

Pengaruh Metroda Pencucian dan *Air Scouring* terhadap Kinerja *Immresed Membrane Microfiltration*

Virgina Jane Ujiane dan Bowo Djoko Marsono
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: bowodjoko@enviro.its.ac.id

Abstrak—Kualitas air baku untuk pengolahan air minum di PDAM kota Surabaya semakin menurun sehingga unit pengolahannya semakin berat bebannya. Teknologi membran banyak digunakan untuk meningkatkan kualitas air olahan dan mengurangi penggunaan bahan kimia yang sehingga dapat mengurangi biaya pengolahan. Membran mikrofiltrasi dapat digunakan untuk mengolah air pada unit sedimentasi IPAM Ngagel III untuk menghasilkan kualitas hasil yang lebih baik. Seiring berjalannya proses filtrasi akan terjadi deposisi material di atas permukaan membran mikrofiltrasi. Deposisi material tersebut dapat menyebabkan *fouling*. *Fouling* dapat mengakibatkan menurunnya produktivitas membran oleh sebab itu perlu dilakukan pengendalian *fouling* berupa pencucian dan *air scouring*. Pencucian dilakukan dengan variasi metode pencucian dan lama pencucian. Pencucian dilakukan secara manual dengan metode *gently scrubbing* dan *backwash* selama 10 menit dan 20 menit. Pencucian secara *backwash* dilakukan dengan menggunakan bahan pencuci NaOCl 5%. *Air scouring* dilakukan dengan variasi tekanan udara yaitu 0,3 bar dan 0,6 bar. Jenis membran yang digunakan adalah *ceramic membrane microfiltration flatsheet* yang diletakan pada bak sedimentasi IPAM Ngagel III dan dioperasikan secara *submerged*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh pencucian dan *air scouring* terhadap *fluks* yang dihasilkan dan penurunan nilai kekeruhan, *Total Suspended Solid*, *micro plastic*, E-Coli, dan zat organik. Hasil dari penelitian ini didapatkan pencucian yang paling efektif yaitu pencucian secara manual dengan metode *gently scrubbing*, dengan hasil *flux recovery* sebesar 100% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi parameter kekeruhan dan zat organik. *Air Scouring* dapat memperpanjang waktu operasi, meningkatkan jumlah air produksi, dan meningkatkan kemampuan rejeksi membran. Pada penelitian ini *air scouring* yang lebih efektif yaitu *air scouring* dengan variasi tekanan udara 0,6 bar. Total air produksi dapat ditingkatkan sebesar 38,2 % dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter kekeruhan, TSS, zat organik, dan mikroplastik.

Kata Kunci—*Air Scouring*, *Backwashing*, *Fouling*, *Immresed membrane*, *Microfiltrasi*.

I. PENDAHULUAN

KEKERUHAN air baku yang diolah oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Ngagel pada saat musim hujan dapat mencapai 1000 NTU [1]. Dalam pengolahan air bakunya PDAM Ngagel masih menggunakan bahan kimia berupa koagulan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) dan unit pengolahan konvensional untuk menurunkan kekeruhan pada air bakunya. Tingginya angka kekeruhan tersebut menyebabkan kebutuhan koagulan semakin banyak dan pengolahan air menjadi semakin mahal. Penggunaan bak sedimentasi pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) konvensional juga kurang maksimal karena hanya mampu

mengolah air bersih antara 65 – 70% terhadap *Total Suspended Solid* (TSS) sehingga memerlukan unit filter yang tentunya membutuhkan lahan yang luas. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu dengan mengaplikasikan teknologi membran. Teknologi membran yang dipasang pada bak sedimentasi dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang berada dalam air tanpa adanya penggunaan bahan kimia dalam pengoperasiannya [2]. Membran mikrofiltrasi merupakan salah satu teknologi membran yang menggunakan gaya dorong rendah sekitar 1 bar dan dipakai untuk memisahkan partikel yang berukuran antara 0,1 hingga 10 μm [3].

Salah satu masalah yang biasa muncul pada proses filtrasi membran adalah penumpukan material atau partikel di permukaan membran yang dapat menyebabkan *fouling*. *Fouling* akan menurunkan laju perpindahan massa atau volume melalui membran (*flux*) sehingga berpengaruh pada penurunan akumulasi produk (*permeate*). Walaupun terjadinya *fouling* ini akan meningkatkan tingkat pemisahan (*rejection*) pada mikrofiltrasi, namun menurunnya fluks merupakan suatu kerugian pada sebuah proses pemisahan menggunakan mikrofiltrasi, sehingga *fouling* harus dikontrol dan diatasi untuk meningkatkan efisiensi proses mikrofiltrasi, baik dengan pendekatan peningkatan sifat anti *fouling* pada material penyusun membran, maupun optimasi proses pada membran filtrasi [3]. Optimasi proses yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan *air scouring*. Keberadaan *fouling* juga menyebabkan membran harus dicuci secara periodik untuk menghilangkan komponen penyebab *fouling* dari permukaan maupun struktur membran.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dilakukan dengan menyiapkan reaktor yang akan diletakan pada bak sedimentasi IPAM Ngagel III Surabaya. Reaktor terbuat dari kerangka besi dan akrilik dengan dimensi panjang x lebar x tinggi yaitu 60 cm x 15 cm x 50 cm. Jenis membran yang digunakan pada penelitian ini yaitu *ceramic membrane flatsheet* dengan spesifikasi membran dapat dilihat pada Tabel 1.

Membran disambungkan dengan selang dan rangkaian pipa menuju pompa. Rangkaian pemasangan alat dapat dilihat pada Gambar 1.

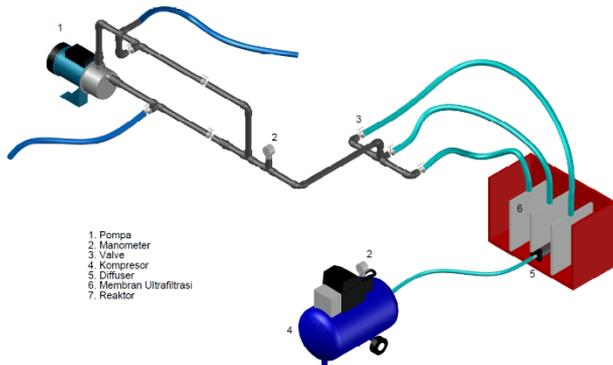
Penelitian dilakukan dengan cara mencelupkan reaktor membran kedalam kolam sedimentasi. *Feed water* yang diolah dalam penelitian ini berasal dari bak sedimentasi 4b IPAM Ngagel III Surabaya. Terdapat tiga variasi pencucian yang dilakukan yaitu pencucian manual dengan metode

Tabel 1.
Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi

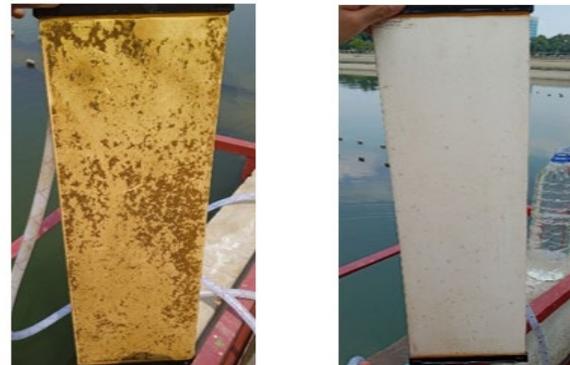
| Nama Produk | <i>Ceramic Filtration Membrane Sheet</i> |
|--------------|--|
| Material | Alpha-Al ₂ SO ₃ |
| Lebar | 150 mm |
| Tinggi | 510 mm |
| Ukuran pori | 0,00005 mm |
| Luas membran | 0,15 m ² |

Tabel 2.
Metode Pengujian Parameter

| Parameter | Metode |
|--------------|----------------|
| Kekeruhan | Turbidimetri |
| TSS | Gravimetri |
| E-Coli | Idexx Colilert |
| Zat Organik | Titimetri |
| Mikroplastik | Mikroskop |



Gambar 1. Skema Pemasangan Alat.



Gambar 2. Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Pencucian Manual.

gently scrubbing menggunakan tambahan bahan kimia NaOCl, *backwash* dalam variasi waktu 20 menit serta *backwash* selama 10 menit. *Backwash* diaplikasikan dengan tekanan 1 bar dengan menggunakan air pencuci berupa NaOCl 5%. *Air scouring* dilakukan dengan dua jenis variasi yaitu dengan tekanan udara 0,3 bar dan 0,6 bar. Selain itu dilakukan pengujian beberapa parameter untuk membandingkan kualitas permeat, sebelum dan sesudah pencucian. Pengambilan sampel dilakukan ketika telah terjadi *fouling* yang ditandai oleh penurunan fluks dan peningkatan tekanan. Metode pengujian parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

B. Tahap Analisis Data

Kinerja membran ditentukan oleh dua parameter yaitu permeabilitas dan selektivitas. Analisis kualitatif dilakukan dengan mengetahui selektivitas membran yang dinyatakan dengan koefisien rejeksi (R). Perhitungan koefisien rejeksi dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\%$$

Analisis kuantitatif untuk mengetahui pengaruh *air scouring* dilakukan melalui perbandingan fluks yang dihasilkan ketika filtrasi menggunakan *air scouring* dan tanpa menggunakan *air scouring*. Perhitungan fluks dilakukan dengan membagi volume permeat (V) yang melewati satuan luas membran (A) dalam satuan waktu (t) tertentu. Perhitungan fluks dengan menggunakan persamaan berikut.

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

Analisis kualitatif untuk mengetahui pengaruh pencucian dilakukan dengan uji kualitas *feed water* dan *permeat*. Pengambilan sampel dilakukan ketika telah terjadi penurunan fluks signifikan saat filtrasi sebelum dilakukan pencucian dan sesudah dilakukan pencucian. Kemudian untuk analisis kuantitatif dilakukan perhitungan *water flux recovery* (WFR) dengan membandingkan fluks setelah pencucian (J_c) dengan fluks sebelum pencucian (J₀) seperti dalam persamaan berikut.

$$WFR = \frac{J_c}{J_0}$$

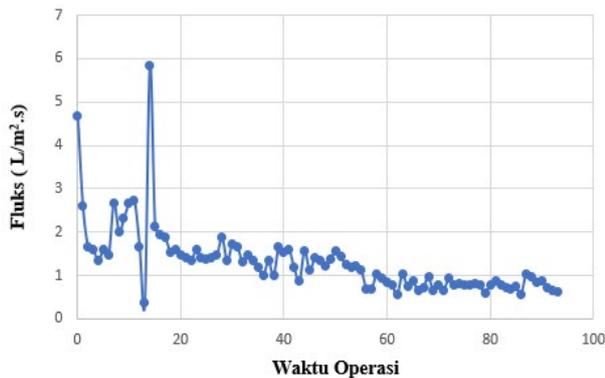
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Pencucian Manual terhadap Kuantitas Permeat

Pencucian manual dilakukan dengan menyikat permukaan membran dengan bahan pembersih NaOCl 5%. NaOCl diketahui sangat efektif membunuh bakteri dan protozoa [4]. Filtrasi dihentikan ketika fluks telah menurun sampai 10% dari fluks awal. Penurunan fluks tersebut mengindikasikan terjadinya *fouling*, sehingga pencucian perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja membrane [5]. Penampakan membran ketika *fouling* dan setelah dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada Gambar 2.

Total air produksi sebelum dilakukan pencucian sebanyak 264,24 L. Setelah pencucian waktu operasi menjadi lebih panjang. Hal tersebut ditandai dengan penurunan fluks yang signifikan baru terjadi pada jam ke-79. Total air produksi pada filtrasi setelah dilakukan pencucian yaitu sebanyak 846,72 L. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencucian manual dengan metode *gently scrubbing* selain dapat memperpanjang waktu operasi, juga dapat meningkatkan jumlah air produksi sebesar 69%. Perbandingan hasil uji kuantitas sebelum dan sesudah dilakukan pencucian manual dengan metode *gently scrubbing* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 3.

Sebelum dilakukan pencucian terjadi penurunan fluks di jam ke 13 sebesar 92,28 % dari fluks awal. Fluks awal ketika membran dioperasikan yaitu 4,67 L/m².s, kemudian terjadi penurunan fluks di jam ke 13 menjadi 0,36 L/ m².s. Tekanan awal filtrasi yaitu 0,9 bar kemudian meningkat menjadi 0,8 bar. Penurunan fluks dan meningkatnya tekanan mengindikasikan perlunya dilakukan pencucian untuk meningkatkan kinerja membrane. Setelah dilakukan pencucian terjadi peningkatan nilai *flux recovery* sebesar 100%. Pencucian manual juga dapat meningkatkan tekanan



Gambar 3. Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Pencucian Manual.

Tabel 3.

Koefisien Rejeksi Membran Sebelum Pencucian Manual

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 6,01 | 0,41 | NTU | 93% |
| TSS | 17 | 6 | mg/L | 65% |
| E-Coli | 12,96 | 10,74 | mg/L | 17% |
| Zat Organik | >1600 | 7,8 | MPN/100mL | 99% |
| Mikroplastik | 39 | 0 | Partikel/L | 100% |

hingga kembali ke tekanan awal filtrasi yaitu dari tekanan 0,8 ketika terjadi *fouling* menjadi 0,9 bar.

B. Pengaruh Pencucian Manual terhadap Kualitas Permeat

Perbandingan nilai koefisien rejeksi sebelum dan sesudah pencucian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian manual terhadap kualitas permeat. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai koefisien rejeksi tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan pencucian. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada tabel 4.

Berdasarkan perbandingan koefisien rejeksi tersebut dapat diketahui bahwa pencucian manual dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter kekeruhan sebesar 3%, parameter E.coli sebesar 1% dan parameter zat organik sebesar 49%.

C. Pengaruh Backwash hadap Kuantitas Permeat

Backwash dilakukan dengan cara memompakan kembali air hasil produksi yang telah ditambahkan dengan bahan pembersih NaOCl 5%. NaOCl dengan dosis 2-5 mg/L efektif untuk mencegah *fouling* pada membran mikrofiltrasi dan dapat memperpanjang interval pencucian menjadi 3 bulan [6]. NaOCl ditambahkan pada saat *backwash* untuk mengontrol pertumbuhan bakteri dan untuk mendegradasi material organik yang ada pada membran maupun pada selang penghubung rangkaian pompa dengan membran [7]. Penampakan membran sebelum pencucian dan setelah dilakukan pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.

Backwash dengan tekanan 1 bar selama 10 menit kurang efektif untuk membersihkan foulant pada permukaan membran. Hal ini disebabkan karena flok yang terbentuk tidak hanya membentuk cake pada permukaan membran tetapi telah masuk ke dalam pori membran. Proses inilah yang disebut dengan *irreversible fouling* yaitu ketika terjadi perpindahan solut dari permukaan membran ke dalam material membran sehingga terjadi penyempitan dan penyumbatan pori [8]. Pembersihan secara fisik seperti

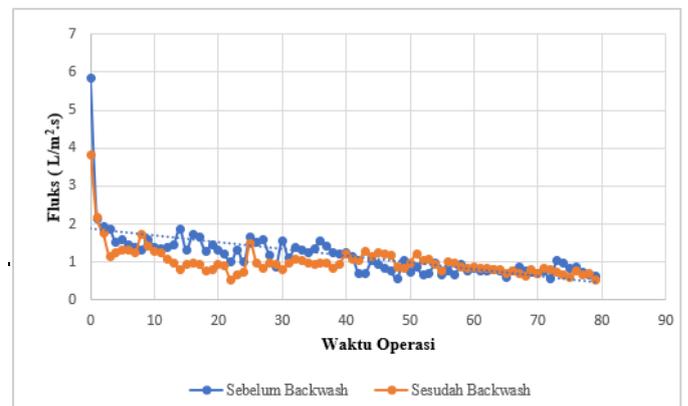
Tabel 4.

Koefisien Rejeksi Membran Setelah Pencucian Manual

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 10,7 | 0,38 | NTU | 96% |
| TSS | 30 | 16 | mg/L | 47% |
| E-Coli | 21,48 | 14,22 | mg/L | 34% |
| Zat Organik | 410 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 25 | 9 | Partikel/L | 64% |



Gambar 4. Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Backwash Selama 10 Menit.

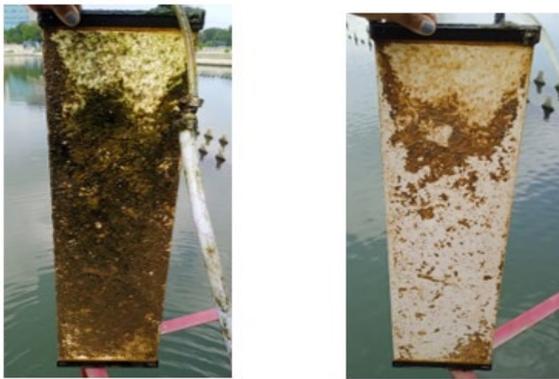


Gambar 5. Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Sebelum dan Sesudah Backwash Selama 10 Menit.

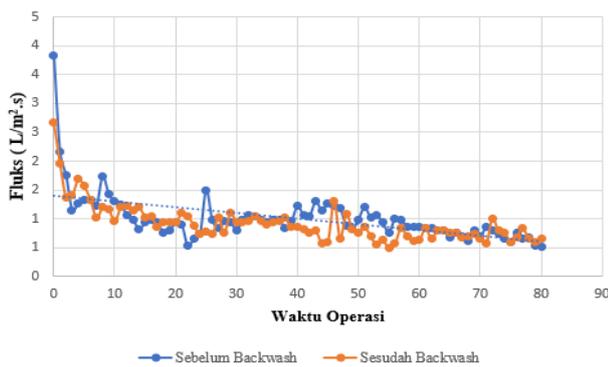
backwash kurang efektif apabila digunakan untuk mengembalikan fluks membran yang telah mengalami *irreversible fouling*. *Irreversible fouling* biasanya diatasi dengan pencucian secara kimia [9].

Pada variasi *backwash* selama 10 menit, sebelum dilakukan pencucian, membran telah dioperasikan selama 79 jam dengan total air produksi 846,72 L kemudian filtrasi dihentikan karena telah terjadi penurunan fluks. Total air produksi setelah dilakukan pencucian yaitu 735,18 L. Hal tersebut menunjukkan bahwa *backwash* selama 10 menit hanya dapat memperpanjang waktu operasi, namun tidak dapat meningkatkan jumlah air produksi. Perbandingan hasil uji kuantitas sebelum dan sesudah dilakukan *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.

Sebelum dilakukan pencucian terjadi penurunan fluks di jam ke 79 sebesar 89,14% dari fluks awal. Fluks awal ketika membran dioperasikan yaitu 5,83 L/m².s, kemudian terjadi penurunan fluks di jam ke 79 menjadi 0,63 L/ m².s. Fluks awal ketika membran dioperasikan setelah dilakukan *backwash* selama 10 menit yaitu 3,83 L/m².s, kemudian terjadi penurunan fluks di jam ke 80 menjadi 0,51 L/ m².s. Hasil perhitungan nilai *flux recovery* hanya sebesar 65,71%, hal tersebut dikarenakan interval pencucian membran kurang diperhatikan sehingga mempengaruhi kondisi membran.



Gambar 6. Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Backwash Selama 20 Menit.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Sebelum dan Sesudah Backwash Selama 20 Menit.

Pada variasi *backwash* selama 20 menit, dapat dilihat pada gambar 6 bahwa hasil pencucian kurang efektif untuk membersihkan foulan pada permukaan membran. Bagian atas membran lebih bersih dibandingkan bagian bawah membran. Namun, ketika telah dilakukan *backwash* membran bagian atas tetap tidak bersih. Hal ini disebabkan diameter partikel lebih kecil daripada diameter pori maka akan terjadi salah satu mekanisme *fouling* yaitu pemblokiran standar. Pemblokiran standar terjadi akibat teradsorpsinya molekul pengotor pada dinding pori sehingga menyebabkan penyempitan pori [3].

Filtrasi sebelum pencucian dilakukan selama 80 jam dengan total air produksi sebanyak 735,18 L. Setelah pencucian waktu operasi dapat diperpanjang. Hal tersebut ditandai dengan belum terjadinya penurunan fluks yang signifikan pada jam ke-80. Total air produksi pada filtrasi setelah dilakukan pencucian yaitu sebanyak 672,9 L. Hal tersebut menunjukkan bahwa *backwash* selama 20 menit hanya dapat memperpanjang waktu operasi, namun tidak dapat meningkatkan jumlah air produksi. Perbandingan hasil uji kuantitas sebelum dan sesudah dilakukan *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada grafik pada Gambar 7.

Hasil perhitungan nilai *flux recovery* *backwash* selama 20 menit yaitu sebesar 69,56 %, *flux recovery* untuk variasi ini lebih tinggi dibandingkan *backwash* selama 10 menit. Hal tersebut membuktikan bahwa waktu pencucian dapat berpengaruh terhadap peningkatan fluks.

D. Pengaruh Backwash terhadap Kualitas Permeat

Perbandingan nilai koefisien rejeksi sebelum dan sesudah pencucian dilakukan untuk mengetahui pengaruh *backwash* terhadap kualitas permeat. Perhitungan nilai koefisien rejeksi

Tabel 5. Koefisien Rejeksi Membran Sebelum Backwash Selama 10 Menit

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 10,7 | 0,38 | NTU | 96% |
| TSS | 30 | 16 | mg/L | 47% |
| E-Coli | 21,48 | 14,22 | mg/L | 34% |
| Zat Organik | 410 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 25 | 9 | Partikel/L | 64% |

Tabel 6. Koefisien Rejeksi Membran Setelah Backwash Selama 10 Menit

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 5,3 | 0,4 | NTU | 92% |
| TSS | 67 | 35 | mg/L | 48% |
| E-Coli | 12,96 | 5,69 | mg/L | 56% |
| Zat Organik | 160,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 40 | 21 | Partikel/L | 48% |

Tabel 7. Koefisien Rejeksi Membran Sebelum Backwash Selama 20 Menit

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 5,3 | 0,4 | NTU | 92% |
| TSS | 67 | 35 | mg/L | 48% |
| E-Coli | 12,96 | 5,69 | mg/L | 56% |
| Zat Organik | 160,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 40 | 21 | Partikel/L | 48% |

membran sebelum pencucian dapat dilihat pada Tabel 5 dan perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan perbandingan koefisien rejeksi tersebut dapat diketahui bahwa *backwash* selama 10 menit dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter TSS sebesar 2%, dan parameter zat organik sebesar 40%.

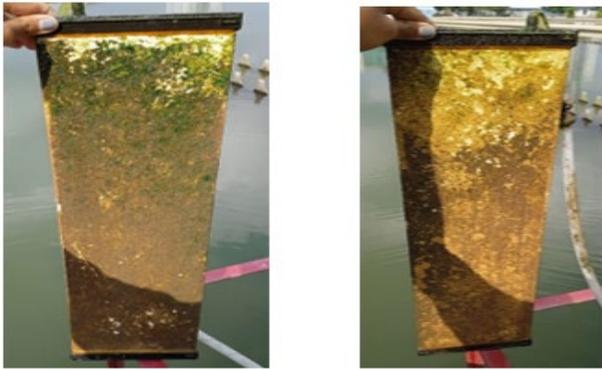
Pada variasi *backwash* selama 20 menit, perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada Tabel 7 dan perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada Tabel 8.

Berdasarkan perbandingan koefisien rejeksi tersebut dapat diketahui bahwa *backwash* selama 20 menit dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter kekeruhan 6%, TSS sebesar 52%, dan mikroplastik sebesar 15%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *backwash* selama 20 menit berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter kekeruhan, TSS, dan mikroplastik.

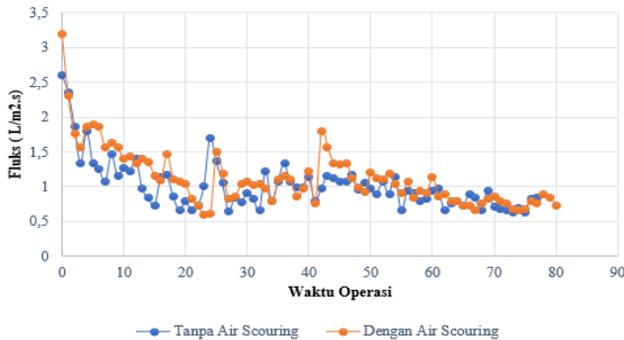
E. Pengaruh Air Scouring terhadap Kuantitas Permeat

Pada Gambar 8 menunjukkan membran tanpa dilakukan *air scouring*, *cake* yang terbentuk lebih tebal. Sedangkan pada gambar penampakan membran yang dilakukan *air scouring* 0,3 bar, *cake* yang terbentuk lebih tipis. Hal tersebut dikarenakan pada membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar, gelembung udara mampu menciptakan aliran dua fase yang dapat mencegah terjadinya pembentukan lapisan pengotor [10].

Pada variasi *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar, filtrasi tanpa *air scouring* dilakukan selama 80 jam dengan total air produksi sebanyak 737,88 L. Setelah diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar, waktu operasi dapat diperpanjang. Hal tersebut ditandai dengan belum terjadinya penurunan fluks yang signifikan pada jam ke-80. Total air produksi pada filtrasi setelah diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar yaitu sebanyak 816,42



Gambar 8. Penampakan Membran Tanpa dan dengan Air Scouring Bertekanan Udara 0,3 Bar.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Tanpa dan dengan Air Scouring Bertekanan Udara 0,3 Bar.

L. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaplikasian *air scouring* dapat memperpanjang waktu operasi dan dapat meningkatkan jumlah air produksi. Perbandingan hasil uji kuantitas filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada Gambar 9.

Pengoperasian filtrasi dengan *air scouring* memiliki rata – rata fluks yang lebih tinggi, namun tidak berbeda jauh. Hal ini diduga disebabkan karena gelembung yang diaplikasikan merupakan *fine bubble* sehingga kurang maksimal dalam mencegah deposit kotoran di permukaan membran. Peningkatan fluks membran juga berkaitan dengan kecepatan aliran udara yang dialirkan ke *diffuser* sehingga semakin besar kecepatan aliran udara semakin besar pula peningkatan fluksnya [10].

Pada variasi *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar, membran tanpa *air scouring* memiliki *cake* yang lebih tebal dan tidak merata. Sedangkan pada gambar penampakan membran yang dilakukan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar, *cake* yang terbentuk lebih tipis dan merata diseluruh permukaan membran. Penampakan membran dapat dilihat pada Gambar 10.

Hal tersebut dikarenakan, gelembung udara dapat membawa foulan secara merata ke seluruh permukaan membran. Aliran air ataupun udara yang bergerak disepanjang permukaan membran akan menyebabkan peningkatan *shear stress* pada permukaan membran yang dapat mengurangi pembentukan lapisan foulan yang terbentuk pada permukaan membran sehingga setelah diaplikasikan *air scouring*, *cake* terbentuk tampak lebih tipis.

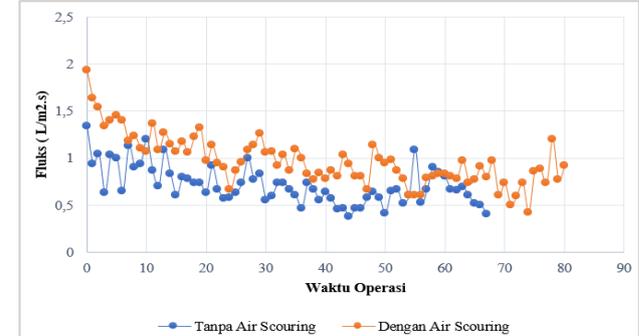
Filtrasi tanpa *air scouring* dilakukan selama 67 jam dengan total air produksi sebanyak 436,02 L. Setelah diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar, waktu operasi dapat diperpanjang. Hal tersebut ditandai dengan fluks yang

Tabel 8.
Koefisien Rejeksi Membran Setelah Backwash Selama 20 Menit.

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|--------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 11,3 | 0,18 | NTU | 98% |
| TSS | 11 | 0 | mg/L | 100% |
| E-Coli | 14,85 | 9,16 | mg/L | 38% |
| Zat Organik | 1299,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 9 | 4 | Partikel/L | 56% |



Gambar 10. Penampakan Membran Tanpa dan dengan Air Scouring Bertekanan Udara 0,6 Bar.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Tanpa dan dengan Air Scouring Bertekanan Udara 0,6 Bar.

cukup stabil dan tidak terjadinya penurunan fluks yang signifikan sampai di jam-ke 80. Total air produksi pada filtrasi setelah diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar yaitu sebanyak 705,84 L. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaplikasian *air scouring* dapat memperpanjang waktu operasi dan dapat meningkatkan jumlah air produksi sebesar 38,2%. Perbandingan hasil uji kuantitas filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada grafik pada Gambar 11.

Pengoperasian filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar memiliki fluks akhir dan rata- rata fluks yang lebih tinggi. Semakin besar tekanan udara yang digunakan dapat membentuk aliran berlawanan yang menyebabkan *local mixing*. *Local mixing* tersebut dapat meningkatkan tegangan geser membran sehingga dapat mengurangi *fouling* [11].

F. Pengaruh Air Scouring terhadap Kualitas Permeat

Perbandingan nilai koefisien rejeksi pada filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan *air scouring* dilakukan untuk mengetahui pengaruh *air scouring* terhadap kualitas permeat. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran pada filtrasi tanpa *air scouring* dapat dilihat pada Tabel 9.

Nilai koefisien rejeksi tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai koefisien rejeksi membran ketika diaplikasikan *air scouring*. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran

Tabel 9.
Koefisien Rejeksi Membran Tanpa *Air Scouring*

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 5,3 | 0,34 | NTU | 94% |
| TSS | 67 | 51 | mg/L | 24% |
| E-Coli | 12,96 | 8,53 | mg/L | 34% |
| Zat Organik | 160,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 40 | 17 | Partikel/L | 58% |

Tabel 10.
Koefisien Rejeksi Membran dengan *Air Scouring* Bertekanan Udara 0,3 Bar

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 5,3 | 0,3 | NTU | 94% |
| TSS | 67 | 43 | mg/L | 36% |
| E-Coli | 12,96 | 4,74 | mg/L | 63% |
| Zat Organik | 160,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 40 | 27 | Partikel/L | 33% |

Tabel 11.
Koefisien Rejeksi Membran Tanpa *Air Scouring*

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|-------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 7,96 | 0,54 | NTU | 93% |
| TSS | 4 | 1 | mg/L | 75% |
| E-Coli | 10,1 | 7,6 | mg/L | 25% |
| Zat Organik | 160,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 5 | 3 | Partikel/L | 40% |

Tabel 12.
Koefisien Rejeksi Membran dengan *Air Scouring* Bertekanan Udara 0,6 Bar

| Parameter | Feed | Permeat | Satuan | R |
|--------------|--------|---------|------------|------|
| Kekeruhan | 11,3 | 0,21 | NTU | 98% |
| TSS | 11 | 0 | mg/L | 100% |
| E-Coli | 14,852 | 8,532 | mg/L | 43% |
| Zat Organik | 1299,7 | 0 | MPN/100mL | 100% |
| Mikroplastik | 9 | 5 | Partikel/L | 44% |

pada filtrasi dengan *air scouring* bertekanan 0,3 bar dapat dilihat pada Tabel 10.

Berdasarkan perbandingan koefisien rejeksi tersebut dapat diketahui bahwa *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter TSS sebesar 33%, dan zat organik sebesar 46%. Pada filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran pada filtrasi tanpa *air scouring* dapat dilihat pada tabel 11 dan perhitungan nilai koefisien rejeksi membran pada filtrasi dengan *air scouring* bertekanan 0,6 bar dapat dilihat pada tabel 12.

Berdasarkan perbandingan koefisien rejeksi tersebut dapat diketahui bahwa *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter kekeruhan sebesar 5%, TSS sebesar 25%, zat organik sebesar 42%, dan mikroplastik 10%.

IV. KESIMPULAN

Pencucian pada membran membuat kinerja membran mengalami peningkatan. Peningkatan kinerja membran diukur melalui *flux recovery* dan peningkatan koefisien rejeksi membran. Pada pencucian secara manual dengan metode *gently scrubbing*, *flux recovery* yang dihasilkan yaitu 100% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter kekeruhan dan zat organik. Pencucian dengan

metode *backwash* selama 10 menit, menghasilkan *flux recovery* sebesar 65,7% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter TSS dan zat organik. Sementara variasi pencucian dengan metode *backwash* selama 20 menit, menghasilkan *flux recovery* sebesar 69,56% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter kekeruhan, TSS, dan mikroplastik. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa setelah membran dicuci dapat memberikan pengaruh pada peningkatan fluks dan koefisien rejeksi membran dengan variasi pencucian paling efektif yaitu pencucian manual dengan metode *gently scrubbing*. Serta metode *Air Scouring* dapat memperpanjang waktu operasi, meningkatkan jumlah air produksi, dan meningkatkan kemampuan rejeksi membran. Pada *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar, total air produksi dapat ditingkatkan sebesar 9,62% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter kekeruhan, TSS, dan zat organik. Pada *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar, total air produksi dapat ditingkatkan sebesar 38,2% dan dapat meningkatkan koefisien rejeksi pada parameter kekeruhan, TSS, zat organik, dan mikroplastik. Variasi *air scouring* yang lebih efektif yaitu *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Patriasani and N. Karnaningroem, "Uji Kinerja Media Batu pada Bak Prasedimentasi," *Pros. Semin. Nas. Manaj. Teknol. XVI*, pp. E31–E38, 2012.
- [2] I. G. Wenten, *Teknologi Membran Industrial*, no. Diktat Program Studi Teknik Kimia. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1999.
- [3] I. Shalauddin and Y. Wibisono, "Mekanisme fouling pada membran mikrofiltrasi mode aliran searah dan silang," *J. Rekayasa Proses*, vol. 13, no. 1, p. 6, 2019, doi: 10.22146/jrekpros.40458.
- [4] L. Qin *et al.*, "Cultivation of *Chlorella vulgaris* in dairy wastewater pretreated by UV irradiation and sodium hypochlorite," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 172, no. 2, pp. 1121–1130, 2014, doi: 10.1007/s12010-013-0576-5.
- [5] S. A. Avlonitis, K. Kouroumbas, and N. Vlachakis, "Energy consumption and membrane replacement cost for seawater RO desalination plants," *Desalination*, vol. 157, no. 1–3, pp. 151–158, 2003, doi: 10.1016/S0011-9164(03)00395-3.
- [6] H. Chang *et al.*, "Hydraulic backwashing for low-pressure membranes in drinking water treatment: A review," *J. Memb. Sci.*, vol. 540, no. May, pp. 362–380, 2017, doi: 10.1016/j.memsci.2017.06.077.
- [7] S. R. Chae, H. Yamamura, K. Ikeda, and Y. Watanabe, "Comparison of fouling characteristics of two different poly-vinylidene fluoride microfiltration membranes in a pilot-scale drinking water treatment system using pre-coagulation/sedimentation, sand filtration, and chlorination," *Water Res.*, vol. 42, no. 8–9, pp. 2029–2042, 2008, doi: 10.1016/j.watres.2007.12.011.
- [8] R. N. Mahmud, "Kinetika Fouling Membran Ultrafiltrasi (UF) Pada Pengolahan Air Berwarna: Pengaruh Interval dan Lamanya Pencucian Balik (Backwashing) Membran," *Info Tek.*, vol. 6, no. 1, pp. 62–69, 2005.
- [9] K. Gruskevica and L. Mezule, "Cleaning methods for ceramic ultrafiltration membranes affected by organic fouling," *Membranes (Basel)*, vol. 11, no. 2, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/membranes11020131.
- [10] G. Ducom, F. P. Puech, and C. Cabassud, "Air sparging with flat sheet nanofiltration: A link between wall shear stresses and flux enhancement," *Desalination*, vol. 145, no. 1–3, pp. 97–102, 2002, doi: 10.1016/S0011-9164(02)00392-2.
- [11] A. Fouladitajar, F. Zokaee Ashtiani, H. Rezaei, A. Haghmoradi, and A. Kargari, "Gas sparging to enhance permeate flux and reduce fouling resistances in cross flow microfiltration," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 20, no. 2, pp. 624–632, 2014, doi: 10.1016/j.jiec.2013.05.025.