



Terbit online pada laman web jurnal :<http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/>

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|



Artikel Penelitian

Uji Kinerja Membran Nanofilter dalam Menurunkan Kekeruhan dan TDS pada Pengolahan Air Minum

Julia Alfianita^{1*)}, Eddy Setiadi Soedjono¹

Program Studi S2 Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*Koresponden: juliaalfianita07@gmail.com

Diterima: 10 Juni 2025

Diperbaiki: 29 Juni 2025

Disetujui: 7 Juli 2025

ABSTRACT

Jagir River is one of the tributaries of the Brantas River and plays a vital role as a raw water source for Surya Sembada Water Supply Company (PDAM) of Surabaya City. Its downstream location causes the Jagir River to become a sink for pollutants originating from upstream and midstream segments. Activities along the river, including domestic and industrial sectors, contribute to the pollutant load, resulting in high concentrations of parameters such as Turbidity and Total Dissolved Solids (TDS). This study aims to evaluate the performance of nanofiltration membranes and analyze the effects of operational time, the use of biofilters as pretreatment, different recovery rates, and membrane types in a nanofiltration membrane reactor system for reducing Turbidity and TDS in drinking water treatment. The raw water was first treated with the coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ and then passed through a biofilter (slow sand filter) at a filtration rate of 0.4 m/h as pretreatment before being processed by the nanofiltration membrane system. The nanofiltration membranes used were NF30-2514 and NF90-2514, operated at recovery rates of 30% and 60%. The membrane reactor system was operated intermittently for 10 days under a pressure of 60 psi. Sample analysis for Turbidity and TDS parameters was conducted based on Indonesian Ministry of Health Regulation No. 02/2023. The nanofiltration membrane showed the highest rejection performance in unit B1R2M2, with a turbidity removal rate of 88,25% on the 4th day and a TDS removal rate of 73,78% on the 10th day.

Keyword: biofilter, nanofiltration, TDS, turbidity, *recovery rate*

ABSTRAK

Kali Jagir merupakan salah satu anak Sungai Brantas, memiliki peran penting sebagai sumber air baku untuk PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Lokasi di hilir menjadikan Kali Jagir menjadi tempat akumulasi bahan pencemar yang berasal dari segmen hulu dan tengah. Aktivitas di sepanjang Sungai Jagir yang meliputi sektor domestik dan industri turut menyumbang bahan pencemar yang mengakibatkan parameter seperti Kekeruhan dan TDS memiliki konsentrasi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja membran nanofiltrasi dan menganalisis pengaruh *operational time*, penggunaan biofilter sebagai *pretreatment*, perbedaan *recovery rate* dan jenis membran pada rangkaian reaktor membran nanofiltrasi dalam menurunkan parameter Kekeruhan dan TDS pada pengolahan air minum. Air baku diolah terlebih dahulu diolah menggunakan koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ yang kemudian diumpungkan menuju biofilter (*slow sand filter*) dengan kecepatan filtrasi 0,4 m/jam sebagai *pretreatment* sebelum diolah menggunakan membran nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi yang digunakan yaitu dengan *recovery rate* 30% dan 60%. Jenis membran yang digunakan adalah NF30-2514 dan NF90-2514. Rangkaian reaktor dioperasikan secara intermittent selama 10 hari dengan tekanan 60 psi. Analisis pengujian sampel pada parameter Kekeruhan dan TDS berdasarkan Permenkes RI No. 02 Tahun 2023. Kinerja Membran Nanofiltrasi dalam pada pengolahan air minum dengan *rejection rate* tertinggi pada unit B1R2M2 dengan nilai kekeruhan pada hari ke-4 yaitu 88,25% dan TDS sebesar 73,78% pada hari ke-10.

Kata Kunci: biofilter, kekeruhan, nanofiltrasi, *recovery rate*, TDS

1. PENDAHULUAN

Kali Jagir memiliki peran penting bagi Kota Surabaya, karena berperan sebagai sumber utama air baku untuk kebutuhan air minum masyarakat. Lokasi Kali Jagir berada di wilayah hilir Sungai Brantas sehingga rentan terhadap akumulasi aliran dan persebaran polutan yang berasal dari berbagai aktivitas di sepanjang sungai tersebut, baik dari limbah domestik, industri, maupun pertanian (Husain, 2014). Tingginya nilai parameter seperti kekeruhan dan *Total Dissolved Solid* (TDS) menjadi hal yang membuktikan bahwa Kali Jagir menjadi tercemar. Kekeruhan merupakan parameter yang berhubungan dengan kandungan partikel tersuspensi dalam air. Zat tersuspensi dapat berupa bahan organik seperti lemak, mikroorganisme dan bahan anorganik seperti pasir halus (Zahra, 2021). *Total Dissolved Solids* (TDS) adalah ukuran dari jumlah total zat padat terlarut dalam air yang termasuk didalamnya adalah mineral, garam, logam, dan senyawa organik terlarut. TDS juga dapat meningkatkan kekeruhan air yang menghambat penetrasi sinar matahari, sehingga memengaruhi proses fotosintesis atau proses lainnya di ekosistem perairan sungai (Listyaningrum, 2022).

Menurut penelitian Wiwoho (2021), nilai parameter kekeruhan pada Kali Jagir yaitu 70 NTU. Uji karakteristik awal Kali Jagir pada kekeruhan yaitu sebesar 314 NTU. Uji karakteristik awal Kali Jagir pada kekeruhan yaitu sebesar 314 NTU. Penelitian Purwoto (2023) juga mendapatkan konsentrasi TDS pada Kali Jagir sebesar 1.081 mg/L dan hasil dari uji karakteristik air sungai Kali Jagir Surabaya yang telah dilakukan yaitu 9.948 mg/L. Hasil tersebut melebihi baku mutu mengenai persyaratan wajib air minum Permenkes No.02 Tahun 2023 yaitu sebesar <3 NTU untuk kekeruhan, <300 mg/L untuk TDS. Air Kali Jagir Surabaya tersebut harus dilakukan pengolahan lebih lanjut sebelum dapat digunakan sebagai air minum. Teknologi membran adalah metode yang biasa digunakan dalam produksi air minum dengan kemampuannya dalam merejeksi kontaminan organik dan anorganik yang berasal dari air (Rukmana, 2015). Jenis membran bervariasi salah satunya adalah membran nanofiltrasi. Membran nanofiltrasi dapat beroperasi pada tekanan 5-20 bar. Kelebihan dari adanya penggunaan teknologi ini adalah biaya operasi yang murah, energi yang diperlukan rendah, perawatan mudah dan efisiensi ruang (Nandari dkk., 2018). Namun demikian, penerapan teknologi ini belum banyak diteliti secara spesifik pada air permukaan dengan tingkat pencemaran tinggi seperti Kali Jagir.

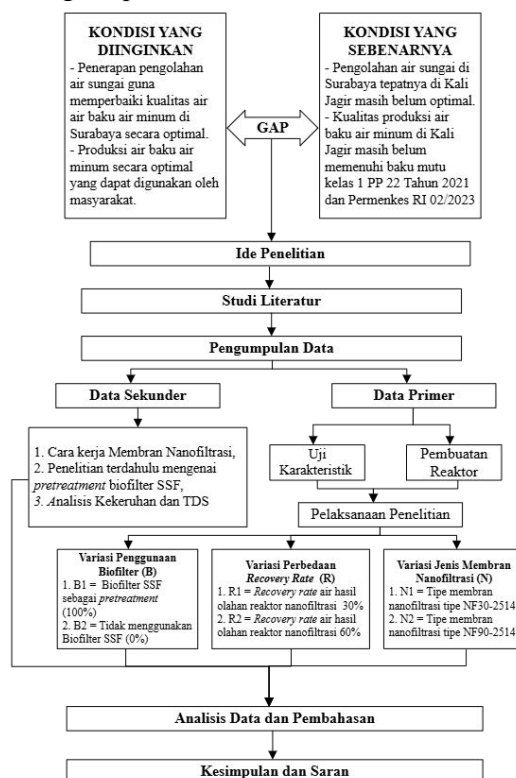
Meskipun teknologi nanofiltrasi telah terbukti efektif sebagai metode pemurnian air, penerapannya di lapangan, khususnya pada sumber air permukaan dengan pencemaran tinggi seperti Kali Jagir, masih menyisakan sejumlah pertanyaan. Banyak studi terdahulu lebih berfokus pada performa dasar nanofiltrasi terhadap air dengan kontaminasi ringan hingga sedang, tanpa mempertimbangkan kombinasi sistem pendukung seperti *pretreatment*, variasi *recovery rate*, dan jenis membran yang digunakan secara bersamaan. Padahal faktor ini sangat berpengaruh terhadap performa dan efisiensi sistem di lapangan. *Pretreatment* seperti biofilter Slow Sand Filter (SSF) terbukti efektif dalam mengurangi *fouling* dengan menyisihkan partikel organik dan biologis (Nainggolan, 2015; Verma dkk., 2017), namun aplikasinya dalam sistem nanofiltrasi untuk air dengan cemaran berat masih terbatas. Pengaruh *recovery rate* terhadap efisiensi penyisihan dan peningkatan zat terlarut di sisi *reject* juga belum banyak dikaji secara rinci, semakin tinggi *recovery rate*, semakin besar proporsi air yang dimanfaatkan, tetapi juga semakin tinggi risiko *fouling*. Selain itu masih jarang studi yang secara langsung membandingkan performa dua jenis membran nanofiltrasi seperti NF30-2514 dan NF90-2514 dalam satu sistem yang sama. NF30-2514 memiliki rejeksi garam lebih rendah (30–40%) namun dengan tekanan operasi rendah dan *water flux* tinggi, sedangkan NF90-2514 memiliki rejeksi lebih tinggi (80–90%) namun membutuhkan tekanan lebih besar dan berisiko meningkatkan *fouling*. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengisi celah tersebut dengan mengkaji secara terintegrasi kombinasi *pretreatment biofilter*, variasi *recovery rate*, serta perbandingan dua jenis membran nanofiltrasi. Kali Jagir Surabaya sebagai sumber air baku PDAM Surabaya juga akan dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan *pretreatment* koagulasi-flokulasi terlebih dulu dengan koagulan tawas. Hasil pengujian akan dibandingkan terhadap baku mutu air minum sesuai Permenkes, dan ditujukan sebagai alternatif pengolahan air Kali Jagir yang menjadi sumber air baku PDAM Surabaya.

2. METODOLOGI

2.1 Kerangka Penelitian

Kerangka pelaksanaan penelitian adalah gambaran yang merujuk pada rangkaian pelaksanaan penelitian secara sistematis. Kerangka penelitian akan menggambarkan secara utuh konsep penelitian yang akan dilakukan. Implementasi penelitian berangkat dari adanya permasalahan di sekitar yang kemudian memicu timbulnya ide penelitian yang ditujukan untuk memperoleh hasil penelitian searah dengan tujuan yang ingin dicapai. Studi

literatur juga dilakukan guna mendukung pelaksanaan penelitian sebagai referensi utama dalam pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian diterangkan pada **Gambar 1**.

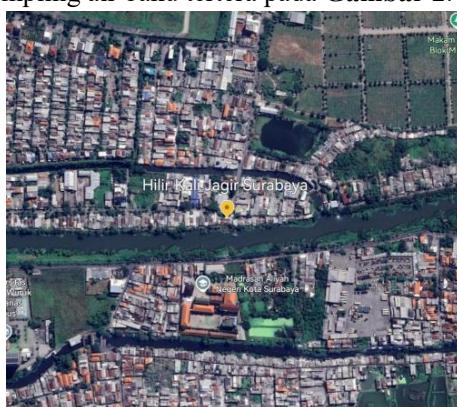


Gambar 1. Kerangka Penelitian

Sumber: Data Penelitian, 2025

2.2 Waktu dan Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada skala laboratorium. Rangkaian reaktor nanofiltrasi pada penelitian berlokasi di Rumah Kompos Universitas Airlangga. Pengujian sampel dilaksanakan di Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian berjalan dalam waktu kurang lebih 40 hari. Sampel air yang dipergunakan adalah air baku air sungai Kali Jagir Surabaya, dengan lokasi penelitian di Jl, Medokan Semampir Indah No.92 RT 003/RW/008, Sukolilo, Surabaya. Reaktor nanofiltrasi modifikasi terdiri dari unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi sebagai *feed water* pengolahan, unit *Slow Sand Filter* (SSF) dimana digunakan media *geotextile* dan pasir silika, dan unit membran nanofiltrasi yang digunakan adalah membran nanofiltrasi tipe NF30-2514 dan tipe NF90-2514. Lokasi sampling air baku tertera pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Lokasi Sampling Penelitian

Sumber: Google Earth, 2025

2.3 Pengumpulan Data

2.3.1 Data Primer

Pengumpulan data penelitian dengan data primer dilakukan dengan melakukan:

2.3.1.1 Uji Karakteristik Kualitas Air Sungai Kali Jagir

Uji karakteristik kualitas air dilakukan untuk mengetahui sumber air baku yang mampu diolah menggunakan teknologi nanofiltrasi. Air baku yang dipilih air Kali Jagir Surabaya. Teknik pengambilan sampel air berdasarkan SNI 6989.57:2008 tentang Air dan Air Limbah – Bagian 57: Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan, Uji karakteristik air baku dilakukan dengan menganalisis parameter Kekeruhan dan TDS. Berikut merupakan hasil pengukuran yang tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Awal Kali Jagir Surabaya

No	Parameter	Hasil Uji	Satuan	Baku mutu
1	pH	7,6	-	6,5-8,5
2	Kekeruhan	314	NTU	<3
3	TDS	9.948	mg/L	<300

Sumber: Data Penelitian, 2025

2.3.1.2 Analisis Rejection Rate Parameter Kekeruhan dan TDS

Analisis parameter kekeruhan menggunakan berdasarkan SNI 06-6989.25-2005 tentang cara uji kekeruhan dengan nefelometer. Analisis ini dilakukan menggunakan alat turbidimeter *Thermo Scientific Eutech TN-100*. Sedangkan, pengukuran konsentrasi TDS dilakukan menggunakan TDS meter.

2.3.2 Data Sekunder

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan kajian literatur atau landasan teori yang bersifat ilmiah. Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini diantaranya textbook, jurnal baik nasional maupun internasional, artikel, *website*, makalah, perundang-undangan, koran, dan lain sebagainya. Sumber yang digunakan harus sesuai dengan penelitian mengenai teknologi membran nanofiltrasi, pengaruh biofilter (*slow sand filter*) sebagai *pretreatment*, pengaruh *recovery rate*, pengaruh perbedaan membran nanofiltrasi NF30-2514 dan NF90-2514, penurunan kadar Kekeruhan dan TDS dalam pengolahan air sungai, dan lain-lain.

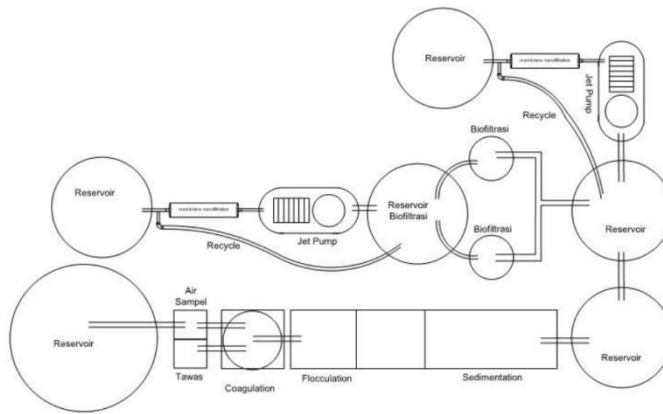
2.4 Pengoperasian Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini tersusun atas unit koagulasi-flokulasi, unit biofiltrasi, dan unit nanofiltrasi. Sesuai dengan Pedoman Perencanaan Instalasi Saringan Pasir Lambat untuk skala laboratorium yang tertuang pada SNI 3981:2008 digunakan pipa PVC bebas timbal. Membran nanofiltrasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah membrane tipe NF30-2514 dan NF90-2514. Aksesoris yang digunakan untuk melengkapi unit nanofiltrasi antara lain pompa, manometer, valve, *pressure vessel*, dan *flow meter*. Adapun spesifikasi membran nanofilter yang digunakan tertera pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi *Operating Limits* Membran Nanofiltrasi NF30-2514 dan NF90-2514

Spesifikasi	NF30-2514	NF90-2514
Area membran efektif ft ² (m ²)	6,5(0,6)	6,5(0,6)
Operating pressure psi (Mpa)	70(0,48)	70(0,48)
Average yield GPD (m ³ /d)	150(0,5)	150(0,5)
Salt rejection (%)	30 – 40	80 – 90
Max. operating pressure psi (Mpa)	600 (4,14)	600 (4,14)
Max. inflow Temperature (°C)	45	45
Max. inflow SDI	5	5
Aliran air maksimum (m ³ /jam)	6 (1,4)	6 (1,4)
Konsentrasi klorin bebas (mg/L)	<0,1	<0,1
Continuous running water pH range	3 – 10	3 – 10
Chemical cleaning water pH range	2 – 12	2 – 12
Max. single membrane element pressure drop psi (Mpa)	15(0,1)	15(0,1)

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 3. Skema Rangkaian Reaktor Nanofiltrasi

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 4. Rangkaian Reaktor Teknologi Membran Nanofiltrasi Skala Pilot

Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan Skema reaktor dan gambar reaktor yang tertera pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Menunjukkan bahwa rangkaian reaktor berawal dari bak penampung berukuran 1.100 L untuk menampung air yang akan diolah yang berasal dari Kali Jagir. Air yang berada di bak penampung kemudian dialirkan menggunakan pompa menuju unit koagulasi-flokulasi untuk diberi koagulan tawas, lalu dialirkan kembali ke unit biofilter maupun tidak memakai biofilter. Setelah melewati biofilter, air dialirkan ke reservoir untuk diolah dengan nanofiltrasi dengan 2 jenis yang berbeda dan dengan *recovery rate* yang berbeda.

2.5 Analisis *Rejection Rate* Parameter Kekeruhan dan TDS

Analisis parameter kekeruhan dan TDS dilakukan replikasi sebanyak dua kali (duplo). Perhitungan *rejection rate* parameter dilakukan berdasarkan nilai awal (inlet) dan nilai akhir (outlet) parameter setelah melalui proses pengolahan menggunakan membran nanofiltrasi. Penentuan *rejection rate* berdasarkan Rumus 1 berikut:

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

2.6 Analisis Statistik

Analisis statistik yang dilakukan yaitu menggunakan *software Design Expert 11* dengan model *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui model penelitian terpilih (*suggested*). *Suggested model* yang didapat memiliki signifikansi pada ANOVA dan non signifikan terhadap uji *lack of fit*. Model ANOVA yang tersedia pada aplikasi Design Expert 11 yaitu Mean, Liniar, 2FI, Quadratic, dan Cubic. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi seluruh faktor independen terhadap respon, diketahui hasil angka yang diperoleh dari uji ANOVA antara lain F-value, p-value, lack of fit value, standar deviasi, koefisien korelasi, koefisien determinasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja membran nanofiltrasi dan pengaruh *operational time*, penggunaan biofilter sebagai *pretreatment*, perbedaan *recovery rate* dan jenis membran nanofiltrasi pada rangkaian teknologi membran nanofiltrasi dalam menurunkan parameter Kekeruhan dan TDS pada pengolahan air minum. Sumber air yang digunakan pada penelitian yaitu Air Kali Jagir Surabaya dengan waktu pengambilan air baku yang dilakukan pada musim hujan, yaitu pada bulan Maret-Mei 2025. Pengambilan sampel dilakukan secara duplo pada inlet dan outlet membran nanofiltrasi yaitu pada hari ke-1, hari ke-4, dan hari ke-10. Baku mutu yang digunakan mengacu pada Permenkes RI No. 02 Tahun 2023 yaitu mengenai parameter wajib kualitas air minum, sehingga air hasil olahan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan higiene sanitasi maupun air minum.

3.1. Kinerja Membran dalam Menurunkan Parameter Kekeruhan dan TDS pada pengolahan air minum.

Penelitian ini menggunakan air baku yang telah diolah (*coagulated water*) menggunakan koagulan $Al_2(SO_4)_3$, dua unit reaktor SSF kecepatan 0,4 m/jam sebagai unit biofilter dengan kombinasi media pasir silika; *geotextile*; dan pasir kali serta empat unit reaktor nanofiltrasi. Kombinasi variasi perlakuan unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi Variabel pada Pengolahan Membran Nanofiltrasi

Nama Unit	Penggunaan Biofilter (B)		Recovery rate (%)		Jenis Membran	
	100%	0%	30	60	NF30-2514	NF90-2514
B1R1M1	√	-	√	-	√	-
B1R1M2	√	-	√	-	-	√
B1R2M1	√	-	-	√	√	-
B1R2M2	√	-	-	√	-	√
B0R1M1	-	√	√	-	√	-
B0R1M2	-	√	√	-	-	√
B0R2M1	-	√	-	√	√	-
B0R2M2	-	√	-	√	-	√

Sumber: Data Penelitian, 2025

Penelitian ini menggunakan 8 variasi unit nanofiltrasi, yaitu B1R1M1, B1R1M2, B1R2M1, B1R2M2, B0R1M1, B0R1M2, B0R2M1, dan B0R2M2. Semua unit menggunakan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dalam tahap awal pengolahan. Unit B1 merupakan sistem dengan biofilter, sedangkan B0 tanpa biofilter. Variasi *recovery rate* terdiri dari 30% (R1) dan 60% (R2), serta jenis membran yang digunakan adalah NF30-2514 (M1) dan NF90-2514 (M2). Sebagai contoh, unit B1R2M2 merupakan variasi menggunakan biofilter SSF, *recovery rate* 60%, dan membran NF90-2514, sedangkan B0R1M1 tidak menggunakan biofilter dengan *recovery rate* 30% dan membran NF30-2514.

3.2 Analisis Rejection Rate Parameter Kekeruhan

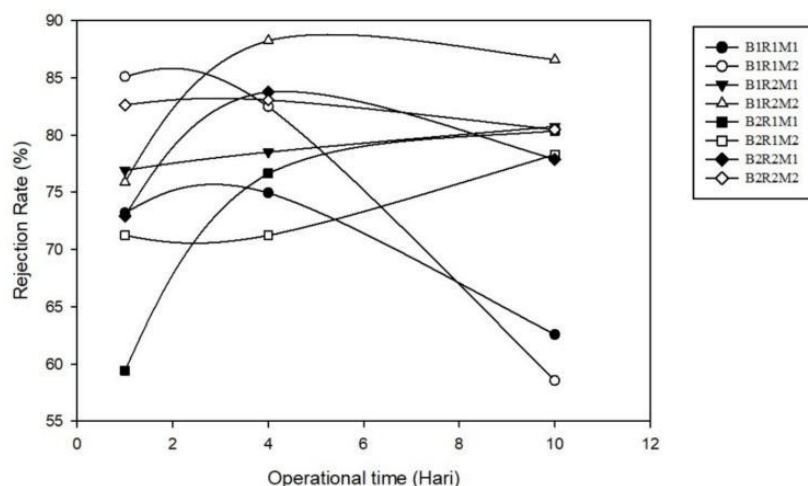
Pengujian terhadap konsentrasi kekeruhan dilakukan terhadap sampel hari ke-1, ke-4, dan ke-10. Konsentrasi kekeruhan pada bagian inlet dan outlet membran nanofiltrasi dianalisis untuk mengetahui laju rejeksi kekeruhan. Data laju rejeksi kekeruhan tersaji dalam Tabel 4. Sementara itu, grafik laju rejeksi kekeruhan terdapat pada Gambar 4.

Tabel 4. Data *Rejection Rate* Parameter Kekeruhan dibandingkan dengan Baku Mutu

Jenis Variasi	Day	Rata-rata Inlet (NTU)	Rata-rata Outlet (NTU)	Rejection Rate (%)	Baku Mutu (NTU)
B1R1M1	1	3,62	0,97	73,20	<3
	4	3,52	0,88	74,96	<3
	10	3,33	1,25	62,56	<3
B1R1M2	1	3,59	0,54	85,10	<3
	4	3,37	0,59	82,47	<3
	10	3,39	1,41	58,55	<3
B1R2M1	1	3,62	0,84	76,93	<3
	4	3,52	0,76	78,52	<3
	10	3,33	0,64	80,75	<3
B1R2M2	1	3,59	0,87	75,91	<3
	4	3,37	0,40	88,26	<3
	10	3,39	0,46	86,58	<3
B0R1M1	1	4,62	1,88	59,42	<3
	4	5,18	1,21	76,64	<3
	10	4,43	0,87	80,36	<3
B0R1M2	1	4,84	1,39	71,25	<3

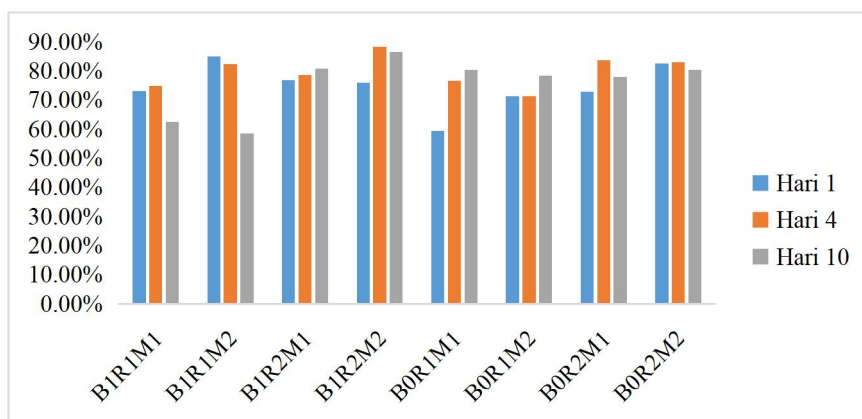
Jenis Variasi	Day	Rata-rata Inlet (NTU)	Rata-rata Outlet (NTU)	Rejection Rate (%)	Baku Mutu (NTU)
B0R2M1	4	5,79	1,67	71,24	<3
	10	4,82	1,05	78,30	<3
	1	4,62	1,25	72,94	<3
	4	5,18	0,84	83,78	<3
	10	4,43	0,98	77,88	<3
B0R2M2	1	4,84	0,84	82,63	<3
	4	5,79	0,98	83,07	<3
	10	4,82	0,94	80,48	<3

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 5. Grafik *Rejection Rate* Parameter Kekeruhan

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 6. Diagram Komparatif Variasi Penelitian pada Parameter Kekeruhan

Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan Tabel 4, Gambar 5, dan Gambar 6, nilai rejection rate kekeruhan tertinggi terdapat pada variasi B1R2M2 sebesar 88,26% (hari ke-4), sedangkan terendah pada B0R1M1 sebesar 59,42% (hari ke-1). Unit dengan pretreatment biofilter menunjukkan performa lebih stabil, seperti B1R2M1 (80,75%) dan B1R1M2 (85,10%), sementara unit tanpa pretreatment (B0) hasilnya cenderung fluktuatif, misalnya B0R1M2 (78,30%) dan B0R2M1 (83,78%). Kombinasi pretreatment dan jenis membran berpengaruh nyata terhadap stabilitas dan efisiensi penyisihan kekeruhan. Kekeruhan merupakan kondisi ketika air mengandung partikel tersuspensi seperti zat koloid halus yang menyebabkan air tampak keruh atau berlumpur (Wadu dkk., 2017). Proses nanofiltrasi menurunkan kekeruhan melalui penyaringan fisik, perbedaan muatan, dan penolakan partikel bermuatan oleh membran (Nanda dkk., 2010).

Rejection rate pada kekeruhan yang terukur dari unit nanofiltrasi yang menggunakan biofilter sebagai *pretreatment* bernilai lebih besar yaitu pada unit variasi B1R2M2. Hal ini dipicu oleh kemampuan biofilter dalam mengurangi TSS dan TDS dalam *feed water* sehingga potensi *membrane fouling* dapat diminimalkan. Berdasarkan Van der Bruggen dan Vandecasteele (2003), membran nanofiltrasi dapat bekerja dengan mencapai *recovery rate* hingga 85% atau lebih bergantung *feed water composition* dan *pretreatment*. Perubahan efisiensi

penyisihan dari hari ke-1 hingga hari ke-10 dalam sistem nanofiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Peningkatan efisiensi pada unit dengan *pretreatment* biofilter kemungkinan besar terjadi karena sistem mulai stabil dan biofilter SSF telah membentuk lapisan biologis aktif (*schmutzdecke*) yang efektif dalam menyisihkan partikel organik dan mikroorganisme (Nainggolan, 2015; Verma dkk., 2017). Hal ini mengurangi beban ke membran sehingga meningkatkan efisiensi. Penurunan efisiensi pada beberapa variasi di hari ke-10 mengindikasikan potensi terbentuknya *fouling*, akibat akumulasi partikel dan zat terlarut pada permukaan membran, apalagi jika tidak dilakukan pembersihan rutin (Nandari dkk., 2018). Dari sisi jenis membran, penggunaan NF90-2514 memiliki risiko operasional lebih tinggi dibandingkan NF30-2514. NF90-2514 memang memiliki tingkat rejeksi lebih besar (80–90%) namun bekerja pada tekanan tinggi, yang meningkatkan konsumsi energi, mempercepat *fouling*, dan memerlukan sistem pendukung yang lebih kompleks (Nandari dkk., 2018). Sementara itu, NF30 dengan rejeksi lebih rendah (30–40%) dan tekanan operasi lebih ringan, lebih efisien secara energi dan cocok untuk kondisi lapangan dengan keterbatasan teknis. Hal tersebut juga didukung oleh hasil uji statistik parameter kekeruhan menggunakan *Design Expert 11* yang menghasilkan model linear yang tertera pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Uji ANOVA Paameter Kekeruhan

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>
Model	430,62	4	107,65	3,35	0,0357 <i>significant</i>
A-Operational Time	111,45	1	111,45	3,47	0,0810
B-Biofilter Usage	37,82	1	37,82	1,18	0,2940
C-Recovery Rate	84,18	1	84,18	2,62	0,1250
D-Jenis Membran	143,38	1	143,38	4,46	0,0507
Residual	513,88	16	32,12		
Lack of Fit	443,91	10	44,39	3,81	0,0577 <i>not significant</i>
Pure Error	69,97	6	11,66		
Cor Total	944,50	20			

Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan Tabel 5. Menunjukkan bahwa model linear ANOVA pada parameter kekeruhan memiliki F-value sebesar 3,35 dan p-value 0,0357 ($<0,05$) menunjukkan bahwa model berpengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan. Nilai *lack of fit* sebesar 0,0577 ($>0,05$) bersifat tidak signifikan, yang berarti model sesuai dan dapat digunakan untuk memprediksi respon. Dengan demikian, kombinasi durasi *running*, biofilter, *recovery rate*, dan jenis membran secara umum berkontribusi terhadap perubahan efisiensi sistem nanofiltrasi dalam pengolahan air baku.

3.3 Analisis *Rejection Rate* Parameter TDS

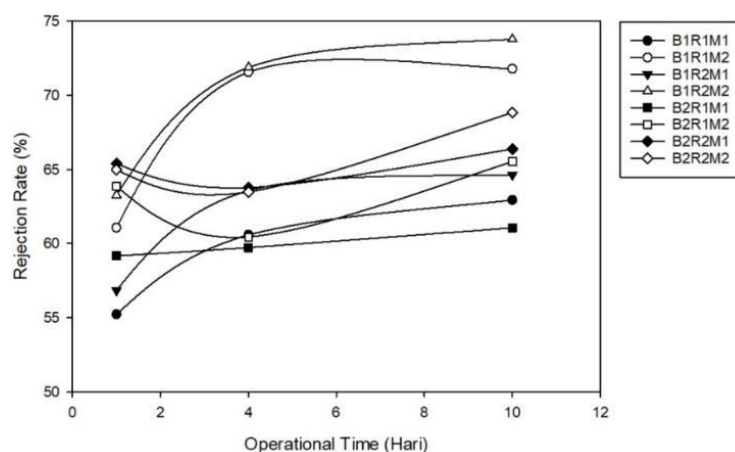
Pengujian terhadap konsentrasi TDS dilakukan terhadap sampel hari ke-1, ke-4, dan ke-10. TDS pada bagian inlet dan outlet membran nanofiltrasi dianalisis untuk mengetahui laju rejeksi TDS. Data laju rejeksi TDS tersaji dalam **Tabel 6** dan grafik laju rejeksi TDS terdapat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

Tabel 6. Data *Rejection Rate* Parameter TDS dibandingkan dengan Baku Mutu

Jenis Variasi	Day	Rata-rata Inlet (mg/L)	Rata-rata outlet (mg/L)	<i>Rejection Rate</i> (%)	Baku Mutu (mg/L)
B1R1M1	1	350,5	157	55,21	<300
	4	399,5	157,5	60,58	<300
	10	410	152	62,93	<300
B1R1M2	1	363,5	141,5	61,07	<300
	4	462,5	131,5	71,57	<300
	10	452	127,5	71,79	<300
B1R2M1	1	350,5	151,5	56,84	<300
	4	399,5	145,5	63,58	<300
	10	410	145	64,63	<300
B1R2M2	1	363,5	133,5	63,27	<300
	4	462,5	130	71,89	<300
	10	452	118,5	73,78	<300
B0R1M1	1	627	256	59,17	<300
	4	581	234	59,72	<300
	10	574	223,5	61,06	<300
B0R1M2	1	622,5	225	63,86	<300
	4	508	201	60,43	<300
	10	499	172	65,53	<300

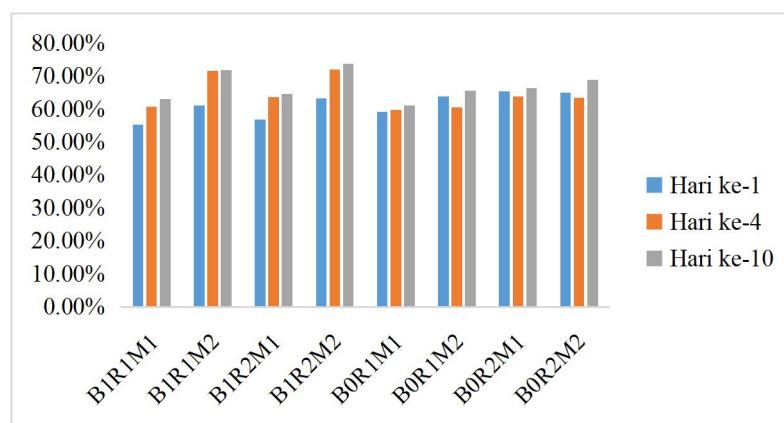
Jenis Variasi	Day	Rata-rata Inlet (mg/L)	Rata-rata outlet (mg/L)	Rejection Rate (%)	Baku Mutu (mg/L)
B0R2M1	1	627	217	65,39	<300
	4	581	210,5	63,77	<300
	10	574	193	66,38	<300
B0R2M2	1	622,5	218	64,98	<300
	4	508	185,5	63,48	<300
	10	499	155,5	68,84	<300

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 7. Grafik Rejection Rate Parameter TDS

Sumber: Data Penelitian, 2025



Gambar 8. Diagram Komparatif Variasi Penelitian pada Parameter TDS

Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan Tabel 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan nilai *rejection rate* TDS tertinggi diperoleh variasi B1R2M2 sebesar 73,78% (hari ke-10), sedangkan terendah pada B1R1M1 sebesar 55,21% (hari ke-1). Unit dengan *pretreatment* biofilter secara umum menunjukkan efisiensi lebih tinggi dan meningkat pada hari ke-10. Sementara itu, unit tanpa biofilter (B0) memiliki nilai tertinggi pada B0R2M2 sebesar 68,84% dan terendah pada B0R1M1 sebesar 59,17%. Penggunaan biofilter dan kombinasi membran NF90 memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi penyisihan TDS. Peningkatan efisiensi dari hari ke-1 ke hari ke-10 menunjukkan sistem mulai stabil dan *pretreatment* bekerja optimal, meskipun beberapa penurunan efisiensi mengindikasikan potensi fouling akibat akumulasi senyawa terlarut pada membran (Nainggolan, 2015; Nandari dkk., 2018). Penggunaan membran NF90-2514 di lapangan memerlukan sistem yang lebih kompleks dan pemeliharaan lebih intensif, sementara NF30-2514 lebih ramah operasional dengan efisiensi yang lebih rendah. Pemilihan jenis membran perlu disesuaikan dengan kondisi kualitas air baku, tujuan pengolahan, dan ketersediaan sumber daya sistem.

Total Dissolved Solids adalah total konsentrasi zat padat terlarut dalam air seperti ion Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dan senyawa organik larut. Membran nanofiltrasi efektif dalam menolak ion divalent seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan SO_4^{2-} . Penurunan TDS pada variasi penelitian B1R2M2 menunjukkan nilai rejeksi sebesar 73,78%. Perbedaan tersebut bergantung pada tekanan operasi membran. Semakin tinggi tekanan operasi membran, laju perpindahan air melewati membran lebih cepat daripada laju perpindahan ion sehingga ion tertahan pada permukaan membran

(Wenten dkk., 2010). Namun, tekanan tinggi juga berisiko mempercepat *fouling* dan degradasi membran. Membran NF90-2514 termasuk dalam kategori *tight NF membrane* dengan pori-pori sangat kecil dan muatan permukaan negatif yang tinggi, sehingga mampu menolak ion-ion monovalen seperti natrium (Na^+) dan klorida (Cl^-) secara lebih efektif. Hal ini membuat tingkat penolakan garam (*salt rejection*) dari NF90-2514 mencapai 80–90% menurut spesifikasinya. NF30-2514 merupakan *loose NF membrane* yang dirancang untuk aplikasi ringan seperti penyaringan senyawa organik besar dan hanya mampu menolak ion divalen seperti sulfat (SO_4^{2-}) atau kalsium (Ca^{2+}), sehingga *salt rejection*-nya jauh lebih rendah, yakni hanya sekitar 30–40%. Hal tersebut didukung dengan hasil uji statistic yang telah dilakukan dan tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji ANOVA Parameter TDS

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	419.07	10	41.91	30.25	< 0.0001	significant
A-Running Time	72.23	1	72.23	52.14	< 0.0001	
B-Biofilter Usage	30.40	1	30.40	21.94	0.0009	
C-Recovery Rate	8.75	1	8.75	6.31	0.0308	
D-Jenis Membran	149.12	1	149.12	107.64	< 0.0001	
Residual	13.85	10	1.39			
Lack of Fit	13.81	4	3.45	492.70	< 0.0001	significant
Pure Error	0.0421	6	0.0070			
Cor Total	432.92	20				

Sumber: Data Penelitian, 2025

Berdasarkan hasil uji statistic pada Tabel 7. menunjukkan bahwa dihasilkan model 2FI. Model memiliki F-value sebesar 30,25 dan p-value < 0,0001, yang menandakan bahwa model berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan TDS. Sebagian besar variabel bebas seperti durasi *running*, penggunaan biofilter, *recovery rate*, dan jenis membran juga signifikan secara individual. Interaksi antarfaktor seperti menunjukkan pengaruh yang signifikan. Namun, nilai *lack of fit* signifikan ($p < 0,0001$) menunjukkan bahwa model memiliki penyimpangan dan kurang ideal untuk prediksi yang sangat akurat. Meskipun demikian, hasil ANOVA tetap menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan berpengaruh nyata terhadap respon, dengan jenis membran sebagai faktor paling dominan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menggunakan teknologi nanofiltrasi menunjukkan hasil yang signifikan dalam pengolahan air minum, dengan kombinasi terbaik pada variasi B1R2M2 (biofilter SSF, membran NF90-2514, recovery rate 60%) yang mampu menyisihkan kekeruhan sebesar 88,25% dan TDS 73,78%, sesuai dengan baku mutu air minum Permenkes RI No. 2 Tahun 2023. Meski efisien, sistem ini memerlukan tekanan tinggi dan biaya operasional lebih besar dibandingkan NF30-2514. Namun, NF30-2514 tetap layak digunakan pada kondisi kontaminasi ringan hingga sedang, karena lebih hemat energi dan mampu mempertahankan mineral alami. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi B1R2M2 berpotensi diterapkan oleh PDAM Surabaya untuk mengolah air Kali Jagir, dengan catatan perlu pengujian skala besar dan evaluasi jangka panjang. Untuk meningkatkan performa sistem, karakterisasi morfologi membran menggunakan SEM-EDX disarankan, guna mengidentifikasi potensi *fouling* yang memengaruhi efisiensi penyisihan.

DAFTAR PUSTAKA

- Husain, Sarkawi B. (2014). Persepsi Masyarakat Versus Pemerintah Terhadap Layak Guna Air: Studi Kasus Kali Jagir Kelurahan Ngagelrejo Surabaya. *Jurnal Masyarakat dan Budaya*, 16 (1).
- Listyaningrum, R. (2022). Analisis Kandungan DO, BOD, COD, TS, TDS, TSS dan Analisis Karakteristik Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta. *Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan*. June 2022. <https://www.researchgate.net/profile/Ristyana-Listyaningrum>.
- Nainggolan, P. R. (2015). Pengendalian *Fouling* pada Sistem Pengolahan Air Berbasis Membran. *Bandung: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung*. 2015, 12-02. <https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Nainggolan/publication/>.
- Nandari, W. W., Utami, A., Yogafanny, E., & Kristiati, M. T. (2018). Pengolahan Air Terproduksi dengan Membran Bioreaktor di Wilayah Penambangan Wonocolo. *Journal of Eksergi*, 15(2), 34-40.

- Nanda, D., Tung, K. L., Li, Y. L., Lin, N. J., & Chuang, C. J. (2010). *Effect of pH on Membrane Morphology, Fouling Potential, and Filtration Performance of Nanofiltration Membrane for Water Softening*. *Journal of Membrane Science*, 349(1-2), 411-420.
- Purwoto, S. (2023). Peningkatan Mutu Air Sungai Surabaya Berbasis Treatment Koagulasi, Absorpsi, dan Ion Exchange. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(2).
- Rukmana, J. (2015). Aplikasi Teknologi Membran Untuk Desinfeksi Air. *Teknik Kimia*. Institut Teknologi Bandung, 2015, 1-10. <https://www.researchgate.net/profile/Jaka-Rukmana-2/publication>.
- Van der Bruggen, B., & Vandecasteele, C. (2003). *Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: overview of possible applications in the drinking water industry*. *Journal of Environmental Pollution*, 122(3), 435-445.
- Verma, S., Daverey, A., & Sharma, A. (2017). *Slow Sand Filtration for Water and Wastewater Treatment – A Review*” *Environmental Technology Reviews*, 6(1), 47-58.
- Wadu, R. A., Ada, Y. S. B., & Panggalo, I. U. (2017). Rancang Bangun Sistem Sirkulasi Air pada Aquarium/Bak Ikan Air Tawar Berdasarkan Kekeruhan Air secara Otomatis. *Jurnal Ilmiah Flash*, 3(1), 1-10.
- Wenten, I. G., Khoiruddin, K., Aryanti, P. T. P., & Hakim, A. N. (2010). *Pengantar Teknologi Membran*. Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung. <https://www.researchgate.net/profile/I-Gede-Wenten-2/publication>.
- Wiwoho, F. P. (2021). *Potensi Pemanfaatan Kitosan Dari Jangkrik Sebagai Koagulan Alami Pada Pengolahan Air*. (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Zahra, R. N. (2021). *Pemanfaatan Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Kadar TSS dan Kekeruhan*.

NOMENKLATUR

R = *Rejection rate*

Cp = Konsentrasi permeat

Cf = Konsentrasi air umpan