2026, Vol. 4, No. 3, pp. 676-692
E-ISSN: 3025-9444

Kinerja Teknologi *Reverse Osmosis* AROFAH dalam Pengolahan Air Permukaan sebagai Sumber Air Minum di Daerah Bencana

Panji Mahesa Monanov [1]✉, Setijo Bismo [2]
(1,2) Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Abstrak: Penyediaan air minum yang aman pada kondisi pascabencana merupakan kebutuhan yang sangat penting. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Prototipe Dasar dari Mesin AROFAH berbasis Teknologi *Reverse Osmosis* (RO) yang dirancang untuk mengolah berbagai sumber air permukaan menjadi air minum layak konsumsi. Sistem terdiri atas pra-perlakuan menggunakan filter *polypropylene* (PP), *granular activated carbon* (GAC), *carbon block* (CTO), dan membran RO *Polyamide Thin Film Composite* (TFC). Pengujian dilakukan menggunakan air permukaan di Gedung DTK, air danau, dan air sungai di lingkungan Kampus UI Depok dengan variasi flow restrictor 400 dan 550 mL/menit. Hasil yang diperoleh menunjukkan TDS permeat sebesar 2–15 mg/L dari TDS air baku 91–170 mg/L dengan efisiensi penyisihan 93–99%. Laju alir permeat relatif stabil pada 410–430 mL/menit selama 120 menit operasi. Seluruh sampel permeat memenuhi persyaratan mikrobiologi dengan *E. coli* dan Total Coliform 0 CFU/100 mL. Sistem hasil rancangan ini hanya membutuhkan daya sekitar 36 W sehingga berpotensi diterapkan sebagai unit penyediaan air minum portabel di daerah bencana.

Article history:
Received: 11 June 2026
Revised: 24 July 2026
Accepted: 26 July 2026
Published: 27 July 2026

Kata kunci:
osmosis terbalik, air minum AROFAH, air permukaan, daerah bencana, efisiensi TDS

Abstract: *The provision of safe drinking water in post-disaster conditions is a critical necessity. This study aims to evaluate the performance of the basic prototype of the AROFAH Machine based on Reverse Osmosis (RO) technology, designed to treat various sources of surface water into potable water. The system consists of pre-treatment using polypropylene (PP) filters, granular activated carbon (GAC), carbon block (CTO), and a Polyamide Thin Film Composite (TFC) RO membrane. Testing was conducted using surface water at the DTK Building, lake water, and river water on the UI Depok campus, with flow restrictor variations of 400 and 550 mL/min. The results showed permeate TDS of 2–15 mg/L from feedwater TDS of 91–170 mg/L, with removal efficiency of 93–99%. The permeate flow rate remained relatively stable at 410–430 mL/min during 120 minutes of operation. All permeate samples met microbiological requirements, with E. coli and Total Coliform at 0 CFU/100 mL. The designed system requires only about 36 W of power, making it potentially suitable as a portable drinking water unit for disaster-affected areas.*

Keyword:
reverse osmosis, AROFAH drinking water, surface water, disaster-affected areas, TDS efficiency

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.

How to cite: Monanov, P. M., & Bismo, S. (2026). Kinerja Teknologi *Reverse Osmosis* AROFAH dalam Pengolahan Air Permukaan sebagai Sumber Air Minum di Daerah Bencana. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, *4*(3), 676–692. https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.595

PENDAHULUAN

Akses terhadap air minum yang aman merupakan kebutuhan utama pada kondisi darurat pascabencana. Di Indonesia, sumber air permukaan seperti sungai, danau, atau genangan air sering tersedia, namun kualitasnya belum layak dikonsumsi karena kontaminasi fisik, kimia, maupun mikrobiologi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2021), sekitar 40% wilayah pesisir di Indonesia mengalami kesulitan akses air bersih dan layak konsumsi. Air memiliki peranan penting tidak hanya untuk kebutuhan dasar seperti mandi, mencuci, dan memasak, tetapi juga untuk menjaga kesehatan masyarakat.

✉ *Corresponding author:* ***mahesamonanov@gmail.com***
Copyright © 2026, the author(s)

Menurut WHO (2022), penyakit global yang ditularkan melalui air (*waterborne diseases*) bertambah secara signifikan dan bertanggung jawab atas ratusan ribu hingga jutaan kematian setiap tahunnya di seluruh dunia misalnya penyakit diare yang terkait dengan air minum yang tidak aman, terutama di negara-negara berkembang. Oleh karena itu, penyediaan air yang memenuhi standar kualitas fisik, kimia, dan biologis merupakan aspek fundamental dalam mendukung kesejahteraan manusia. Tantangan semakin meningkat pada saat terjadi bencana alam, seperti banjir bandang yang melanda Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat pada tahun 2025, yang mengakibatkan krisis air minum di wilayah terdampak.

Reverse Osmosis (RO) dipandang sebagai teknologi paling efektif untuk menurunkan TDS dan kontaminan dalam pengolahan air minum karena kemampuan membran semipermeabel yang tinggi. (Qasim et al., 2019). Reverse Osmosis (RO) merupakan teknologi membran yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air karena memiliki kemampuan rejeksi yang tinggi terhadap ion, senyawa organik, dan mikroorganisme. Secara global, teknologi RO menyumbang lebih dari 65% kapasitas desalinasi dunia dan terus berkembang karena efisiensi energinya yang semakin meningkat (Ahmed et al., 2023). Namun, kinerja sistem RO sangat dipengaruhi oleh karakteristik air baku, terutama tingkat kekeruhan dan kandungan bahan organik yang dapat menyebabkan fouling pada membran (Matin et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa fouling pada sistem RO terdiri dari kombinasi material organik, anorganik, dan biofilm yang dapat bervariasi pada setiap posisi membran dalam sistem (Jang et al., 2025).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sistem pra-perlakuan menjadi komponen penting dalam menjaga stabilitas operasi RO. Kombinasi filtrasi mikro seperti polipropilene (PP) dan adsorpsi karbon aktif sebelum membran RO dapat menurunkan konsentrasi padatan tersuspensi, bahan organik, dan senyawa yang berpotensi menyebabkan fouling. Dengan berkurangnya beban pencemar yang masuk ke membran, laju fouling dapat ditekan sehingga kinerja membran dan kestabilan fluks permeat dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang lebih lama (Ahmed et al., 2023). Keberadaan unit pra-perlakuan menjadi faktor penting dalam menjaga performa membran RO karena fouling dapat menyebabkan penurunan fluks permeat, peningkatan tekanan operasi, kenaikan konsumsi energi, serta memperpendek umur membran. Oleh karena itu, penggunaan kombinasi filter PP, GAC, dan CTO diperlukan untuk mengurangi padatan tersuspensi, bahan organik, dan kontaminan lain sebelum air memasuki membran RO (Ahmed et al., 2023).

Penelitian terkait sistem RO skala pilot menunjukkan bahwa pengolahan air limbah maupun air baku terkontrol umumnya masih menjadi fokus utama pengembangan teknologi membran (Li et al., 2024). Sistem UF-RO telah terbukti mampu meningkatkan kualitas air umpan dan mengurangi potensi fouling pada membran RO melalui proses pra-perlakuan yang lebih stabil. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada air limbah industri atau air baku dengan karakteristik relatif stabil, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi air permukaan alami yang memiliki fluktuasi kualitas tinggi. Meskipun berbagai studi telah membahas pengembangan sistem RO, sebagian besar penelitian masih berfokus pada air baku dengan karakteristik relatif stabil seperti air tanah atau air payau.

Kajian yang mengevaluasi kinerja sistem RO pada variasi sumber air permukaan nyata (sungai, danau, dan air lingkungan) dengan karakteristik fluktuatif masih terbatas, terutama dalam konteks aplikasi sistem portabel untuk kondisi darurat. Berdasarkan Tayeh et al. (2025), Sebagian besar penelitian fokus pada mekanisme fouling, metode cleaning, dan teknologi pra-perlakuan membran RO.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak berfokus pada mekanisme fouling, pengembangan material membran, maupun strategi pembersihan membran, penelitian ini memosisikan diri sebagai pengembangan dan evaluasi kinerja sistem RO portabel yang terintegrasi dengan pra-perlakuan bertingkat dan dirancang khusus untuk penyediaan air minum pada kondisi darurat pascabencana menggunakan berbagai sumber air permukaan nyata.

Selain itu, studi mengenai sistem RO juga menunjukkan bahwa desain pra-perlakuan sangat berperan dalam menjaga stabilitas operasi membran. Kombinasi filtrasi seperti sedimentasi, mikrofiltrasi, dan adsorpsi karbon telah digunakan dalam sistem pilot untuk menurunkan *Silt Density Index* (SDI) serta mengontrol fouling (Li et al., 2024). Di sisi lain, pengembangan material membran RO juga terus dilakukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap fouling, termasuk pendekatan modifikasi struktur *polyamide* untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus dan stabil secara operasional (Chen et al., 2025). Meskipun demikian, pendekatan tersebut umumnya berfokus pada material membran, bukan pada sistem portable secara keseluruhan.

Reverse osmosis merupakan teknologi pengolahan air yang relatif lebih hemat energi dibandingkan proses desalinasi termal, sehingga banyak digunakan dalam sistem penyediaan air minum modern. Perkembangan teknologi membran dan perangkat pemulihan energi juga terus meningkatkan efisiensi energi sistem RO (Nassrullah et al., 2020). Dari sisi energi, kebutuhan daya masih menjadi salah satu pertimbangan penting dalam pengoperasian sistem *Reverse Osmosis* (RO). Pengembangan sistem pengolahan air yang hemat energi, mudah dioperasikan, dan dapat diterapkan secara mandiri menjadi semakin penting untuk mendukung penyediaan air minum di daerah terpencil maupun situasi tanggap bencana. Teknologi RO yang dikombinasikan dengan sumber energi terbarukan telah banyak dikembangkan sebagai solusi untuk meningkatkan keberlanjutan dan fleksibilitas operasional sistem pengolahan air modern (Ghernaout et al., 2023). Oleh karena itu, integrasi sistem RO dengan konsumsi energi rendah menjadi aspek penting dalam pengembangan teknologi pengolahan air portabel. Selain itu, integrasi evaluasi performa sistem yang mencakup aspek kualitas air (TDS dan mikrobiologi), stabilitas operasi, dan efisiensi energi dalam satu sistem terpadu masih jarang dilakukan secara simultan. Padahal, aspek tersebut sangat penting untuk aplikasi di daerah bencana yang membutuhkan sistem sederhana, hemat energi, dan cepat dioperasikan.

Meskipun teknologi *Reverse Osmosis* (RO) telah banyak dikembangkan untuk pengolahan air payau, air tanah, maupun air limbah, kajian mengenai penerapan sistem RO portabel untuk pengolahan berbagai sumber air permukaan nyata pada kondisi darurat pascabencana masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pengembangan material membran, mekanisme fouling, strategi pembersihan membran, atau aplikasi pada air baku dengan karakteristik yang relatif stabil. Sementara itu, kondisi pascabencana umumnya memanfaatkan sumber air permukaan yang kualitasnya sangat bervariasi dan memerlukan sistem pengolahan yang portabel, hemat energi, mudah dioperasikan, serta mampu menghasilkan air minum yang aman secara fisik, kimia, dan mikrobiologi.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif kinerja sistem RO portabel AROFAH yang dilengkapi pra-perlakuan bertingkat (PP, GAC, dan CTO) untuk mengolah berbagai sumber air permukaan nyata yang memiliki karakteristik berbeda, yaitu air lingkungan DTK, air danau, dan air sungai. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kemampuan penyisihan padatan terlarut (TDS), tetapi juga mengkaji stabilitas operasi, laju alir permeat, *recovery* air, kualitas mikrobiologi, serta konsumsi energi dalam satu sistem terintegrasi yang dirancang khusus untuk penyediaan air minum pada kondisi darurat dan daerah bencana. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

dalam pengembangan teknologi RO portabel yang aplikatif untuk pemanfaatan sumber air permukaan sebagai sumber air minum darurat.

Teknologi Air Minum AROFAH berbasis RO telah dikembangkan sejak tahun 2023 di Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia, dengan sumber air tanah sebagai bahan baku. Air yang dihasilkan memiliki kualitas baik dan telah digunakan oleh sivitas akademika. Pada tahun 2024–2025, teknologi ini diperluas ke seluruh Departemen Teknik dan gedung kuliah, serta mulai diminati oleh mahasiswa dengan jumlah lebih dari 8.500 pengguna.

Di kampus UI Depok, selain air tanah dan PDAM, tersedia air permukaan dari enam danau utama yang dengan mudah diingat dengan singkatan "KAMPUS": Danau Kenanga, Agathis, Mahoni, Puspa, Ulin, dan Salam, yang semuanya tercemar limbah domestik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Prototipe Mesin AROFAH berbasis Reverse Osmosis (RO) dalam mengolah air permukaan menjadi air minum layak konsumsi. Sistem pengolahan menggunakan pra-perlakuan filtrasi bertingkat (PP, GAC, *Carbon Block*) sebelum membran RO *Polyamide* TFC. Spesifikasi teknis mesin mencakup pompa 24 Volt, laju alir 1 LPM, dan tekanan operasi 5–7,5 Bar. Uji dilakukan selama 5–30 menit per percobaan.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan mesin AROFAH dalam mengolah air tanah dan PDAM, namun efektivitasnya terhadap air permukaan dengan kualitas bervariasi masih perlu dievaluasi. Penelitian ini tidak hanya menguji kinerja prototipe mesin AROFAH berbasis RO portabel, tetapi juga menekankan desain hemat energi, portabilitas tinggi, dan pra-perlakuan bertingkat yang mampu menjaga stabilitas laju alir permeat serta kualitas mikrobiologi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penerapan sistem portabel yang inovatif, hemat energi, mudah dioperasikan, dan siap digunakan di daerah yang terdampak bencana, sehingga memberikan kontribusi baru baik dari segi rekayasa sistem maupun mitigasi krisis air minum.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan tujuan merancang dan mengevaluasi kinerja Prototipe Mesin Air Minum AROFAH berbasis *Reverse Osmosis* (RO) dalam mengolah air permukaan menjadi air minum layak konsumsi. Teknologi *reverse osmosis* (RO) banyak digunakan untuk menghasilkan air minum berkualitas tinggi karena memiliki kemampuan rejeksi yang sangat baik terhadap padatan terlarut, mikroorganisme, senyawa organik, dan berbagai kontaminan lainnya (Qrenawi & Abuhabib, 2020). Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan alat, instalasi unit pra-perlakuan, pengujian permeat, serta analisis data kimia, fisika, dan mikrobiologi.

Alat dan Bahan

Air baku yang digunakan berasal dari tiga sumber: yaitu air permukaan DTK, air danau, dan air sungai, untuk mewakili variasi kualitas air permukaan. Air permukaan seperti sungai dan danau umumnya mengandung bahan organik alami, partikel koloid, mikroorganisme, dan padatan tersuspensi yang berpotensi menyebabkan fouling pada membran RO apabila tidak dilakukan pra-perlakuan yang memadai (Qrenawi & Abuhabib, 2020).

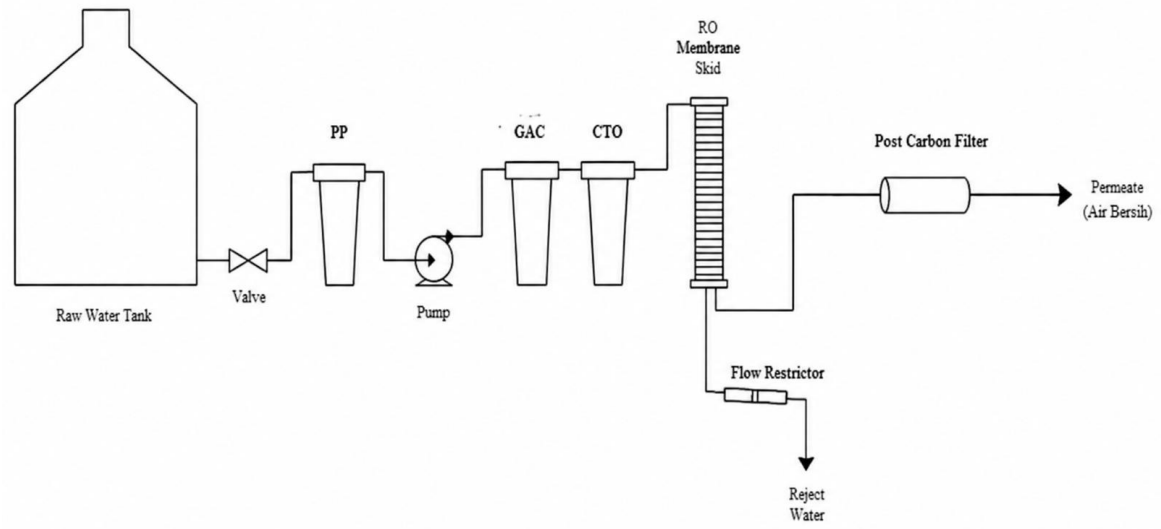
Unit pra-perlakuan terdiri dari tiga unit filter: filter PP (*Polypropylene*) untuk menghilangkan partikel kasar, filter GAC (*Granulated Activated Carbon*) sebagai adsorben untuk menyerap bahan organik dan mengendalikan bau atau warna air, serta *Carbon Block* (CTO) yang memberikan filtrasi tambahan sekaligus desinfeksi awal. Unit RO utama menggunakan membran *Polyamide Thin Film*

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Composite (TFC) untuk menolak ion, garam, logam berat, dan mikroorganisme. Aliran air dipompa menggunakan pompa 24 Volt, 1,5 A (~36 W) sehingga sistem dapat dioperasikan hemat energi. Pengukuran dan pengumpulan data dilakukan dengan TDS meter, pH meter, konduktivitas, dan alat uji mikrobiologi untuk *E. coli* serta Total Coliform. Sistem ini dirancang agar portabel, mudah dipasang, dan mampu memproses air permukaan menjadi permeat air minum yang aman dikonsumsi.

Prosedur

Tahap pertama adalah perancangan dan instalasi prototipe mesin AROFAH berbasis RO, dengan rancangan alat seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO

Pada Gambar 1 ditunjukkan aliran air dari reservoir air baku melalui rangkaian *unit* pra-perlakuan sebelum memasuki membran RO. Meskipun memiliki kemampuan pemisahan yang tinggi, performa membran RO sering dibatasi oleh fenomena fouling yang dapat menurunkan fluks permeat, meningkatkan kebutuhan energi, mempercepat frekuensi pencucian membran, dan menurunkan umur pakai membran. Oleh karena itu, keberadaan unit pra-perlakuan menjadi faktor penting dalam menjaga kinerja sistem RO (Qrenawi & Abuhabib, 2020). Air baku pertama-tama melewati filter PP (*Polypropylene*) untuk menghilangkan kotoran kasar dan partikel tersuspensi. Selanjutnya, air dialirkan melalui filter GAC (*Granular Activated Carbon*) yang berfungsi sebagai adsorben untuk menyerap bahan organik dan mengontrol bau atau warna air. Tahap berikutnya adalah *Carbon Block* (CTO) yang memberikan filtrasi tambahan sekaligus desinfeksi awal.

Setelah pra-perlakuan, air masuk ke membran RO TFC (*Thin Film Composite*), di mana sebagian besar ion, garam, logam berat, dan mikroorganisme disaring. Hasil filtrasi dibagi menjadi permeat (air bersih) dan *reject water* (air konsentrat). Permeat selanjutnya melewati *Post Carbon Filter*, yang berfungsi meningkatkan rasa, menghilangkan sisa bau, dan menstabilkan kualitas air sebelum dikonsumsi. Aliran reject diatur menggunakan flow restrictor untuk menjaga tekanan operasi membran tetap optimal. Spesifikasi operasi sistem RO meliputi Pompa RO 24 V, 1,5 A (~36 W), Laju alir umpan: ±1 LPM, Tekanan operasi: 5–7,5 Bar, Variasi flow restrictor: 400 mL/menit dan 550 mL/menit.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Gambar ini menegaskan bahwa kombinasi pra-perlakuan dan membran RO efektif untuk menurunkan TDS dan parameter mikrobiologi, sementara *Post Carbon Filter* memastikan air permeat siap diminum dengan rasa yang baik. Pengaturan aliran dan tekanan juga menunjukkan stabilitas laju alir selama pengoperasian prototipe mesin AROFAH berbasis RO, sesuai dengan data pengukuran TDS dan *Recovery* (%) yang dilaporkan pada Hasil dan pembahasan.

Gambar 2. Alat Prototipe mesin AROFAH berbasis RO saat pengujian air permukaan DTK

Gambar 2 menunjukkan prototipe Mesin AROFAH berbasis RO yang sudah diinstalasi dan digunakan dalam penelitian ini untuk mengolah air permukaan DTK menjadi air minum layak konsumsi. Terlihat tiga unit filter pra-perlakuan di bagian bawah dari sebelah kiri: filter PP, filter GAC, dan *Carbon Block* (CTO), yang masing-masing berfungsi untuk menyaring partikel kasar, menyerap bahan organik, dan memberikan desinfeksi awal sebelum air memasuki membran RO.

Di bagian tengah, terlihat pompa 24 V / 1,5 A (36 W) yang memberikan tekanan operasi optimal bagi membran RO, sedangkan membran RO TFC terpasang di unit atas (*RO Membrane Skid*). Saluran permeat dari membran mengarah ke Post Carbon Filter, yang berfungsi meningkatkan rasa dan menghilangkan sisa bau, sehingga air yang keluar merupakan permeat siap minum.

Sistem juga dilengkapi *flow restrictor* untuk mengatur aliran *reject*, sehingga menjaga tekanan membran tetap stabil dan mencegah *fouling* awal. Gambar ini mendemonstrasikan integrasi pra-perlakuan, membran RO, dan filtrasi akhir dalam prototipe mesin AROFAH berbasis RO portabel, serta memperlihatkan tata letak fisik alat yang *compact* dan mudah dioperasikan di laboratorium maupun lapangan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan rancangan *post-test only design* untuk mengevaluasi kinerja mesin Reverse Osmosis (RO) AROFAH dalam mengolah air permukaan menjadi air minum. Variabel bebas penelitian adalah jenis air baku (air sungai, air danau, dan air permukaan DTK) serta laju alir umpan yang diatur menggunakan flow restrictor sebesar 400

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

dan 550 mL/menit. Variabel terikat meliputi *Total Dissolved Solids* (TDS), pH, suhu, debit permeat, persen rejeksi garam (*salt rejection*), dan *water recovery*. Variabel yang dikendalikan meliputi jenis membran RO, konfigurasi sistem pretreatment, waktu operasi, temperatur lingkungan, serta prosedur pengambilan sampel. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak dua kali pengulangan (duplo) untuk memperoleh hasil yang representatif dan mengurangi pengaruh variasi pengukuran. Nilai yang disajikan merupakan rata-rata dari seluruh hasil pengujian. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi (SD). Analisis dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran pada setiap kondisi operasi dan membandingkan kinerja sistem *Reverse Osmosis* terhadap masing-masing jenis air baku.

Setelah tahap pengujian air permukaan DTK selesai, kemudian dilanjutkan dengan pengujian dengan menggunakan air baku air permukaan yang lain, yaitu air sungai Danau Mahoni dan air sungai kecil yang terdapat di depan Fakultas Ilmu Administrasi (FIA). Pengujian dilakukan selama 120 menit dengan air baku (air danau dan air sungai) sebanyak ±150 L ditampung di reservoir HDPE biru dan kemudian melewati filtrasi bertingkat sebagai berikut:

1. Filter PP (tahap I) : menghilangkan kotoran kasar seperti pasir dan sedimen.
2. Filter GAC (tahap II) : melakukan adsorpsi bahan organik dan pengendalian bau dan warna air.
3. *Carbon Block* (tahap III) : penyaringan tambahan sekaligus desinfeksi awal sebelum masuk ke membran RO.

Sistem pra-perlakuan terdiri dari filter polipropilene (PP), *granulated activated carbon* (GAC), dan *carbon block* (CTO) yang berfungsi untuk mengurangi suspended solid, senyawa organik, serta meningkatkan kualitas air umpan sebelum masuk ke membran RO. Kombinasi pra-perlakuan ini terbukti efektif dalam mengurangi fouling membran (Zhao et al., 2026). Selanjutnya, air masuk ke membran RO *Polyamide Thin Film Composite* (TFC) yang tersusun atas:

1. Lapisan atas: *Polyamide* tipis sebagai penyaring utama ion, garam, logam berat, bakteri, virus.
2. Lapisan tengah: *microporous polysulfone* sebagai penyangga mekanik.
3. Lapisan bawah: *polyester support web* sebagai penguat mekanik untuk kekuatan dan stabilitas membran.

Saluran permeat dari membran RO mengarah ke *Post Carbon Filter*, yang diuji sebagai air permeat sedangkan air *reject* keluaran RO juga diuji sebagai *air reject*. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen komparatif dengan tiga jenis sumber air baku, yaitu air permukaan DTK, air danau, dan air sungai. Untuk setiap sumber air dilakukan pengukuran parameter kualitas air sebelum dan sesudah proses pengolahan menggunakan sistem RO AROFAH.

Parameter yang diamati meliputi Total Dissolved Solids (TDS), pH, suhu, konduktivitas, laju alir permeat, recovery air, serta parameter mikrobiologi berupa Escherichia coli dan Total Coliform. Pengukuran TDS, pH, suhu, konduktivitas dilakukan menggunakan TDS dan pH meter digital (4 in 1) yang dikalibrasi sebelum pengujian sesuai petunjuk pabrikan. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter digital yang dikalibrasi menggunakan larutan buffer standar pH 4,00; 7,00; dan 10,00.

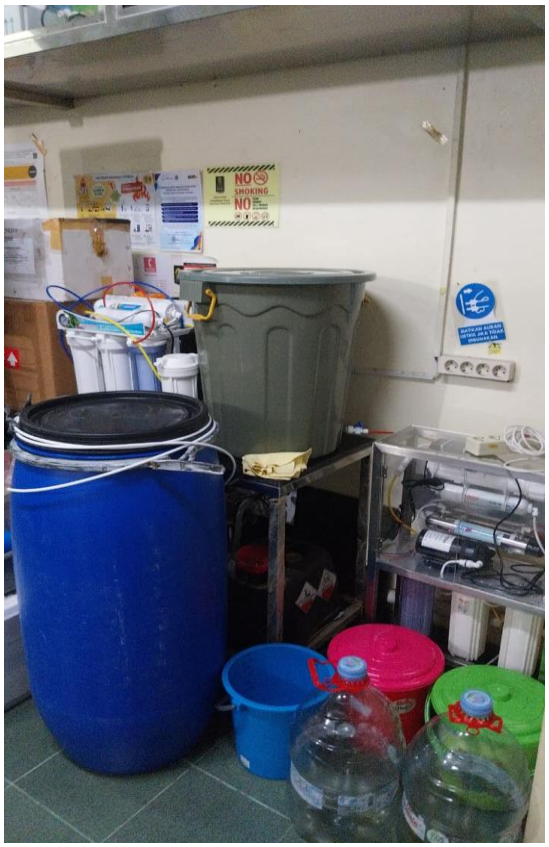
Pengujian kualitas air mengacu pada *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2023). Pengukuran TDS dilakukan menggunakan metode APHA 2550 C, pH menggunakan APHA 4500-H^+ B, sedangkan suhu air mengacu pada APHA 2550 B. Analisis mikrobiologi dilakukan sesuai metode APHA 9222 untuk parameter Total Coliform dan Escherichia coli. Kesalahan pengukuran (*measurement error*) diminimalkan melalui pengulangan pengujian, kalibrasi

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

instrumen sebelum pengukuran, penggunaan operator yang sama selama seluruh rangkaian eksperimen, serta prosedur pengambilan sampel yang seragam pada setiap kondisi operasi. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak dua kali pengulangan untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran. Nilai yang disajikan pada penelitian ini merupakan nilai rata-rata dari kedua hasil pengujian. Variasi hasil pengukuran dinyatakan menggunakan simpangan baku (*standard deviation*) yang dihitung dari dua kali pengulangan untuk memberikan gambaran konsistensi hasil pengukuran.

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai parameter sebelum dan sesudah pengolahan serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap baku mutu air minum berdasarkan Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023.

Dalam analisis eksperimen, prototipe mesin AROFAH berbasis RO ini terbukti mampu menurunkan TDS air permukaan DTK dari 97 mg/L menjadi 5–9 mg/L, menjaga laju alir permeat stabil sekitar 25,8 L/jam, dan menurunkan E. coli serta Total Coliform menjadi 0 CFU/100 mL, menunjukkan efektivitas sistem dalam kondisi nyata.



Gambar 3. Alat Prototipe mesin AROFAH berbasis RO saat pengujian air danau dan sungai

Gambar 3. memperlihatkan pengoperasian prototipe Mesin AROFAH berbasis RO dengan sumber air dari danau dan sungai. Pada gambar terlihat reservoir besar untuk menampung air baku, diikuti oleh unit pra-perlakuan yang terdiri dari filter PP, GAC, dan *Carbon Block*. Sistem RO terlihat di sisi kanan, dengan pompa 36 W yang mengalirkan air melalui membran RO TFC.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Permeat dari membran kemudian melewati *Post Carbon Filter* sebelum dikumpulkan sebagai air minum siap konsumsi. *Flow restrictor* juga terlihat, berfungsi menjaga tekanan membran agar laju alir permeat tetap stabil dan mengurangi risiko fouling awal.

Pengujian menggunakan air danau dan sungai menunjukkan bahwa Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO tetap menghasilkan permeat dengan TDS rendah (2–6 mg/L untuk danau, 3–4 mg/L untuk sungai) dan pH serta suhu yang stabil, meskipun kualitas air baku lebih bervariasi dibanding air permukaan DTK. Hasil ini menegaskan efektivitas kombinasi pra-perlakuan dan membran RO dalam mengolah berbagai sumber air permukaan sekaligus mempertahankan kinerja sistem portabel.

Gambar ini juga menekankan aspek portabilitas dan kesiapan lapangan, karena sistem dapat menampung volume air baku besar dan tetap mempertahankan aliran permeat konstan, cocok untuk pengujian di laboratorium maupun potensi penggunaan di lokasi bencana.

Dari air permeat dan air *reject* yang dihasilkan ada beberapa parameter yang diukur meliputi TDS, pH, suhu, konduktivitas dan laju alir permeat. Hasil dari pengukuran parameter tersebut akan diolah dan dibahas di dalam hasil dan pembahasan. Berikut beberapa rumus yang digunakan untuk mengukur % *reject* dan *water recovery*.

Efisiensi penolakan TDS (% reject) dihitung dengan rumus:

$$\eta = \frac{TDS_{umpan} - TDS_{permeat}}{TDS_{umpan}} \times 100\%$$

Untuk air permukaan DTK:

$$\eta = \frac{97 - 6}{97} \times 100\% = 93.8\%$$

Untuk air danau:

$$\eta = \frac{146 - 5}{146} \times 100\% = 96.6\%$$

Untuk air sungai:

$$\eta = \frac{170 - 3}{170} \times 100\% = 98.2\%$$

Nilai ini sangat sesuai dengan karakteristik membran *Polyamide* TFC yang umumnya memiliki *rejection* garam 95 – 99%.

Perhitungan untuk Recovery (%) dari filtrasi RO:

$$Recovery\ (\%) = \frac{Volume_{permeat}}{Volume_{umpan}} \times 100\%$$

Untuk air permukaan DTK:

$$Recovery\ (\%) = \frac{36.0}{78.0} \times 100\% = 46.2\%$$

Untuk air danau:

$$Recovery\ (\%) = \frac{25.8}{74.3} \times 100\% = 34.7\%$$

Untuk air sungai:

$$Recovery\ (\%) = \frac{25.2}{73.8} \times 100\% = 34.1\%$$

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Unit RO portabel skala kecil biasanya memiliki *Recovery* 25–40% karena keterbatasan tekanan operasi dan perlindungan membran dari fouling, sedangkan Unit skala industri atau *high-pressure* RO bisa mencapai *Recovery* 50–60% atau lebih, tetapi memerlukan daya lebih tinggi dan sistem pra-perlakuan yang lebih kompleks (Qasim et al., 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Baku

Air permukaan memiliki karakteristik yang kompleks karena mengandung bahan organik alami (*natural organic matter*), partikel koloid, mikroorganisme, serta ion anorganik yang berpotensi menyebabkan *organic fouling*, *colloidal fouling*, *biofouling*, dan *scaling* pada membran RO. Oleh karena itu, evaluasi kinerja sistem RO pada sumber air permukaan nyata menjadi penting untuk menilai ketahanan sistem terhadap variasi kualitas air baku (Tayeh et al., 2025). Penelitian ini menggunakan tiga jenis air permukaan sebagai sumber air baku: air permukaan DTK, air danau, dan air sungai. Parameter fisik dan kimia yang diukur meliputi TDS, pH, dan suhu. Hasil pengukuran menunjukkan:

Tabel 1. Nilai Karakteristik Air Baku (nilai rata-rata ± simpangan baku, n=2)

Sumber Air	TDS (mg/L)	pH	Suhu (°C)
Air permukaan DTK	94,0 ± 4,2	4,72 ± 0,21	28,0 ± 0,42
Air danau	159,5 ± 19,1	7,31 ± 0,70	32,9 ± 1,48
Air sungai	175,0 ± 7,1	7,57 ± 0,74	29,7 ± 0,99

Data ini menunjukkan bahwa air sungai memiliki TDS tertinggi dan pH lebih basa, sedangkan air permukaan DTK memiliki TDS paling rendah dan lebih asam. Variasi ini menjadi dasar evaluasi kinerja sistem RO, terutama dalam menurunkan TDS dan menghasilkan permeat air minum yang aman serta layak konsumsi.

Variasi ini digunakan untuk mengevaluasi performa sistem pada kondisi kualitas air yang berbeda-beda, sebagaimana direkomendasikan dalam studi pilot RO yang menunjukkan pentingnya pengujian dari sumber air permukaan yang berbeda untuk menilai stabilitas sistem (Villegas-mendoza et al., 2026).

Penurunan TDS dan Efisiensi *Rejection*

Perubahan nilai TDS permeat menunjukkan adanya perubahan kemampuan rejeksi membran terhadap zat terlarut. Fouling yang terjadi pada membran tidak hanya menurunkan fluks permeat, tetapi juga dapat memengaruhi proses pemisahan sehingga kualitas permeat mengalami penurunan. Menurut (Najid et al., 2022), terbentuknya lapisan foulant pada membran meningkatkan resistansi perpindahan massa dan memengaruhi kinerja pemisahan membran selama operasi berlangsung. Efisiensi sistem RO dalam menurunkan TDS diukur dengan membandingkan TDS air baku dan permeat. Hasilnya:

Tabel 2. Nilai Efisiensi TDS (nilai rata-rata ± simpangan baku, n=2)

Sumber Air	TDS Permeat (mg/L)	Efisiensi TDS (%)
Air permukaan DTK	6,75 ± 0,89	95,13 ± 0,75
Air danau	3,59 ± 1,37	98,29 ± 0,76
Air sungai	3,73 ± 0,70	98,46 ± 0,27

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe Mesin AROFAH berbasis RO berhasil menghasilkan permeat dengan TDS sangat rendah untuk semua sumber air permukaan: 6,75 ± 0,89 mg/L (air permukaan DTK), 3,59 ± 1,37 mg/L (air danau), dan 3,73 ± 0,70 mg/L (air sungai). Nilai ini konsisten dengan kemampuan membran *Polyamide* TFC untuk mencapai tingkat penolakan padatan terlarut yang tinggi (>95%) karena struktur semipermeabelnya yang selektif terhadap ion dan molekul kecil. Hal ini sejalan dengan temuan dalam literatur bahwa membran TFC biasanya memberikan rejection garam yang sangat tinggi, mendekati >95% di berbagai aplikasi RO untuk air payau dan permukaan air industri (Qasim et al., 2019).

Pada pengujian menggunakan air sungai, meskipun memiliki nilai TDS air baku yang lebih tinggi (175,0 ± 7,1 mg/L) dibandingkan air danau (159,5 ± 19,1 mg/L), sistem Reverse Osmosis AROFAH tetap menghasilkan kualitas permeat yang sangat baik dengan nilai TDS sebesar 3,73 ± 0,70 mg/L, yang sebanding dengan permeat dari air danau (3,59 ± 1,37 mg/L). Efisiensi penyisihan TDS juga menunjukkan nilai yang sangat tinggi, yaitu 98,46 ± 0,27% pada air sungai dan 98,29 ± 0,76% pada air danau. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi kualitas air baku dalam rentang penelitian tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan sistem dalam menghasilkan air minum berkualitas.

Kinerja tersebut sejalan dengan mekanisme pemisahan membran Reverse Osmosis berbahan *Thin Film Composite (TFC) poliamida*, yang mampu menahan sebagian besar ion terlarut melalui mekanisme eksklusi ukuran (*size exclusion*) dan tolakan muatan (*Donnan exclusion*). Oleh karena itu, meskipun air baku memiliki kandungan padatan terlarut yang berbeda, sistem AROFAH tetap mampu mempertahankan efisiensi penyisihan TDS di atas 98%, sehingga menghasilkan permeat dengan kandungan padatan terlarut yang rendah dan memenuhi persyaratan kualitas air minum.

Stabilitas Operasi dan Laju Alir

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa fouling pada membran RO tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, bahkan ketika sistem telah dilengkapi dengan unit pra-perlakuan yang memadai. Oleh karena itu, evaluasi performa sistem RO pada kondisi operasi nyata tetap diperlukan (Najid et al., 2022). Pada penelitian ini dilakukan pengujian stabilitas operasi yang dievaluasi dari laju alir permeat:

Tabel 3. Laju Alir Air Permeat

Sumber Air	Laju Alir Permeat (mL/menit)	Debit L/jam
Air danau	430	25,8
Air sungai	420	25,2

Menurut (Suhartono et al., 2024), penggunaan kombinasi pra-perlakuan seperti MF (filter PP) dan adsorben karbon aktif dapat secara signifikan dapat mengurangi laju fouling organik dan biofouling, sekaligus mempertahankan laju alir permeat yang stabil. Hal ini mendukung hasil penelitian AROFAH, di mana laju alir permeat stabil sekitar 25–26 L/jam selama durasi operasi, menunjukkan bahwa pra-perlakuan telah menurunkan beban fouling ke tingkat yang operasional.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan laju alir permeat stabil selama operasi, sehingga kapasitas produksi relatif konsisten meskipun sifat air baku berbeda. Selama pengujian, debit permeat relatif konstan, menunjukkan bahwa kombinasi pra-perlakuan filter cukup efektif:

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

- PP Filter (Mikro Filtrasi) menghilangkan kotoran kasar dan melindungi membran.
- GAC (*Granulated Activated Carbon*) berfungsi sebagai adsorben partikel dan kontrol bau/warna.
- CTO (*Carbon Block*) menyediakan adsorpsi tambahan sekaligus desinfeksi awal.

Penggunaan pra-perlakuan ini mengurangi risiko fouling membran. Pra-perlakuan yang efektif dapat mengurangi fouling membran dan mempertahankan laju alir permeat secara stabil (Suhartono et al., 2024). Namun, integrasi filter UF (Ultra Filtrasi) dapat meningkatkan efektivitas perawatan membran dan mempermudah pemeliharaan sistem jangka panjang, sesuai literatur tentang proteksi membran RO.

Pengaruh *Flow Restrictor*

Pengujian variasi *flow restrictor* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap laju alir dan tekanan operasi:

Tabel 4. Perbandingan Flow Restrictor

Flow Restrictor	Laju Alir Permeat	Tekanan (Bar)	Catatan
400 mL/menit	410 mL/menit	5–6	Kualitas permeat tetap baik
550 mL/menit	430 mL/menit	6–7,5	Laju alir lebih tinggi

Hal ini menunjukkan bahwa *flow restrictor* mempengaruhi laju alir permeat dan tekanan operasi, namun kualitas air tetap stabil. Menurut (Rifai et al., 2024), Peningkatan tekanan operasi RO meningkatkan efisiensi pengurangan Cl^- dan TDS pada air payau, menunjukkan pentingnya pengaturan tekanan untuk performa optimal.

Perhitungan Recovery (%)

Recovery RO (%) dihitung dari rasio antara volume permeat dan total volume umpan (permeat + reject):

Tabel 5. Nilai Perhitungan Water Recovery

Sumber Air	Volume Permeat (L/jam)	Volume Umpan Total (L/jam)	*Recovery* (%)
Air permukaan di Gedung DTK	36,0	78,0	46,2
Air danau	25,8	74,3	34,7
Air sungai	25,2	73,8	34,0

Hasil ini menunjukkan bahwa *recovery* AROFAH lebih tinggi pada air permukaan DTK dibanding air danau dan sungai, yang menunjukkan efisiensi produksi air minum dipengaruhi kualitas dan karakteristik air baku. Nilai *Recovery* (%) yang dicapai di sini (46,2 % untuk air permukaan DTK dan sekitar 34% untuk air danau dan sungai) berada dalam rentang yang umum untuk unit RO portabel. Nilai *recovery* yang relatif tinggi untuk air permukaan DTK menunjukkan efektivitas desain pra-perlakuan dan pengaturan flow restrictor pada prototipe mesin AROFAH berbasis RO ini.

Literatur nilai *recovery* untuk RO skala kecil biasanya berada di kisaran 25–40% karena keterbatasan tekanan operasi dan upaya untuk mencegah fouling cepat, sedangkan unit industri dengan tekanan lebih tinggi dapat mencapai 50–60% atau lebih (Qasim et al., 2019; Sumirat & Ali, 2022).

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Uji Total Coliform dan E. coli

Kontaminasi mikrobiologis merupakan salah satu penyebab utama penyakit yang ditularkan melalui air (*waterborne diseases*). Mikroorganisme indikator dan patogen seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella spp.* sering ditemukan pada air permukaan yang menerima masukan limbah domestik, limpasan pertanian, serta air buangan dari instalasi pengolahan air limbah. Keberadaan mikroorganisme tersebut menunjukkan adanya kontaminasi yang berasal dari kotoran manusia atau hewan dan berpotensi menimbulkan risiko kesehatan masyarakat apabila air digunakan tanpa pengolahan yang memadai. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sungai, danau, dan badan air permukaan lainnya dapat menjadi media transmisi bakteri patogen yang menyebabkan penyakit bawaan air (Cho et al., 2020).

Analisis mikrobiologi dilakukan terhadap parameter *Escherichia coli* dan *Total Coliform* di Laboratorium PAM Jaya yang terletak di Jl. Pejompongan Raya, Jakarta Pusat. Pengujian dilakukan menggunakan metode uji ISO 9308 – 1 : 2014 Amd 2016 dengan teknik Membrane Filtration. Hasil pengujian dinyatakan dalam satuan CFU/100 mL dan dibandingkan dengan baku mutu air minum berdasarkan Permenkes RI Nomor 2 Tahun 2023. Pengujian dilakukan pada sampel air baku dan air permeat untuk mengevaluasi efektivitas sistem RO dalam menghilangkan kontaminasi mikrobiologi.

Tabel 6. Hasil Uji Mikrobiologi

Sumber air	Parameter	Sebelum RO (CFU/100 mL)	Setelah RO (CFU/100 mL)	Standar Maksimum (CFU/100 mL)
Air Permukaan DTK	E. coli	0	0	0
Air Permukaan DTK	Total Koliform	0	0	0
Sungai	E. coli	>80	0	0
Sungai	Total Koliform	>80	0	0
Danau	E. coli	>80	0	0
Danau	Total Koliform	>80	0	0

Uji mikrobiologi dilakukan untuk menilai kemampuan Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO dalam menurunkan kontaminasi bakteri. Parameter yang diuji meliputi *Escherichia coli* dan Total Koliform, sesuai standar air minum (0 CFU/100 mL). Hasil pengujian menunjukkan bahwa air baku dari sungai dan danau memiliki kadar *E. coli* dan Total Koliform >80 CFU/100 mL. Setelah diolah menggunakan Mesin AROFAH, semua sampel permeat menunjukkan *E. coli* dan Total Koliform 0 CFU/100 mL, memenuhi standar nasional dan aman untuk dikonsumsi.

Hasil uji mikrobiologi yang menunjukkan 0 CFU/100 mL untuk *E. coli* dan Total Coliform menegaskan bahwa kombinasi pra-perlakuan dan membran RO tidak hanya efektif secara fisika-kimia tetapi juga secara biologis, sama seperti yang telah dilaporkan dalam studi tentang peran pra-perlakuan dalam meminimalkan biofouling dan kontaminan mikroba di instalasi RO (Hoek et al., 2022).

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Sistem Hemat Energi

Berdasarkan (Ahmed et al., 2023) dijelaskan bahwa salah satu perkembangan utama RO modern adalah penurunan konsumsi energi melalui optimasi sistem dan desain operasi. Pengoperasian prototipe mesin AROFAH berbasis RO menggunakan pompa 24 Volt, 1,5 Ampere, sehingga daya listrik total hanya sekitar 36 W ($P = V \times I$), sehingga termasuk kategori sistem RO dengan kebutuhan energi rendah. Konsumsi daya sistem sebesar sekitar 36 W menunjukkan potensi penerapan teknologi RO berenergi rendah untuk kondisi darurat dan daerah terpencil, sejalan dengan tren pengembangan sistem RO modern yang menitikberatkan pada efisiensi energi dan kemudahan operasional (Ahmed et al., 2023).

Kebutuhan daya yang relatif rendah memungkinkan teknologi Reverse Osmosis (RO) diterapkan pada sistem pengolahan air berskala kecil hingga menengah. Selain itu, RO dapat diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan untuk mendukung operasi yang lebih berkelanjutan, terutama pada daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses terhadap air minum dan listrik. Oleh karena itu, pengembangan unit pengolahan air yang portabel, efisien, dan mudah dioperasikan menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam mendukung penyediaan air bersih pada kondisi darurat maupun wilayah yang belum terjangkau infrastruktur dasar (Ghernaout et al., 2023). Hal ini juga sejalan dengan HP-POU-RO yang dikembangkan (Takeuchi et al., 2025), yang menunjukkan bahwa sistem RO portabel mampu menghasilkan air bersih tanpa ketergantungan pada jaringan listrik besar, menjadikannya solusi berkelanjutan untuk daerah terpencil atau bencana.

Perbandingan dengan RO portable lain

Untuk menilai keunggulan Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO, hasil penelitian ini dibandingkan dengan beberapa sistem RO portabel yang telah dilaporkan dalam literatur. Parameter yang dibandingkan meliputi: efisiensi penolakan TDS (%), Recovery (%), kapasitas produksi (L/jam), dan kemampuan penghilangan mikroba (Total Coliform & E. coli). Berikut adalah tabel perbandingan kinerja RO portabel:

Tabel 7. Perbandingan kinerja RO portabel

Parameter	Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO (Penelitian Ini)	RO Depot Makassar (Gusnawati, 2023)	HP-POU-RO India (Takeuchi et al., 2025)	RO Portable (Sumirat & Ali, 2022)	Keterangan
Sumber Air	Sungai dan danau	Sumur	Sumur dan reservoir brackish	Air relatif jernih, keruh, berbau	Berbeda sumber air
TDS Umpan (ppm)	91–170	261	680–1080	120–200	Variasi kualitas air baku
TDS Permeat (ppm)	2–15	38	37–78	2–10	Semua memenuhi standar air minum
TDS Rejection (%)	93–99	85	88–94	92–95	Rejection tinggi di semua sistem

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Recovery (%)	34–46	Tidak disebutkan	40–70	Tidak disebutkan	AROFAH memiliki recovery yang cukup baik
Kapasitas / produksi	25–36 L/jam	Depot/rumah tangga (tidak spesifik)	~31,6 L/hari (manual)	Skala rumah tangga <20–30 L/jam	AROFAH lebih tinggi kapasitasnya untuk kondisi bencana
pH	6,5–7,0	8,41	6,5–8,5	6,5–8,5	Semua sesuai standar
E. coli & Total Coliform	0 CFU/100 mL	0 CFU/100 mL	0 CFU/100 mL	0 CFU/100 mL	Semua aman untuk konsumsi
Energi / SEC	~36 W	Listrik depot	0,18–0,20 kWh/m³	Listrik rumah tangga	Semua hemat energi / portabel

Prototipe mesin AROFAH berbasis RO menunjukkan efisiensi “rejection” (penolakan) TDS yang cukup tinggi (93–99%) dan kemampuan eliminasi mikrobiologi setara dengan semua sistem RO portabel lainnya, termasuk yang diuji pada air relatif bersih maupun air permukaan keruh. Recovery AROFAH (31–46%) lebih rendah dibanding beberapa unit HP-POU-RO India karena diuji pada air permukaan keruh yang lebih menantang, tetapi tetap dalam rentang wajar untuk sistem portabel.

Kapasitas produksi AROFAH (25–36 L/jam) lebih tinggi dibanding RO portabel skala rumah tangga, sehingga lebih cocok digunakan di daerah bencana dengan kebutuhan air minum cepat. Pra-perlakuan bertingkat pada AROFAH (PP, GAC, *Carbon Block*) memungkinkan pengolahan air permukaan yang bervariasi, memberikan keunggulan dibanding beberapa sistem literatur yang diuji pada air lebih bersih. Dari sisi kualitas fisik dan kimia, AROFAH memenuhi standar air minum nasional dengan pH 6,5–7,0, serta E. coli dan Total Coliform 0 CFU/100 mL, sebanding atau lebih unggul dari RO portabel lain.

Secara keseluruhan, data uji kinerja prototipe mesin AROFAH berbasis RO dalam penelitian ini tidak hanya merefleksikan performa sistem RO portabel yang baik secara kuantitatif (TDS, *recovery*, laju alir), tetapi juga konsisten dengan tren ilmiah tentang pentingnya pra-perlakuan, kontrol fouling, dan desain hemat energi dalam pengolahan air permukaan. Hal ini menunjukkan novelty kontribusi aplikasi RO portabel pada variasi sumber air permukaan yang biasanya kurang dibahas dalam literatur yang lebih fokus pada air payau atau air industri.

Dibandingkan penelitian terdahulu, sistem AROFAH memiliki keunggulan pada kemampuan mengolah beberapa jenis air permukaan nyata yang memiliki karakteristik berbeda dengan tetap mempertahankan efisiensi penyisihan TDS di atas 93%, kualitas mikrobiologi memenuhi standar air minum, serta kebutuhan daya yang rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem AROFAH tidak hanya layak digunakan sebagai unit pengolahan air minum portabel, tetapi juga berpotensi diterapkan pada kondisi tanggap darurat dan daerah bencana yang memiliki keterbatasan infrastruktur air bersih.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Prototipe Mesin AROFAH berbasis Reverse Osmosis (RO) efektif mengolah berbagai sumber air permukaan menjadi air dengan kualitas yang sangat baik. Sistem pengolahan yang terdiri atas filtrasi bertingkat dan membran RO *Polyamide* TFC menghasilkan air permeat dengan TDS berkisar 2–15 mg/L dari air baku yang memiliki TDS 91 – 170 mg/L, dengan efisiensi penyisihan mencapai lebih dari 95%.

Kinerja sistem relatif stabil selama pengoperasian hingga 120 menit, ditunjukkan oleh laju alir permeat yang konstan serta kualitas produk yang tidak mengalami penurunan signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pra-perlakuan yang digunakan mampu mengurangi potensi fouling dan mempertahankan kinerja membran RO.

Dari sisi operasional, kebutuhan daya yang rendah (sekitar 36 Watt) serta kemampuan menghasilkan air minum sekitar 25 L/jam menjadikan sistem ini berpotensi dikembangkan sebagai unit penyediaan air minum portabel di daerah bencana. Dengan kapasitas tersebut, satu unit mesin dapat menyediakan kebutuhan air minum bagi ratusan orang per hari.

Apabila diterapkan di daerah bencana seperti Provinsi Aceh maupun Provinsi Sumatera Barat, Prototipe Mesin AROFAH berbasis RO memiliki prospek yang sangat baik karena kedua wilayah tersebut memiliki ketersediaan sumber air permukaan yang relatif melimpah, baik berupa sungai, danau maupun genangan air pascabencana. Untuk implementasi lapangan diperlukan dukungan sistem sanitasi yang baik, pengujian mikrobiologi secara berkala, serta penyesuaian kapasitas produksi sesuai jumlah korban terdampak. Dengan penyempurnaan lebih lanjut, teknologi ini berpotensi menjadi salah satu solusi penyediaan air minum darurat yang praktis, hemat energi, dan mudah dioperasikan di berbagai wilayah Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, M. A., Amin, S., & Mohamed, A. A. (2023). *Heliyon Fouling in reverse osmosis membranes : monitoring , characterization , mitigation strategies and future directions*. *Heliyon*, *9*(4), e14908. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14908

BPS. (2021). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia* 2021. *Badan Pusat Statistik*.

Chen, Y., Zhou, X., Wang, Z., Zhang, T., Wang, W., Niu, Q. J., & Sun, H. (2025). *Covalent organic polymers limit interfacial polymerization for smooth reverse osmosis membrane with high and anti-fouling performance*. *Journal of Membrane Science*, *734*(April), 124488. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2025.124488

Cho, S., Jackson, C. R., & Frye, J. G. (2020). *The prevalence and antimicrobial resistance phenotypes of Salmonella , Escherichia coli and Enterococcus sp . in surface water*. *Letters in Applied Microbiology*, 3–25. https://doi.org/10.1111/lam.13301

Ghernaout, D., Irki, S., Elboughdiri, N., & Ghernaout, B. (2023). *Solar-Driven Water Treatment : New Technologies , Challenges , and Futures*. 110–152. https://doi.org/10.4236/gsc.2023.132007

Gusnawati, G. (2023). *Analisis Kualitas Air Minum Isi Ulang Dengan Menggunakan Teknologi Reverse Osmosis (RO)*. *8*(2), 66–70.

Hoek, E. M. V, Weigand, T. M., & Edalat, A. (2022). *Reverse osmosis membrane biofouling : causes , consequences and countermeasures*. *Npj Clean Water*. https://doi.org/10.1038/s41545-022-00183-0

Jang, D., Kim, M., Choi, H., Im, S., & Jang, A. (2025). *Chemosphere Fouling characteristics and cleaning strategies of reverse osmosis membranes at different stages in a wastewater reclamation process*. *Chemosphere*, *377*(December 2024), 144352.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144352

Li, X., Lin, L., Zhang, X., Dai, R., Wu, Z., & Wang, Z. (2024). *Performance and fouling characteristics in a pilot-scale reverse osmosis membrane system for microelectronic wastewater treatment. Separation and Purification Technology*, *337*(October 2023), 126333. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126333

Matin, A., Laoui, T., Falath, W., & Farooque, M. (2021). *Science of the Total Environment Fouling control in reverse osmosis for water desalination & reuse : Current practices & emerging environment-friendly technologies. Science of the Total Environment*, *765*, 142721. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142721

Najid, N., Nepo, J., Kouzbour, S., Gourich, B., Ruiz-garcía, A., Vial, C., Stiriba, Y., & Semiat, R. (2022). *Fouling control and modeling in reverse osmosis for seawater desalination : A review. Computers and Chemical Engineering*, *162*, 107794. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107794

Nassrullah, H., Anis, S. F., Hashaikeh, R., & Hilal, N. (2020). *Energy for desalination : A state-of-the-art review*. *491*(June). https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114569

Qasim, M., Badrelzaman, M., Darwish, N. N., & Darwish, N. A. (2019). *Reverse osmosis desalination : A state-of-the-art review*. *459*(March), 59–104. https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.008

Qrenawi, L. I., & Abuhabib, A. A. (2020). *A review on sources , types , mechanisms , characteristics , impacts and control strategies of fouling in RO membrane systems*. *Desalination and Water Treatment*, *208*, 43–69. https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26448

Rifai, A., Rita, D., Hartaja, K., Sulaeman, O., & Setiadi, I. (2024). *Jurnal Teknologi Lingkungan 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*. *25*(2), 300–307. https://doi.org/10.55981/jtl.2024.705

Suhartono, J., Salsabilla, A., & Rosalina, D. (2024). *Pengurangan Kandungan Total Dissolved Solid (TDS), Konduktivitas dan Natural Organic Matter (NOM) pada Air Baku Bendungan Jatiluhur Menggunakan Kombinasi Membran dan Ion Exchange. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, *8*(2), 106–115.

Sumirat, N. R., & Ali, M. (2022). *Rancang Bangun Alat Filtrasi Penyedia Air Siap Minum dengan Sistem Reverse Osmosis*. *4*(1), 36–46.

Takeuchi, K., Martinez-iniesta, A. D., & Fajardo-diaz, J. L. (2025). *Results in Engineering Field evaluation of a hand-powered reverse osmosis system for sustainable water purification in off-grid rural India. Results in Engineering*, *28*(October), 108228. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108228

Tayeh, Y. A., Alazaiza, M. Y. D., Alzghoul, T. M., & Jk, M. (2025). Journal of Hazardous Materials Advances *A comprehensive review of RO membrane fouling : Mechanisms , categories , cleaning methods and pretreatment technologies. Journal of Hazardous Materials Advances*, *18*(February), 100684. https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100684

Villegas-mendoza, E., Alvillo-rivera, J., Silva-luna, C. D., Venegas-reyes, E., & Gutierrez-macías, T. (2026). *Reverse osmosis pilot plant employed for pollutants-free drinking water production from the groundwater Mezquital valley , Mexico : An alternative to solve water scarcity in Metropolitan area Iv a*. *326*(March). https://doi.org/10.1016/j.dwt.2026.101786

WHO. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda*.

Zhao, Y., Gao, L., Chang, N., Hou, J., Zhang, Z., & Dong, Y. (2026). *Advancing antifouling strategies for reverse osmosis membranes : Insights into fouling mechanisms and innovative fabrication approaches for membranes*. *Separation and Purification Technology*, *390*(399), 137015. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.137015

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.