

TUGAS AKHIR - RE 184804

PENGARUH PENCUCIAN DAN *AIR SCOURING* TERHADAP KINERJA *IMMERSED MEMBRANE MICROFILTRATION*

VIRGINA JANE UJIANE

NRP 03211840000038

Dosen Pembimbing

Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng

19650317 199102 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



TUGAS AKHIR - RE 184804

PENGARUH PENCUCIAN DAN *AIR SCOURING* TERHADAP KINERJA *IMMERSED MEMBRANE MICROFILTRATION*

VIRGINA JANE UJIANE

NRP 03211840000038

Dosen Pembimbing

Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng

NIP 19650317 199102 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE 184804

**THE EFFECT OF WASHING AND AIR SCOURING ON THE
PERFORMANCE OF IMMERSED MEMBRANE
MICROFILTRATION**

VIRGINA JANE UJIANE

NRP 03211840000038

Advisor

Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng

NIP 19650317 199102 1 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENCUCIAN DAN *AIR SCOURING* TERHADAP KINERJA *IMMERSED MEMBRANE MICROFILTRATION*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **VIRGINA JANE UJIANE**
NRP. 0321184000038

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng Pembimbing 
2. Dr. Ali Masduqi S.T., M.T. Penguji 
3. Adhi Yuniarto ST., MT., Ph.D. Penguji 
4. Ainul Firdatun Nisaa, ST. MSc Penguji 



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Virgina Jane Ujjane / 03211840000038
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng / 19650317 199102 1 001

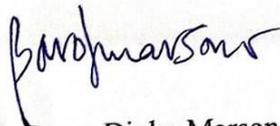
dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Pencucian dan *Air Scouring* terhadap Kinerja *Immersed Membrane Microfiltration*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 26 Juli 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng)
NIP. 1965031 199102 1 001

Mahasiswa



(Virgina Jane Ujjane)
NRP.03211840000038

PENGARUH PENCUCIAN DAN AIR SCOURING TERHADAP KINERJA IMMERSED MEMBRANE MICROFILTRATION

Nama Mahasiswa / NRP : Virginia Jane Ujjane / 0321184000038
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng

Abstrak

Kualitas air baku untuk air minum di kota Surabaya semakin menurun dan penggunaan unit pengolahan konvensional tidak lagi efisien untuk meningkatkan kualitas air olahan. 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 5,25%. *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 jumlah 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*, *Immersed membrane*, Mikrofiltrasi

THE EFFECT OF WASHING AND AIR SCOURING ON THE PERFORMANCE OF IMMERSSED MEMBRANE MICROFILTRATION

Student Name / NRP : Virgina Jane Ujjane / 0321184000038

Department : Environmental Engineering FTSPK - ITS

Advisor : Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng

Abstract

The quality of raw water in the city of Surabaya is decreasing and the use of conventional treatment units is no longer efficient to treat raw water to become drinking water. Membrane technology is widely used in water treatment plants on limited land and uses a small number of chemicals so can reduce treatment costs. Microfiltration membranes can be submerged in the IPAM Ngagel sedimentation unit to produce better quality results.

As the filtration process progresses, there will be material deposition on the surface of the microfiltration membrane. The deposition of these materials can cause fouling. Fouling can lead to a decrease in membrane productivity, therefore it is necessary to control fouling in the form of washing and air scouring. The washing is carried out with a variety of washing methods and washing time. The washing was done manually using the gently scrubbing and backwashing method for 10 minutes and 20 minutes. Backwash washing was carried out using 5.25% NaOCl as a washing agent. Air scouring is carried out with variations in air pressure, namely 0.3 bar and 0.6 bar. The type of membrane used is a ceramic membrane microfiltration flatsheet which is placed in a sedimentation basin of IPAM Ngagel III and operated submerged. The purpose of this study was to examine the effect of washing and water scouring on the amount of flux produced and the decrease in turbidity values, Total Suspended Solids, microplastics, E-Coli, and organic substances.

The results of this study showed that the most effective washing was manual washing with the gently scrubbing method, with a flux recovery result of 100% and could increase the rejection coefficient of the turbidity parameters and organic substances. Air Scouring can extend the operating time, increase the amount of production water, and increase the membrane rejection capability. In this study, the more effective air scouring was air scouring with air pressure variations of 0.6 bar. Total production water can be increased by 38.2% and can increase the rejection coefficient on the parameters of turbidity, TSS, organic matter, and microplastics.

Keyword: Air Scouring, Backwashing, Fouling, Immersed membrane, Microfiltration

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan bahmat-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu.

Tugas akhir ini mengambil judul “Pengaruh Pencucian dan *Air Scouring* Terhadap Kinerja *Immersed Membrane Microfiltration*”. Dalam penulisan ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ir. Bowo Djoko Marsono. M.Eng, selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Dr. Ali Masduqi S.T., M.T, Adhi Yuniarto ST., MT., Ph.D., dan Ainul Firdatun Nisaa, ST. MSc selaku penguji yang telah memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Prof. Ir. Joni Hermana, M.Sc.ES. Ph.D. selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama masa perkuliahan.
4. PDAM Surya Sembada dan segenap karyawan IPAM Ngagel III Surabaya serta Pak Mawardi yang senantiasa membantu dalam proses penelitian.
5. Ibu dan Bapak laboran Laboratorium Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS yang senantiasa mendampingi.
6. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung: Inayah, Suluh, Lastri, Reinata, Khansa, Dessy, Raisa, Azizah, Nana, Gege dan teman-teman angkatan 2018.

Penulis juga mengucapkan terimakasih secara khusus kepada orangtua serta keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan dan segala hal yang tidak akan dapat penulis sampaikan dengan kata-kata.

Penyusunan tugas akhir ini sudah dilakukan dengan semaksimal mungkin, namun tentu masih terdapat salah dan kurang, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan terima kasih.

Surabaya, 24 Juli 2022
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak.....	i
Abstract.....	iii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	2
1.5Manfaat.....	2
BAB 2.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Teknologi Membran.....	3
2.1.1 Membran Mikrofiltrasi.....	3
2.1.2 Membran Keramik.....	4
2.2 Parameter Kinerja Membran.....	5
2.3 Fouling.....	5
2.3.1 Jenis – Jenis Foulan.....	6
2.3.2 Metode mengurangi Fouling.....	7
2.3 Pengendalian <i>fouling</i> dengan metode <i>Air Scouring</i>	8
2.4 Pencucian Membran.....	10
2.4.1 Metode Pembersihan secara Kimia.....	10
2.5.2 Metode Pembersihan secara Fisik.....	11
2.6 Backwashing.....	12

2.7 Efektifitas Pencucian	12
2.8 Parameter Pencemar Air Baku	12
2.8.1 Kekeruhan	12
2.8.2 Total Suspended Solids (TSS).....	13
2.8.3 Zat Organik	13
2.8.4 Mikroplastik	14
2.9 Persyaratan Kualitas Air Minum	15
2.10 Penelitian Terdahulu.....	17
BAB 3.....	19
METODE PENELITIAN	19
3.1 Wilayah Studi.....	19
3.2 Kerangka Penelitian	19
3.3 Penelitian Pendahuluan	21
3.4 Persiapan Alat dan Bahan.....	21
3.4.1 Alat	21
3.4.2 Bahan	22
3.4.3 Pembuatan Reaktor.....	22
3.5 Pelaksanaan Penelitian	23
3.5.1 Pengoperasian Membran	23
3.5.2 Pengendalian fouling dengan <i>Air Scouring</i>	25
3.5.3 Pencucian Membran	26
3.6 Uji Parameter	26
3.7 Hasil dan Pembahasan.....	27
3.8 Kesimpulan dan Saran.....	27
BAB IV.....	29
HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengaruh Pencucian terhadap Kinerja <i>Immersed Membrane Microfiltration</i>	29
4.1.1 Pencucian Manual dengan Metode <i>Gently Scrubbing</i>	29
4.1.2 Pencucian dengan Metode <i>Backwash</i> selama 10 Menit.....	33

4.1.3 Pencucian dengan Metode <i>Backwash</i> selama 20 Menit.....	38
4.1.4 Perbandingan Ketiga Variasi Pencucian	42
4.2 Pengaruh <i>Air Scouring</i> terhadap Kinerja <i>Immersed Membrane Microfiltration</i>	42
4.2.1 Pengaruh <i>Air Scouring</i> dengan Variasi Tekanan Udara 0,3 Bar	43
4.2.2 Pengaruh <i>Air Scouring</i> dengan Variasi Tekanan Udara 0,6 Bar	47
4.2.3 Perbandingan Variasi <i>Air Scouring</i>	51
BAB V	53
KESIMPULAN DAN SARAN.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi	4
Tabel 2 2 Pengaruh Jenis Pembersihan terhadap Jenis Fouling.....	7
Tabel 2 3 Foulan dan bahan kimia pembersih	11
Tabel 2 4 Pembersihan Fisik	11
Tabel 2 5 Persyaratan Kualitas Air Minum	16
Tabel 3 1 Mekanisme Penelitian.....	24
Tabel 3 2 Parameter dan Metode Pengujian Sampel Air.....	27
Tabel 4 1 Kadar Sampel Sebelum Dilakukan Pencucian Manual	31
Tabel 4 2 Koefisien Rejeksi Membran Sebelum Pencucian Manual.....	31
Tabel 4 3 Kadar Sampel Setelah Dilakukan Pencucian Manual	32
Tabel 4 4 Koefisien Rejeksi Membran Setelah Pencucian Manual.....	32
Tabel 4 5 Uji Efektifitas Pencucian terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi	32
Tabel 4 6 Kadar Sampel Sebelum dilakukan Backwash 10 Menit.....	35
Tabel 4 7 Koefisien Rejeksi Sebelum Backwash 10 Menit.....	36
Tabel 4 8 Kadar Sampel Setelah dilakukan Backwash 10 Menit	36
Tabel 4 9 Koefisien Rejeksi Setelah Backwash 10 Menit	36
Tabel 4 10 Uji Efektifitas Backwash selama 10 Menit terhadap Kualitas Permeat	37
Tabel 4 11 Kadar Sampel Sebelum dilakukan Backwash 20 Menit.....	40
Tabel 4 12 Koefisien Rejeksi Sebelum Backwash 20 Menit.....	40
Tabel 4 13 Kadar Sampel Setelah dilakukan Backwash 20 Menit	40
Tabel 4 14 Koefisien Rejeksi Setelah Backwash 20 Menit	41
Tabel 4 15 Uji Efektifitas Backwash selama 20 Menit terhadap Kualitas Permeat	41
Tabel 4 16 Perbandingan Variasi Pencucian	42
Tabel 4 17 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi Tanpa Air Scouring	45
Tabel 4 18 Koefisien Rejeksi Membran Tanpa Air Scouring	45
Tabel 4 19 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi dengan Air Scouring 0,3 Bar	45
Tabel 4 20 Koefisien Rejeksi Membran Setelah Pencucian Manual	46
Tabel 4 21 Uji Efektifitas Air Scouring terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi.....	46
Tabel 4 22 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi Tanpa Air Scouring	49
Tabel 4 23 Koefisien Rejeksi Membran Tanpa Air Scouring	49
Tabel 4 24 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi danpa Air Scouring 0,6 Bar	50
Tabel 4 25 Koefisien Rejeksi Membran dengan Air Scouring Bertekanan Udara 0,6 Bar	50

Tabel 4 26 Uji Efektifitas Air Scouring Bertekanan 0,6 Bar terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi.....	50
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Driven- Pressure Membran	3
Gambar 2 2 Membran Keramik Flatsheet.....	4
Gambar 2 3 Penyempitan Pori Membran	6
Gambar 2 4 Proses Air Scouring	8
Gambar 2.5 Disc Diffuser.....	8
Gambar 2.6 Tube Diffuser	9
Gambar 2.7 Perbedaan Ukuran Gelembung	10
Gambar 3 1 Unit Sedimentasi IPAM Ngagel III, Surabaya	19
Gambar 3 2 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3 3 Denah Reaktor Membran.....	22
Gambar 3 4 Potongan A-A dan B-B Reaktor Membran.....	22
Gambar 3 5 Skema Pemasangan Alat.....	23
Gambar 3 6 Dimensi Diffuser.....	25
Gambar 3 7 Kompresor untuk Air Scouring.....	26
Gambar 3 8 Katup Backwash dan Filtrasi	26
Gambar 3 9 Pembuatan Larutan Pencuci.....	26
Gambar 4 1 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Pencucian Manual.....	29
Gambar 4 2 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu.....	30
Gambar 4 3 Perbandingan Kadar Parameter dalam Permeat Sebelum dan Sesudah Pencucian	33
Gambar 4 4 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Backwash selama 10 Menit	34
Gambar 4 5 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu SebelBackwash 10 Menit	35
Gambar 4 6 Perbandingan Kadar dalam Permeat Sebelum dan Sesudah Backwash 10 Menit	37
Gambar 4 7 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Backwash selama 20 Menit	38
Gambar 4 8 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Pencucian secara Backwash 20 Menit	39
Gambar 4 9 Kadar dalam Permeat Sebelum dan Sesudah Backwash selama 20 Menit.....	42
Gambar 4 10 Penampakan Membran Tanpa dan dengan Air Scouring 0,3 Bar.....	43
Gambar 4 11 Perbandingan Fluks terhadap Waktu pada Air Scouring dengan Tekanan Udara 0,3 Bar	44
Gambar 4 12 Perbandingan Kadar Pencemar dalam hasil Filtrasi tanpa air scouring dan filtrasi dengan pengaplikasian air scouring bertekanan udara 0,3 bar	47

Gambar 4 13 Penampakan Membran Tanpa dan dengan Air Scouring 0,6 Bar	48
Gambar 4 14 Perbandingan Fluks terhadap Waktu pada Air Scouring dengan Tekanan Udara 0,6 Bar.....	48
Gambar 4 15 Perbandingan Kadar Pencemar dalam hasil Filtrasi tanpa air scouring dan filtrasi dengan pengaplikasian air scouring bertekanan udara 0,6 bar.....	51

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kekeruhan air baku yang diolah oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Ngagel pada saat musim hujan dapat mencapai 1000 NTU (Patriasani, 2010). Dalam pengolahan air bakunya PDAM Ngagel masih menggunakan bahan kimia berupa koagulan Alumunium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) 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 (Setio, 2018). Teknologi membran merupakan salah satu teknologi pemisahan yang relatif baru namun aplikasinya telah merambah luas ke berbagai sektor termasuk sektor pengolahan air. Teknologi membran yang dipasang pada bak sedimentasi dapat mengurangi senyawa organik dan anorganik yang berada dalam air tanpa adanya penggunaan bahan kimia dalam pengoperasiannya (Wenten, 1999). 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 (Shalahuddin, 2019).

Salah satu masalah yang biasa muncul pada proses filtrasi membran adalah penumpukan material atau partikel di permukaan membran yang dinamakan *fouling*. Proses terjadinya deposisi material di atas permukaan membran mikrofiltrasi ini dapat mengakibatkan menurunnya produktivitas membran. *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. Fenomena penurunan fluks memberikan pengaruh negatif terhadap nilai keekonomian operasi membran filter dan merupakan tantangan yang paling serius. 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 (Shalahuddin, 2019). 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.

Meninjau permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh *air scouring* dan pencucian pada *immersed membrane microfiltration* terhadap penurunan nilai kekeruhan, *Total Suspended Solids*, *micro-plastic*, *E. Coli* dan zat organik. Penelitian terhadap parameter kekeruhan, *E. Coli* dan zat organik sesuai dengan standar dalam baku mutu air minum. Semakin meningkatnya kontaminasi air baku oleh mikroplastik juga menyebabkan parameter ini ikut dimasukkan dalam penelitian. Mikroplastik memiliki ukuran antara 300 μm sampai 5mm sehingga dapat dilakukan pengurangan parameter ini dengan menggunakan membran mikrofiltrasi (Lares, 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi pencucian terhadap kualitas dan kuantitas air hasil pengolahan dalam unit instalasi pengolahan air minum?
2. Bagaimana pengaruh variasi *air scouring* terhadap kualitas dan kuantitas air hasil pengolahan dalam unit instalasi pengolahan air minum?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengkaji pengaruh pencucian terhadap kualitas dan kuantitas air hasil pengolahan
2. Mengkaji pengaruh *air scouring* terhadap kualitas dan kuantitas air hasil pengolahan

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang direncanakan dalam penelitian ini adalah:

1. Air yang digunakan dalam penelitian ini adalah *feed water* dari unit sedimentasi Instalasi Pengolahan Air Minum Ngagel, Surabaya.
2. Jenis membran yang digunakan adalah *Immersed Membrane Microfiltration Flatsheet*.
3. Parameter kualitas yang diperiksa adalah kekeruhan, *Total Suspended Solid*, *microplastic*, *E. Coli*, dan zat organik. Parameter kuantitas meliputi *flux* dan lama operasi membran
4. Pencucian dilakukan secara manual dengan bahan kimia dan *backwash*
5. *Air scouring* dilakukan dengan gelembung udara.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh pencucian dan metoda *air scouring* pada *immersed membrane microfiltration*
2. Memberikan alternatif aplikasi *immersed membrane microfiltration* pada unit eksisting pengolahan air minum untuk menggantikan filter konvensional
3. Memberikan kontribusi pengembangan desain sistem pengolahan air minum yang lebih kompak dan hemat lahan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

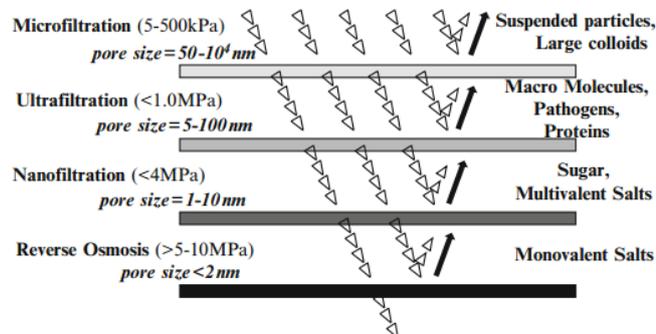
2.1 Teknologi Membran

Membran merupakan fase intervensi yang memisahkan dua fase dan/atau bertindak sebagai penghalang aktif atau pasif untuk transportasi materi antar fase. Membran memisahkan material berdasarkan karakteristik fisik dan kimia ketika diaplikasikan *driving force*, chemical potensial, maupun electrical potensial pada permukaan membran. Membran dapat dikelompokkan berdasarkan materialnya, konfigurasi, dan juga prosesnya. Berdasarkan materialnya membran dapat dikelompokkan menjadi membran polimer, liquid membran, keramik, serta membran penukar ion (Scott, 1995). Membran juga dapat dikelompokkan menurut komposisinya, morfologinya dan tergantung pada sifat materialnya dengan terbagi menjadi organik (polimer) atau anorganik (keramik atau logam). Membran anorganik banyak digunakan karena ketahanannya pada suhu tinggi dan zat kimia. Salah satu contoh dari membran anorganik yaitu membran keramik. Berdasarkan konfigurasi, membran dapat dikelompokkan menjadi *flatsheet*, lilitan spiral, tubular, serta emulsi.

Masing – masing jenis membran juga dapat dibedakan melalui proses operasinya yaitu mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis (Wenten, 1999). Membran yang baik harus memiliki kisaran ukuran pori yang sempit, porositas tinggi dan lapisan material yang tipis.

2.1.1 Membran Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi (MF) adalah proses dengan *driving force* beda tekanan dimana koloid tersuspensi dan partikel dengan ukuran 0.1-20 μm dapat ditahan oleh membran mikropori. Membran mikrofiltrasi biasanya dioperasikan pada TMP (*Trans Membrane Pressure*) yang relative rendah (lebih dari 50 psi atau 3,4 bar atau 0,35 Mpa) dan fluks permeatnya sangat tinggi (10^{-4} - 10^{-2} m/s untuk membran tanpa *fouling*) (Scott,1995). Membran mikrofiltrasi memiliki ukuran pori makropori (0.05-10 μm) sehingga dapat mereduksi TSS (*total suspended solids*), kekeruhan, protozoa, oocysts, cysts, serta beberapa bakteri dan virus. Membran mikrofiltrasi biasanya dioperasikan kuat tekanan kurang dari 2 bar (Mulder, 1996).



Gambar 2 1 Driven- Pressure Membran

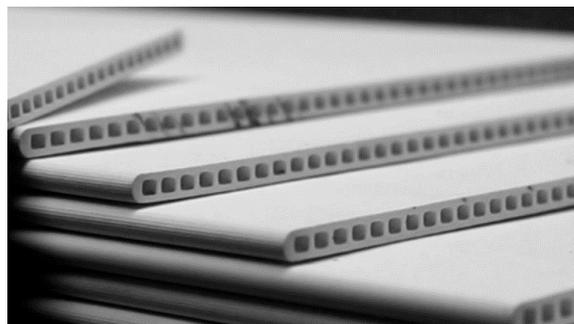
Sumber : (A.G. (Tony) Fane et al, 2011)

2.1.2 Membran Keramik

Berdasarkan materialnya membran dapat terbagi menjadi organik (polimer) atau anorganik (keramik atau logam). Pada penelitian ini digunakan membran anorganik berbahan keramik. Membran keramik dapat terbentuk dari keramik alam (feldspard, ball clay, kwarsa, kaolin, dan air) ataupun kombinasi antara logam (aluminium, titanium, zirkonium) dengan non logam dalam bentuk oksida, nitrida atau karbida (Dahlan, M. Hatta; Teguh, 2011). Keunggulan dari membran keramik yaitu lebih tahan terhadap suhu tinggi dan bahan korosif. Pembersihan membran berbahan keramik juga lebih efisien dibandingkan dengan membran berbahan polimer dan lebih tahan terhadap *biofouling* (Wang & Chen, 2011). Dibandingkan dengan membran yang polimerik yang saat ini banyak digunakan, membran keramik dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama. Membran keramik dapat digunakan sampai lebih dari 20 tahun sedangkan membran polimerik biasanya hanya mencapai penggunaan kurang dari 5 tahun. Membran keramik banyak digunakan pada industri makanan dikarenakan ketahanannya terhadap bahan kimia dan pemrosesan dengan suhu tinggi. Salah satu kekurangan dari membran berbahan keramik yaitu biaya investasi yang dibutuhkan mahal. (Wang & Chen, 2011). Membran keramik pada umumnya dibuat dalam konfigurasi bentuk tubular atau *flatsheet* (Baker, 2004). Membran keramik yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini memiliki spesifikasi seperti pada tabel berikut.

Tabel 2 1 Spesifikasi Membran Mikrofiltrasi

Nama Produk	<i>Ceramic Filtration Membrane Sheet</i>
Material	Alpha- Al_2SO_3
Lebar	150 mm
Tinggi	510 mm
Ketebalan	4 mm
Tekanan maksimum	0,3 Mpa
Ukuran pori	0,00005 mm
Porositas	34%
Produktivitas	500L/jam
Luas membran	0,15 m ²
Pure water flux	20m ³ /(m ² .d)



Gambar 2 2 Membran Keramik Flatsheet

Sumber : (<https://www.alibaba.com/product-detail/>)

2.2 Parameter Kinerja Membran

Efisiensi kinerja membran ditentukan oleh dua parameter yaitu permeabilitas dan selektivitasnya.

2.2.1 Fluks Air (Permeabilitas)

Permeabilitas dinyatakan sebagai suatu besaran fluks yang dipengaruhi oleh jumlah dan ukuran pori, tekanan yang diberikan, serta ketebalan membran. Fluks dapat didefinisikan sebagai jumlah volum *permeat* yang melewati satu satuan luas membran dalam satuan waktu tertentu dengan adanya gaya penggerak berupa tekanan (Winani, 2011). Fluks air dipengaruhi beberapa faktor yaitu waktu, konsentrasi umpan, temperatur umpan, kecepatan aliran, dan tekanan transmbran. Tekanan berbanding lurus dengan nilai fluks, semakin tinggi tekanan yang diberikan maka nilai fluks semakin meningkat. Menurut Mulder (1996), fluks Air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$J = \frac{\text{Volum Permeat}}{\text{Luas Membran} \times \text{Waktu}} = \frac{V}{A t} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

J = Fluks volume (L/m²s¹)

V = Volume Permeat (L)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (s)

2.2.2 Koefisien Rejeksi (Selektivitas)

Selektivitas membran dapat didefinisikan sebagai kemampuan membran untuk menahan partikel. Selektivitas membran dipengaruhi oleh ukuran partikel, ukuran pori permukaan membran, serta interaksi antar permukaan membran dan partikel yang melewatinya (Mulder, 1996). Selektivitas berbanding terbalik dengan fluks air semakin tinggi selektivitas membran maka nilai fluks yang dihasilkan semakin sedikit. Selektivitas membran dinyatakan dengan koefisien rejeksi yang dilambangkan dengan R. Menurut Z F Cui (2010), koefisien rejeksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

R = Koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam *permeat*

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam *feed*

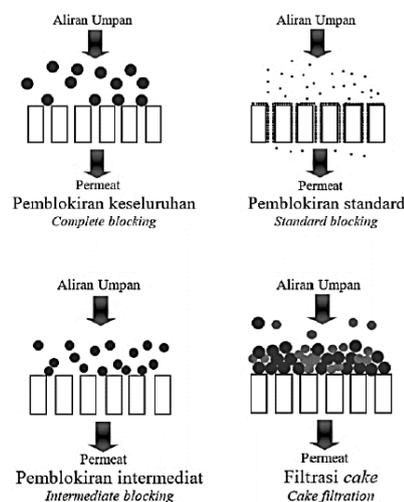
2.3 Fouling

Masalah yang paling utama dalam proses filtrasi membran adalah *fouling*. *Fouling* merupakan proses terjadinya deposisi material di atas permukaan membran mikrofiltrasi yang dapat berakibat pada menurunnya produktivitas membran (Shalahuddin, 2019). Fouling dapat diindikasikan melalui penurunan fluks, peningkatan nilai koefisien rejeksi, penurunan umur

membran, hingga penggantian membran (Tang et al., 2007). Menurut Mozia., et al (2004) fouling terjadi melalui satu atau lebih dari mekanisme berikut : (1) akumulasi solut/kontaminan (seperti pembentukan *cake*), (2) adsorpsi permukaan : deposisi/endapan solut, dan (3) absorpsi : deposisi solut ke dalam membran.

Menurut (Mahmud, 2005) Pada saat fouling terjadi penyempitan pori membran yang dapat dibedakan menjadi empat macam, yaitu :

1. Pemblokiran keseluruhan
Pemblokiran keseluruhan terjadi ketika diameter partikel lebih besar daripada diameter pori sehingga partikel tertahan diatas permukaan membran dan menutupi keseluruhan pori.
2. Pemblokiran standard
Pemblokiran standard merupakan pemblokiran pori yang terjadi apabila diameter partikel lebih kecil daripada diameter pori sehingga partikel terabsorb kedalam pori dan menyebabkan penyempitan pori.
3. Pemblokiran *intermediant*
Pemblokiran *intermediant* hampir sama seperti pemblokiran keseluruhan namun pada pemblokiran *intermediant* dapat terjadi pergantian partikel baru pada permukaan membran.
4. Filtrasi *Cake*
Filtrasi *cake* merupakan terjadinya penebalan *cake* pada permukaan membran akibat penumpukan partikel. Fouling jenis ini terjadi jika ukuran partikel solut sangat kecil dan memiliki sifat-sifat gel jika berada dalam keadaan terakumulasi. Filtrasi *cake* dapat meningkatkan tahanan hidrolis secara kontinyu.



Gambar 2 3 Penyempitan Pori Membran

Sumber : (Shalahuddin, 2019)

2.3.1 Jenis – Jenis Foulan

Jenis foulan biasanya terbagi menjadi 3 yaitu organik, inorganik dan biologis.

1. Foulan Organik
Foulan organik disebabkan oleh substansi organik yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik, umumnya yaitu protein dan polisakarida. Pada sistem filtrasi air, materi natural organik dianggap sebagai foulan utama karena memiliki tingkat penyumbatan yang tinggi (D. Jermann, 2007).

2. Foulan Inorganik

Foulan inorganik merupakan foulan yang dihasilkan akibat deposisi garam dan elemen inorganik (Ca, Mg, Al, mikroplastik, Fe, dll) pada permukaan membran (Vedavyasan, 2016).

3. Foulan Biologis

Foulan biologis berkaitan dengan pertumbuhan dan metabolisme bakteri. *Fouling* biologis biasanya diawali dengan deposisi sel individual atau penggumpalan bakteri pada permukaan membran. Pada air yang diolah terdapat nutrisi dan *dissolved oxygen* yang mendukung perbanyakan sel, pembentukan *extracellular polymeric substances* (ESP) dan sekresi *Soluble Microbial Product* (SMP). *Fouling* biologis juga merupakan *fouling* yang paling sulit diatasi dikarenakan meskipun 99,9% sel telah dibersihkan dari permukaan membran permukaan membran sisanya akan tetap bertumbuh dan menjadi resistan terhadap tekanan hidraulik, bahan kimia, dan antibiotik (A. Abdelrasoul, 2013).

2.3.2 Metode mengurangi Fouling

Metode yang dilakukan untuk mengurangi *fouling* dapat dilakukan dengan metode fisik maupun kimia. Metode fisik yang dapat dilakukan diantaranya yaitu *Flushing*, *Backwashing*, *Backpulsing*, *Ultrasound*, *Air Scouring* serta *Electric Field*. Sementara metode kimia atau yang juga sering disebut dengan *Cleaning in Place method* dapat dilakukan dengan bahan kimia yang berbeda – beda tergantung dengan jenis membran, jenis foulan serta proses produksinya. Beberapa bahan kimia yang sering digunakan sebagai reagen yaitu dapat berupa bahan kimia yang bersifat asam, bahan kimia yang bersifat basa, desinfektan, *chelating agents*, surfaktan, dan juga enzim (Gruskevica, 2021). Selain itu untuk mengurangi *fouling* juga dapat dilakukan pretreatment air umpan, modifikasi permukaan membran, pencucian hidrodinamik *crossflow* dengan kecepatan yang besar, serta optimasi bahan kimia/kondisi operasional seperti pH dan rasio *recovery* (H. Lee, 2001).

Tabel 2.2 Pengaruh Jenis Pembersihan terhadap Jenis *Fouling*

Jenis Fouling	Pengaruh Variasi Strategi Operasi			
	Pembersihan Hidraulik/ Backwashing	Klorinasi Air Baku	Asidifikasi Air Baku	Pembersihan Kimia
Inorganik	-	-	++	++
Partikel	++	-	-	++
Mikrobia	+	++	+*	++
Organik	-	+	-	++

Keterangan :

“-“ : Tidak mempengaruhi

“+” : Berpengaruh

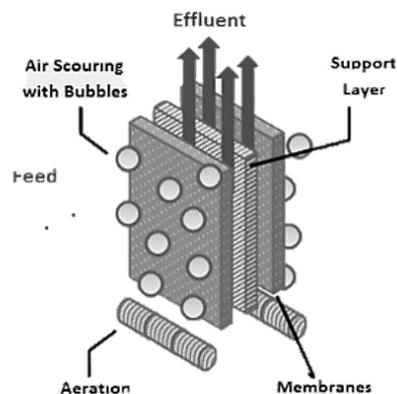
“++” : Berdampak baik

“ *” : bersamaan dengan penambahan klor

(Sumber : Abdelrasoul, 2013)

2.3 Pengendalian *fouling* dengan metode *Air Scouring*

Air scouring merupakan cara pengendalian *fouling* dengan menggunakan alat bantu kompresor udara bertekanan yang menyebabkan meningkatnya turbulensi dan kontak permukaan sehingga dapat menghilangkan partikel padatan yang ada pada permukaan membran dan dapat memperlambat terjadinya *fouling* (Zaerp, 2014). Faktor yang mempengaruhi efisiensi *air scouring* yaitu ukuran gelembung udara serta kecepatan aliran udara. Kecepatan aliran udara harus sebanding dengan kecepatan aliran *feed water*, apabila kecepatan aliran *feed water* turbulen maka hasil *scouring* yang didapatkan menjadi kurang maksimal (Fouladitajar, 2013). *Air scouring* yang menggunakan gelembung yang berukuran besar (*coarse bubble*) lebih efektif jika digunakan untuk *air scouring* membran dibandingkan gelembung yang berukuran kecil (*fine bubble*) (Zaerp, 2014).



Gambar 2 4 Proses Air Scouring

Sumber : (Lentech,2021)

Cara kerja dari *air scouring* yaitu udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor akan disalurkan menggunakan selang menuju ke *diffuser*. *Diffuser* merupakan alat yang memiliki banyak pori – pori kecil yang berfungsi untuk memecah udara kedalam gelembung – gelembung dengan ukuran pori tertentu. *Diffuser* umumnya melepaskan gelembung di dasar kolam atau bak yang kemudian gelembung tersebut akan naik ke permukaan bak atau kolam (Hartojo, 2020). Bentuk dari *diffuser* perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi sirkulasi air di dalam kolam atau bak. Ragam dari bentuk *diffuser* yang beredar di pasaran yaitu

1. *Membrane disc diffuser*

Diffuser jenis ini efektif untuk digunakan pada areal yang luas. Namun, untuk pemasangan *diffuser* jenis ini cenderung lebih rumit.



Gambar 2.5 *Disc Diffuser*

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail>)

2. Tube diffuser

Tube *diffuser* terdiri dari silinder panjang yang dapat terbuat dari keramik ataupun plastik. Keunggulan dari *diffuser* jenis ini yaitu tidak membutuhkan biaya investasi yang mahal dan pemasangan lebih mudah.



Gambar 2.6 Tube Diffuser

(Sumber : https://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site)

Berdasarkan prinsip kerjanya terdapat tiga jenis *diffuser* yang dirancang dan sering digunakan oleh masyarakat. Jenis *diffuser* tersebut meliputi :

1. Coarse bubble

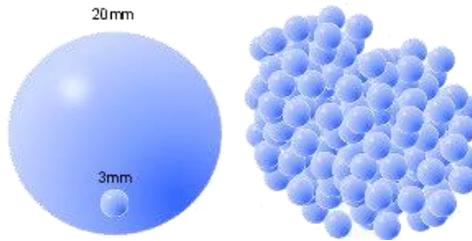
Pada *diffuser* jenis ini, gelembung yang terjadi akibat pemecahan udara berbentuk kasar atau memiliki ukuran gelembung yang besar. Keunggulan dari *diffuser* jenis ini yaitu mudah dalam perawatannya. *Diffuser* jenis ini memiliki ukuran lubang yang lebih besar sehingga tidak mudah tersumbat. Hal tersebut menyebabkan interval pembersihan *coarse bubble diffuser* lebih jarang dilakukan dibandingkan *fine bubble diffuser*. Ukuran pori *diffuser* yang lebih besar juga menyebabkan *diffuser* jenis ini waktu operasinya dapat bertahan lebih lama. Namun, kekurangan dari *diffuser* jenis ini yaitu membutuhkan biaya yang mahal untuk *supply* energi. Dikarenakan ukuran gelembung yang dihasilkan lebih besar maka energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gelembung tersebut juga lebih besar.

2. Fine bubble

Pada *diffuser* ini, gelembung yang terjadi akibat pemecahan udara jauh lebih halus dan memiliki ukuran yang lebih kecil. Ukuran gelembung biasanya antara 1 – 3 mm. *Diffuser* jenis ini juga lebih sering digunakan karena persebaran udaranya yang merata dan memiliki bentuk yang sederhana, yaitu berupa piringan. *Fine bubble diffuser* mendispersikan lebih banyak oksigen kedalam air dibandingkan dengan *coarse bubble diffuser* sehingga *Fine bubble diffuser* lebih efisien untuk digunakan dalam proses aerasi. *Fine bubble diffuser* diperkirakan dapat menghilangkan material organik dalam air sebanyak 85%.

3. Ecorator Diffuser

Diffuser tipe baru yang berasal dari Jepang ini mempunyai banyak kelebihan diantaranya mempunyai gaya aduk sehingga kolam IPAL bisa bebas dari lumpur.



Gambar 2.7 Perbedaan Ukuran Gelembung

(Sumber : <https://aquatechenvironmental.com/aeration/fine-bubble-aeration/>)

2.4 Pencucian Membran

Pencucian membran merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mengurangi *fouling*. Dibandingkan dengan metode pengurangan *fouling* lainnya seperti modifikasi membran dan *pretreatment*, pencucian membran lebih mudah dilakukan dan cepat memulihkan kemampuan permeabilitas membran (Huajuan, 2009). Metode pembersihan *fouling* dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan pelaksanaannya yaitu metode pembersihan secara fisik dan metode pembersihan secara kimia. Pencucian membran perlu dilakukan apabila :

- Fluks telah mengalami penurunan sampai 10% dari fluks awal
- Salinitas dalam filtrat meningkat sebesar 10%
- Tekanan meningkat sebesar 15% dari tekanan normal

Kondisi tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan waktu pencucian membran. Namun, untuk menjaga kondisi membran lebih baik pencucian dilakukan sebelum kondisi tersebut terjadi.

2.4.1 Metode Pembersihan secara Kimia

Pembersihan dilakukan dengan menggunakan bahan kimia. Bahan kimia yang digunakan dapat bersifat asam kuat maupun basa kuat. Penggunaan bahan kimia digunakan untuk meningkatkan kembali nilai fluks sehingga hilang tekan yang terjadi lebih kecil dibanding saat adanya *fouling* pada permukaan membran. Penggunaan bahan kimia pada pembersihan membran harus disesuaikan dengan karakteristik membran serta jenis *fouling* seperti dapat dilihat pada Tabel 2.3. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pembersihan kimiawi, yaitu temperatur, pH, konsentrasi bahan kimia pembersih, waktu kontak antara larutan kimia dan membran, serta kondisi operasi seperti kecepatan aliran lawan arah dan tekanan. Untuk memperoleh efek pembersihan yang baik, kecepatan aliran lawan arah harus lebih tinggi dan tekanan lebih rendah dari yang biasa digunakan selama operasi normal.

Tabel 2 3 Foulan dan bahan kimia pembersih

Foulant	Reagent	Waktu dan temperatur	Aksi
Fats, oils, proteins, polysaccharides, bacteria	0.5 N NaOH dan 200ppm Cl ₂	30-60 min 25-55°C	Hidrolisis dan oksidasi
DNA, mineral salts	0.1-0.5M acid (acetic, citric, nitric)	30-60 min 25-55°C	Pelarutan
Fats, oils, biopolymers, proteins	0.1% SDS; 0.1% Triton X-100	30 min – overnight 25-55°C	Pembasahan, emulsifikasi, tersuspensi, disperse
Cell fragments, fats, oils, proteins	Enzyme, detergent	30 min – overnight 30-40°C	Catalytic breakdown (proteolysis)
DNA	0.5 % DNAase	30 min – overnight 30-40°C	Hidrolisis enzim
Fats, oils, and grease	20-50% ethanol	30 – 60 min 25-55°C	Pelarutan

(Sumber : Wenten, 1999)

2.5.2 Metode Pembersihan secara Fisik

Cara ini adalah dengan membersihkan *fouling* secara langsung pada permukaan membran. Pada umumnya metode ini dilakukan dengan menggunakan perubahan dalam sistem hidrodinamika untuk menghilangkan foulant dari permukaan menggunakan energi kinetik. Cara ini sangat efektif dan bersih untuk membersihkan *fouling*. Namun pembersihan terus-menerus pada membran akan mengurangi selektifitas membran dan mengurangi umur dari membran. Beberapa contoh pembersihan secara fisik dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 2 4 Pembersihan Fisik

Metode	Konfigurasi Membran	Keterangan
Ultrasound	Flatsheet, Tubular	Kurang cocok untuk digunakan pada <i>ceramic membrane</i> karena dapat merusak apabila diaplikasikan pada tegangan tinggi.
Medan listik	Flatsheet, Tubular	Membutuhkan biaya yang mahal, tidak dapat digunakan pada air sadah
Backwashing	Flatsheet, Hollow Fiber, Tubular	Efektif untuk menghilangkan partikel pengotor apabila diaplikasikan dengan tekanan yang lebih besar daripada tekanan membran

(Sumber : Gruskevica, 2021)

Ada beberapa faktor yang diperhatikan selama pencucian membran yakni :

- Material dan sifat membran : material dan sifat membran menentukan ketahanan membran terhadap bahan kimia.
- Mekanika fluida : dipompakan hingga dicapai aliran turbulen, tekanan serendah mungkin namun laju alir tinggi.
- Waktu : interval pencucian yang terlalu lama dapat mengurangi kemampuan membran.
- Temperatur : sebaiknya setinggi mungkin namun pada rentang yang wajar.
- Kualitas air : Hasil pencucian akan lebih baik apabila menggunakan *soft water*.

- f) pH : Basa efektif untuk menghilangkan *foulant organic* dan protein sedangkan asam lebih efektif untuk menghilangkan *inorganic fouling*.

2.6 Backwashing

Backwash merupakan pemompaan kembali permeat ke saluran umpan untuk mengangkat material yang terdeposit pada permukaan membran. Faktor yang mempengaruhi proses backwashing diantaranya yaitu karakteristik membran, karakteristik air baku, serta kondisi pengoperasian *backwash* seperti interval *backwash*, durasi *backwash*, kekuatan *backwash* serta variasi pengoperasian (Haiqing Chang, 2017). Backwash dapat diaplikasikan pada berbagai membran dengan memperhatikan kombinasi faktor – faktor tersebut. Untuk melakukan *backwashing*, maka perlu diselidiki kapan saja *backwashing* dilaksanakan dan berapa lama *backwashing* membran yang digunakan tersebut harus dilakukan. Hal tersebut tergantung pada kualitas air yang akan diolah, bahan membran yang digunakan dan kondisi operasional. Kebanyakan proses *backwash* dilakukan selama 1-10 menit (Wenten, 1999). Indikator untuk mengetahui efisiensi *backwash* dapat ditinjau melalui tekanan, fluks, atau dengan menghitung *mass balance* nya. Salah satu indikator yang berkaitan dengan fluks yaitu *flux recovery*. *Flux recovery* dapat diperoleh melalui perbandingan antara fluks setelah pencucian dan fluks awal sebelum pencucian. Menurut proses backwash dipengaruhi oleh Karakteristik permukaan membran,

2.7 Efektifitas Pencucian

Peningkatan kinerja membran setelah pencucian dapat diindikasikan dengan dua parameter yaitu dengan *flux recovery* (FR). *Flux recovery* (FR) dapat didefinisikan sebagai perbandingan fluks setelah dilakukan pembersihan dengan fluks air ketika membran bersih yang diukur dalam kondisi yang sama (M.R. Bird, 2002). Menurut Chang (2017), *flux recovery* dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$FR (\%) = \frac{J_a}{J_o} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- Ja = Fluks setelah pencucian
- Jo = Fluks awal sebelum pencucian

Selain uji kuantitas dilakukan pula perbandingan koefisien rejeksi membran sebelum dan sesudah pencucian untuk mengetahui efektifitas pencucian terhadap koefisien rejeksi yang dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$E = 1 - \left(\frac{R_{\text{sebelum pencucian}}}{R_{\text{sesudah pencucian}}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- E = Uji Efektifitas
- R = Koefisien Rejeksi

2.8 Parameter Pencemar Air Baku

2.8.1 Kekeruhan

Salah satu parameter fisik yang menjadi indikator kualitas air yaitu kekeruhan. Kekeruhan disebabkan oleh bahan organik dan anorganik baik yang tersuspensi maupun terlarut (Suhendara & Sachoemara, 2020). Kekeruhan dianalisa dengan menggunakan alat turbidimeter. Prinsip kerja turbidimeter yaitu penyinaran sampel dengan sinar inframerah. Sinar datang yang mengenai partikel sebagian akan diserap dan sebagian ditransmisikan. Sinar yang

ditransmisikan digunakan sebagai dasar pengukuran kekeruhan sampel air (Herawati & Asti, 2017). Tingkat kekeruhan air diunjukkan dengan satuan pengukuran yaitu *Nephelometric Turbidity Units* (NTU). Dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/Menkes/Per/IV/2010, kadar kekeruhan dalam air minum maksimal adalah 5 NTU. Kekeruhan air dapat disebabkan oleh faktor alam dan manusia. Faktor alam dikarenakan oleh siklus hidrologi dan perubahan musim yang menyebabkan perubahan kualitas sumber-sumber air secara alamiah sedangkan faktor manusia disebabkan adanya aktivitas manusia yang memanfaatkan badan air sebagai sumber air dan tempat pembuangan limbah (Puspitasari & Hadi, 2014). Penurunan kekeruhan dapat dilakukan dengan penambahan koagulan ataupun dengan proses filtrasi.

2.8.2 Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solid merupakan material organik maupun inorganik yang melayang didalam air sebelum kemudian akan mengendap didasar perairan. *Total Suspended Solid* (TSS) memiliki diameter diatas 1 mikron (Wang & Chen, 2011). TSS dapat terdiri dari zat padat gabungan dari komponen biotik seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri dan komponen abiotik seperti pasir halus, lumpur maupun tanah liat. Padatan tersuspensi dapat dibedakan berdasarkan ukurannya menjadi partikel tersuspensi koloidal dan partikel tersuspensi biasa. Partikel tersuspensi biasa dapat mengendap apabila air berada dalam kondisi tenang atau mengapung apabila partikel ini sangat ringan dan partikel jenis ini pun dapat disaring. Sedangkan partikel koloid memiliki karakteristik sulit mengendap dan tidak dapat disaring dengan filter biasa (Muziarni, 2007). *Total Suspended Solid* terbagi atas *Volatile Suspended Solid* (VSS) dan *Fixed Suspended Solid* (FSS). VSS merupakan bagian dari TSS yang hilang ketika dilakukan pembakaran menggunakan furnace 550°C. Kadar VSS dipengaruhi oleh pertumbuhan mikroorganisme yang meningkat akibat adanya cadangan makanan dan proses aerasi serta dipengaruhi oleh komposisi penyusunnya. VSS akan mengalami kenaikan ketika bahan yang didalamnya mengandung agent oksidator sehingga memiliki kemampuan untuk mengkosidasi bahan organik (Fajraini, 2019).

Tingginya kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) dapat menyebabkan kekeruhan dan menyebabkan berkurangnya intensitas cahaya yang masuk ke perairan. Hal ini dapat menghambat proses fotosintesis fitoplankton dan menyebabkan kadar oksigen dalam air menjadi rendah. Rendahnya kadar oksigen dalam air dapat menyebabkan matinya biota perairan. Nilai TSS air dapat diketahui menggunakan metode gravimetri (Fatimah *et al*, 2014). TSS ditentukan dengan menyaring sampel air dengan kertas saring berukuran 2,5 µm, dan setelah itu di hitung selisih berat kertas saring sebelum dan setelah dilakukan penyaringan. Perhitungan yang dapat digunakan dalam menentukan TSS sesuai SNI, adalah:

$$mg\ TSS\ per\ Liter = \frac{(A-B) \times 1000}{Volume\ contoh\ uji\ (mL)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan:

- A Berat kertas saring+residu kering (mg)
- B Berat kertas saring (mg)

2.8.3 Zat Organik

Zat organik merupakan zat yang unsur utama pembentuknya adalah karbon, protein, dan lemak lipid (Apriyanti & Apriyani, 2018). Zat organik dalam air dapat berasal tumbuhan ataupun hewan yang membusuk maupun dampak dari kegiatan manusia seperti limbah cair, limbah padat, dan juga tinja. Keberadaan zat organik dalam air dapat menyebabkan warna dan bau. Zat organik juga dapat membantu pertumbuhan bakteri dikarenakan dapat mengalami pembusukan oleh bakteri apabila terdapat oksigen terlarut dalam air. Selain itu zat organik

dalam proses klorinasi dapat membentuk senyawa trihalomethan yang karsinogenik sehingga berbahaya untuk kesehatan (Maesara & Kunaefi, 2011). Menurut Said (2009), membran mikrofiltrasi hanya dapat memisahkan zat organik yang berada dalam bentuk padatan tersuspensi dan tidak dapat menyaring zat organik yang terlarut. Kelebihan zat organik dapat menyebabkan eutrofikasi dan *algae bloom*. Dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/Menkes/Per/IV/2010, kadar zat organik dalam air minum maksimal adalah 10 mg/L.

Untuk mengetahui kadar zat organik didalam air biasanya dilakukan uji angka permanganat. Angka permanganat merupakan banyaknya oksigen yang digunakan dalam oksidasi senyawa organik dalam sampel oleh Kalium Permanganat (Kurniawati & Alfana, 2019). Metode yang digunakan untuk mengetahui angka permanganat yaitu dengan titasi permanganometri. Titrasi permanganometri sering digunakan karena metode ini mudah, efektif dan tidak memerlukan indikator dikarenakan larutan $KMnO_4$ sudah berfungsi menjadi indikator. Metode permanganometri dilakukan dengan mengoksidasi senyawa organik dengan $KMnO_4$. Proses oksidasi ini dilakukan dalam suasana asam sehingga perlu ditambahkan asam sulfat sebagai katalisator dalam metode ini. Sisa $KMnO_4$ yang ditambahkan kedalam air sampel kemudian direduksi dengan asam oksalat dan kemudian kelebihan asam oksalat akan dititrasi kembali dengan $KMnO_4$ (Apriyanti & Apriyani, 2018). Untuk mengetahui kadar zat organik atau penentuan nilai permanganat, dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan di bawah ini:

$$\text{Kadar } KMnO_4 = \frac{(A-B) \times N \times 31,6 \times 1000}{\text{Volume sampel (mL)}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan:

- A Volume asam oksalat (mL)
- B Volume kalium permanganat (mL)
- N Konsentrasi kalium permanganat

2.8.4 Mikroplastik

Pencemaran mikroplastik di lingkungan dapat berasal dari kebocoran pada industri plastik, pembuangan barang berbahan dasar plastik, maupun pencucian baju yang terbuat dari tekstil sintetis (L.S Fendall, 2009). Mikroplastik pada air minum dapat berbahaya karena dapat masuk ke rantai makanan dan mengganggu proses dalam tubuh. Mikroplastik yang masuk ke dalam tubuh plankton juga dapat menyebabkan terikatnya beberapa senyawa beracun. Mikroplastik umumnya berukuran mulai dari 5 mm – 50 um sehingga dapat tertahan oleh membran mikrofiltrasi yang berukuran 0,5 um (Mirka Lares, 2018). Mikroplastik tersebut dapat berbentuk *fragment*, butiran (*granule*), pipih (*flat*), serat (*fiber*), *foam* maupun *film*. Untuk mengetahui bentuk dan jumlah partikel mikroplastik yang ada dalam sampel dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan mikroskop optik. Berdasarkan polimernya, mikroplastik dapat dibedakan menjadi polietilene (PE), poliamida (PA), polipropilen (PP), poliester (PES) dan polietilen terephthalate (PET). Jenis polimer mikroplastik dipengaruhi oleh tempat pengambilan sampel serta aktivitas masyarakat sekitar. Polietilen dan Polipropilen banyak ditemukan di air tawar karena memiliki densitasnya 0.83 – 0.85 g m/L dan lebih rendah dari air. Jenis polimer mikroplastik tersebut dapat diketahui melalui pengujian menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) atau bisa juga menggunakan *Raman Spectroscopy*. Adanya senyawa organik dalam pengujian mikroplastik dapat menyebabkan adanya noise pada hasil FT-IR dan dapat mempersulit pengujian dengan mikroskop optik. Oleh sebab itu perlu ditambahkan H_2O_2 supaya dapat mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam sampel.

2.8.5 E.Coli

Salah satu indikator pencemar mikrobiologi yang biasa digunakan untuk mendeteksi tercemarnya air oleh bakteri patogen adalah coliform di mana jumlah koloni coliform memiliki korelasi positif dengan keberadaan bakteri patogen. Pemeriksaan coliform sering dilakukan karena sangat mudah dan relatif murah dibandingkan dengan mendeteksi jenis bakteri patogen lainnya. Oleh karena itu pemeriksaan total coliform banyak digunakan dalam pemeriksaan kualitas air (Mulyatna & Hasbiah, 2019). Salah satu bakteri koliform yang sering digunakan untuk menentukan tercemarnya suatu perairan oleh feses adalah *E. Coli*. Bakteri *E.Coli* berasal dari usus manusia atau hewan dan dapat keluar mencemari lingkungan melalui tinja. Dalam satu gram tinja dapat mengandung satu miliar partikel virus infeksius yang mampu bertahan hidup selama beberapa minggu pada suhu dibawah 10°C. Adanya bakteri *Escherichia coli* pada air baku berbahaya bagi kesehatan masyarakat karena dapat menyebabkan penyakit saluran pencernaan seperti diare. Penyisihan bakteri *E.Coli* menggunakan sistem filtrasi dapat dilakukan melalui proses pemisahan dengan ukuran pori. Bakteri *E.coli* memiliki ukuran 1-1,5 µm x 2,0 µm – 6,0 µm dan Coliform memiliki ukuran 0,5 µm x 0,3 µm (Nurtsani,2018). Membran mikrofiltrasi sendiri memiliki ukuran pori 0.05-10µm sehingga dapat menyisihkan bakteri *E.Coli*.

Analisa bakteri *E.coli* dapat dilakukan dengan menggunakan dua jenis media kultur yaitu media konvensional dan media cepat. Media konvensional umumnya membutuhkan waktu yang lebih lama dikarenakan hasil diperoleh setelah menunggu terbentuknya gas dari proses fermentasi laktosa. Terbentuknya asam bisa diamati dari perubahan warna indikator yang terkandung dalam media, sedangkan pembentukan gas diamati dengan tabung Durham. Hasil tersebut kemudian dikonfirmasi dengan uji biokimia (Indriani, 2010). Sementara media cepat biasanya dengan mendeteksi keberadaan enzim spesifik pada suatu bakteri target menggunakan substrat fluorogenik dan kromogenik tertentu. Reaksi tersebut akan memberikan warna tertentu dan atau fluoresensi yang spesifik sehingga bisa dijadikan identifikasi suatu jenis bakteri tertentu Substrat fluorogenik yang paling umum digunakan adalah MUG atau *methylumbelliferyl glucuronidase* (Manafi, 2000). Media cepat yang dikembangkan dari media konvensional dengan penambahan substrat fluorogenik MUG dapat digunakan untuk menumbuhkan, sekaligus membedakan *E.coli* dari bakteri lainnya. Salah satu contoh media cair yang menggunakan MUG yaitu colilert dan salah satu media konvensional yang mengandung MUG dan sering digunakan dalam Laboratorium ITS adalah *Brila Broth* (Merck, 2005).

2.9 Persyaratan Kualitas Air Minum

Standar kualitas air minum yang digunakan di Indonesia adalah Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 09 April 2010 yang didalamnya sudah mencakup parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter tersebut mencakup persyaratan fisik, kimia, mikrobiologis dan radioaktifitas, seperti sebagai berikut:

1. Persyaratan Fisik : Parameter dalam persyaratan fisik untuk air minum yaitu bau, warna, total zat padat terlarut (TDS), kekeruhan, rasa dan suhu. Kualitas air yang baik yaitu tidak keruh, memiliki rasa tawar, dan memiliki suhu yang normal yaitu 8°C dari suhu kamar (27°C). Suhu air yang melebihi batas normal menunjukkan indikasi terdapat bahan kimia yang terlarut dalam jumlah yang cukup besar (misalnya, fenol atau belerang) atau sedang terjadi dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme.
2. Persyaratan kimia : Parameter dalam persyaratan kimia untuk air minum yaitu derajat keasaman, kandungan bahan kimia organik, bahan kimia anorganik, pestisida, desinfektan, dan hasil sampingannya.
3. Persyaratan mikrobiologis : Parameter dalam persyaratan mikrobiologis untuk air minum yaitu membatasi jumlah *E-coli* dan total bakteri *coliform* yang ada dalam air minum.

4. Persyaratan radioaktifitas : Parameter dalam persyaratan radioaktisitas untuk air minum yaitu terkait jumlah zat radioaktif yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

Tabel 2 5 Persyaratan Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	100 ml sampel	0 ml sampel
	2) Total Bakteri Koliform	100 ml sampel	0 ml sampel
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit	mg/l	3
	6) Nitrat	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
	2) Warna	TCU	15
	3) Total Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	Suhu Udara ±3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Alumunium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kepadatan	mg/l	500
	4) Klorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5
	7) Seng	mg/l	3
	8) Sulfat	mg/l	250
	9) Tembaga	mg/l	2
10) Amonia	mg/l	1,5	

2.10 Penelitian Terdahulu

Pada tugas akhir ini akan ditinjau beberapa hasil dari penelitian terdahulu untuk dijadikan sebagai referensi. Penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui tekanan udara untuk *air scouring*, waktu *air scouring* dan ukuran *bubble* yang akan divariasikan untuk *air scouring*. Penelitian pendahuluan oleh Fotunanto (2020), menggunakan pengaplikasian *air scouring* dengan *bubble* berukuran kecil. Dalam penelitian tersebut *air scouring* diaplikasikan dengan *flowrate* 8 L/min dalam waktu 4 jam. Pengaliksaan *Air scouring* pada filtrasi tersebut dapat menurunkan ketebalan biomassa sampai 50%. *Air scouring* yang diterapkan pada akhir siklus relaksasi memiliki removal biomassa yang lebih tinggi dan terjadi peningkatan yang signifikan dalam fluks sebesar 250%. Penelitian yang dilakukan oleh Harun (2018) membuktikan, bahwa setelah diaplikasikan *air scouring* pada menit ke 700 beberapa partikel yang ada pada permukaan membran tergerus oleh *microbubbles* dan disirkulasikan kembali melalui sistem filtrasi sehingga nilai absorbansinya bervariasi. Kemudian pada penyaringan selama 1000 menit terjadi pemecahan koloid dan ion bermuatan di permukaan membran. Dalam penelitian ini diaplikasikan *air scouring* dengan *flowrate* 1 L/min dalam waktu 1-2 jam. Gelembung yang digunakan dalam proses filtrasi ini yaitu *fine bubble*. Berdasarkan penelitian oleh Salerno (2016), intensitas *air scouring* yang rendah (150 mL/min) lebih optimum dibandingkan *air scouring* dengan intensitas yang tinggi. *Air scouring* dengan intensitas rendah menghasilkan effluen dengan kualitas yang lebih baik dan frekuensi pencucian yang lebih sedikit. Pada penelitian ini dilakukan *air scouring* dengan *flowrate* 150 mL/min selama 8 jam dengan menggunakan gelembung berukuran kecil.

Penelitian pendahuluan untuk pencucian juga dilakukan untuk mengetahui tipe pencucian yang sesuai. Pada penelitian oleh Zhang (2018), pencucian dengan bahan kimia : NaOH 1% dan NaOCl 0,5% terhadap membran ultrafiltrasi berbahan keramik yang digunakan untuk mengolah air limbah tebu dapat menghasilkan perbaikan fluks sebesar 79,8%. Pencucian tersebut dilakukan pada suhu 60°C dalam waktu 120 menit. Menurut Galvez (2011), pencucian dengan bahan kimia NaOH 1% dan NaOCl 0,5% terhadap membran ultrafiltrasi berbahan keramik yang digunakan untuk mengolah air limbah pemrosesan ikan dapat menghasilkan perbaikan fluks sebesar 98%. Pencucian tersebut dilakukan pada suhu 30°C dalam waktu 120 menit.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Wilayah Studi

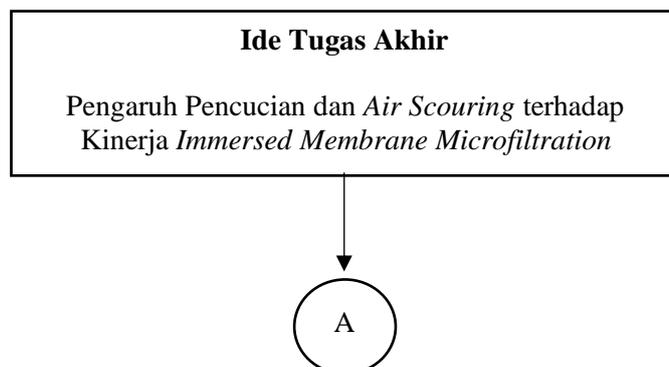
Penelitian ini dilakukan pada unit sedimentasi IPAM Ngagel III, Surabaya. Kapasitas total unit sedimentasi ini yaitu 1500 L. Terdapat 6 unit bak sedimentasi yang berdimensi panjang 95 meter dan lebar 28 meter. Kedalaman bak sedimentasi IPAM Ngagel yaitu 1,5 - 3 meter dengan tinggi freeboard yaitu 0,2 meter. Pada saat terjadi penurunan *supply* air baku dapat terjadi penurunan muka air yang dapat mencapai 0,3 meter.

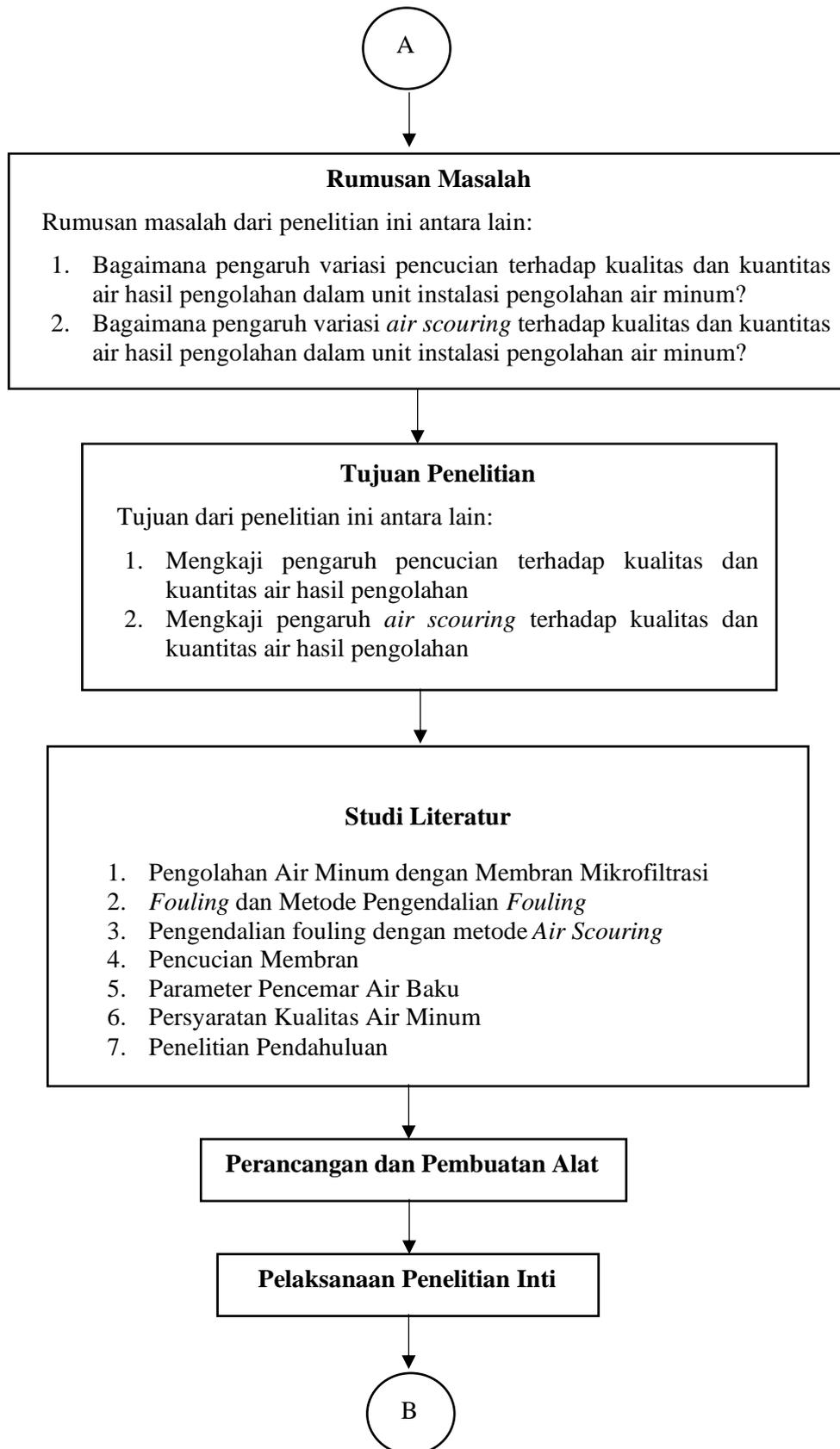


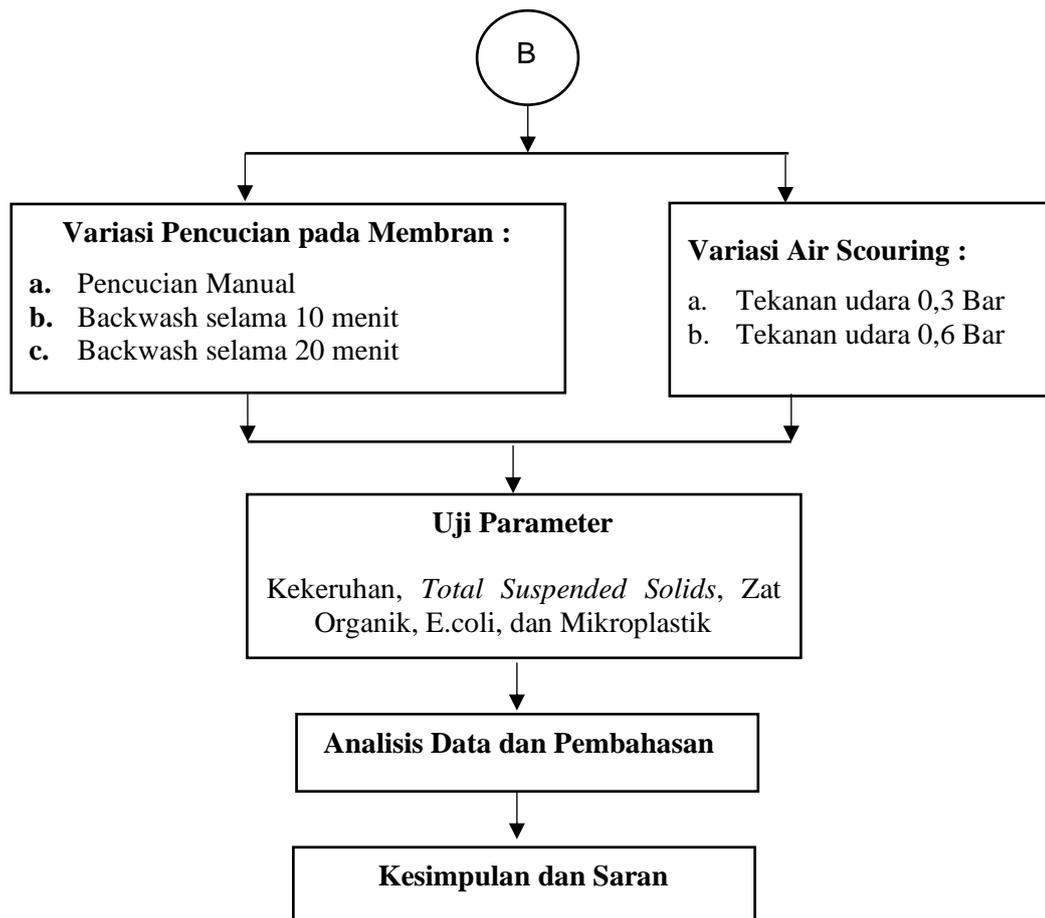
Gambar 3 1 Unit Sedimentasi IPAM Ngagel III, Surabaya

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran umum pelaksanaan penelitian, yang disusun secara urut berdasarkan tahapan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan akhir yang diinginkan. Tujuan dibuatnya kerangka penelitian ini adalah sebagai gambaran umum tahapan penelitian dan memberikan informasi terikat dengan penelitian guna memudahkan pelaksanaan penelitian. Kerangka penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.







Gambar 3 2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan ini dilakukan kajian literatur untuk mengetahui ukuran gelembung yang baik untuk *air scouring*, laju udara ketika *air scouring*, dan juga tekanan *backwash* yang digunakan untuk pencucian membran. Bahan kimia yang digunakan pada saat pencucian juga telah disesuaikan dengan karakteristik membran yang digunakan.

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

Beberapa hal yang dilakukan dalam persiapan alat dan bahan penelitian ini adalah desain reaktor, desain rangkaian pipa, pembuatan reaktor dan rangkaian pipa, persiapan peralatan pelengkap rangkaian membran.

3.4.1 Alat

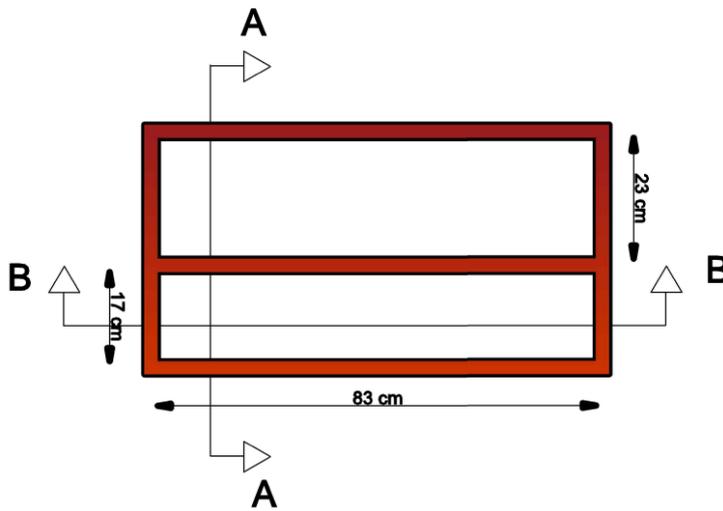
Peralatan yang digunakan untuk penelitian lapangan yaitu pompa hisap, *compressor*, *ceramic membrane*, manometer, *valve*, rotameter, ember, dan selang. Peralatan yang digunakan untuk uji parameter adalah *glassware*, pengaduk magnetik, kompor elektrik, neraca analitik, turbidimeter, oven, pipet, mikroskop, autoklaf, inkubator, dan desikator.

3.4.2 Bahan

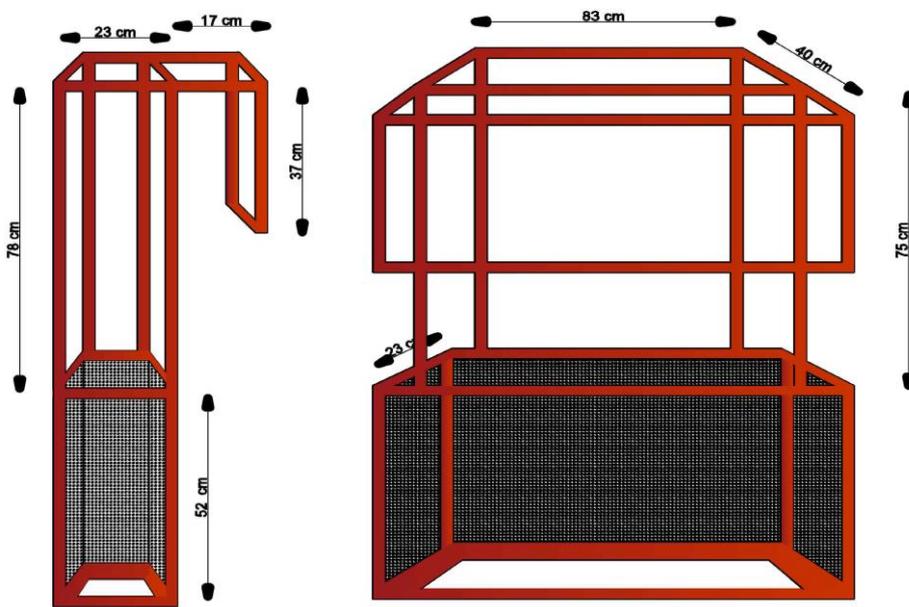
Bahan yang digunakan untuk pencucian manual dengan *gently scrubbing* yaitu NaOCl 5% dan untuk pencucian secara *backwash* dibutuhkan larutan NaOCl dengan dosis 10mg/L. Bahan yang dibutuhkan untuk uji parameter yaitu KMNO₄ 0,01 N, H₂SO₄ 4N, asam oksalat, H₂O₂, larutan Fe, dan kertas saring.

3.4.3 Pembuatan Reaktor

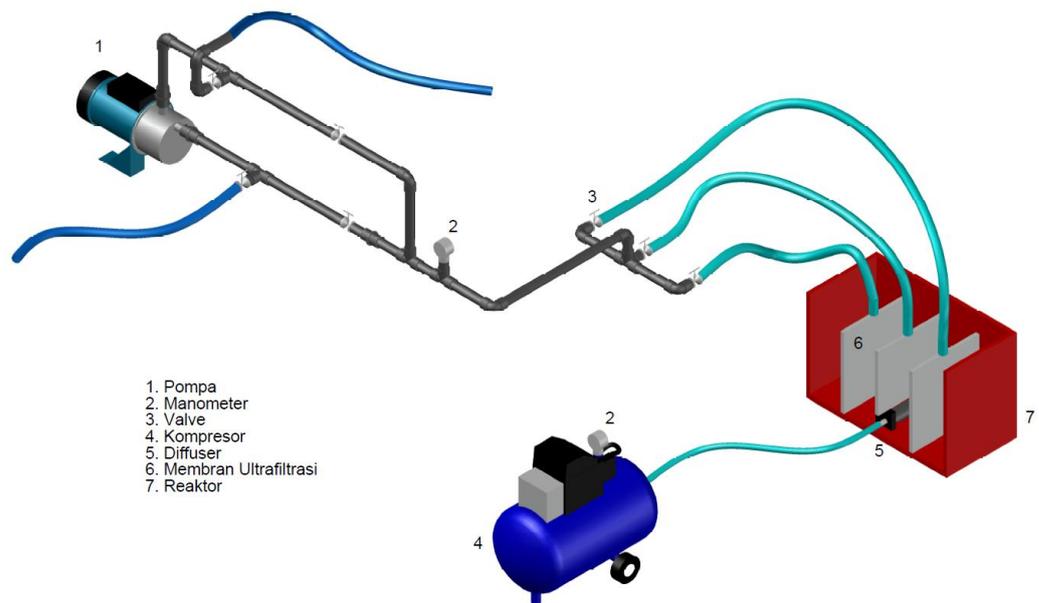
Penelitian ini menggunakan reaktor yang nantinya akan diletakan pada bak sedimentasi IPAM Ngagel III Surabaya. Reaktor terbuat dari kerangka besi dan akrilik dengan dimensi panjang x lebar x tinggi yaitu 60 cm x 15 cm x 50 cm. Jenis membran yang digunakan pada penelitian ini yaitu *ceramic membrane flatsheet* yang disambungkan dengan selang dan rangkaian pipa menuju pompa. Desain reaktor dan rangkaian pipa dapat dilihat pada gambar 3. – 3.



Gambar 3 3 Denah Reaktor Membran



Gambar 3 4 Potongan A-A dan B-B Reaktor Membran



Gambar 3 5 Skema Pemasangan Alat

3.5 Pelaksanaan Penelitian

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 jenis variasi pencucian yang dilakukan yaitu pencucian manual dengan metode *gently scrubbing* menggunakan tambahan bahan kimia NaOCl, backwash menggunakan air pencuci dengan tekanan 1 bar dalam variasi waktu 20 menit dan 10 menit. *Air scouring* dilakukan dengan dua jenis variasi yaitu dengan tekanan udara 0,3 bar dan 0,6 bar.

3.5.1 Pengoperasian Membran

Pengoperasian membran dilakukan dengan tekanan konstan yaitu 0,9 bar. Operasional membran mikrofiltrasi dilakukan dengan tahapan prosedur membran mikrofiltrasi sebagai berikut :

1. Memasang modul membran dengan jarak antar masing – masing membran sebesar 30 cm pada bak sedimentasi. Membran dipasang terendam 10 cm dibawah permukaan air.
2. Memasang peralatan seperti pipa, pompa, valve, manometer, rotameter, dan kompresor sesuai dengan skema pemasangan alat dan kondisi lapangan.
3. Mengambil sampel *feed water* pada titik sampling di dekat membran.
4. Menyalakan pompa dan mengatur tekanan hisap melalui valve dan disesuaikan tekanannya dengan melihat pada manometer.
5. Menyalakan kompresor dengan tekanan udara *air scouring* diatur melalui valve dan divariasikan dengan menggunakan manometer.
6. Mencatat perubahan fluks setiap 1 jam sekali, mencatat lama operasi, dan volume filtrat yang dihasilkan.
7. Mematikan pompa dan kompresor ketika telah terjadi penurunan fluks yang signifikan. Kemudian, mengambil air pada titik sampel didekat effluen.
8. Melakukan pencucian dengan langkah – langkah sebagai berikut.

a. Pencucian dengan Metode Backwash

Pencucian secara *backwash* dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut

- 1) Mengambil dokumentasi kondisi membran sebelum pencucian.
- 2) Menyiapkan bahan pencuci yaitu NaOCl sebanyak 400 ml/ 9000 mL air bersih.
- 3) Menutup katup 1 dan 4 seperti dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan membuka katup 2 dan 3
- 4) Menyalakan pompa selama 20 menit atau 10 menit. Tekanan hisap diatur melalui valve dan disesuaikan tekanannya dengan melihat pada manometer.
- 5) Membuka katup 2 dan 3 dan menutup katup 1 dan 4
- 6) Mencatat perubahan fluks setiap satu jam sekali, mencatat lama operasi, dan volume filtrat yang dihasilkan.
- 7) Matikan pompa dan ambil air pada titik sampel dekat *effluen* setelah terjadi *fouling*.
- 8) Mengambil dokumentasi kondisi membran sesudah pencucian.

b. Pencucian Manual dengan Metode Gently Scrubbing

Pencucian secara manual dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut.

- 1) Melepas membran dari reaktor dan mengambil dokumentasi kondisi membran sebelum pencucian.
- 2) Menyiapkan bahan kimia NaOCl
- 3) Mencucinya secara manual dengan *gently scrubbing* dan menggunakan tambahan bahan kimia NaOCl.
- 4) Menyalakan pompa dan mencatat perubahan fluks setiap satu jam sekali, mencatat lama operasi, dan volume filtrat yang dihasilkan.
- 5) Matikan pompa dan ambil air pada titik sampel dekat *effluen*.

Variasi masing – masing percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3 1 Mekanisme Penelitian

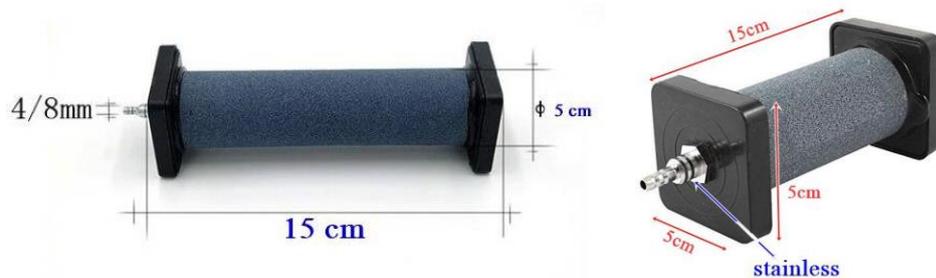
No	Komponen	Membran 1	Membran 2	Membran 3
1.	Metoda Pencucian ¹⁾	<i>Backwash</i> , 20 menit, P= 10 m	<i>Backwash</i> , 10 menit, P= 10 m	Manual + Bahan Kimia
2	scouring ²⁾	tanpa scouring	<i>scouring</i> dengan tekanan udara 0,3 bar	<i>scouring</i> dengan tekanan udara 0,6 bar
3	Periode pengamatan flux:			
	a. Setelah pencucian	jam ke 1, 2, 4,6, 24, 48	jam ke 1, 2, 4,6, 24, 48	jam ke 1, 2, 4,6, 24, 48
4	Periode pengambilan sampel filtrat	jam ke 1 dan terakhir	jam ke 1 dan terakhir	jam ke 1 dan terakhir
5	Lama operasi	sd. Flux turun	sd. Flux turun	sd. Flux turun
6	Tekanan Hisap	-0.9 bar	-0.9 bar	-0.9 bar

No	Komponen	Membran 1	Membran 2	Membran 3
7.	Sampel	<ul style="list-style-type: none"> • sampel sebelum pencucian • sampel setelah pencucian • sampel sebelum air scouring • sampel setelah air scouring 	<ul style="list-style-type: none"> • sampel sebelum pencucian • sampel setelah pencucian • sampel sebelum air scouring • sampel setelah air scouring 	<ul style="list-style-type: none"> • sampel sebelum pencucian • sampel setelah pencucian • sampel sebelum air scouring • sampel setelah air scouring
8.	Kegiatan	Pencatatan flux, lama operasi, volume filtrat pengambilan sampel, pencatatan tekanan udara	Pencatatan flux, lama operasi, volume filtrat pengambilan sampel, pencatatan tekanan udara	Pencatatan flux, lama operasi, volume filtrat pengambilan sampel, pencatatan tekanan udara

Sumber : Analisis Studi Literatur

3.5.2 Pengendalian fouling dengan Air Scouring

Air scouring dilakukan dengan mengalirkan udara yang berasal dari kompresor dengan melalui *diffuser* berdimensi panjang 15 cm, diameter 5 cm, dan ukuran pori 6 mm. *Diffuser* dipasang dibawah membran kedua dan disambungkan dengan menggunakan selang berukuran 5/8 dim ke kompresor. Pada outlet kompresor menuju ke selang *diffuser* dilengkapi dengan manometer untuk mengatur tekanan udara yang akan divariasikan.



Gambar 3 6 Dimensi *Diffuser*

Air scouring dilakukan secara *intermitten* selama pengoperasian membran. *Air scouring* menggunakan kompresor udara bermerk Lakoni Imola 225 dengan spesifikasi kapasitas tangki sebesar 25 L, kapasitas aliran udara yaitu 194 L/min dan kapasitas tekanan yaitu 8 bar. Variasi *air scouring* yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan dioperasikan dengan tekanan 0,3 bar dan 0,6 bar.



Gambar 3 7 Kompresor untuk Air Scouring

3.5.3 Pencucian Membran

Pencucian membran dilakukan ketika membran mikrofiltrasi telah mengalami *fouling*. *Fouling* dindikasikan dengan menurunnya permeabilitas membran dan penurunan fluks hasil filtrasi. Pencucian membran dilakukan dengan metode *gently scrubbing* dan *backwashing*. *Backwash* dilakukan dengan tekanan 1 bar dengan variasi waktu 20 menit dan 10 menit. Ketika dilakukan *backwash*, katub 1 dan 4 seperti dalam gambar x ditutup sehingga bahan pencuci mengalir kearah membran.



Gambar 3 8 Katup *Backwash* dan Filtrasi



Gambar 3 9 Pembuatan Larutan Pencuci

3.6 Uji Parameter

Selanjutnya, sampel yang sudah didapatkan selanjutnya diuji karakteristiknya. Parameter dan metode pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3 2 Parameter dan Metode Pengujian Sampel Air

No.	Parameter	Metode	Sumber
1.	Kekeruhan	Turbidimetri	(Pramesti, 2020)
2.	TSS	Gravimetri	SNI 06-6989.3:2004
3.	E-Coli	Idexx Colilert	-
4.	Zat Organik	Titrimetri	SNI 06-6989.22-2004
5.	Mikroplastik	Mikroskop	(Hanif, 2021)

3.7 Hasil dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan didasarkan pada perbandingan antara studi literatur dengan hasil penelitian terkait. Setelah dilakukan pengumpulan data-data primer dan sekunder, selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisa data. Langkah-langkahnya antara lain :

1. Menganalisis pengaruh pencucian terhadap air hasil pengolahan

Analisis kualitatif pengaruh pencucian dilakukan dengan uji lab perbandingan kualitas *feed water* dan *permeat* sebelum dilakukan pencucian dengan sesudah dilakukan pencucian. Kemudian untuk analisis kuantitatif dilakukan perhitungan *water flux recovery* untuk mengetahui efektifitas pencucian dengan persamaan 3.1.

$$WFR = \frac{J_c}{J_o} \dots\dots\dots 3.1$$

Keterangan : Jc = Fluks setelah pencucian
 Jo = Fluks sebelum pencucian

2. Menganalisis pengaruh *air scouring* terhadap air hasil pengolahan

Analisis kualitatif pengaruh *air scouring* dilakukan dengan uji lab perbandingan kualitas *feed water* sebelum dilakukan pencucian dengan sesudah dilakukan pencucian. Kemudian untuk analisis kuantitatif dilakukan melalui perbandingan fluks yang dihasilkan ketika filtrasi dengan menggunakan *air scouring* dan tanpa menggunakan *air scouring*. Perhitungan fluks dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$J = \frac{V}{A \times t} \dots\dots\dots 3.2$$

Keterangan : J = Fluks (l/ m².jam)
 V = Volume Permeat (mL)
 A = Luas Permukaan membran (m²)
 t = waktu (jam)

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan. Kesimpulan berisi tentang jawaban atas tujuan penelitian berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sedangkan saran berisi evaluasi dan perbaikan yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Pencucian terhadap Kinerja *Immersed Membrane Microfiltration*

Pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian pada *Immersed Membrane Microfiltration*, ditinjau dari perbandingan nilai parameter uji sebelum dan setelah pencucian. Parameter uji kuantitas yaitu fluks dan waktu filtrasi, sedangkan parameter uji kualitas yaitu kekeruhan, *total suspended solid* (TSS), mikroplastik, zat organik dan *e-coli*. Air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari unit sedimentasi IPAM Ngagel III Surabaya. Titik pengambilan sampel dilakukan sebelum *inlet* filtrasi untuk mengetahui kualitas air baku (*feed water*) dan setelah *outlet* filtrasi untuk mengetahui kualitas air hasil filtrasi. Pengujian fluks dilakukan secara manual dengan menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*.

4.1.1 Pencucian Manual dengan Metode *Gently Scrubbing*

Pencucian manual dilakukan dengan cara menyikat permukaan membran dengan ditambahkan dengan bahan pembersih NaOCl 5%. NaOCl diketahui sangat efektif membunuh bakteri dan protozoa (Qin, 2014). Pada pencucian manual ini digunakan air sebanyak 1,7 L untuk mencuci satu membran. Total air produksi setelah dilakukan pencucian yaitu 846,72 L. Hal tersebut menunjukkan kebutuhan air yang digunakan untuk pencucian manual yaitu 0,2% dari total air produksi. Filtrasi dihentikan setelah jam ke 13 dikarenakan fluks telah menurun sampai 10% dari fluks awal. Penurunan fluks tersebut menandakan terjadinya *fouling*, sehingga pencucian perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja membran (S.A Avlonitis *et al*, 2003). Penampakan membran ketika *fouling* dan setelah dilakukan pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.1

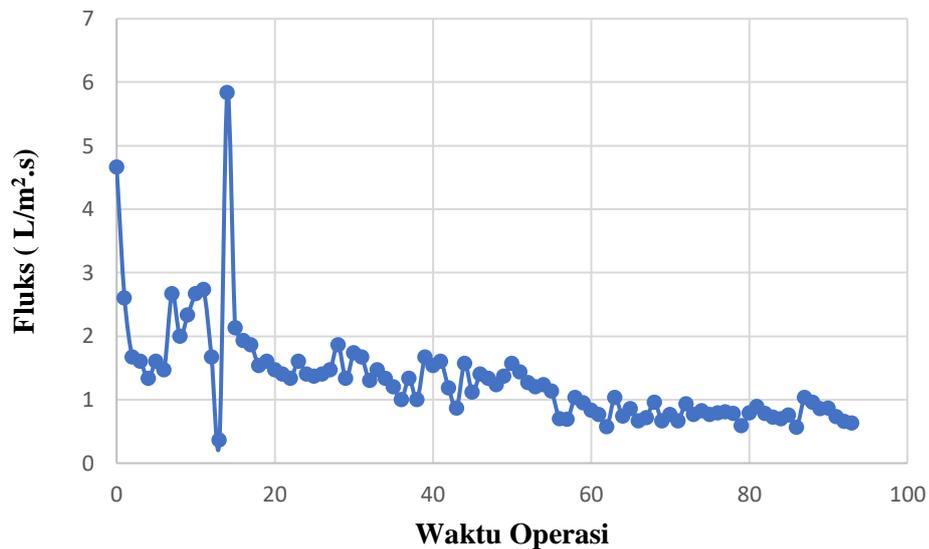


Gambar 4.1 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah Pencucian Manual

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan penampakan membran sebelum dan setelah pencucian. Dapat dilihat bahwa hasil pencucian secara manual dengan metode *gently scrubbing* dapat menghilangkan foulant fisik yang menempel pada membran. Namun, di beberapa bagian terdapat bercak – bercak kuning yang disebabkan oleh zat organik yang menempel. Selain penampakan secara visual, hasil pencucian juga dibandingkan parameter kuantitas dan kualitas permeat yang dihasilkan.

a. Parameter Kuantitas

Filtrasi sebelum pencucian dilakukan selama 13 jam dengan total air produksi 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 4.2



Gambar 4 2 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu

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. Menurut Avlonitis (2003), pencucian harus dilakukan apabila fluks telah berkisar 10% dari fluks awal filtrasi. Penurunan fluks mengindikasikan terjadinya *fouling* selain mempengaruhi fluks *fouling* juga mempengaruhi tekanan. 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 membran.

Pencucian manual dengan metode *gently scrubbing* dengan tambahan bahan kimia larutan NaOCl 5% mampu menghilangkan foulan – foulan yang ada. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan nilai *flux recovery* yang diperoleh yaitu 100%. Perhitungan *flux recovery* dilakukan untuk mengetahui efisiensi pencucian manual. Fluks awal ketika membran dioperasikan setelah dilakukan pencucian manual yaitu 5,83 L/m².s, kemudian terjadi penurunan fluks di jam ke 79 menjadi 0,6 L/ m².s. Pencucian manual juga dapat meningkatkan tekanan hingga kembali ke tekanan awal filtrasi yaitu dari tekanan 0,8 ketika terjadi *fouling* menjadi 0,9 bar. Perhitungan nilai *flux recovery* dilihat dalam perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 FR (\%) &= \frac{J_a}{J_o} \\
 &= \frac{4,67 \text{ L/m}^2\text{s}}{4,67 \text{ L/m}^2\text{s}} = 100\%
 \end{aligned}$$

b. Parameter Kualitas

Perbandingan hasil uji parameter dalam air hasil filtrasi sebelum dan sesudah pencucian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap kemampuan membran dalam menyisihkan parameter pencemar pada air baku. Hasil pengujian kadar sampel sebelum dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 1 Kadar Sampel Sebelum Dilakukan Pencucian Manual

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	6,01	0,41	5	NTU
TSS	17	6	-	mg/L
Zat Organik	12,96	10,74	10	mg/L
E-Coli	>1600	7,8	0	MPN/100 mL
Mikroplastik	39	0	-	partikel/L

Keterangan : *) Baku mutu sesuai Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Standar Air Minum dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan sudah memenuhi baku muku. Parameter zat organik belum memenuhi baku mutu karena pada dasarnya membran mikrofiltrasi tidak dapat menyaring zat organik yang terlarut, tetapi dapat memisahkan zat organik yang berada dalam bentuk padatan tersuspensi oleh karena itu penyisihan zat organik biasanya banya berkisar antara 1-2 mg/L (Said, 2009). Untuk parameter E-Coli mengalami penyisihan yang cukup signifikan namun belum memenuhi baku mutu. Hal ini diduga disebabkan karena pengambilan sampel tidak sesuai dengan prosedur. Pengambilan sampel E.Coli seharusnya dilakukan dengan melakukan pengapian pada area disekitar keran pengambilan sampel. Namun, pada pengambilan sampel pertama ini hal tersebut tidak dilakukan sehingga terjadi kontaminasi pada sampel. Kemudian untuk mengetahui efektifitas dari pencucian dilakukan perhitungan nilai koefisien rejeksi sebelum dan sesudah pencucian yang nantinya akan dibandingkan. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 2 Koefisien Rejeksi Membran Sebelum Pencucian Manual

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

Kadar dalam sampel sebelum dilakukan pencucian tersebut kemudian, dibandingkan dengan kadar dalam sampel setelah dilakukan pencucian. Hasil pengujian kadar sampel setelah dilakukan pencucian dengan metode *gently scrubbing* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 3 Kadar Sampel Setelah Dilakukan Pencucian Manual

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	10,7	0,38	5	NTU
TSS	30	16	-	mg/L
Zat Organik	21,48	14,22	10	mg/L
E-Coli	410	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	25	9	-	partikel/L

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Namun, untuk zat organik hanya terjadi penyisihan sekitar 7 mg/L tetapi masih belum memenuhi baku mutu. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 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%
Zat Organik	21,48	14,22	mg/L	34%
E-coli	410	0	MPN/100 mL	100%
Mikroplastik	25	9	partikel/L	64%

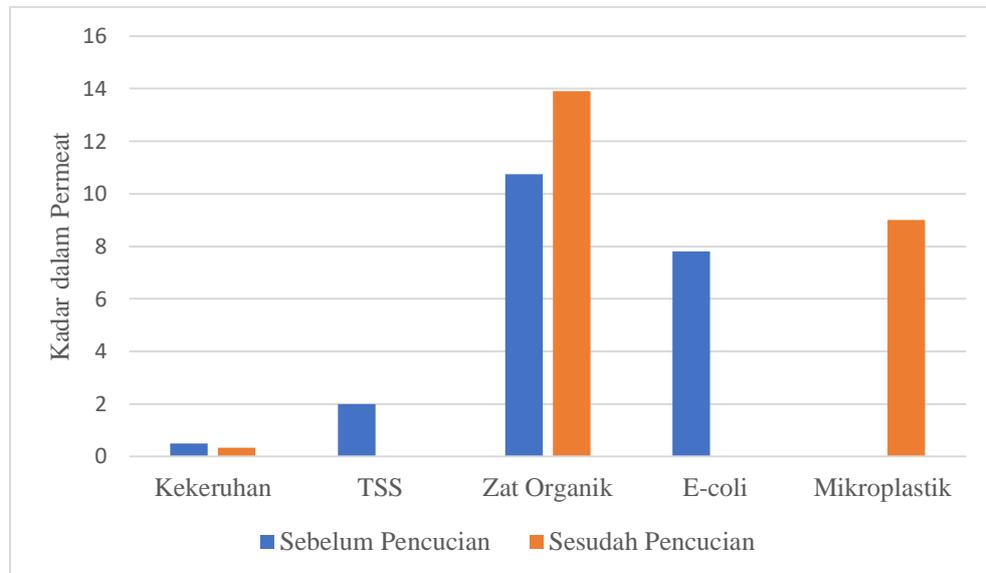
Berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.4 dapat dilakukan uji efektifitas dengan membandingkan koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian dan sesudah dilakukan pencucian. Perhitungan uji efektifitas pencucian dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4 5 Uji Efektifitas Pencucian terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi

Parameter	R Sebelum Pencucian	R Sesudah Pencucian	E
Kekeruhan	93%	96%	3%
TSS	65%	47%	-39%
Zat Organik	17%	34%	49%
E-coli	99%	100%	1%
Mikroplastik	100%	64%	-56%

Berdasarkan uji efektifitas 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%. Nilai hasil uji efektifitas minus menunjukkan bahwa pencucian tidak efektif untuk meningkatkan koefisien rejeksi terhadap parameter tersebut dikarenakan setelah dilakukan pencucian koefisien rejeksinya justru lebih rendah dibandingkan sebelum pencucian. Semakin tinggi persen efektifitas maka pengaruh pencucian terhadap kualitas permeat semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh persen efektifitas

yang positif untuk parameter kekeruhan, E.coli, dan zat organik, hasil tersebut menunjukkan bahwa pencucian manual berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter kekeruhan, E.coli dan zat organik. Perbandingan kadar parameter dalam permeat sebelum dan sesudah pencucian manual dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4 3 Perbandingan Kadar Parameter dalam Permeat Sebelum dan Sesudah Pencucian

Dalam grafik batang dapat dilihat bahwa untuk parameter kekeruhan, TSS dan E.Coli mengalami penurunan. Sementara untuk parameter zat organik dan mikroplastik mengalami peningkatan kadar dalam sampel.

4.1.2 Pencucian dengan Metode *Backwash* selama 10 Menit

Pencucian dilakukan dengan cara memompakan kembali air hasil produksi yang telah ditambahkan dengan bahan pembersih NaOCl 5%. Menurut Haiqing (2017), NaOCl dengan dosis 2-5 mg/L efektif untuk mencegah *fouling* pada membran mikrofiltrasi dan dapat memperpanjang interval pencucian menjadi 3 bulan. *Backwash* dengan bahan pencuci NaOCl ini dapat memperpanjang interval pencucian 1 bulan lebih lama jika dibandingkan dengan *backwash* tanpa NaOCl. 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 (So-Ryong Chae, 2007). Pencucian dengan metode *backwash* ini menggunakan 17 L air bersih yang dicampurkan dengan 170 mL NaOCl 5% dengan dosis NaOCl yang digunakan yaitu 5 mg/L. Total air produksi setelah dilakukan pencucian yaitu 735,18 L. Hal tersebut menunjukkan kebutuhan air yang digunakan untuk *backwash* selama 10 menit yaitu 2,3% dari total air produksi. Sebelum dilakukan pencucian, membran telah dioperasikan selama 79 jam kemudian filtrasi dihentikan karena telah terjadi penurunan fluks yang mengindikasikan telah terjadinya *fouling*. Penampakan membran sebelum pencucian dan setelah dilakukan pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.4 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah *Backwash* selama 10 Menit

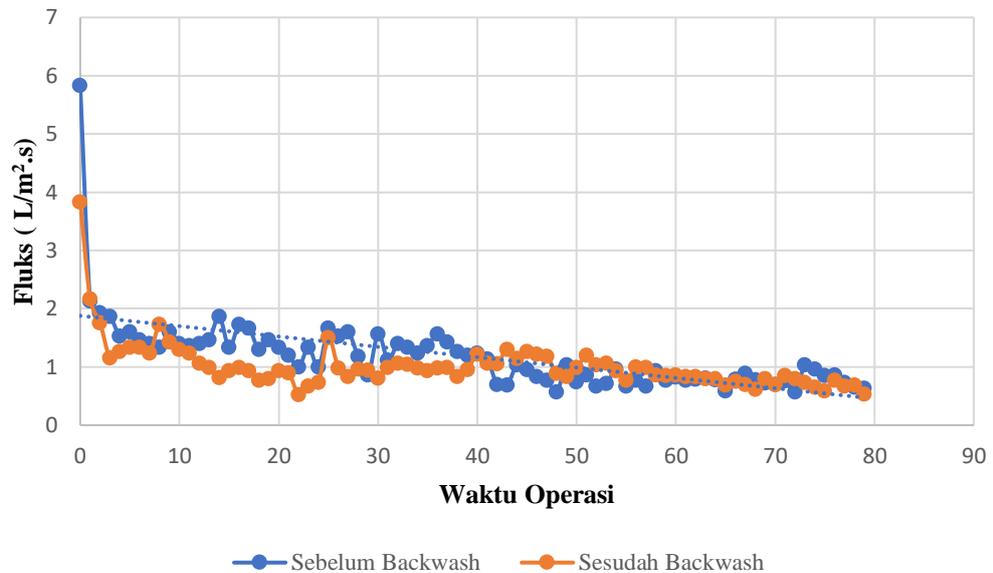
Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa *backwash* dengan tekanan 1 bar selama 10 menit kurang efektif untuk membersihkan foulan pada permukaan membran. Hal ini disebabkan karena flok yang terbentuk tidak hanya membentuk *cake* pada permukaan membran tetapi telah masuk ke dalam pori membran. Proses inilah yang disebut dengan *irreversible fouling* yaitu ketika terjadi perpindahan solut dari permukaan membran ke dalam material membran sehingga terjadi penyempitan dan penyumbatan pori (Mahmud, 2005). Pembersihan secara fisik seperti *backwash* kurang efektif apabila digunakan untuk mengembalikan fluks membran yang telah mengalami *irreversible fouling*. *Irreversible fouling* biasanya diatasi dengan pencucian secara kimia (Gruskevica, 2021). Selain penampakan secara visual, hasil pencucian juga dibandingkan parameter kuantitas dan kualitas permeat yang dihasilkan.

a. Parameter Kuantitas

Filtrasi sebelum pencucian dilakukan selama 79 jam dengan total air produksi sebanyak 846,72 L. Setelah pencucian waktu operasi dapat diperpanjang. Hal tersebut ditandai dengan penurunan fluks yang signifikan baru terjadi pada jam ke-80. Total air produksi pada filtrasi setelah dilakukan pencucian yaitu sebanyak 735,18 L. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencucian dengan metode *backwash* selama 10 menit hanya dapat memperpanjang waktu operasi, namun tidak dapat meningkatkan jumlah air produksi. Perbandingan hasil uji kuantitas sebelum dan sesudah dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.5. 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. Selain mempengaruhi fluks *fouling* juga mempengaruhi tekanan. Tekanan awal filtrasi yaitu 0,9 bar kemudian meningkat menjadi 0,7 bar. Penurunan fluks dan meningkatnya tekanan mengindikasikan perlunya dilakukan pencucian untuk meningkatkan kinerja membran.

Pencucian dengan metode *backwash* dengan bahan pencuci berupa larutan NaOCl 5% kurang efektif dalam menghilangkan foulan – foulan yang ada. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan nilai *flux recovery* yang tidak mencapai 100% yaitu hanya sebesar 65,71%. Perhitungan *flux recovery* dilakukan untuk mengetahui efisiensi pencucian secara *backwash* selama 10 menit dalam meningkatkan kuantitas fluks. 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. Pencucian dengan metode *backwash* selama 10 menit

juga dapat meningkatkan tekanan hingga kembali ke tekanan awal filtrasi yaitu dari tekanan 0,7 ketika terjadi *fouling* menjadi 0,9 bar.



Gambar 4 5 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Sebelum dan Sesudah *Backwash* 10 Menit

b. Parameter Kualitas

Perbandingan hasil uji parameter dalam air hasil filtrasi sebelum dan sesudah pencucian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap kemampuan membran dalam menyisihkan parameter pencemar pada air baku. Hasil pengujian kadar sampel sebelum dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 6 Kadar Sampel Sebelum dilakukan *Backwash* 10 Menit

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	10,7	0,38	5	NTU
Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
TSS	30	16	-	mg/L
Zat Organik	21,48	14,22	10	mg/L
E-Coli	410	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	25	9	-	partikel/L

Keterangan : *) Baku mutu sesuai Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Standar Air Minum

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Hanya parameter zat organik

yang masih belum memenuhi baku mutu dengan penyisihan sebanyak 7,26 mg/L. Kemudian untuk mengetahui efektifitas dari pencucian dilakukan perhitungan nilai koefisien rejeksi sebelum dan sesudah *backwash* yang nantinya akan dibandingkan. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 7 Koefisien Rejeksi Sebelum Backwash 10 Menit

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

Kadar dalam sampel sebelum dilakukan *backwash* kemudian dibandingkan dengan kadar dalam sampel setelah dilakukan *backwash*. Hasil pengujian kadar sampel setelah dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 8 Kadar Sampel Setelah dilakukan Backwash 10 Menit

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	5,3	0,4	5	NTU
TSS	67	35	-	mg/L
Zat Organik	12,96	5,69	10	mg/L
E-Coli	160,7	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	40	21	-	partikel/L

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran setelah dilakukan *backwash* selama 10 menit terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan pencucian secara *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 9 Koefisien Rejeksi Setelah Backwash 10 Menit

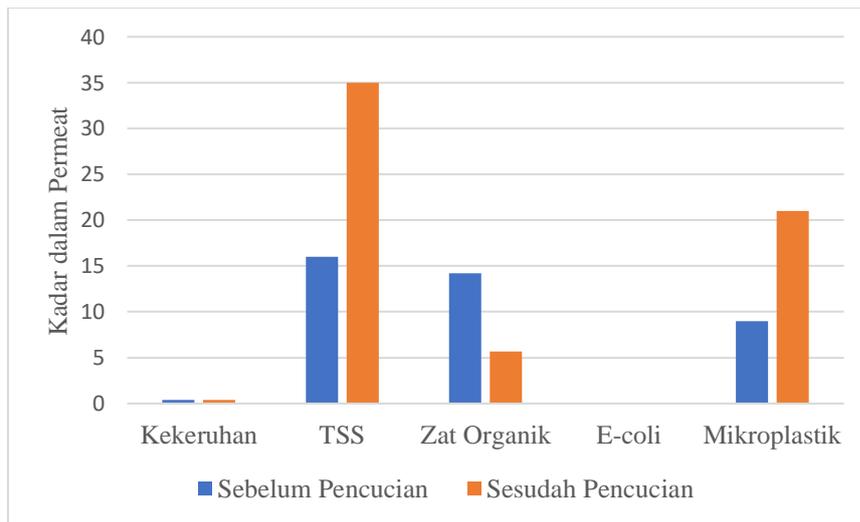
Parameter	Feed	Permeat	Satuan	R
Kekeruhan	5,3	0,4	NTU	92%
TSS	67	35	mg/L	48%
Zat Organik	12,96	5,69	mg/L	56%
E-coli	160,7	0	MPN/100 mL	100%
Mikroplastik	40	21	partikel/L	48%

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.9 dapat dilakukan uji efektifitas dengan membandingkan koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian dan sesudah dilakukan pencucian. Perhitungan uji efektifitas pencucian dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4 10 Uji Efektifitas Backwash selama 10 Menit terhadap Kualitas Permeat

Parameter	R Sebelum Pencucian	R Sesudah Pencucian	E
Kekeruhan	96%	92%	-4%
TSS	47%	48%	2%
Zat Organik	34%	56%	40%
E-coli	100%	100%	0%
Mikroplastik	64%	48%	-35%

Berdasarkan uji efektifitas tersebut dapat diketahui bahwa pencucian secara *backwash* selama 10 menit dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter TSS sebesar 2% dan parameter zat organik sebesar 40%. Nilai hasil uji efektifitas untuk parameter kekeruhan dan mikroplastik minus menunjukkan bahwa *backwash* selama 10 menit tidak efektif untuk meningkatkan koefisien rejeksi terhadap parameter tersebut. Sementara untuk parameter E-Coli tidak terjadi peningkatan nilai koefisien rejeksi dikarenakan penyisihan sebelum dan sesudah pencucian telah mencapai nilai maksimum (100%) sehingga nilai uji efektifitasnya yaitu 0%. Semakin tinggi persen efektifitas maka pengaruh pencucian terhadap kualitas permeat semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.10 diperoleh persen efektifitas yang tinggi untuk parameter TSS dan zat organik, hasil tersebut menunjukkan bahwa pencucian secara *backwash* selama 10 menit berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter TSS dan zat organik. Perbandingan kadar parameter dalam permeat sebelum dan sesudah pencucian secara *backwash* selama 10 menit dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4 6 Perbandingan Kadar dalam *Permeat* Sebelum dan Sesudah *Backwash* 10 Menit

Dalam grafik batang dapat dilihat bahwa untuk parameter kekeruhan dan zat organik mengalami penurunan. Sementara untuk parameter TSS dan mikroplastik mengalami peningkatan kadar dalam sampel. Sementara Parameter E.Coli mengalami penyisihan secara maksimum sehingga jumlah kadar dalam permeat adalah nol.

4.1.3 Pencucian dengan Metode *Backwash* selama 20 Menit

Pencucian dengan metode *backwash* ini menggunakan 22,5 L air bersih yang dicampurkan dengan 225 mL NaOCl 5% dengan dosis NaOCl yang digunakan yaitu 5 mg/L. Total air produksi setelah dilakukan *backwash* selama 20 menit yaitu 672,9 L. Hal tersebut menunjukkan kebutuhan air yang digunakan untuk *backwash* selama 20 menit yaitu 3,3% dari total air produksi. Membran dioperasikan sampai 80 jam sebelum filtrasi dihentikan karena telah melampaui waktu operasi variasi sebelumnya. Penampakan membran sebelum pencucian dan setelah dilakukan pencucian dapat dilihat pada Gambar 4.7. Berdasarkan gambar 4.8 dapat dilihat bahwa *backwash* dengan tekanan 1 bar selama 20 menit kurang efektif untuk membersihkan foulant pada permukaan membran. Dapat dilihat pada gambar penampakan membran sebelum dilakukan *backwash* bahwa bagian atas membran lebih bersih dibandingkan bagian bawah membran. Namun, ketika telah dilakukan *backwash* membran bagian atas tetap tidak bersih. Pada bak sedimentasi partikel yang berukuran kecil cenderung berada dibagian atas, kemudian partikel yang berukuran lebih besar berada di bagian bawah dikarenakan massa jenisnya lebih besar. Reaktor yang digunakan memiliki dua inlet yaitu dari bagian atas dan bagian bawah membran. Partikel yang terhisap oleh membran bagian atas merupakan partikel yang masuk melalui inlet dibagian atas membran sehingga diameter partikelnya cenderung berukuran lebih kecil.

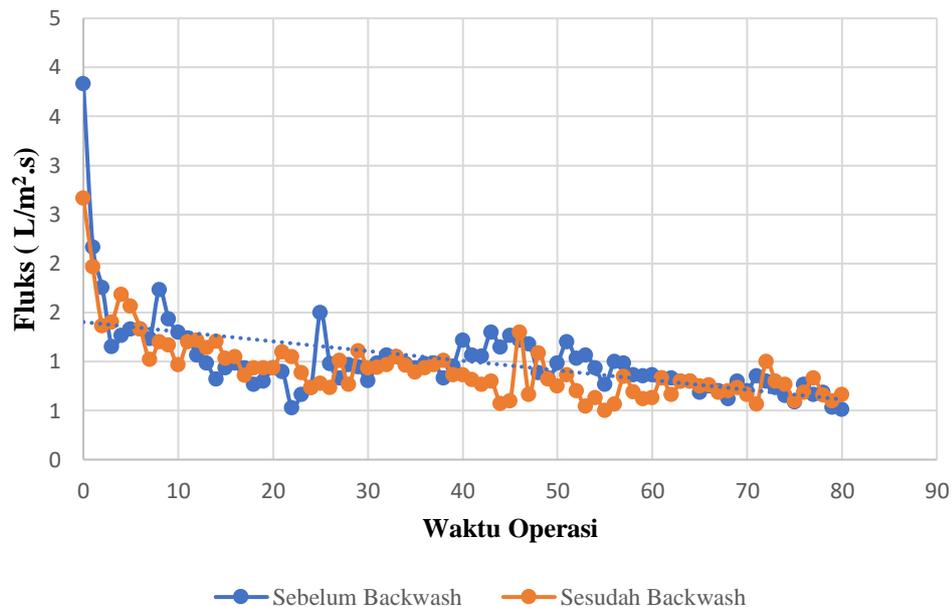


Gambar 4 7 Penampakan Membran Sebelum dan Sesudah *Backwash* selama 20 Menit

Menurut Shalahuddin (2019), apabila 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. Penyempitan pori ini kurang efektif untuk dihilangkan secara *backwash* hal itu dibuktikan pada gambar 4.8. Dapat dilihat pada penampakan membran sesudah *backwash* bahwa bagian membran yang lebih bersih yaitu bagian membran yang telah ditutupi oleh cake tebal dipermukaan membran yang disebabkan oleh partikel yang berukuran lebih besar daripada diameter pori. Selain penampakan secara visual, hasil pencucian juga dibandingkan parameter kuantitas dan kualitas permeat yang dihasilkan.

a. Parameter Kuantitas

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 pencucian dengan metode *backwash* selama 20 menit hanya dapat memperpanjang waktu operasi, namun tidak dapat meningkatkan jumlah air produksi. Perbandingan hasil uji kuantitas sebelum dan sesudah dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.8. Sebelum dilakukan pencucian terjadi penurunan fluks di jam ke 80 sebesar 86,6% dari fluks awal. Fluks awal ketika membran dioperasikan yaitu 3,83 L/m².s, kemudian terjadi penurunan fluks di jam ke 80 menjadi 0,51 L/ m².s. Selain mempengaruhi fluks *fouling* juga mempengaruhi tekanan. Tekanan awal filtrasi yaitu 0,9 bar kemudian meningkat menjadi 0,7 bar. Penurunan fluks dan meningkatnya tekanan mengindikasikan terjadinya *fouling* sehingga diperlukan pencucian untuk meningkatkan kinerja membran.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu Pencucian secara *Backwash* 20 Menit

Pencucian dengan metode *backwash* dengan bahan pencuci berupa larutan NaOCl 5% kurang efektif dalam menghilangkan foulan – foulan yang ada. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil perhitungan nilai *flux recovery* yang tidak mencapai 100% yaitu hanya sebesar 69,56%. Perhitungan *flux recovery* dilakukan untuk mengetahui efisiensi pencucian secara *backwash* selama 20 menit dalam meningkatkan kuantitas fluks. Fluks awal ketika membran dioperasikan setelah dilakukan *backwash* selama 20 menit yaitu 2,67 L/m².s, kemudian pada jam ke-80 masih belum terjadi penurunan fluks dengan fluks akhir sebesar 0,67 L/ m².s. Pencucian secara *backwash* selama 20 menit juga dapat meningkatkan tekanan hingga kembali ke tekanan awal filtrasi yaitu dari tekanan 0,7 ketika terjadi *fouling* menjadi 0,9 bar.

b. Parameter Kualitas

Perbandingan hasil uji parameter dalam air hasil filtrasi sebelum dan sesudah pencucian dilakukan untuk mengetahui pengaruh pencucian terhadap kemampuan membran dalam menyisihkan parameter pencemar pada air baku. Hasil pengujian kadar sampel sebelum dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 11 Kadar Sampel Sebelum dilakukan *Backwash* 20 Menit

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	5,3	0,4	5	NTU
Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
TSS	67	35	-	mg/L
Zat Organik	12,96	5,69	10	mg/L
E-Coli	160,7	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	40	21	-	partikel/L

Keterangan : *) Baku mutu sesuai Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Standar Air Minum

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E-Coli sudah memenuhi baku mutu. Kemudian untuk mengetahui efektifitas dari pencucian dilakukan perhitungan nilai koefisien rejeksi sebelum dan sesudah *backwash* yang nantinya akan dibandingkan. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 12 Koefisien Rejeksi Sebelum *Backwash* 20 Menit

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

Kadar dalam sampel sebelum dilakukan *backwash* kemudian dibandingkan dengan kadar dalam sampel setelah dilakukan *backwash*. Hasil pengujian kadar sampel setelah dilakukan pencucian dengan metode *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 13 Kadar Sampel Setelah dilakukan *Backwash* 20 Menit

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	11,3	0,18	5	NTU
TSS	11	0	-	mg/L
Zat Organik	14,85	9,16	10	mg/L

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
E-Coli	1299,7	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	9	4	-	partikel/L

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran setelah dilakukan *backwash* selama 20 menit terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran setelah dilakukan pencucian secara *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 14 Koefisien Rejeksi Setelah Backwash 20 Menit

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

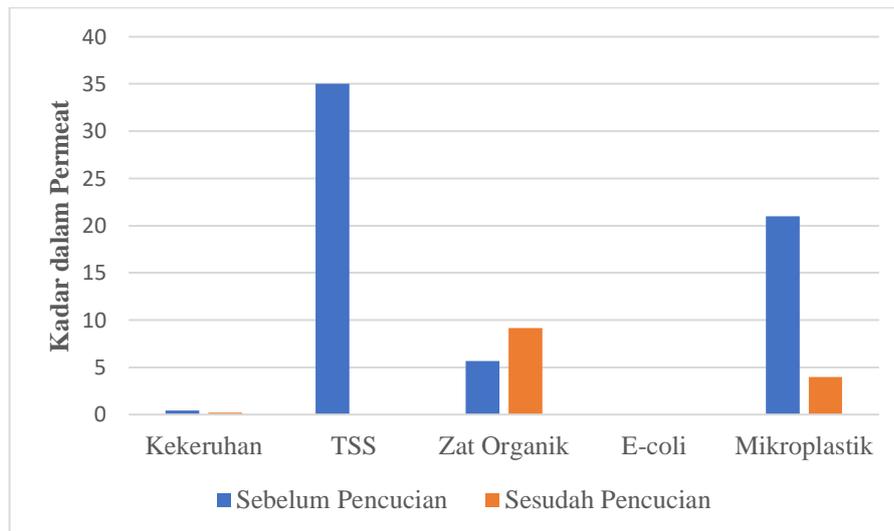
Berdasarkan Tabel 4.12 dan Tabel 4.14 dapat dilakukan uji efektifitas dengan membandingkan koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian dan sesudah dilakukan pencucian. Perhitungan uji efektifitas pencucian secara *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4 15 Uji Efektifitas *Backwash* selama 20 Menit terhadap Kualitas Permeat

Parameter	R Sebelum Pencucian	R Sesudah Pencucian	E
Kekeruhan	92%	98%	6%
TSS	48%	100%	52%
Zat Organik	56%	38%	-46%
E-coli	100%	100%	0%
Mikroplastik	48%	56%	15%

Berdasarkan uji efektifitas tersebut dapat diketahui bahwa pencucian secara *backwash* selama 20 menit dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter kekeruhan sebesar 6%, parameter TSS sebesar 52% dan parameter mikroplastik sebesar 15%. Nilai hasil uji efektifitas untuk parameter zat organik minus menunjukkan bahwa *backwash* selama 20 menit tidak efektif untuk meningkatkan koefisien rejeksi terhadap parameter tersebut. Sementara untuk parameter E-Coli tidak terjadi peningkatan nilai koefisien rejeksi dikarenakan penyisihan sebelum dan sesudah pencucian telah mencapai nilai maksimum (100%) sehingga nilai uji efektifitasnya yaitu 0%. Semakin tinggi persen efektifitas maka pengaruh pencucian terhadap kualitas permeat semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.10 diperoleh persen efektifitas yang tinggi untuk parameter kekeruhan, TSS dan mikroplastik, hasil tersebut menunjukkan bahwa pencucian secara *backwash* selama 20 menit berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter kekeruhan, TSS, dan mikroplastik. Perbandingan kadar parameter dalam

permeat sebelum dan sesudah pencucian secara *backwash* selama 20 menit dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.9 Kadar dalam Permeat Sebelum dan Sesudah *Backwash* selama 20 Menit

Dalam grafik batang dapat dilihat bahwa kadar dalam permeat untuk parameter kekeruhan, TSS dan mikroplastik mengalami penurunan. Sementara untuk zat organik mengalami peningkatan kadar dalam permeat. Parameter E.Coli mengalami penyisihan secara maksimum sehingga jumlah kadar dalam permeat adalah nol.

4.1.4 Perbandingan Ketiga Variasi Pencucian

Berdasarkan ketiga variasi pencucian diatas, dapat dilakukan perbandingan dari beberapa jenis aspek berikut untuk menentukan variasi pencucian yang paling efektif.

Tabel 4.16 Perbandingan Variasi Pencucian

Aspek	Pencucian Manual	Backwash 10 Menit	Backwash 20 Menit
Kebutuhan Air	0,20%	2,30%	3,30%
Flux Recovery	100%	65,71%	69,56%
Waktu Operasi	MWO*	MWO*	MWO*
Total Produksi Air (L)	846,72	735,18	672,9
Peningkatan R	<ul style="list-style-type: none"> • Kekeruhan • Zat organik 	<ul style="list-style-type: none"> • TSS • Zat organik 	<ul style="list-style-type: none"> • Kekeruhan • TSS • Mikroplastik

Keterangan :

MWO* = Memperpanjang Waktu Operasi

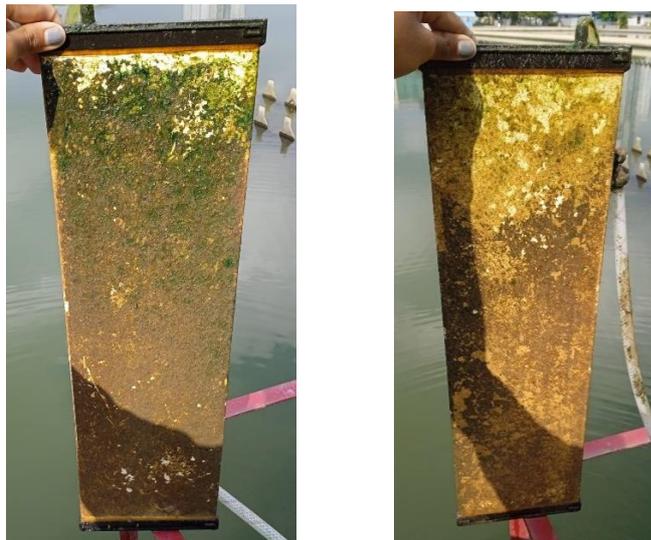
4.2 Pengaruh Air Scouring terhadap Kinerja Immersed Membrane Microfiltration

Pengujian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh *air scouring* pada *Immersed Membrane Microfiltration*, ditinjau dari perbandingan nilai parameter uji sebelum dan setelah pencucian. Parameter uji kuantitas yaitu fluks dan waktu filtrasi, sedangkan parameter uji kualitas yaitu kekeruhan, *total suspended solid* (TSS), mikroplastik, zat organik dan *e-coli*. Air

baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari unit sedimentasi IPAM Ngagel III Surabaya. Titik pengambilan sampel dilakukan sebelum *inlet* filtrasi untuk mengetahui kualitas air baku (*feed water*) dan setelah *outlet* filtrasi untuk mengetahui kualitas air hasil filtrasi. Pengujian fluks dilakukan secara manual dengan menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*.

4.2.1 Pengaruh *Air Scouring* dengan Variasi Tekanan Udara 0,3 Bar

Air Scouring dilak/ukan dengan mengalirkan udara menuju *diffuser*. Diffuser kemudian menghasilkan gelembung yang berukuran diameter 6 mm. *Air Scouring* diaplikasikan secara intermitten dengan arah gelembung dari bagian bawah membran ke bagian atas membran. Disebelah kanan dan kiri membran dilengkapi dengan sekat sehingga gelembung terfokuskan kearah membran. Sebelum terjadi *fouling*, membran telah beroperasi selama 80 jam. Penampakan membran ketika *fouling* dengan dan tanpa *air scouring* dapat dilihat pada Gambar 4.1



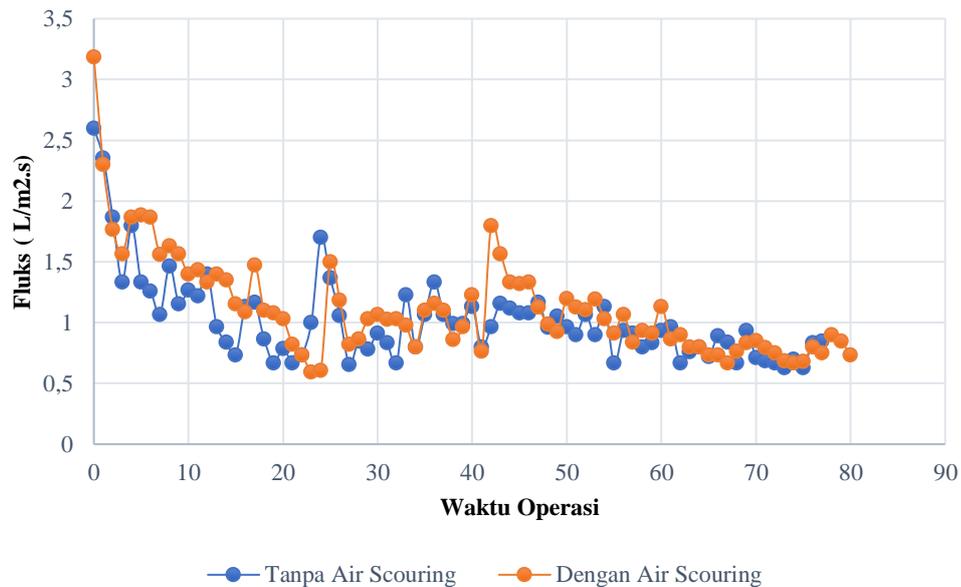
Gambar 4 10 Penampakan Membran Tanpa dan dengan *Air Scouring* 0,3 Bar

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan penampakan membran tanpa *air scouring* dan dengan *air scouring* 0,3 bar. Dapat dilihat pada gambar penampakan 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 *fouling* (Ducom, Puech, & Cabassud, 2002). Selain penampakan secara visual, hasil pencucian juga dibandingkan parameter kuantitas dan kualitas permeat yang dihasilkan.

a. Parameter Kuantitas

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 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 grafik pada Gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu pada *Air Scouring* dengan Tekanan Udara 0,3 Bar

Pada filtrasi tanpa *air scouring* fluks awal ketika membran dioperasikan yaitu 2,6 L/m².s. Kemudian setelah 80 jam fluks diperoleh rata – rata fluks sebesar 1,01 L/m².s dengan fluks akhirnya sebesar 0,8 L/m².s. Tekanan awal filtrasi yaitu -0,8 bar kemudian meningkat menjadi -0,7 bar. Penurunan fluks dan meningkatnya tekanan yang dibutuhkan mengindikasikan terjadinya deposit pengotor dipermukaan membran. Pada filtrasi dengan diaplikasikan penambahan *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar. Fluks awal filtrasi 3,19 L/m².s. Kemudian setelah 80 jam, diperoleh rata – rata fluks sebesar 1,12 L/m².s dengan fluks akhirnya sebesar 0,73 L/m².s. 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 dihasilkan oleh diffuser sehingga semakin besar kecepatan aliran udara semakin besar pula peningkatan fluksnya (Ducom, Puech, & Cabassud, 2002).

b. Parameter Kualitas

Perbandingan hasil uji parameter dalam air hasil filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dilakukan untuk mengetahui pengaruh *air scouring* terhadap kemampuan membran dalam menyisihkan parameter pencemar pada air baku. Hasil pengujian kadar sampel filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 17 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi Tanpa *Air Scouring*

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	5,3	0,34	5	NTU
TSS	67	23	-	mg/L
Zat Organik	12,96	8,53	10	mg/L
E-Coli	160,7	0	0	MPN/100 mL
Mikroplastik	40	10	-	partikel/L

Keterangan : *) Baku mutu sesuai Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Standar Air Minum dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E.Coli sudah memenuhi baku muku. Kemudian untuk mengetahui efektifitas *air scouring* dilakukan perhitungan nilai koefisien rejeksi ketika dilakukan filtrasi tanpa *air scouring* dibandingkan dengan koefisien rejeksi ketika filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran tanpa dilakukan *air scouring* dengan diaplikasikan *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 18 Koefisien Rejeksi Membran Tanpa *Air Scouring*

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

Kadar dalam sampel hasil filtrasi tanpa *air scouring* tersebut kemudian, dibandingkan dengan kadar dalam sampel hasil filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar. Hasil pengujian kadar sampel hasil filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 19 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi dengan *Air Scouring* 0,3 Bar

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	5,3	0,3	5	NTU
TSS	67	43	-	mg/L
Zat Organik	12,96	4,74	10	mg/L
E-Coli	160,7	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	40	27	-	partikel/L

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 20 Koefisien Rejeksi Membran dengan Air Scouring 0,3 Bar

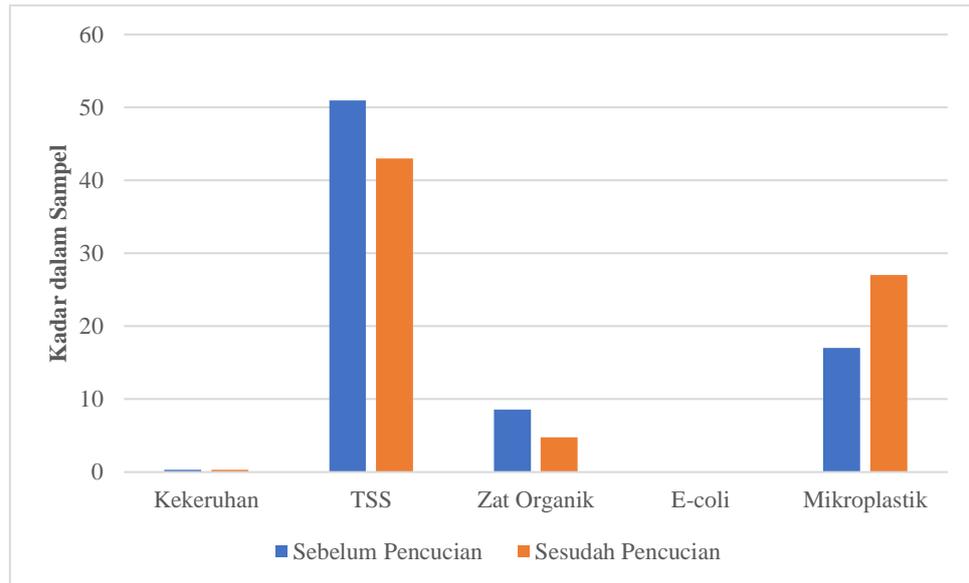
Parameter	Feed	Permeat	Satuan	R
Kekeruhan	5,3	0,3	NTU	94%
TSS	67	43	mg/L	36%
Zat Organik	12,956	4,74	mg/L	63%
E-coli	160,7	0	MPN/100 mL	100%
Mikroplastik	40	27	partikel/L	33%

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.4 dapat dilakukan uji efektifitas dengan membandingkan koefisien rejeksi membran tanpa *air scouring* dan membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar. Perhitungan uji efektifitas *air scouring* dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4 21 Uji Efektifitas *Air Scouring* terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi

Parameter	R Sebelum Pencucian	R Sesudah Pencucian	E
Kekeruhan	94%	94%	0%
TSS	24%	36%	33%
Zat Organik	34%	63%	46%
E-coli	100%	100%	0%
Mikroplastik	58%	33%	-77%

Berdasarkan uji efektifitas tersebut dapat diketahui bahwa pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter TSS sebesar 33% dan parameter zat organik sebesar 46%. Nilai hasil uji efektifitas minus menunjukkan bahwa pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar tidak efektif untuk meningkatkan koefisien rejeksi terhadap parameter mikroplastik. Namun, hal ini diduga disebabkan oleh adanya kontaminasi mikroplastik akibat rangkaian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan pipa pvc sehingga memungkinkan adanya kontaminasi. Sementara untuk parameter kekeruhan dan E-Coli tidak terjadi peningkatan nilai koefisien rejeksi dikarenakan penyisihan ketika filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar telah mencapai nilai maksimum (100%) sehingga nilai uji efektifitasnya yaitu 0%. Semakin tinggi persen efektifitas maka pengaruh *air scouring* terhadap kualitas permeat semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh persen efektifitas yang positif untuk parameter TSS dan zat organik, hasil tersebut menunjukkan bahwa *air scouring* berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter TSS dan zat organik. Perbandingan kadar parameter dalam hasil filtrasi tanpa *air scouring* dan filtrasi dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4 12 Perbandingan Kadar Pencemar dalam hasil Filtrasi tanpa *air scouring* dan filtrasi dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar

Dalam grafik batang dapat dilihat bahwa untuk parameter kekeruhan, TSS dan zat organik mengalami penurunan. Sementara untuk parameter mikroplastik mengalami peningkatan kadar dalam sampel. Parameter E.Coli mengalami penyisihan secara maksimum sehingga jumlah kadar dalam permeat adalah nol

4.2.2 Pengaruh *Air Scouring* dengan Variasi Tekanan Udara 0,6 Bar

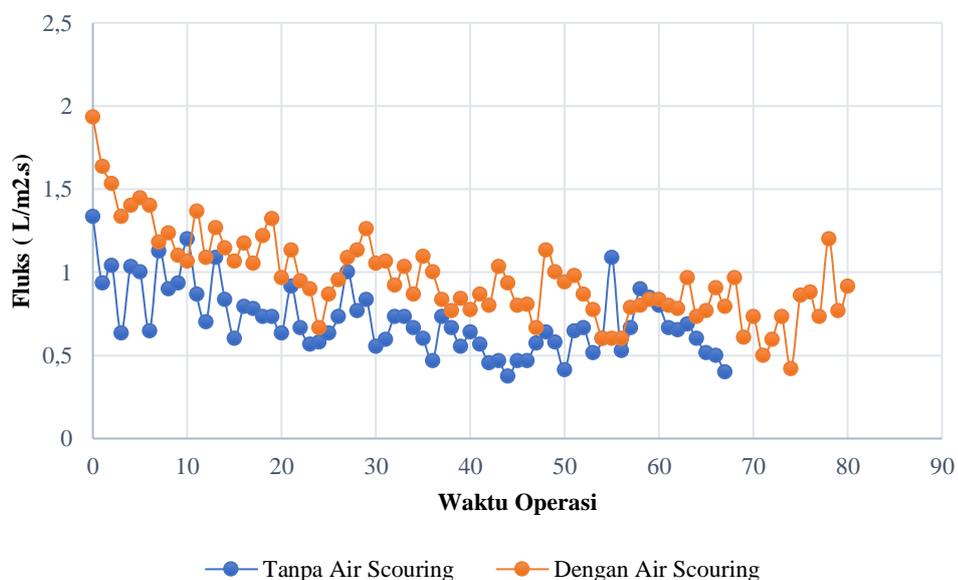
Air Scouring dilakukan dengan mengalirkan udara menuju *diffuser*. Diffuser kemudian menghasilkan gelembung yang berukuran diameter 6 mm. *Air Scouring* diaplikasikan secara intermitten dengan arah gelembung dari bagian bawah membran ke bagian atas membran. Disebelah kanan dan kiri membran dilengkapi dengan sekat sehingga gelembung terfokus ke arah membran. Sebelum dilakukan *air scouring*, membran telah beroperasi selama 80 jam sampai terjadinya *fouling*. Penampakan membran ketika *fouling* tanpa *air scouring* dan dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada Gambar 4.13. Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan penampakan membran tanpa *air scouring* dan dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar. Dapat dilihat pada gambar penampakan membran tanpa dilakukan *air scouring*, *cake* yang terbentuk lebih tebal dan tidak merata. *Cake* yang terbentuk pada permukaan membran bagian atas lebih sedikit dibandingkan di bagian bawah membran. Sedangkan pada gambar penampakan membran yang dilakukan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar, *cake* yang terbentuk lebih tipis dan merata diseluruh permukaan membran. Hal tersebut dikarenakan pada membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar, gelembung udara membawa foulant secara merata ke seluruh permukaan membran. Hal ini sesuai dengan penelitian Wang (2016), yang menyebutkan bahwa aliran air ataupun udara yang bergerak disepanjang permukaan membran akan menyebabkan shear stress pada permukaan membran. Pengaplikasian *Air Scouring* pada membran tercelup dapat meningkatkan *shear stress*. *Shear stress* yang lebih tinggi dapat mengurangi pembentukan lapisan foulant yang terbentuk pada permukaan membran sehingga setelah diaplikasikan *air scouring* *cake* terbentuk tampak lebih tipis (Cheryan, 1998). Selain penampakan secara visual, hasil pencucian juga dibandingkan parameter kuantitas dan kualitas permeat yang dihasilkan.



Gambar 4 13 Penampakan Membran Tanpa dan dengan *Air Scouring* 0,6 Bar

a. Parameter Kuantitas

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 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 0,3 bar dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.14



Gambar 4 14 Grafik Perbandingan Fluks terhadap Waktu pada *Air Scouring* dengan Tekanan Udara 0,6 Bar

Pada filtrasi tanpa *air scouring* fluks awal ketika membran dioperasikan yaitu 1,3 L/m².s. Kemudian setelah 67 jam fluks diperoleh rata – rata fluks sebesar 0,71 L/m².s dengan fluks akhirnya sebesar 0,4 L/m².s. Tekanan awal filtrasi yaitu -0,8 bar kemudian meningkat menjadi -0,7 bar. Penurunan fluks dan meningkatnya tekanan yang dibutuhkan mengindikasikan terjadinya deposit pengotor dipermukaan membran. Filtrasi dengan diaplikasikan penambahan *air scouring* dengan tekanan udara 0,3 bar memiliki fluks awal sebesar 3,19 L/m².s. Kemudian setelah 80 jam, diperoleh rata – rata fluks sebesar 0,97 L/m².s dengan fluks akhirnya sebesar 0,91 L/m².s. Pengoperasian filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar memiliki fluks akhir dan rata- rata fluks yang lebih tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Fouladitajar (2013) yang menyatakan bahwa 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*.

b. Parameter Kualitas

Perbandingan hasil uji parameter dalam air hasil filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dilakukan untuk mengetahui pengaruh *air scouring* terhadap kemampuan membran dalam menyisihkan parameter pencemar pada air baku. Hasil pengujian kadar sampel filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 22 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi Tanpa *Air Scouring*

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	7,96	0,54	5	NTU
TSS	4	1	-	mg/L
Zat Organik	10,1	7,6	10	mg/L
E-Coli	160,7	0	0	MPN/100 mL
Mikroplastik	5	3	-	partikel/L

Keterangan : *) Baku mutu sesuai Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang Standar Air Minum dan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E.Coli sudah memenuhi baku muku. Kemudian untuk mengetahui efektifitas *air scouring* dilakukan perhitungan nilai koefisien rejeksi ketika dilakukan filtrasi tanpa *air scouring* dibandingkan dengan koefisien rejeksi ketika filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,3 bar. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran sebelum dilakukan pencucian manual dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 23 Koefisien Rejeksi Membran Tanpa *Air Scouring*

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

Kadar dalam sampel hasil filtrasi tanpa *air scouring* tersebut kemudian, dibandingkan dengan kadar dalam sampel hasil filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar. Hasil pengujian kadar sampel hasil filtrasi dengan *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 24 Kadar Pencemar Hasil Filtrasi danpa *Air Scouring* 0,6 Bar

Parameter	Hasil Uji Feed Water	Hasil Uji Outlet	Standar*)	Satuan
Kekeruhan	11,3	0,21	5	NTU
TSS	11	0	-	mg/L
Zat Organik	14,85	8,53	10	mg/L
E-Coli	1299,7	0	0	Jumlah per 100 mL sampel
Mikroplastik	9	5	-	partikel/L

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa kemampuan penyisihan membran terhadap parameter kekeruhan, zat organik, dan E-Coli sudah memenuhi baku muku. Perhitungan nilai koefisien rejeksi membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 25 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%
Zat Organik	14,852	8,532	mg/L	43%
E-coli	1299,7	0	MPN/100 mL	100%
Mikroplastik	9	5	partikel/L	44%

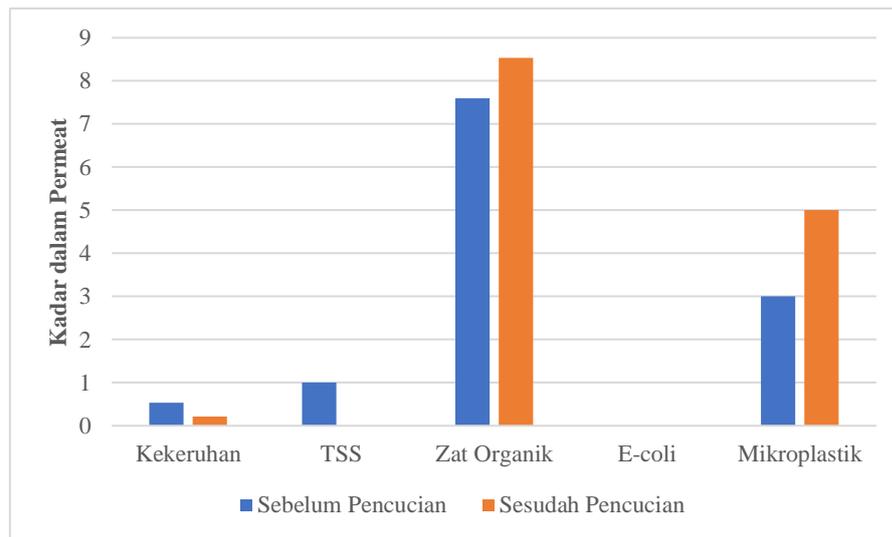
Berdasarkan Tabel 4.25 dan Tabel 4.24 dapat dilakukan uji efektifitas dengan membandingkan koefisien rejeksi membran tanpa *air scouring* dan membran dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar. Perhitungan uji efektifitas *air scouring* dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4 26 Uji Efektifitas *Air Scouring* Bertekanan 0,6 Bar terhadap Peningkatan Koefisien Rejeksi

Parameter	R Sebelum Pencucian	R Sesudah Pencucian	E
Kekeruhan	93%	98%	5%
TSS	75%	100%	25%
Zat Organik	25%	43%	42%
E-coli	100%	100%	0%
Mikroplastik	40%	44%	10%

Berdasarkan uji efektifitas tersebut dapat diketahui bahwa pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat meningkatkan nilai koefisien rejeksi parameter kekeruhan

sebesar 5%, parameter TSS sebesar 25%, parameter zat organik sebesar 42%, dan parameter mikroplastik sebesar 10%. Sementara untuk parameter E-Coli tidak terjadi peningkatan nilai koefisien rejeksi dikarenakan penyisihan ketika filtrasi tanpa *air scouring* dan dengan pengaplikasian *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar telah mencapai nilai maksimum (100%) sehingga nilai uji efektifitasnya yaitu 0%. Semakin tinggi persen efektifitas maka pengaruh *air scouring* terhadap kualitas permeat semakin baik. Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh persen efektifitas positif untuk parameter kekeruhan, TSS, zat organik, dan mikroplastik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *air scouring* berpengaruh dalam meningkatkan kinerja membran dalam meremove parameter kekeruhan, TSS, zat organik dan mikroplastik. Perbandingan kadar parameter dalam hasil filtrasi tanpa *air scouring* dan filtrasi dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4 15 Perbandingan Kadar Pencemar dalam hasil Filtasi tanpa *air scouring* dan filtrasi dengan pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar

Dalam grafik batang dapat dilihat bahwa untuk parameter kekeruhan, dan TSS mengalami penurunan. Parameter zat organik dan mikroplastik mengalami peningkatan kadar dalam permeat. Hal tersebut dikarenakan kadar zat organik dan mikroplastik dalam air baku juga mengalami peningkatan. Meskipun begitu terjadi peningkatan koefisien rejeksi ketika diaplikasikan *air scouring* sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian *air scouring* bertekanan udara 0,6 bar dapat mempengaruhi kualitas air hasil filtrasi. Sementara untuk parameter E.Coli mengalami penyisihan secara maksimum sehingga jumlah kadar dalam permeat adalah nol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa koefisien rejeksi membran lebih baik ketika diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar, dikarenakan tidak ada parameter pencemar yang mengalami peningkatan kadar dalam permeat setelah diaplikasikan *air scouring* dengan tekanan udara 0,6 bar.

4.2.3 Perbandingan Variasi Air Scouring

Berdasarkan dua variasi *air scouring* diatas, dapat dilakukan perbandingan dari beberapa jenis aspek berikut untuk menentukan variasi *air scouring* yang paling efektif.

Tabel 4 27 Perbandingan Variasi *Air Scouring*

Aspek	<i>Air Scouring</i> bertekanan udara 0,3 Bar	<i>Air Scouring</i> bertekanan udara 0,6 Bar
Waktu Operasi	MWO	MWO
Peningkatan Total Produksi Air	9,62%	38,2%
Peningkatan R	<ul style="list-style-type: none"> • TSS • Zat organik 	<ul style="list-style-type: none"> • TSS • Kekerusuhan • Mikroplastik • Zat organik

Keterangan :

MWO* = Memperpanjang Waktu Operasi

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini menyimpulkan beberapa hal, diantaranya:

1. 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*.
2. *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.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan *backwash* dengan variasi tekanan yang lebih besar.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan penelitian terkait konsentrasi bahan pencuci yang baik untuk menghilangkan *irreversibel fouling*.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh interval pencucian terhadap kualitas membran.
4. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan *air scouring* menggunakan ukuran *bubble* yang lebih besar.
5. Pada penelitian selanjutnya agar dilakukan perhitungan peningkatan *shear stress* (tegangan geser) pada membran akibat *air scouring*.
6. Pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui pengaruh pencucian dan *air scouring* dapat dilakukan dengan menimbang membran untuk dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Abdelrasoul, H. D. (2013). Fouling in Membrane Filtration and Remediation Methods. In Mass Transfer - Advances in Sustainable Energy and Environment Oriented Numerical Modeling (pp. 195-218). InTech.
- A.H Ramadan. (2020). Occurrence of Microplastic in surface water of Jatiluhur Reservoir. *E3S Web of Conferences* , 148 : 1-4.
- Apriyanti, & Apriyani, E. M. (2018). Kadar Zat Organik pada Air Sumur Warga Sekitar TPA dengan Metode Titrasi Permanganometri. *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, (2) 2 : 10-14.
- Baker, R. (2004). *Membrane Technology Applications*. English: John & Wiley Sons Ltd.
- Cheryan, M. (1998). *Ultrafiltration and Microfiltration Handbook*. CRC Press.
- D. Jermann, W. P. (2007). Interplay of Different NOM Fouling Mechanisms During Ultrafiltration for Drinking Water Production. *Journal of Water Research*, 1713-1722.
- Dahlan, M. Hatta; Teguh. (2011). Kinerja Membran Keramik Dalam Pengolahan Air Sumur Menjadi Air Bersih. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(5), 38-49.
- Ducom, G., Puech, F., & Cabassud, C. (2002). Air sparging with flat sheet nanofiltration: a link between wall shear stresses and flux enhancement. *Desalination*, 145 : 97-102.
- Fouladitajar, A. (2013). Gas Sparging to Enhance Permeate Flux and Reduce Fouling Resistances. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 1-9.
- Gruskevica, K. (2021). Cleaning Methods for Ceramic Ultrafiltration Membranes Affected by Organic Fouling. *Journal of Water Research*, 131.
- H. Lee, G. A.-H. (2001). Cleaning Strategies For Flux Recovery of an Ultrafiltration Membrane Fouled by Natural Organic Matter. *Journal Water Research*, 3301-3308.
- Haiqing Chang, H. L. (2017). Hydraulic backwashing for low-pressure membranes in drinking water treatment: A review. *Journal of Membrane Sciences*.
- Hartojo, H. (2020). Optimalisasi Kinerja IPAL Melalui Diffuser Ecorator di PT Industri Jamu dan Farmasi Sido Muncul, Tbk. Semarang: PT Industri Jamu dan Farmasi Sido Muncul.
- Herawati, A., & Asti, R. (2017). Pengaruh Ph dan Dosis Koagulan Ekstrak Biji Kelor dalam Koagulasi terhadap Pengurangan Kekeruhan Limbah Cair. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, (1) 1 : 25-28.
- Huajuan, M. (2009). A Study On Organic Fouling Of Reverse. Singapore: Departement Of Civil Engineering National University of Singapore.

- Indriani, D. K. (2010). Perbandingan Metode Pengujian E. Coli secara Konvensional dan Cepat pada Sampel Air. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Iqbal Shalahuddin, Y. W. (2019). Mekanisme Fouling pada Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6-15.
- Kurniawati, P., & Alfannah, H. (2019). Perbandingan Metode Penentuan Kadar Permanganat dalam Air Kran secara Titrimetri dan Spektrofotometri UV-Vis. *Ind. J. Chem*, (2) 2 : 60-65.
- L.S Fendall, M. S. (2009). Contributing To Marine Pollution by Washing Your Face : Microplastic In Facial Cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58 (8) 1225 - 1228.
- M.R. Bird, M. B. (2002). Measuring and Modelling Flux Recovery During The Chemical Cleaning of MF Membranes for The Processing of Whey Protein Concentrate. *Journal of Food Engineering*, 143-152.
- Maesara, S. A., & Kunaefi, T. D. (2011). Penyisihan Besi dan Zat Organik Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian sebagai Media Filtrasi Removal of Iron and Organic Matter by Activated Carbon from Durian Peels As Filtration Media. *Jurnal Teknik Lingkungan*, (17) 2 : 167-177.
- Mahmud, R. N. (2005). Kinetika Fouling Membran Ultrafiltrasi (UF) Pengolahan Air Berwarna: Pengaruh Interval dan Lamanya Pencucian Balik (Backwashing) Membran. *Info-Teknik*, (6) 1 : 62-69.
- Manafi, M. (2000). New Development in Chromogenic and Fluorogenic Culture Media. *Int. J. Food Microbiol*, 60:205-218.
- Merck. (2005). *Merck Microbiology Manual 12th Edition*. Germany.
- Mirka Lares, M. C. (2018). Occurrence, Identification and Removal of Microplastic Particles and Fibers In Conventional Activated Sludge Process and Advance MBR Technology. *Water Research*, 133 : 236-246.
- Mulder, M. (1996). *Basic Principles of Membran Technology*. Netherlands: Kluwer Academic Publishe.
- Mulyatna, L., & Hasbiah, A. (2019). Penyisihan Total Coliform dalam Air Hujan Menggunakan Media Filter Zeolite Termodifikasi, Karbon Aktif, dan Melt Blown Filter Cartridge. *Infomatek*, 15 - 26.
- Muziarni, A. (2007). Penurunan Konsentrasi Biological Oxygen Demand (BOD) pada Lindi TPA Piyungan dengan Metode Elektrokoagulasi. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

- Patriasani, E. (2010). Uji Kinerja Media Batu Pada Bak Prasedimentasi. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVI* (pp. E-3 1-8). Surabaya: Program Studi MMT-ITS.
- Puspitasari, M., & Hadi, W. (2014). Efektifitas $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ dalam Pengolahan Air Menggunakan Gravel Bed Flocculator Ditinjau dari Parameter Kekeruhan dan Total Coli. *Jurnal Teknik Pomits*, (3) 2 : 2337-3539.
- Qin, L. S. (2014). Cultivation of *Chlorella Vulgaris* In Dairy Wastewater Pretreated By UV Irradiation And Sodium Hypochlorite. *Applied biochemistry and biotechnology*, 172(2), 1121-1130.
- S Notodarmojo, D. A. (2004). Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead End. *ITB Sains dan Tek*, 36 (2) : 63-82.
- S.A. Avlonitis, K. K. (2003). Energy Consumption and Membrane Replacement Cost for Seawater RO Desalination Plants. *Journal of Desalination*, (157) 151 - 158.
- Said, N. I. (2009). Uji Kinerja Pengolahan Air Siap Minum dengan Proses Biofiltrasi, Ultrafiltrasi dan Reverse Osmosis (Ro) dengan Air Baku Air Sungai. 5 (2) : 144 - 161.
- Setio, B. (2018). Optimasi Bak Sedimentasi dengan Penambahan Sekat Vertikal untuk Pengolahan Air Bersih. Malang: ITN.
- Shalahuddin, I. (2019). Mekanisme Fouling pada Membran Mikrofiltrasi Mode Aliran Searah dan Silang. *Jurnal Rekayasa Proses*, (13) 1 : 6-15.
- So-Ryong Chae, H. Y. (2007). 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 Research*, 42 : 2029-2042.
- Suhendara, D. T., & Sachoemara. (2020). Hubungan Kekeruhan terhadap Materi Partikulat Tersuspensi (Mpt) dan Kekeruhan terhadap Klorofil dalam Tambak. *Journal of Fisheries and Marine Research*, (4) 3 : 332-338.
- Wang, D. L., & Chen. (2011). *Membrane and Desalination Technologies*. New York: Humana Press.
- Wenten, I. (1999). *Teknologi Membran Industrial*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Winani, I. A. (2011). Kajian Efektivitas Membran Selulosa Asetat pada Proses Filtrasi Bertahap Untuk Desalinasi Air Laut. Bogor: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Z F Cui, H. S. (2010). Membrane Technology : A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing. United States of America: Butterworth-Heinemann.

Zaerp, M. (2014). Design, Cost & Benefit Analysis of a Membrane Bioreactor. Milano: Department of Environmental and Geomatic Engineering.

Lampiran 1.

CARA PENGAMBILAN SAMPEL

I. Pengambilan sampel untuk analisis kekeruhan, zat organik, dan *Total Suspended Solid*.

Pada pengambilan sampel uji kekeruhan, zat organik, dan *Total Suspended Solid* menggunakan botol plastik 1,5 L yang sudah dibersihkan.



II. Pengambilan sampel untuk analisis *E.coli*

Pada pengambilan sampel *E.coli* menggunakan botol duran yang telah disterilkan di laboratorium PDAM Surya Sembada.



III. Pengambilan sampel untuk analisis mikroplastik

Pada pengambilan sampel mikroplastik digunakan botol kaca 500 mL. Pengambilan dilakukan dengan botol kaca yang menggunakan tutup karet supaya tidak terjadi kontaminasi partikel mikroplastik dari wadah yang digunakan.



Lampiran 2.

PROSEDUR ANALISIS TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS)

Metode Gravimetri

Sumber :

Bahan dan Alat

1. Furnace dengan suhu 550°C
2. Oven dengan suhu 105°
3. Cawan porselin 50 mL
4. Timbangan analitis
5. Desikator
6. Cawan Petridis
7. Kertas saring
8. Vacum filter

Prosedur Percobaan

1. Memasukkan cawan kedalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu memasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Memasukkan kertas saring dalam oven 105°C selama 1 jam.
3. Mendinginkan cawan dan kertas saring dalam desikator selama 15 menit.
4. Menimbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e (mg)).
5. Meletakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacum filter.
6. Menuangkan sampel sebanyak 25 mL di atas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan tergantung dari kepekatannya, mencatat volume sampel (g (mL)).
7. Menyaring sampel hingga kering atau airnya habis.
8. Meletakkan kertas saring pada cawan dan memasukkan ke oven selama 1 jam pada suhu 105°C.
9. Mendinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Menimbang dengan timbangan analitis (f (mg)).
11. Hitung TSS dengan rumus berikut :

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{(f-e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Dimana

e = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel

Lampiran 3.

PROSEDUR ANALISIS PERMANGANAT

Metode Titimetri

Sumber : SNI 06-6989 22-2004

Bahan dan Alat

1. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4N yang bebas organik
2. Larutan Asam Oksalat 0,1 N
3. Larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$)
4. Pemanas Listrik
5. Buret 25 mL atau 50 mL
6. Erlenmeyer 250 mL 1 buah
7. Gelas Ukur 100 mL
8. Pipet 10 mL, 1 mL

Prosedur Percobaan

1. Tuangkan sampel air sebanyak 100 mL dengan gelas ukur.
2. Tambahkan 2,5 mL Asam Sulfat 4 N bebas organik.
3. Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
4. Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
5. Tambahkan

Lampiran 4.

PROSEDUR ANALISIS MIKROPLASTIK

Bahan dan Alat

1. Larutan H₂O₂ 30%
2. Larutan Fe
3. *Aquadest*
4. Asam Sulfat (H₂SO₄) Peekat
5. *Hot Magnetic Stirrer*
6. Gelas Beker 1 L
7. Labu Pengencer 500 mL
8. Kertas Saring PTFE
9. Vacuum Pump
10. Cawan Petri
11. Mikroskop

Prosedur Uji Sampel

A. Prosedur Oksidasi Sample Air

1. Memasukkan sampel 1 L ke dalam 2 *beaker glass* 1 L masing-masing 500ml
2. Menambahkan H₂O₂ 30% ke dalam masing – masing *beaker glass* sebanyak 20mL.
3. Menambahkan Fe(II) ke dalam *beaker glass* sebanyak 20mL
4. Memasukkan *stirbar* ke dalam *beaker glass* dan dipanaskan hingga suhu 75° dengan menggunakan *hot magnetic stirrer* selama 30 menit
5. Mendinginkan sampel hingga endapan mengendap

B. Prosedur Pembuatan Fe (II) 0,02 M

1. Menimbang FeSO₄.7H₂O sebanyak 7,5 gram dan dimasukkan ke dalam labu pengencer.
2. Menambahkan akuades ke dalam labu pengencer 500mL kurang lebih 100mL.
3. Menambahkan H₂SO₄ peekat sebanyak 3mL.
4. Menambahkan akuades hingga 500mL

C. Prosedur Pengamatan Mikroplastik

1. Sample yang telah dioksidasi kemudian di filtrasi menggunakan *vacuum pump* dan dengan membran *polytetraflouroethylene* (PTFE) ukuran pori 0,2 µm dan diameter 47 mm.
2. Membran filter didiamkan di dalam cawan petri selama 30 menit
3. Melakukan pengamatan menggunakan mikroskop

Lampiran 5.

REKAPITULASI SAMPEL VIRGINA JANE UJIANE

Tanggal Pengiriman : 30 Mei 2022
 Tanggal Analisa : 30 Mei 2022 - 31 Mei 2022
 Matriks : Air Minum
 Metode Analisa : Idexx Coliart

Tanggal Pengambilan Sampel : 27 Mei 2022

No	Parameter	Standar Maksimal *)	Feed	M1	M2	M3
1	Total Coliform (MPN/100mL)	0	1203.3	3	1	17.3
2	Escherichia Coli (MPN/100mL)	0	160.7	< 1	< 1	< 1

Diverifikasi oleh :
 Manajer Laboratorium Pengujian Air


Achmad Agus Salim, ST
 NIP : 1.98.01198

Tanggal Pengiriman : 6 Juni 2022
 Tanggal Analisa : 6 Juni 2022 - 7 Juni 2022
 Matriks : Air Minum
 Metode Analisa : Idexx Coliart

Tanggal Pengambilan Sampel : 1 Juni 2022

No	Parameter	Standar Maksimal *)	Feed	M4
1	Total Coliform (MPN/100mL)	0	> 2419,5	42
2	Escherichia Coli (MPN/100mL)	0	686,7	11

Tanggal Pengambilan Sampel : 4 Juni 2022

No	Parameter	Standar Maksimal *)	Feed	M4
1	Total Coliform (MPN/100mL)	0	> 2419,5	3,1
2	Escherichia Coli (MPN/100mL)	0	> 2419,5	0

Tanggal Pengambilan Sampel : 6 Juni 2022

No	Parameter	Standar Maksimal *)	Feed	M4
1	Total Coliform (MPN/100mL)	0	> 2419,5	72,2
2	Escherichia Coli (MPN/100mL)	0	517,2	0

Lampiran 6.

Dokumentasi

Gambar	Keterangan	Gambar	Keterangan
	<p>Pemasangan reaktor pada kolam sedimentasi PDAM Surya Sembada</p>		<p>Analisis mikroplastik dalam sampel yang telah difilter dengan menggunakan mikroskop</p>
	<p>Proses air scouring dengan tekanan udara 0,3 bar</p>		<p>Analisis kekeruhan dengan menggunakan turbidimeter pada Laboratorium ITS</p>
	<p>Pembuatan Larutan Pencuci</p>		<p>Penambahan Kalium Permanganat dalam analisis zat organik</p>
	<p>Pengukuran fluks tiap jam</p>		<p>Penimbangan cawan dan kertas saring pada uji parameter <i>total suspended solid</i></p>

Lampiran 7.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-8948886, Fax: 031-8928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
 Pukul : 13.00-14.15 WIB
 Lokasi : TL-101
 Judul : Pengaruh Pencucian dan Air Scouring terhadap Kinerja Immersed Membrane Microfiltration

Nama : Virgina Jane Ujiane
 NRP. : 0321184000038
 Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Abstrak hrs diperbaiki; Bauph keamed yang salah definisi dan pengertian, tidak tepat secara logika dan teori.
2.	Check FR! (Shouldn't not >100%)
3.	Penulisan margin dokumen.
4.	Penulisan kesimpulan

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Adhi Yuniarto, ST., MT., PhD

Dosen Pembimbing Ir. Bowo Djoko Marsono, Meng



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
Pukul : 13.00-14.15 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Pengaruh Pencucian dan Air Scouring terhadap Kinerja Immersed Membrane Microfiltration

Nama : Virgina Jane Ujjane
NRP. : 0321184000038
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Problem yg sering terjadi pada membran ?
2	Apa beda fouling dengan clogging ?
3	Apakah semua membran dapat di-backwash ? apakah ada batas berapa kali backwash ?
4	Apa beda rate filtrasi dan flux ?
5	Apa beda efisiensi dan rejeksi
6	Kinerja IM microfiltration apa saja ?

Pertanyaan

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Ali Masduqi, ST., MT

Dosen Pembimbing

Ir. Bowo Djoko Marsono, Meng

Alpudaly
Parojudars



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5929387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
Pukul : 13.00-14.15 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Pengaruh Pencucian dan Air Scouring terhadap Kinerja Immersed Membrane Microfiltration

Nama : Virgina Jane Ujjane
NRP. : 0321184000038
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Cara sitasi gambar diperbaiki
2.	Perbaiki konsistensi menulis unit : liter atau L
3.	Abstract b. lugris diperbaiki

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Ainul Firdatun Nisaa, ST, MSc

Dosen Pembimbing : Ir. Bowo Djoko Marsono, Meng



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
Pukul : 13.00-14.15 WIB
Lokasi : TL-101
Judul : Pengaruh Pencucian dan Air Scouring terhadap Kinerja Immersed Membrane Microfiltration

Nilai TOEFL 512

Nama : Virgina Jane Ujiane
NRP. : 0321184000038
Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1.	Pengaruh pencucian & scouring bisa dikalaukan dengan meminyak membran utk dibandingkan → masalah saran.
2.	

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing
Ir. Bowo Djoko Marsono, Meng



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

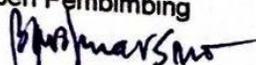
FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Virgina Jane Ujjane
NRP : 0321184000038
Judul : Pengaruh Pencucian dan *Air Scouring*
Terhadap Kinerja *Immersed Membrane*
Microfiltration

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	14/09/2021	Asistensi judul, persiapan peralatan dan surat izin	
2	11/10/2021	Tabulasi penelitian terdahulu, penulisan proposal, pemesanan membran	
3	24/10/2021	Diskusi variasi penelitian, reaktor membran, metode sampling	
4	19/11/2021	Diskusi urutan operasi membran	
5	16/12/2021	Diskusi perizinan, pelaksanaan penelitian dan peralatan membran	
6	28/12/2021	Diskusi pelaksanaan penelitian membran	
7	7/01/2022	Diskusi hasil orientasi lapangan	
8	15/01/2022	Perbaikan tahapan operasi membran dan RAB	
9	3/01/2022	Pengecekan reaktor membran terendam	
10	7/02/2022	Diskusi peralatan dan perbaikan revisi proposal	
11	4/03/2022	Perbaikan reaktor membran	
12	10/03/2022	Uji coba membran secara terendam	
13	17/03/2022	Perbaikan reaktor membran untuk 3 sheets	
14	30/03/2022	Instalasi reaktor membran di PDAM dan uji coba operasi membran	
15	4/04/2022	Perbaikan variasi metode pencucian dan pengumpulan data sampel	
16	13/04/2022	Diskusi perubahan rangkaian reaktor membran	
17	14/05/2022	Perbaikan grafik, dan tabulasi laporan TA	
18	17/05/2022	Diskusi pelaksanaan operasi dan hasil kuantitas	
19	13/06/2022	Pembahasan hasil kualitas membran	
20	20/06/2022	Perbaikan analisis data dan pembuatan grafik, kesimpulan	

Surabaya, 26 Juni 2022
Dosen Pembimbing


(Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Virgina Jane Ujiane lahir di Purbalingga, 22 September 2000. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Santa Maria Purbalingga, SD Pius Purbalingga, SMPN 1 Kabupaten Purbalingga, SMAN 1 Kota Purwokerto dan melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Lingkungan FTSPK-ITS dan terdaftar dengan NRP 03211840000038. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif berorganisasi di Kelompok Pecinta Pemerhati Lingkungan (KPPL) ITS sebagai Staff Media Relasi pada periode 2019/2020 dan Kepala Divisi Multimedia Persekutuan Doa Teknik Lingkungan periode 2020/2021, serta menjadi asisten laboratorium Teknik Analisis Pencemar Lingkungan. Penulis pernah mengikuti pelatihan Understanding and Implementing Based on ISO 14001:2015 di tahun 2014. Selain itu, penulis juga aktif pada kegiatan kepanitiaan jurusan, fakultas maupun institut. Segala kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email virginajane22@gmail.com.