

Unit Ultrafiltrasi-Karbon Aktif-Resin Penukar Ion Terintegrasi untuk Pengolahan Air Sumur Menjadi Air Minum

Putu Teta Prihartini Aryanti¹, Tania Finarianingrum², Annisa Rakhmawati Darlis³, Fahmi Widjaya⁴, dan Adhani Nur Fajrina⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

¹p.teta@lecture.unjani.ac.id, ²taniafinarianingrum@gmail.com, ³annisardarlis@gmail.com, ⁴fahmiisays@gmail.com,

⁵adhaninf@gmail.com

Abstrak

Ketersediaan air sumur yang terbebas dari kontaminan organik dan zat mineral masih menjadi permasalahan di beberapa daerah di Indonesia. Pada umumnya, air sumur diolah secara fisik dengan menggunakan sand filter dan adsorben (karbon aktif atau zeolit) atau integrasi keduanya. Walaupun prosesnya sederhana, produk air belum memenuhi standar baku mutu air minum. Penelitian ini mengusulkan teknologi terintegrasi ultrafiltrasi berbasis polisulfon (UF), karbon aktif (KA), dan resin penukar ion (*Ion Exchange/IE*) sebagai alternatif pengolahan air sumur menjadi air baku untuk minum. Membran UF memiliki fluks permeat sebesar $42 \text{ L.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Hasil analisa menggunakan model Hermia menunjukkan bahwa fouling yang terbentuk didominasi oleh fouling total dan standard dengan nilai R^2 masing-masing sebesar 0.8989 dan 0.8952. Selama 2 (dua) jam proses filtrasi, penurunan fluks permeat sebesar 19%. Berdasarkan data hasil analisa produk air, unit UF-KA mampu menurunkan kesadahan, zat organik, zat besi, dan kontaminan lainnya hingga di bawah nilai ambang batas kontaminan untuk standar baku mutu air minum. Namun konsentrasi senyawa mangan masih sebesar 0,601 mg/L di atas ambang batas standar (0,4 mg/L). Dengan penambahan unit IE setelah proses UF-KA, produk air yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu air minum. Penyisihan turbiditas, besi, dan mangan untuk unit UF-KA-IE adalah masing-masing sebesar 95,9%; 99,9%; dan 72,5%.

Kata kunci: Air Minum, Karbon Aktif, Pengolahan Air, Resin Penukar Ion, Ultrafiltrasi.

Abstract

The availability of healthy well water is still become a problem in several areas in Indonesia, including Cimahi City, West Java. In general, the well water is treated using sand filter and adsorbent (either activated carbon or zeolite). However, the conventional methods produced unsafe drinking water, which does not meet drinking water standards. This study proposed integrated polysulfone ultrafiltration (UF), activated carbon (KA), and ion exchange resin (IE), as an alternative technology. The UF membrane provided a permeate flux of $42 \text{ L.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Based on Hermia's model, the fouling was dominated by total and standard fouling with R^2 values of 0.8989 and 0.8952, respectively. During the 2 (two) hours of filtration, the permeate flux decreased by 19%. Based on data from the analysis of water products, the UF-KA unit reduced hardness, organic matter, iron, and other contaminants to below the threshold value for drinking water quality standards. However, the concentration of manganese compounds was still 0.601 mg/L above the standard threshold (0.4 mg/L). With the addition of the IE unit after the UF-KA process, the water products produced meet the drinking water quality standards. The removal of turbidity, iron, and manganese by the UF-KA-IE was 95.9%, 99.9%, and 72.5%.

Keywords: Drinking Water, Activated Carbon, Water Treatment, Ion Exchange Resin, Ultrafiltration

1. Pendahuluan

Sebagian wilayah di Indonesia masih memiliki permasalahan ketersediaan air bersih untuk minum, termasuk kota Cimahi, Jawa Barat (Aryanti *dkk.*, 2020a). Sumber air yang diperoleh dari sumur umumnya masih mengandung kontaminan organik maupun mineral yang tinggi, sehingga tidak layak untuk dikonsumsi secara langsung (Aryanti *dkk.*, 2020b). Kandungan kontaminan dalam air sumur, terutama zat besi (Fe) dan mangan (Mn), dapat menyebabkan bau dan rasa pada air serta meninggalkan lapisan berwarna kuning pada tempat penampungan air (Gozali *dkk.*, 2020). Keberadaan kedua zat tersebut dapat menimbulkan endapan pada sistem saluran air, noda pada pakaian, serta bau pada air baku.

Secara umum, pengolahan air sumur yang digunakan oleh masyarakat adalah pengolahan secara fisik, berupa *sand filter*, karbon aktif, atau zeolit karena sistem operasi yang sederhana dan biaya operasional yang rendah (Mande *dkk.*, 2018; Yusuf *dkk.*, 2021). Pengolahan dengan teknik penjerapan (adsorpsi) tersebut masih belum dapat menghilangkan

Info Makalah:

Dikirim : 09-26-21;

Revisi 1 : 11-02-21;

Diterima : 11-11-21.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 812-2122-3985

e-mail : p.teta@lecture.unjani.ac.id

partikel terlarut secara sempurna, terutama untuk sumber air mengandung partikulat dan mineral yang tinggi (Ranjan & Prem, 2018). Selain itu, proses regenerasi dari adsorben menggunakan bahan kimia, sehingga perlu tambahan biaya operasional.

Dalam pengolahan air permukaan, teknologi membran telah digunakan sebagai alternatif proses konvensional untuk menghasilkan air minum yang

bebas akan kontaminan (Aryanti *dkk.*, 2015; Wenten *dkk.*, 2017; Yu *dkk.*, 2020). Teknologi membran menawarkan beberapa keunggulan, seperti konsumsi energi yang rendah, sistem operasi yang sederhana, kebutuhan lahan yang lebih kecil karena desain sistem membran yang bersifat modular, dan ramah terhadap lingkungan (Aryanti *dkk.*, 2016; Wenten *dkk.*, 2016). Salah satu teknologi membran yang umum digunakan untuk pengolahan air adalah ultrafiltrasi (UF). Membran UF dapat beroperasi pada tekanan rendah yaitu 1 – 2 bar, serta memiliki ukuran pori 0,001 μm (1 nm) – 0,1 μm (100 nm) atau MWCO antara 10,000 – 100,000 dalton (Zeman & Zydney, 1996). Karena ukuran pori yang sangat kecil, mikroorganisme seperti virus, patogen, dan bakteri mampu disisihkan oleh membran UF sehingga air yang dihasilkan layak dikonsumsi secara langsung (Baker, 2012; Guo *dkk.*, 2018). Pada beberapa kasus, membran UF dapat digunakan untuk menyisihkan partikulat sekaligus sebagai unit desinfeksi dalam menghasilkan kualitas air minum (Guo *dkk.*, 2018; Oka *dkk.*, 2017).

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan aplikasi membran UF untuk mengolah air baku menjadi air minum. Xu *dkk.* (2019) membandingkan performa filter pasir atau sand filter (SF) dengan membran UF dalam kemampuan penyisihan senyawa organik dalam air. Filter pasir yang digunakan adalah pasir silika atau pasir aktif yang diaktivasi menggunakan pelarut KMnO_4 . Membran UF menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menyisihkan senyawa organik berberat molekul tinggi (MW) dibandingkan SF. Namun dalam penyisihan senyawa organik berberat molekul rendah, unit SF memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan dengan membran UF. Ditemukan juga bahwa membran UF mampu menyisihkan alga hingga 98,7%. Cheng *dkk.* (2020) menggunakan unit SF sebagai pre-treatment membran UF untuk meminimalisasi fouling pada membran. Konsep yang sama juga diterapkan oleh Guo *dkk.* (2018), di mana integrasi unit SF dan UF mampu menyisihkan COD dan DOC dalam air sebesar 30% dan 17%. Selain SF, membran UF juga dapat diintegrasikan dengan unit lainnya, terutama untuk meminimalisasi *fouling*. Yu *dkk.* (2021) menggunakan kombinasi kolagulasi dan ultrafiltrasi rotasi untuk pengolahan air baku menjadi air minum. *Fouling* pada membran UF dapat diminimalisasi dengan proses koagulasi sebagai *pre-treatment*.

Kombinasi lain dengan karbon aktif (KA) dan resin penukar ion (IE) juga telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas produk air. Karbon aktif memiliki daya adsorpsi yang tinggi terhadap detergen, senyawa fenol, warna dalam air, gas metana, dan senyawa organik (Said, 2007). Terdapat dua (2) jenis karbon aktif yang umum digunakan untuk pengolahan air, yaitu berbentuk butiran atau granular (*granular activated carbon/GAC*) dan bubuk atau powder (*powdered activated carbon/PAC*) (Delgado *dkk.*, 2019). Beberapa konfigurasi integrasi UF – KA telah dipelajari pada penelitian terdahulu, yaitu dengan meletakkan karbon aktif pada: (i) sebelum unit membran sebagai *pre-treatment* (Cheng *dkk.*, 2019), (ii) integrasi UF-KA dalam satu modul (*single unit*) (Zhang *dkk.*, 2019), dan (iii) setelah unit membran sebagai *post-treatment* (Tagliavini *dkk.*, 2020). Pada konfigurasi pertama, unit KA berfungsi menghilangkan kontaminan yang dapat menyebabkan *fouling* pada membran. Kelemahan pada konfigurasi yang pertama adalah cepatnya unit karbon aktif untuk jenuh jika digunakan untuk mengolah air dengan kandungan senyawa organik dan senyawa logam yang tinggi. Unit KA yang telah jenuh perlu proses regenerasi dengan menggunakan bahan kimia, yang tentunya akan berdampak pada penambahan biaya operasional (Silva *dkk.*, 2015).

Dalam pengolahan air, resin penukar ion umumnya digunakan untuk menghilangkan kesadahan dalam air (Rangreez & Asiri, 2019). Prinsip kerja dari resin penukar ion adalah kombinasi antara adsorpsi permukaan dan daya tarik elektrostatis ke gugus fungsi yang ada pada rantai polimer. Regenerasi unit IE umumnya menggunakan bahan kimia, diantaranya adalah garam (NaCl dan KCl), asam (asam asetat dan asam sitrat), dan alkali (NaOH dan KOH). Bergantung pada ion yang akan ditukar, penukar ion dapat dibagi menjadi penukar kation dan anion. Pertukaran kation dan anion secara simultan juga dapat dilakukan dengan menggunakan jenis bahan tertentu (penukar ion amfoter) (Abe, 2018). Yu *dkk.* (2019) menggunakan media pertukaran ion magnetik (MIEX) sebagai *pre-treatment* UF. *Fouling* pada membran UF terlihat pada waktu operasi sekitar 60 hari. Instalasi MIEX sebelum UF meningkatkan penyisihan mikropolutan organik hingga 64 – 74% (Chen *dkk.*, 2019). Pada umumnya, unit IE diletakkan sebagai *post treatment* membran untuk menghindari cepat jenuhnya resin penukar ion. Seperti KA, regenerasi IE memerlukan bahan kimia dan dapat berdampak pada biaya operasional (Keskitalo *dkk.*, 2007). Jika dibuang secara langsung maka akan berdampak buruk bagi lingkungan.

Jika penelitian sebelumnya menempatkan unit adsorpsi sebagai *pre-treatment* membran UF, maka dalam penelitian ini unit-unit tersebut ditempatkan sebagai *post treatment*. Konfigurasi tersebut bertujuan agar beban kerja unit adsorpsi menjadi lebih rendah, sehingga umur pakai unit adsorpsi menjadi lebih panjang. Pengaruh konfigurasi *post-treatment* dan performa unit membran UF untuk pengolahan air sumur diinvestigasi lebih lanjut terhadap kualitas produk air. Membran UF yang digunakan adalah berbasis polisulfon (PSF) hollow fiber, yang dirangkai dalam modul pipa polivinil klorida (PVC). Tiga jenis *post-treatment* yang digunakan dalam studi ini adalah karbon aktif (KA), filter pasir aktif (SF), dan resin penukar ion (IE). Pengaruh unit terintegrasi UF-KA dan UF-KA-IE dibandingkan untuk mengetahui hasil produk yang lebih baik untuk dapat digunakan sebagai air minum. Sampel air sumur diperoleh dari salah satu perumahan di Kota Cimahi.

2. Material dan Metode

2.1. Material

Membran UF komersial berbasis polisulfon disuplai oleh CV. GDP Filter, bandung, dengan luas permukaan total sebesar 0,58 m². Membran *hollow fiber* disusun dalam modul berdiameter 2 in (0,0508 m) dan panjang modul sebesar 25 cm (0,25 m). Membran UF hollow fiber memiliki ukuran pori rata-rata sebesar 20 kDa. Sampel air sumur diperoleh dari salah satu perumahan yang berada di Kelurahan Melong, Kecamatan Cimahi Selatan, Kota Cimahi. Kandungan senyawa kimia yang melebihi ambang batas standar baku mutu air minum pada air sumur tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Karbon aktif yang digunakan adalah Calgon Carbsorb 30, yang ditempatkan dalam modul berbentuk silinder berukuran 10 in dan disuplai oleh produsen lokal. Karbon aktif jenis ini memiliki luas permukaan sebesar 870 m².g⁻¹, densitas 0,533 g.cc⁻¹, dan total volume pori sebesar 44,9 cm³.g⁻¹. Resin penukar kation (Nanotec OCB Resin Lewatit, diameter modul 10 in) dan filter pasir (yang telah diaktifkan dengan KMnO₄, diameter modul 10 in) juga diperoleh dari produsen lokal tanpa ada perlakuan khusus.

Tabel 1. Kandungan Senyawa Kimia dalam Umpan Air Sumur yang Melebihi Ambang Batas Standar Baku Mutu Air Minum.

No	Parameter	Satuan	Hasil Pengujian
1	Kekeruhan	NTU	10,5
2	Total besi (Fe)	mg.L ⁻¹	1,71
3	Mangan total (Mn)	mg.L ⁻¹	0,545

Keterangan: Baku mutu mengacu kepada standard air minum No. 492/MENKES/PER/IV/2010.

2.2. Pengolahan Air Sumur dengan Unit Terintegrasi UF-KA, UF-SF, dan UF-KA-IE

Umpan air sumur digunakan tanpa pengolahan lebih lanjut. Unit membran UF dioperasikan secara *crossflow* pada tekanan operasi tetap 1 bar. Unit pengolahan air terintegrasi UF-KA, UF-SF, dan UF-KA-IE ditunjukkan pada Gambar 1. Penggunaan membran UF bertujuan untuk merejeksi kontaminan seperti partikulat, bakteri hingga virus yang terkandung dalam air umpan. Pada konsep pengolahan yang pertama (UF-KA), air produk UF dialirkan menuju KA atau manganese filter pada laju alir tetap (Gambar 1a). Produk air ditampung dalam botol sampel, untuk selanjutnya diuji berdasarkan pada standard baku air minum No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Pengujian kualitas air dilakukan berdasarkan metode standard untuk Pemeriksaan Air dan Air Limbah (APHA), di Laboratorium Kualitas Air ITB. Sedangkan pada konsep kedua, produk UF tidak hanya difiltrasi lebih lanjut menggunakan KA namun juga dengan IE (Gambar 1b).



Gambar 1. Rangkaian unit pengolahan air sumur: (a) UF-KA atau SF dan (b) UF-KA-IE

2.3. Pengujian Fluks Permeat dan Rejeksi Membran UF

Kinerja membran diuji berdasarkan dua parameter, yaitu fluks dan selektivitas membran. Fluks air murni diuji dengan mengukur volume permeat per satuan waktu per luasan membran pada tekanan 1 bar dengan sistem aliran *crossflow*. Adapun persamaan perhitungan fluks air murni adalah sebagai berikut (Wenten *dkk.*, 2020):

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \tag{1}$$

Pengamatan terhadap perubahan fluks diamati selama 2 jam waktu operasi, Pengukuran fluks dilakukan setiap 20 menit.

Rejeksi membran UF (*R*) dihitung menggunakan persamaan (2), dengan membandingkan konsentrasi kontaminan di produk (*C_p*) dan umpan (*C_f*).

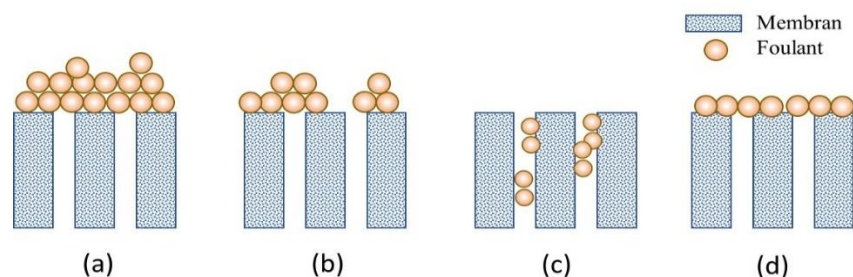
$$R(\%) = \left(1 - \left(C_p/C_f\right)\right) \times 100\% \quad (2)$$

2.4. Analisa Fouling Membran

Analisa *fouling* dilakukan berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya (Ariono, D dkk., 2018; Wenten dkk., 2019). Mekanisme *fouling* yang terjadi selama proses ultrafiltrasi air sumur dianalisis menggunakan model Hermia, yang ditunjukkan pada Persamaan (2) sampai (4). Konstanta *fouling* ditentukan berdasarkan pengukuran fluks permeat yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi fluks permeat selama waktu operasi 500 menit. Data model yang memiliki nilai R^2 tertinggi didefinisikan sebagai *fouling* dominan yang terbentuk pada membran UF. Persamaan linear untuk pemodelan *fouling* dijelaskan pada Tabel 2. Adapun definisi masing-masing *fouling* pada struktur membran ditunjukkan pada Gambar 2 (Wenten dkk., 2019).

Tabel 2. Persamaan Linier untuk Analisis *Fouling* Selama Pengolahan Air Sumur (Wenten dkk., 2019).

Kode	Mekanisme <i>fouling</i>	Persamaan linear	Persamaan no.
Model 1	Lapisan Cake (kode: ci)	$\frac{1}{J^2} = \frac{1}{J_o^2} + K_{cf}t$	(3)
Model 2	<i>Penyumbatan sebagian</i> (kode: ib)	$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_o} + K_{ib}A t$	(4)
Model 3	<i>Penyumbatan standard</i> (code: sb)	$\frac{1}{J^{1/2}} = \frac{1}{J_o^{1/2}} + K_{sb}t$	(5)
Model 4	<i>Penyumbatan total</i> (code: cb)	$\ln(J) = \ln(J_o) + K_{cb}t$	(6)



Gambar 2. Mekanisme *Fouling* pada Struktur Membran: (a) Lapisan Cake; (b) Penyumbatan Sebagian; (c) Penyumbatan Standar; (d) Penyumbatan Sempurna

3. Hasil dan Pembahasan

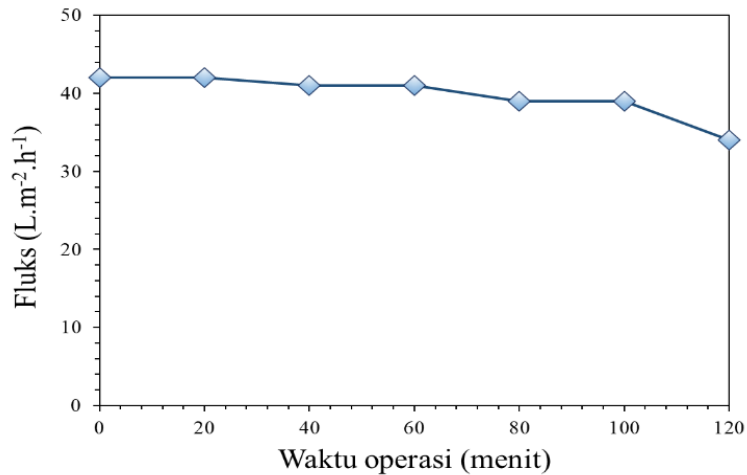
3.1. Fluks Air Bersih Membran Ultrafiltrasi (UF)

Hasil pengukuran fluks permeat membran UF berbasis polisulfon ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat dilihat bahwa fluks permeat awal adalah sebesar $42 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Setelah dioperasikan selama dua (2) jam, fluks permeat menurun hingga $34 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ (Gambar 3a). Sementara itu, penurunan fluks akibat *fouling* dalam struktur membran diamati dengan membandingkan fluks permeat pada waktu tertentu dengan fluks awal membran (J/J_o). Penurunan fluks permeat selama dua jam waktu operasi hanya sebesar 19%. Pada umumnya, akumulasi kontaminan air di permukaan membran, atau *fouling*, dapat terjadi secara cepat di awal proses ultrafiltrasi (Yin dkk., 2020). Penurunan fluks awal pada membran dapat diakibatkan oleh adanya *fouling* senyawa organik dalam air sumur yang mudah teradsorpsi di permukaan membran polisulfon karena interaksi hidrofobik (Ariono, D. dkk., 2018). Adanya gaya dorong tekanan dari pompa menyebabkan interaksi kontaminan terjadi lebih cepat dan terakumulasi di permukaan membran sehingga membentuk *fouling*. Namun *fouling* pada membran (*foulant*) masih bersifat *reversible* dan mudah tersapu oleh aliran *cross-flow* pada sistem membran. Hal ini ditunjukkan oleh rendahnya penurunan fluks selama 2 jam proses ultrafiltrasi.

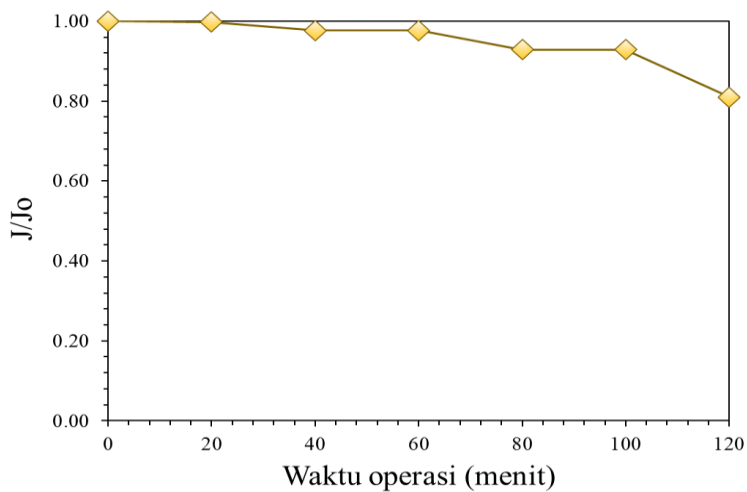
3.2. Analisis *Fouling* Dominan pada Membran UF Selama Ultrafiltrasi Air Sumur

Prediksi pembentukan *fouling* dan fluks permeat yang dihasilkan oleh membran UF dihitung untuk waktu operasi 500 menit (Gambar 4). Fluks permeat (J) dari hasil perhitungan pada persamaan persamaan linier (3) sampai (6) di plot terhadap waktu. Nilai R^2 untuk masing-masing fluks dalam yang dihitung dari persamaan Tabel 1 ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai R^2 tertinggi adalah sebesar 0,8989 yang dimiliki oleh persamaan *fouling* model 4 (*penyumbatan total*) yang diikuti oleh nilai R^2 pada model 3 yaitu 0,8952 (*penyumbatan standard*). Hal ini menunjukkan bahwa kedua *fouling* tersebut dapat terjadi secara simultan selama proses ultrafiltrasi air sumur. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *fouling* di permukaan membran dapat disapu oleh gaya geser yang diciptakan oleh aliran *cross-*

flow sehingga penurunan fluks akibat *fouling* tidak terlalu tajam. Prediksi fluks yang dihasilkan pada 500 menit waktu ultrafiltrasi adalah sekitar $25 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ atau terjadi penurunan sebesar 40,5% dari fluks awal. Pembersihan membran dapat dilakukan pada penurunan fluks di sekitar 25% atau apabila kualitas air sudah mencapai di bawah kualitas standard baku mutu air minum. Pencegahan *fouling* pada membran dapat dilakukan dengan cara pembersihan secara berkala menggunakan metode *backwash* (aliran balik) atau *flushing*, baik menggunakan produk air atau penambahan bahan kimia (Ding *dkk.*, 2020; Urbanowska & Kabsch-Korbutowicz, 2018; Zhang & Fu, 2018).

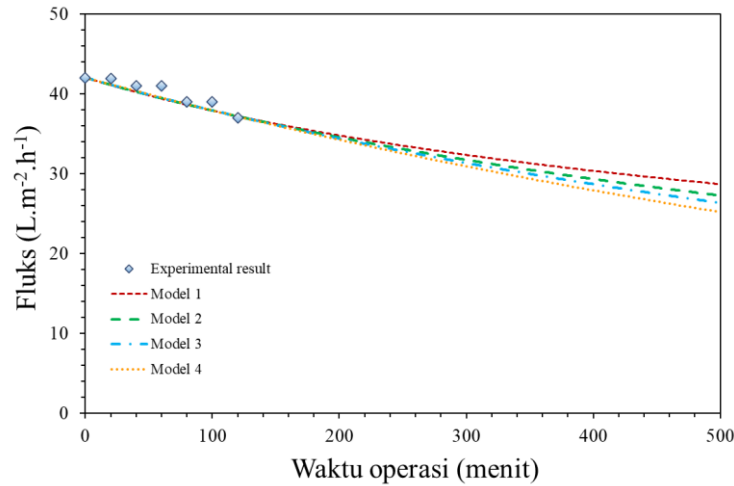


(a)

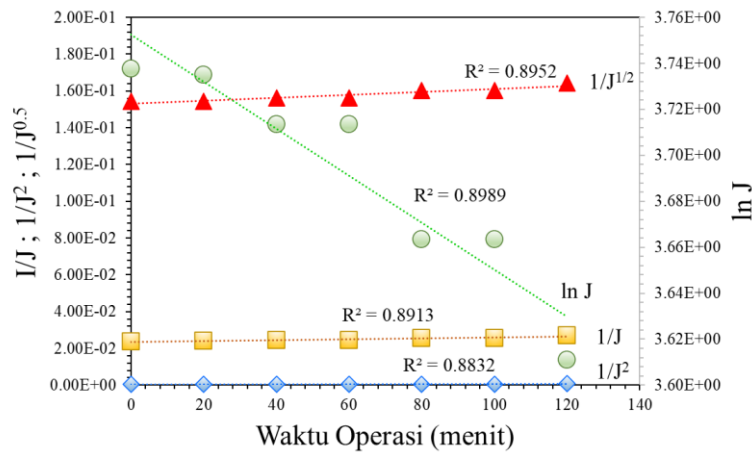


(b)

Gambar 3. Fluks Permeat Membran *hollow fiber* Berbasis PSf pada Tekanan Operasi Tetap Sebesar 1 bar: (a) Profil Fluks Permeat dan (b) Rasio Fluks Permeat Terhadap Fluks Awal Membran (J/J_0)



Gambar 4. Model *Fouling* pada Membran UF Selama Waktu Operasi 500 Menit dan Tekanan Tetap 1 bar



Gambar 5. Nilai R² Model Hermia untuk Setiap Mekanisme *Fouling* pada Membran UF

3.3. Performa Unit Integrasi UF-KA, UF-SF, dan UF-KA-IE pada Pengolahan Air Sumur Untuk Air Minum

Performa masing-masing unit pengolah air yang digunakan untuk mengolah air sumur menjadi air minum ditunjukkan pada Tabel 3. Dapat dilihat bahwa konfigurasi yang memenuhi standar baku mutu air minum adalah UF-KA-IE. Sementara itu, unit terintegrasi UF-KA dan UF-IE masih menghasilkan kandungan mangan (Mn) yang melebihi standar baku mutu air minum. Kemampuan penyisihan dari masing-masing konfigurasi setelah 2 jam (120 menit) proses penyaringan diperlihatkan pada Gambar 6. Dapat dilihat bahwa unit UF-KA mampu menyisihkan kekeruhan, mangan, dan besi masing-masing sebesar 95%, 74%, dan 72%. Sementara itu, unit UF-SF mampu menyisihkan kekeruhan sebesar 91%, mangan sebesar 73% dan besi sebesar 52%. Penyisihan oleh unit UF-KA-IE lebih tinggi, yaitu masing-masing sebesar 95.9%, 99.9%, dan 72.5%. Secara keseluruhan, penyisihan tertinggi adalah pada penyisihan kekeruhan air (>90%). Penyisihan kekeruhan lebih didominasi oleh peran membran UF. Ukuran pori membran UF yang sangat kecil mampu menyisihkan partikulat, koloid, bakteri, bahkan virus. Kekeruhan pada produk air untuk ketiga konfigurasi adalah di bawah 0,5 NTU.

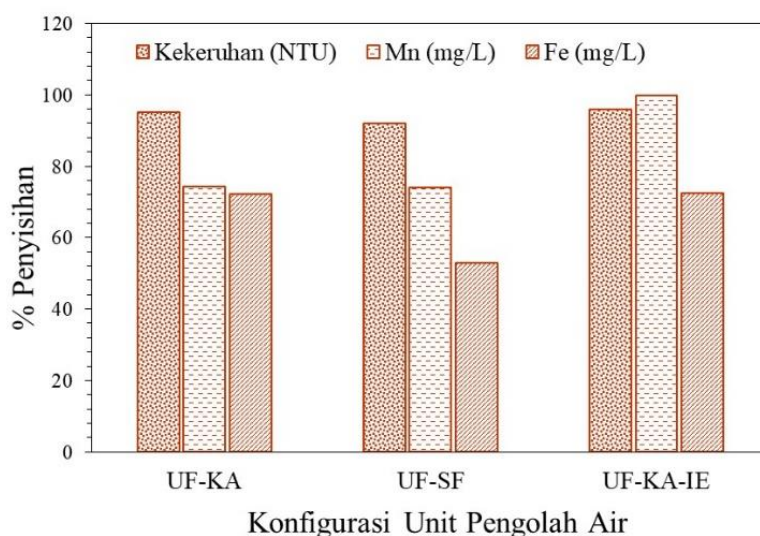
Tabel 3. Kualitas Produk Air Setelah Proses Pengolahan

Parameter analisis	Satuan	Baku Mutu	Umpan	UF-KA	UF-SF	UF-KA-IE
kekeruhan	NTU	5	10,5	0,5	0,85	0,427
Mn	mg.L ⁻¹	0,4	1,71	0,441	0,445	0,001
Fe	mg.L ⁻¹	0,3	0,545	0,152	0,257	0,15

Efektifitas penyerapan karbon aktif terhadap senyawa logam dalam air dipengaruhi oleh laju alir dan juga daya serap karbon aktif terhadap senyawa logam. Laju alir umpan melewati karbon aktif, yaitu efluen UF sebesar 34 - 42 L.m⁻².h⁻¹, berdampak pada waktu kontak antara umpan dan partikel. Interaksi senyawa logam dan karbon aktif yang

lemah oleh Gaya Van der Waals dapat menyebabkan lepasnya interaksi oleh adanya laju alir yang tinggi. Selain itu, konsentrasi mangan yang cukup tinggi melalui karbon aktif, memungkinkan adanya senyawa yang lolos dari karbon aktif menuju aliran produk. Fenomena yang hampir sama terjadi pada unit UF-SF, dimana unit SF belum mampu menyisihkan mangan secara baik, sehingga konsentrasi senyawa tersebut masih di atas standar syarat kualitas air minum. Untuk meningkatkan performa penyisihan dengan menggunakan *post-treatment* KA dan SF, maka perlu volume KA atau SF yang lebih besar dari yang telah digunakan saat ini.

Dalam penelitian ini, unit IE ditambahkan setelah proses UF-KA untuk meningkatkan kualitas produk air. Unit IE dalam penelitian ini menggunakan resin penukar kation yang selektif terhadap ion-ion bermuatan positif, seperti besi dan mangan. Karena selektifitas yang tinggi maka besi, mangan, atau ion-ion bivalen positif yang masih lolos dari unit KA akan dengan mudah teradsorpsi oleh resin dan terjadi pertukaran ion dengan gugus positif yang ada dalam resin. Hasil analisis keseluruhan produk air dari unit terintegrasi UF-KA-IE ditunjukkan pada Tabel 4. Dapat dilihat bahwa produk air telah memenuhi standar baku untuk air minum, sehingga dapat dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari bahkan untuk minum.



Gambar 6. Kemampuan Penyisihan Senyawa Terlarut dalam Air Sumur

Tabel 4. Kualitas produk air hasil pengolahan dengan unit UF-KA-IE

Parameter		Standar Maksimum	Hasil Pengujian
Parameter Fisik			
1	Bau	-	Tidak berbau
2	Zat padat terlarut (TDS)	500 mg.L ⁻¹	414 mg.L ⁻¹
3	Kekeruhan	5 NTU	0,427 NTU
4	Rasa	-	Tidak berasa
5	Warna	15 Pt.Co	5 Pt.Co
Parameter Kimia			
1	Zat Organik (KMnO ₄)	10 mg.L ⁻¹	5,65 mg.L ⁻¹
2	Besi (Fe)	0,3 mg.L ⁻¹	< 0,01 mg.L ⁻¹
3	Flourida (F)	1,5 mg.L ⁻¹	0,454 mg.L ⁻¹
4	Kesadahan (CaCO ₃)	500 mg.L ⁻¹ CaCO ₃	0,0 mg.L ⁻¹ CaCO ₃
5	Klorida (Cl)	250 mg.L ⁻¹	34,7 mg.L ⁻¹
6	Mangan (Mn)	0,4 mg.L ⁻¹	< 0,05 mg.L ⁻¹
7	Natrium (Na)	200 mg.L ⁻¹	153 mg.L ⁻¹
8	Nitrat (NO ₃)	50 mg.L ⁻¹	0,576 mg.L ⁻¹
9	Nitrit (NO ₂)	3 mg.L ⁻¹	0,061 mg.L ⁻¹
10	pH	6,5-8,5	7,95
11	Sulfat (SO ₄)	250 mg.L ⁻¹	44,9 mg.L ⁻¹
12	Kalium (K)	-	0,762 mg.L ⁻¹
13	Keasamaan pp	-	3,84 mg.L ⁻¹ CaCO ₃
14	Kelindian mo	-	204 mg.L ⁻¹ CaCO ₃
15	Daya hantar listrik	-	690 μS.cm ⁻¹

(Tempat pengujian : Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-ITB)

Kesimpulan

Unit Membran UF telah diintegrasikan dengan unit karbon aktif dan resin penukar ion untuk pengolahan air sumur menjadi air minum. Pengaruh konfigurasi unit *post-treatment* untuk UF dipelajari lebih lanjut terhadap kualitas produk air yang dihasilkan. Hasil uji membran pada pengolahan air sumur menunjukkan bahwa membran memiliki fluks permeat sebesar $42 \text{ L.m}^{-2}\text{h}^{-1}$. Selama 2 (dua) jam proses filtrasi, penurunan fluks permeat hanya sebesar 19% yang disebabkan oleh *fouling* di permukaan membran. Hasil analisa menggunakan model Hermia menunjukkan bahwa *fouling* yang terbentuk didominasi oleh *fouling* total dan standard dengan nilai R^2 masing-masing sebesar 0,8989 dan 0,8952. Berdasarkan data hasil analisa produk air, unit UF-KA mampu menurunkan kesadahan, zat organik, zat besi, dan kontaminan lainnya hingga di bawah nilai ambang batas kontaminan untuk standar baku mutu air minum. Namun konsentrasi senyawa mangan masih di atas ambang batas standar ($>0,4 \text{ mg/L}$). Dengan penambahan unit IE setelah proses UF-KA, produk air yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu air minum sesuai peraturan. Penyisihan turbiditas, besi, dan mangan untuk unit UF-KA-IE adalah masing-masing sebesar 95,9%; 99,9%; dan 72,5%. Unit membran UF berbasis polisulfon (PSf) yang terintegrasi karbon aktif dan resin penukar ion dapat dijadikan sebagai solusi pemenuhan kebutuhan air layak konsumsi bagi masyarakat, terutama untuk daerah yang belum terjangkau sarana PDAM.

Ucapan Terima Kasih

Kegiatan ini didanai oleh LPPM Universitas Jenderal Achmad Yani melalui pendanaan Hibah Kompetitif Hibah Penelitian Internal Kompetitif Unjani Tahun 2021. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dinas Perdagangan, Koperasi, Usaha Kecil dan Menengah, Dan Perindustrian (Disdagkoperin) pemerintah Kota Cimahi dan masyarakat Perumahan Pharmindo, Cimahi Selatan atas dukungannya dalam kegiatan penelitian ini.

Daftar Notasi

- J = fluks air ($\text{L.m}^{-2}\text{h}^{-1}$)
 J_o = fluks awal pada $t = 0 \text{ min.}$ ($\text{L.m}^{-2}\text{h}^{-1}$)
 V = volume permeat (L),
 A = luas permukaan kontak membran (m^2)
 t = waktu operasi (jam atau h).
 K = parameter *fouling*.

Daftar Pustaka

- Abe, M. (2018). Oxides and hydrous oxides of multivalent metals as inorganic ion exchangers. In *Inorganic ion exchange materials*. (Mitsuo Abe, Eds) (pp. 161-274): CRC press, USA.
- Ariono, D., Aryanti, P. T. P., Wardani, A. K., & Wenten, I. G. (2018). Fouling characteristics of humic substances on tight polysulfone-based ultrafiltration membrane. *Membrane Water Treatment*, 9(5), 353-361. doi:<https://doi.org/10.12989/mwt.2018.9.5.353>
- Ariono, D., Wardani, A. K., Widodo, S., Aryanti, P. T. P., & Wenten, I. G. (2018). Fouling mechanism in ultrafiltration of vegetable oil. *Materials Research Express*, 5(3), 034009. doi:<https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab69f>
- Aryanti, P. T. P., Joscariita, S. R., Wardani, A. K., Subagjo, S., Ariono, D., & Wenten, I. G. (2016). The Influence of PEG400 and Acetone on Polysulfone Membrane Morphology and Fouling Behaviour. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 48(2), 135-149. doi:<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2016.48.2.1>
- Aryanti, P. T. P., Mukhaimin, I., Shiddiqi, Q. Y. A., & Triyastuti, M. S. T. (2020a). Instalasi Unit Ultrafiltrasi untuk Penyediaan Air Minum di Kota Cimahi. *Jurnal Abdimas Kartika Wijayakusuma*, 1(1), 20-27.
- Aryanti, P. T. P., Nugroho, F. A., & Susilowati. (2020b). Unit Terintegrasi Elektrokoagulasi dan Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Limbah Cair Tempe di Kelurahan Cimahi, Kecamatan Cimahi Tengah. *WIDYA LAKSANA*, 9(2), 176-182.
- Aryanti, P. T. P., Subagjo, S., Ariono, D., & Wenten, I. G. (2015). Fouling and rejection characteristic of humic substances in polysulfone ultrafiltration membrane. *Journal of Membrane Science and Research*, 1, 41-45. doi:10.22079/JMSR.2015.12305
- Baker, R. W. (2012). *Membrane technology and applications*: John Wiley & Sons, USA.
- Chen, Y., Xu, W., Zhu, H., Wei, D., He, F., Wang, D., Du, B., & Wei, Q. (2019). Effect of turbidity on micropollutant removal and membrane fouling by MIEX/ultrafiltration hybrid process. *Chemosphere*, 216, 488-498. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.148>
- Cheng, L.-H., Xiong, Z.-Z., Cai, S., Li, D.-W., & Xu, X.-H. (2020). Aeration-manganese sand filter-ultrafiltration to remove iron and manganese from water: Oxidation effect and fouling behavior of manganese sand coated film. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101621.

- Cheng, X., Li, P., Zhou, W., Wu, D., Luo, C., Liu, W., Ren, Z., & Liang, H. (2019). Effect of peroxymonosulfate oxidation activated by powdered activated carbon for mitigating ultrafiltration membrane fouling caused by different natural organic matter fractions. *Chemosphere*, 221, 812-823.
- Delgado, N., Capparelli, A., Navarro, A., & Marino, D. (2019). Pharmaceutical emerging pollutants removal from water using powdered activated carbon: study of kinetics and adsorption equilibrium. *Journal of Environmental Management*, 236, 301-308.
- Ding, J., Wang, S., Xie, P., Zou, Y., Wan, Y., Chen, Y., & Wiesner, M. R. (2020). Chemical cleaning of algae-fouled ultrafiltration (UF) membrane by sodium hypochlorite (NaClO): characterization of membrane and formation of halogenated by-products. *Journal of Membrane Science*, 598, 117662.
- Gozali, G., Kusuma, B. J., & Mulyanto, S. (2020). Penerapan Teknologi Pengolahan Dan Peningkatan Distribusi Air Bersih Di Lingkungan Masyarakat RT 36 Kelurahan Graha Indah. *Jurnal Karya Abdi Masyarakat*, 4(3), 660-666.
- Guo, Y., Bai, L., Tang, X., Huang, Q., Xie, B., Wang, T., Wang, J., Li, G., & Liang, H. (2018). Coupling continuous sand filtration to ultrafiltration for drinking water treatment: Improved performance and membrane fouling control. *Journal of Membrane Science*, 567, 18-27.
- Keskitalo, T., Tanskanen, J., & Kuokkanen, T. (2007). Analysis of key patents of the regeneration of acidic cupric chloride etchant waste and tin stripping waste. *Resources, conservation and recycling*, 49(3), 217-243.
- Mande, A., Kavathekar, B., Langade, A., Lasankute, N., & Patle, S. (2018). Low Cost Household Water Treatment Systems: A Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN, 2278-0181.
- Oka, P., Khadem, N., & Bérubé, P. (2017). Operation of passive membrane systems for drinking water treatment. *Water Research*, 115, 287-296.
- Rangreez, T. A., & Asiri, A. M. (2019). *Applications of Ion Exchange Materials in Chemical and Food Industries*: Springer.
- Ranjan, P., & Prem, M. (2018). Schmutzdecke-a filtration layer of slow sand filter. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(07), 637-645.
- Said, N. I. (2007). Pengolahan Air Minum dengan Karbon Aktif Bubuk Prinsip Dasar Perhitungan, Perencanaan Sistem Pembubuhan dan Kriteria Disain. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2).
- Silva, B., Costa, F., Neves, I. C., & Tavares, T. (2015). Removal of Psychiatric Drugs in Water Treatment Systems. In *Psychiatric Pharmaceuticals as Emerging Contaminants in Wastewater* (pp. 47-71): Springer.
- Tagliavini, M., Weidler, P. G., Njel, C., Pohl, J., Richter, D., & Schüfer, A. I. (2020). Polymer-based spherical activated carbon-ultrafiltration (UF-PBSAC) for the adsorption of steroid hormones from water: material characteristics and process configuration. *Water Research*, 185, 116249.
- Urbanowska, A., & Kabsch-Korbutowicz, M. (2018). The application of nanofiltration in NaOH solution regeneration after ultrafiltration membrane cleaning. *Desalination and Water Treatment*, 128, 70-78.
- Wenten, I. G., Ariono, D., Purwasasmita, M., & Khoirudin. (2017). *Integrated processes for desalination and salt production: A mini-review*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings, 1818, 020065 (2017).
- Wenten, I. G., Aryanti, P. T. P., Khoiruddin, K., Hakim, A. N., & Himma, N. F. (2016). Advances in polysulfone-based membranes for hemodialysis. *Journal of Membrane Science and Research*, 2(2), 78-89. doi:10.22079/JMSR.2016.19155
- Wenten, I. G., Khoiruddin, K., Wardani, A. K., Aryanti, P. T. P., Astuti, D. I., & Komaladewi, A. A. I. A. S. (2020). Preparation of antifouling polypropylene/ZnO composite hollow fiber membrane by dip-coating method for peat water treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 34, 101158. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101158>
- Wenten, I. G., Victoria, A. V., Tanukusuma, G., Khoiruddin, K., & Zunita, M. (2019). Simultaneous clarification and dehydration of crude palm oil using superhydrophobic polypropylene membrane. *Journal of Food Engineering*, 248, 23-27.
- Xu, D., Bai, L., Tang, X., Niu, D., Luo, X., Zhu, X., Li, G., & Liang, H. (2019). A comparison study of sand filtration and ultrafiltration in drinking water treatment: Removal of organic foulants and disinfection by-product formation. *Science of the Total Environment*, 691, 322-331.
- Yin, Z., Ma, Y., Tanis-Kanbur, B., & Chew, J. W. (2020). Fouling behavior of colloidal particles in organic solvent ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 599, 117836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.117836>
- Yu, H., Huang, W., Liu, H., Li, T., Chi, N., Chu, H., & Dong, B. (2021). Application of Coagulation-Membrane Rotation to Improve Ultrafiltration Performance in Drinking Water Treatment. *Membranes*, 11(8), 643.
- Yu, H., Li, X., Chang, H., Zhou, Z., Zhang, T., Yang, Y., Li, G., Ji, H., Cai, C., & Liang, H. (2020). Performance of hollow fiber ultrafiltration membrane in a full-scale drinking water treatment plant in China: a systematic evaluation during 7-year operation. *Journal of Membrane Science*, 613, 118469.

- Yu, W., Liu, M., & Graham, N. J. (2019). Combining magnetic ion exchange media and microsand before coagulation as pretreatment for submerged ultrafiltration: Biopolymers and small molecular weight organic matter. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(22), 18566-18573.
- Yusuf, K., Sadiku, I., Yusuff, S., & Bukoye, S. (2021). Effect of granular activated carbon particle sizes and depths in slow sand filter on water purification. *Nigerian Journal of Pure and Applied Sciences*, 34(1), 3881-3891.
- Zeman, L. J., & Zydney, A. L. (1996). *Microfiltration and ultrafiltration: principles and applications*: M. Dekker.
- Zhang, Y., & Fu, Q. (2018). Algal fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes and control strategies: A review. *Separation and Purification Technology*, 203, 193-208.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.04.040>
- Zhang, Y., Wang, X., Jia, H., Fu, B., Xu, R., & Fu, Q. (2019). Algal fouling and extracellular organic matter removal in powdered activated carbon-submerged hollow fiber ultrafiltration membrane systems. *Science of the Total Environment*, 671, 351-361.