. 2 Tahun 2023," *Kemenkes Republik Indonesia*, no. 55, pp. 1–175, 2023.

- [4] Setyo Purwoto, "Peningkatan Mutu Air Sungai Surabaya Berbasis Treatment Koagulasi, Absorpsi, dan Ion Exchange," *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, vol. 21, no. 02, pp. 15–22, 2023, doi: 10.36456/waktu.v21i02.7138.
- [5] N. Marlina, Hudori, and R. Hafidh, "Pengaruh kekerasan saluran air dan Suhu air Sungai Winongo menggunakan Software Qual2kw," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, vol. 9, no. 2, pp. 122–133, 2017.
- [6] H. Tanjungsari, Sudarno, and P. Andarani, "Pengaruh Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terhadap Kualitas Air Sumur Ditinjau Dari Konsentrasi Tds, Klorida, Nitrat, Cod, Dan Total Coliform (Studi Kasus : Rt 01, Rw 02, Pemukiman Tunjungsari, Kelurahan Tembalang)," *Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, 2016, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11270/05.2> BAB 2.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- [7] R. R. Karri, J. N. Sahu, and V. Chimmiri, "Critical review of abatement of ammonia from wastewater," *J Mol Liq*, vol. 261, no. 2017, pp. 21–31, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.03.120.
- [8] Wenten, I. Gede. "Teknologi membran: Prospek dan tantangannya di Indonesia." *Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung* 26 (2016).
- [9] M. Hidayah, "Pengolahan Air Limbah Menjadi Air Minum Dengan Menghilangkan Amonium Dan Bakteri E-Coli Melalui Membran Nanofiltrasi," *Walisongo Journal of Chemistry*, vol. 1, no. 1, p. 6, 2018, doi: 10.21580/wjc.v2i1.2668.
- [10] R. B. Fitradi, "Preparasi dan Modifikasi Membran untuk Pengolahan Air," *Chemical Product*, no. December, pp. 1–15, 2015.
- [11] R. Zhang *et al.*, "Synthesis and characterization of a spun membrane with modified Al₂O₃," *Journal of Plastic Film and Sheeting*, vol. 35, no. 4, pp. 380–400, 2019, doi: 10.1177/8756087919840684.
- [12] D. Rosarina and E. K. Laksanawati, "Studi Kualitas Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Ditinjau Dari Parameter Fisika," *Jurnal Redoks*, vol. 3, no. 2, p. 38, 2018, doi: 10.31851/redoks.v3i2.2392.
- [13] E. Kusniati, "Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar pH, Turbidity, TSS, dan TDS," *Journal of Aceh Aquatic Sciences*, vol. 2, no. 10, pp. 4183–4198, 2023.
- [14] N. A. Winata, "Teknologi Membran untuk pengolahan air," 2016, [Online]. Available: <http://www.igwenten.com/2013/02/teknologi-membran-untuk-pengelolaan-air.htm>
- [15] M. Djana, Rizka Mayasari, Rosalia Dwi Werena, and Hasrul Anwar, "Desain Sistem Pengolahan Air Layak Konsumsi Dengan Aplikasi Membran Ultrafiltrasi Termomodifikasi," *Jurnal Redoks*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2024, doi: 10.31851/redoks.v9i1.13208.