

Kajian Penerapan Membran Mikrofiltrasi Terendam pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Sidoarjo

Helma Alwiga Triskio Ronanda dan Bowo Djoko Marsono
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: bowodjok@enviro.its.ac.id

Abstrak—Air baku IPA Siwalanpanji PDAM Sidoarjo memiliki kandungan zat organik dan *E. coli* yang tinggi. Karena keterbatasan kinerja sistem pengolahan konvensional pada IPA Siwalanpanji, maka diterapkan pre-klorinasi untuk membunuh bakteri. Membran mikrofiltrasi (MF) terendam dapat menyisihkan bakteri, sehingga dapat menghemat biaya zat kimia untuk pre-klorinasi. Membran MF terendam juga memiliki kelebihan dibandingkan filter pasir cepat. Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kinerja dari filter pasir cepat IPA Siwalanpanji dan mengkaji peningkatan filter pasir cepat menjadi unit membran mikrofiltrasi terendam. Evaluasi menunjukkan bahwa kualitas air pada efluen filter pasir cepat pada parameter warna dan zat organik melebihi baku mutu air minum Permenkes No. 492 Tahun 2010. Sedangkan, kecepatan *backwash* dan nilai UFRV tidak memenuhi kriteria desain. Desain membran mikrofiltrasi terendam untuk menggantikan filter pasir cepat, yaitu membran berbentuk *flat sheet* dengan bahan *ceramic*. Membran memiliki ukuran pori 0,1 μm dan laju fluks 100 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hari}$. Kapasitas produksi sebesar 50 L/detik, maka jumlah membran yang dibutuhkan sebesar 288 *plate* yang disusun menjadi sebuah modul. Pompa yang digunakan untuk mengoperasikan membran MF terendam adalah pompa model FSDA dengan kapasitas 3 m^3/menit dan *head* 5 m. Modul dan pompa direncanakan masing-masing 2 buah dengan operasi secara bergantian yaitu proses filtrasi dan pencucian membran.

Kata Kunci—Air Minum, Filtrasi, IPA Siwalanpanji, Membran, Mikrofiltrasi, *Submerged Membrane*.

I. PENDAHULUAN

IPA Siwalanpanji menggunakan air baku yang berasal dari Afvoer Wilayat. Air pada Afvoer Wilayat ini berasal dari sisa air sawah dan buangan air limbah [1]. Air yang menjadi air baku pada IPA Siwalanpanji mengandung zat organik yang tinggi, sehingga kandungan mikroorganisme seperti bakteri koliform juga tinggi. Bakteri koliform seperti *E.coli* dapat tumbuh dengan baik pada beberapa jenis substrat dan karbohidrat. Bakteri tersebut juga dapat mengubah komponen dari zat organik sebagai sumber energi dan beberapa komponen nitrogen sederhana sebagai sumber nitrogen [2]. Karena proses konvensional tidak mengatasi hal tersebut, IPA Siwalanpanji melakukan proses preklorinasi sebelum unit koagulasi [3]. Proses klorinasi dapat berpotensi menghasilkan produk samping klorinasi seperti *trihalomethanes* (THM) dan *chloroform* yang bersifat karsinogenik. Produk samping terbentuk dari reaksi secara alami klorin dan zat organik yang terkandung pada air [4].

Saat ini pemisahan partikulat dengan teknologi membran mendapatkan banyak perhatian di bidang air minum. Membran mikrofiltrasi dapat mengurangi jumlah partikulat dengan efisiensi yang tinggi. Efisiensi dapat mencapai 99%

[5]. Membran mikrofiltrasi merupakan membran yang memiliki pori-pori sekitar 0,1 – 50 μm dan dapat menyaring partikel, bahan selular, dan mikroorganisme [6]. Penggunaan membran mikrofiltrasi dapat menyisihkan mikroorganisme seperti bakteri. Sehingga, IPA Siwalanpanji tidak perlu menerapkan pre-klorinasi dan dapat menghemat kebutuhan zat kimia. Pada teknologi membran, kualitas air efluen selalu lebih rendah dari standar air minum di Indonesia dan tidak terpengaruh adanya fluktuasi kekeruhan pada air baku [7]. Membran dengan tipe terendam (*submerged membrane*) memiliki biaya operasi lebih rendah dibandingkan tipe membran yang lainnya [8]. Sistem pengolahan dengan membran memiliki keuntungan yang lain yaitu membutuhkan lahan yang kecil [9]. Sehingga, membran dapat ditempatkan pada bak filter eksisting.

Selain itu, pihak bagian produksi IPA Siwalanpanji mengeluhkan kondisi instalasi, yaitu kurang efektifnya kinerja dari unit filter. Media filter IPA Siwalanpanji memiliki ukuran yang terlalu besar dan tidak homogen [10]. Media filter jarang dilakukan penggantian yang mengakibatkan terbentuknya gumpalan. Gumpalan pada media filter dapat membuat proses filtrasi tidak optimal dan kualitas efluen menurun [11]. Pada proses *backwash*, media filter dapat mengalami *intermixing* [12]. *Intermixing* pada media filter dapat meningkatkan *headloss* dan meningkatkan risiko penyumbatan (*clogging*) sehingga mengurangi interval antara *backwash*. Lama waktu *backwash* dapat mempengaruhi kinerja saat beroperasi. *Backwash* apabila terlalu cepat dapat menyebabkan tidak optimalnya penghilangan partikel yang berada saat beroperasi [13].

Oleh karena itu, maka diperlukan evaluasi terhadap kualitas air dan kinerja dari unit filtrasi di IPA Siwalanpanji, khususnya pada IPA 50 L/detik. Berdasarkan hasil dari evaluasi tersebut, maka dapat ditentukan dan direncanakan membran mikrofiltrasi terendam (*submerged microfiltration membrane*). yang akan meningkatkan pengolahan IPA.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan pada penelitian yaitu data proses dan operasional unit filter pasir cepat, data teknis bangunan filter pasir cepat, dan data kualitas air IPA Siwalanpanji. Data proses dan operasional dilakukan dengan cara pengamatan langsung di lapangan dan wawancara pada petugas IPA. Pengumpulan data teknis bangunan filter pasir cepat dilakukan dengan mengukur

Tabel 1.
Analisis Kualitas Air Baku

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Air Baku	Keterangan
Warna	TCU	15	216,50	Melebihi baku mutu
pH	-	6 - 9	7,45	Memenuhi baku mutu
E.coli	MPN/100 mL	100	>1600	Melebihi baku mutu
Sisa klor	mg/L	0,03	0,00	Memenuhi baku mutu

Tabel 2.
Analisis Kualitas Air Influen Filter.

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Influen Filter	Keterangan
Warna	TCU	15	20,33	Melebihi baku mutu
Kekeruhan	NTU	5	0,68	Memenuhi baku mutu
pH	-	6,5 - 8,5	7,37	Memenuhi baku mutu
E.coli	100 mL/sampel	0	0,00	Memenuhi baku mutu
Zat Organik (KMnO4)	mg/L	10	20,01	Melebihi baku mutu
Sisa klor	mg/L	5	6,50	Melebihi baku mutu
Mikroplastik	partikel/L	-	45,00	-

Tabel 3.
Analisis Kualitas Air Efluen Filter

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Efluen Filter	Keterangan
Warna	TCU	15	15,67	Melebihi baku mutu
Kekeruhan	NTU	5	0,40	Memenuhi baku mutu
pH	-	6,5 - 8,5	7,37	Memenuhi baku mutu
E.coli	100 mL/sampel	0	0,00	Memenuhi baku mutu
Zat Organik (KMnO4)	mg/L	10	17,38	Melebihi baku mutu
Sisa klor	mg/L	5	2,36	Memenuhi baku mutu
Mikroplastik	partikel/L	-	38,00	-

langsung di lapangan dan pengumpulan dari arsip IPA Siwalanpanji. Sedangkan, untuk pengumpulan data kualitas air IPA Siwalanpanji dilakukan dengan pengujian pada Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS.

Data sekunder yang digunakan pada penelitian adalah data kondisi umum wilayah, data Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK), peraturan perundang-undangan terkait penelitian, dan data spesifikasi membran. Data sekunder diperoleh dengan mengumpulkan dari beberapa sumber literatur.

B. Analisis Data

Analisis data dilakukan pada data yang telah terkumpul. Analisis dan pembahasan dilakukan dengan tujuan agar hasil dari proses pengolahan data dapat dibandingkan dengan teori yang mendasari ruang lingkup penelitian. Pengolahan data untuk kualitas air pada IPA Siwalanpanji yaitu pada air baku, air produksi, influen filtrasi, dan efluen filtrasi. Data kualitas air produksi, air influen filtrasi, dan air efluen filtrasi dibandingkan dengan baku mutu air minum Permenkes RI No. 492 Tahun 2010. Sedangkan, data kualitas air baku dibandingkan dengan PP No. 22 Tahun 2021.

Evaluasi kinerja dari unit filter pasir cepat IPA Siwalanpanji (IPA 50 L/detik) meliputi dimensi, debit, kecepatan filtrasi, media filter, kecepatan *backwash*, volume air untuk *backwash*, dan *unit filter run volume* (UFRV). Data dibandingkan dengan kriteria desain berdasarkan SNI 6774:2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air dan beberapa sumber literatur.

Hasil dari evaluasi digunakan untuk perencanaan membran mikrofiltrasi terendam. Perencanaan membran MF terendam dilakukan dengan cara:

1. Penentuan spesifikasi membran
Spesifikasi membran ditentukan berdasarkan parameter yang disisihkan, yaitu total bakteri koliform, *E. coli*, dan kekeruhan. Ukuran dari bakteri koliform sebesar 1 μm [14]. Spesifikasi membran diperoleh dari studi literatur.
2. Penghitungan volume permeat
Volume permeat dihitung berdasarkan fluks pada spesifikasi membran. Persamaan volume permeat:

$$\text{Volume permeat} \left(\frac{\text{L}}{\text{hari}} \right) = \text{Fluks permeat} \times \text{Luas permukaan membran}$$
3. Penghitungan jumlah membran yang dibutuhkan
Jumlah membran yang dibutuhkan dihitung dari kapasitas produksi rencana. Penghitungan jumlah membran yang dibutuhkan yaitu dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Jumlah membran} = \frac{\text{kapasitas produksi}}{\text{volume permeat per hari}}$$
4. Penyusunan modul membran
Modul membran disusun sesuai dengan perencanaan yang dilakukan.
5. Penghitungan kebutuhan pompa
Pompa yang digunakan untuk filtrasi pada membran MF terendam adalah pompa sentrifugal konvensional. Penghitungan pompa berdasarkan dari tekanan statis dari air baku dan tekanan transmempiran (TMP). Penentuan pompa disesuaikan dengan pompa yang ada di pasaran.
6. Pembuatan gambar desain membran MF terendam
Gambar perencanaan meliputi gambar denah bangunan, gambar potongan melintang dan memanjang, dan gambar detail unit membran MF terendam.

Tabel 4.
Analisis Kualitas Air Produksi

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Air Produksi	Keterangan
Warna	TCU	15	9,33	Memenuhi baku mutu
Kekeruhan	NTU	5	1,43	Memenuhi baku mutu
pH	-	6,5 - 8,5	7,27	Memenuhi baku mutu
E.coli	100 mL/sampel	0	0,00	Memenuhi baku mutu
Zat Organik (KMnO4)	mg/L	10	13,69	Melebihi baku mutu
Sisa klor	mg/L	5	5,32	Melebihi baku mutu

Tabel 5.
Efisiensi Penghilangan Unit Filter Pasir Eksisting

Parameter	Satuan	Influen Filter	Efluen Filter	Efisiensi Penghilangan
Warna	TCU	20,33	15,67	22,95%
Kekeruhan	NTU	0,68	0,40	41,46%
E.coli	100 mL/sampel	0,00	0,00	0,00%
Zat Organik (KMnO4)	mg/L	20,01	17,38	13,16%
Sisa klor	mg/L	6,50	2,36	63,64%
Mikroplastik	partikel/L	45,00	38,00	15,56%

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kualitas Air

Evaluasi dilakukan pada IPA Siwalanpanji 50 L/detik. Titik pengambilan sampel yaitu intake, influen filter, efluen filter, dan air produksi. Evaluasi sampel meliputi parameter kekeruhan, pH, warna, zat organik, sisa klor, E. coli, dan mikroplastik.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa kualitas air baku parameter warna dan *E.coli* melebihi baku mutu air sungai kelas I PP No. 22 Tahun 2021. Sedangkan, untuk parameter pH dan sisa klor sudah memenuhi baku mutu.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa untuk parameter warna, zat organik, dan sisa klor, air influen filter masih melebihi baku mutu air minum. Namun, parameter kekeruhan, pH, dan *E.coli* sudah memenuhi baku mutu. Mikroplastik juga ditemukan pada air influen filter yang mana sebesar 45 partikel/L.

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa untuk parameter warna dan zat organik melebihi baku mutu air minum. Sedangkan, parameter lainnya sudah memenuhi baku mutu. Namun, pada efluen filter ini yang selanjutnya masuk ke reservoir masih ditemukan mikroplastik dengan jumlah 38 partikel/L.

Dari analisis Tabel 4 dapat diketahui bahwa untuk parameter zat organik dan sisa klor masih melebihi baku mutu air minum. Sedangkan, parameter lainnya sudah memenuhi baku mutu.

Selanjutnya, penghitungan efisiensi penghilangan dari unit filtrasi berdasarkan hasil uji kualitas air. Efisiensi penghilangan dari unit filtrasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, efisiensi penghilangan dari unit filtrasi sekitar 10 – 60 %. Efisiensi penghilangan tertinggi



Gambar 1. Grafik Kualitas Air Produksi Tahun 2020.



Gambar 2. Skema Eksperimen alat penelitian Grafik Perbandingan Kualitas Air Baku dan Air Produksi Parameter Kekeruhan.

pada parameter sisa klor yaitu 63,64%.

Analisis kualitas air IPA Siwalanpanji juga dilakukan dengan data sekunder, yaitu data dari arsip IPA Siwalanpanji pada tahun 2020. Data dikonversi menjadi grafik.

Berdasarkan Gambar 1, selama tahun 2020 untuk parameter warna mengalami fluktuasi dimana kandungan warna pada air produksi tertinggi pada bulan Mei yaitu 9,50 TCU. Hasil kualitas air produksi pada IPA Siwalanpanji masih memenuhi baku mutu air minum pada semua parameter.

Perbandingan hasil kualitas air baku dengan air produksi dapat dilihat pada Gambar 2. Perbandingan ditunjukkan pada grafik untuk mengetahui kualitas air yang masuk ke instalasi dan air yang siap didistribusikan ke masyarakat. Parameter yang menjadi pembanding adalah kekeruhan.

Dari Gambar 2, dapat diketahui bahwa kekeruhan maksimum pada air baku pada bulan Januari, hal ini disebabkan karena bulan tersebut masuk musim hujan. Pada musim hujan kekeruhan pada air sungai meningkat. Proses pengolahan air pada IPA Siwalanpanji masih cukup bagus karena menghasilkan air produksi dengan kandungan kekeruhan yang rendah dan memenuhi baku mutu air minum.

B. Kinerja Filter Pasir Cepat

Pada tahap ini dilakukan evaluasi proses dan kinerja dari unit filtrasi pada IPA Siwalanpanji. Hal ini dimaksudkan untuk membandingkan kondisi eksisting dengan kriteria desain yang ada. Hasil dari evaluasi ini untuk mengetahui efektivitas dari kinerja unit filtrasi eksisting IPA Siwalanpanji.

Kondisi eksisting dari unit filtrasi pada IPA paket 50L/detik, yaitu:

1. Panjang bak : 2,2 m
2. Lebar bak : 1,8 m

Tabel 6.
Analisis Kinerja Filter Pasir Cepat IPA Siwalanpanji.

Parameter	Satuan	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain	Keterangan
Luas area filter	m ²	3,96	25 – 100	Tidak sesuai
Rasio P:L	-	1,2 : 1	2:1 – 4:1	Tidak sesuai
Kedalaman	m	4,7	4-8	Sesuai
Laju filtrasi	m ³ /m ² .jam	5,33	>5	Sesuai
Ketebalan media antrasit	mm	200	400 – 500	Tidak sesuai
Ketebalan media pasir	mm	400	300 – 400	Sesuai
Lama pencucian	menit	15	10 – 15	Sesuai
Periode pencucian	jam	8	18 – 24	Tidak sesuai
Kecepatan pencucian	m/jam	28,36	36 – 50	Tidak sesuai
Persentase air <i>backwash</i>	%	3,29	3 – 7	Sesuai
Unit Filter Run Volume (UFRV)	m ³ /m ²	215,26	300 – 500	Tidak sesuai

Tabel 7.
Perbandingan Kinerja Filter Pasir Cepat dan Membran Mikrofiltrasi Terendam

Parameter	Filter Pasir Cepat	Membran Mikrofiltrasi Terendam
Ukuran partikel yang dipisahkan	> 10 µm	> 0,1 µm
Aliran air	Lebih cepat	Lebih lambat
Mikroorganisme yang dipisahkan	Protozoa (4 – 100 µm)	Protozoa (4 – 100 µm) dan bakteri (0,2 – 1,0 µm)
<i>Total coliform</i>	Efisiensi penyisihan sebesar 17 - 50%	Efisiensi penyisihan sebesar 99,9%; 99,4 – 99,9%
Bakteri	Kurang efektif, diperlukan tahap sebelum dan sesudah untuk menghilangkan zat patogen dan mencegah pengotoran	Efektif dalam menghilangkan bakteri
Kekeruhan	Efisiensi penyisihan sebesar 70 - 80% ; 90 – 98%	Efisiensi penyisihan lebih dari 97%
<i>Natural Organic Matter</i> (NOM)	Efisiensi penyisihan sebesar 20 -35%	Efisiensi penyisihan sebesar 10%
Mikroplastik	Efisiensi penyisihan sebesar 73,8%; 75,49%	Efisiensi penyisihan sebesar 98%
<i>Backwash</i>	<i>Backwash</i> diperlukan untuk menjaga media filter tetap bersih	Perlu dilakukan <i>backwash</i> atau pembersihan filter membran jika sudah terlalu kotor
Operasi	Biaya operasi tinggi apabila menggunakan pompa untuk <i>backwash</i>	Biaya operasi tinggi untuk pemompaan air permeat (isap) dan <i>backwash</i>
Investasi	Biaya investasi tinggi	Biaya investasi tinggi
Operator	Hanya memerlukan keterampilan lokal dan pelatihan dasar untuk mengoperasikan	Keterampilan operator tingkat lanjut diperlukan untuk perawatan pra/pasca dan pembersihan membran

3. Tinggi bak : 4,7 m

Pada kondisi eksisting, debit air yang masuk pada IPA Paket 50 L/detik, yaitu sebesar 35,52 L/detik atau 127,86 m³/jam. Kemudian, evaluasi dilakukan pada parameter laju filtrasi, media filter, pencucian, dan *unit filter run volume* (UFRV).

Pada Tabel 6 kriteria desain laju filtrasi yaitu lebih dari 5 m³/m².jam. Sehingga, kecepatan filtrasi pada IPA Siwalanpanji sudah memenuhi. Kecepatan filter dapat mempengaruhi kualitas air produksi dan mempengaruhi lama dari operasi filter. Lama operasi penyaringan dapat diperpanjang dengan menambah ketinggian air di atas lapisan media filter.

Ketebalan media pasir sudah memenuhi kriteria desain, yaitu 300 – 600 mm. Namun, untuk ketebalan media antrasit masih belum memenuhi kriteria desain. Kriteria desain dari media antrasit sebesar 400 – 500 mm. Ketebalan media filter dapat meningkatkan efisiensi dari penghilangan partikel atau flok.

Kecepatan *backwash* pada bak filter IPA Siwalanpanji yaitu 28,36 m/jam. Sedangkan, kriteria desain dari kecepatan *backwash* adalah 36 – 50 m/jam. Sehingga, kecepatan *backwash* pada unit filtrasi ini masih belum memenuhi kriteria desain. Kecepatan *backwash* yang kurang dari kriteria desain dapat menyebabkan tidak optimalnya pembersihan media filter.

Unit filter run volume (URFV) sebesar 215,26 m³/m² masih belum memenuhi kriteria desain. Kriteria desain dari unit filter run volume yaitu sebesar 300 – 500 m³/m². Nilai

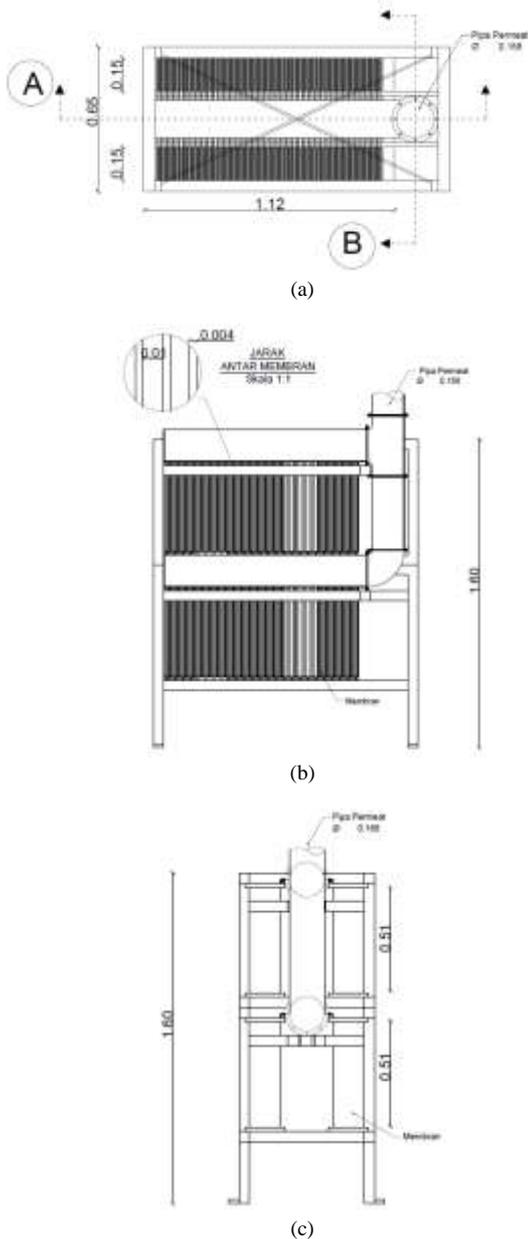
UFRV yang kurang dari kriteria tersebut dapat dilakukan evaluasi terhadap kondisi media filter. Evaluasi ini ditujukan agar dapat meminimalkan penambahan durasi dari pengoperasian filter dan *backwash*. Penambahan durasi *backwash* dapat mengurangi volume air produksi.

C. Perbandingan Kinerja Unit Filter Pasir Cepat dan Membran Mikrofiltrasi Terendam

Kinerja dari unit filter pasir cepat maupun membran mikrofiltrasi terendam (SMM) memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Adapun perbandingan dari filter pasir cepat dan SMM dengan berbagai parameter dapat dilihat pada Tabel 7.

D. Perencanaan Membran Mikrofiltrasi Terendam

Pemilihan membran yang digunakan pada perencanaan ini adalah membran mikrofiltrasi dengan ukuran 0,1 µm karena untuk menghilangkan bakteri yang berukuran lebih dari 0,2 µm. Membran berbentuk lembaran datar (*flat sheet*). Jenis membran yaitu keramik dengan bahan Alumunium (ii) oksida (Al₂O₃). Pemilihan membran keramik karena adanya beberapa kelebihan. Fluks yang dihasilkan membran keramik lebih tinggi karena porositas juga lebih tinggi dan permukaan membran lebih hidrofilik dibandingkan dengan jenis membran organik. Ketahanan dari membran keramik terhadap tekanan mekanis, termal, dan kimiawi memungkinkan adanya pemulihan kinerja membran yang lebih baik. Membran keramik dengan bahan Al₂O₃ secara



Gambar 3. (a) Denah Modul Membran, (b) Potongan-A Modul Membran, (c) Potongan-B Modul Membran

kimiawi sangat inert. Membran dapat digunakan pada kisaran pH 1 – 14. Sehingga, pembersihan kimia pada membran tidak menimbulkan masalah [15].

Membran memiliki laju fluks sebesar $100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ dengan luas filter aktif $0,15 \text{ m}^2$. Tekanan membran yaitu $-0,1$ hingga 3 bar . *Plate* membran memiliki dimensi panjang 510 mm , lebar 150 mm , dan ketebalan 4 mm . Membran dapat dioperasikan dalam suhu $10 - 75 \text{ }^\circ\text{C}$.

1) Volume Permeat

Dari spesifikasi membran, kemudian dilakukan penghitungan untuk mengetahui volume permeat yang dihasilkan membran setiap hari. Volume permeat dihitung berdasarkan laju fluks membran dan luas membran aktif. Membran dapat menghasilkan volume permeat sebesar 15.000 L/hari untuk setiap *plate* membran.

2) Jumlah Plate yang Dibutuhkan

Kapasitas produksi ditingkatkan dari $35,52 \text{ L/detik}$ menjadi 50 L/detik atau sekitar 140% dari kapasitas sebelumnya. Kapasitas produksi ditingkatkan dengan

mempertimbangkan dari kapasitas unit sedimentasi dan unit flokulasi pada IPA Paket Siwalanpanji. Dari penghitungan, kapasitas maksimum yang bisa diolah pada unit sedimentasi adalah $54,33 \text{ L/detik}$ dan unit flokulasi sebesar $60,76 \text{ L/detik}$. Maka, kapasitas produksi yang dipilih adalah 50 L/detik .

Jumlah *plate* membran yang dibutuhkan pada kapasitas produksi 50 L/detik yaitu 288 buah. Selanjutnya, *plate* membran disusun menjadi sebuah modul membran.

3) Dimensi Modul Membran

Plate membran disusun menjadi sebuah modul. Modul direncanakan sebanyak 1 buah dan 2 tingkat. Dimensi modul membran dari penghitungan didapatkan panjang $1,12 \text{ m}$, lebar $0,65 \text{ m}$, dan tinggi $1,60 \text{ m}$. Modul membran dapat dilihat pada Gambar 3.

4) Jumlah Bak Filter yang Dibutuhkan

Jumlah filter yang digunakan untuk membran mikrofiltrasi terendam hanya 1 bak. Hanya sekitar 6% dari volume bak yang digunakan untuk membran mikrofiltrasi terendam. Untuk proses pencucian maka diperlukan adanya 2 modul membran. Dua modul membran beroperasi secara gantian, sehingga proses pengolahan air tidak terhenti. Membran mikrofiltrasi terendam juga menghemat area untuk pengolahan. Sedangkan, untuk luas bak filter yang dibutuhkan membran hanya sebesar $18,36\%$. Gambar 4 menunjukkan penempatan dari modul membran di bak filter pasir cepat eksisting IPA Siwalanpanji.

5) Pencucian Membran Mikrofiltrasi Terendam

Kondisi operasi yang optimal untuk membran filtrasi terendam yaitu pada waktu filtrasi 30 menit, waktu *backwash* selama 2 menit dengan kecepatan *backwash* sebesar $4,15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{detik}$ [16]. Volume air yang digunakan untuk *backwash* berdasarkan kondisi optimal adalah $10,33 \text{ m}^3/\text{hari}$. Volume tersebut hanya $0,24 \%$ dari air produksi, dimana kebutuhan air tersebut lebih rendah dibandingkan filter pasir cepat yang membutuhkan $3,29 \%$ dari air produksi.

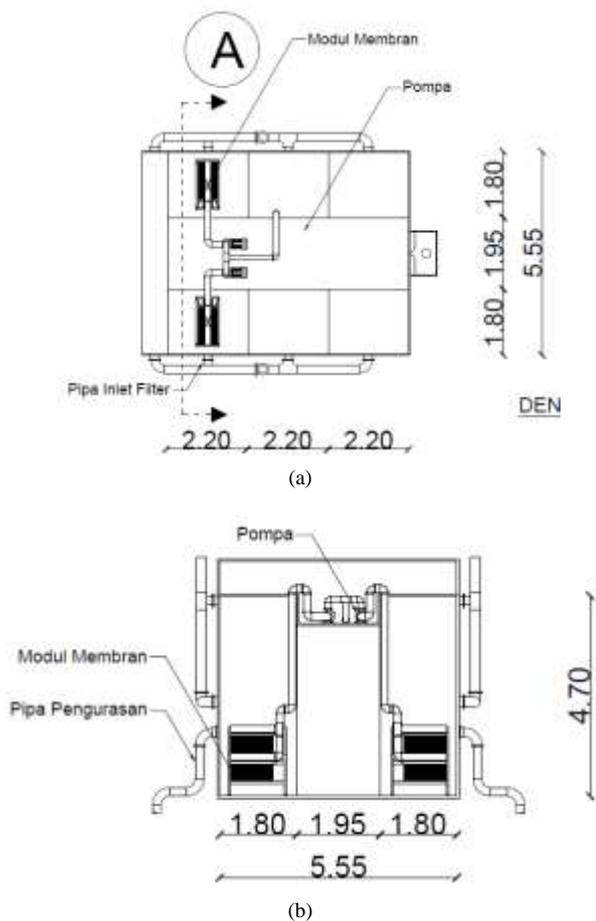
6) Pompa

Pada perencanaan membran mikrofiltrasi terendam ini terdapat dua pompa yang dioperasikan bergantian untuk proses pencucian membran. Sebelum penghitungan pompa, dilakukan penghitungan pipa *suction* dan pipa *discharge* yang digunakan untuk proses filtrasi pada membran. Pipa yang didapatkan dari hasil penghitungan yaitu *pipa stainless steel* dengan diameter dalam $161,48 \text{ mm}$ atau 6 inch dan ketebalan dinding $3,4 \text{ mm}$.

Kemudian, dilakukan penghitungan *head* untuk menentukan pompa. Pompa yang digunakan berdasarkan kapasitas produksi dan *head* yang dibutuhkan adalah pompa dengan tipe FSDA 4HA55.5. Pompa memiliki kapasitas $3 \text{ m}^3/\text{menit}$ dan *head* 5 m . Daya pompa isap pompa yang dinyalakan selama 24 jam yaitu 132 kWh per hari. Sedangkan, kebutuhan daya listrik untuk *backwash* selama 96 menit per hari yaitu $8,8 \text{ kWh/hari}$.

7) Proses Operasional Membran Mikrofiltrasi Terendam

Membran mikrofiltrasi terendam direncanakan terdapat dua modul membran. Membran direndam dalam bak filtrasi dengan volume $18,61 \text{ m}^3$. Tekanan maksimum yang diterapkan pada modul membran adalah 3 bar atau 300 kPa dan tekanan minimum sebesar $-0,1 \text{ bar}$ atau -10 kPa . Unit filtrasi membran dioperasikan dengan siklus berikut: filtrasi



Gambar 4. (a) Denah Penempatan Membran, (b) Potongan-A Penempatan Membran

30 menit, waktu *backwash* selama 2 menit dengan kecepatan *backwash* sebesar $4,15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{detik}$. Selama periode filtrasi, filtrasi dilakukan dengan laju aliran yang konstan. Ketinggian air juga dijaga konstan yaitu 4,7 m.

Selain pembersihan fisik, pembersihan membran secara kimia juga dilakukan dalam 1 kali per minggu. Pada saat pembersihan kimia, bak filter dikuras untuk membersihkan partikel yang tersisihkan oleh membran mikrofiltrasi terendam. Sehingga, beban membran mikrofiltrasi dapat berkurang. Pembersihan membran secara kimia juga disebut sebagai *enhanced flux maintenance* (EFM). Larutan pembersih kimia yang digunakan adalah Natrium hipoklorit (NaOCl) sebesar 500 mg/L dan dimasukkan ke dalam bak filter selama 60 menit. Permeat diisap oleh pompa sentrifugal dengan tekanan minimum -0,1 bar dan tekanan maksimum 3 bar untuk proses *backwash*. Kebutuhan NaOCl 0,5% (NaOCl yang tersedia di pasaran) untuk setiap proses pembersihan membran yaitu 570,24 liter.

8) Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan Biaya Operasional Membran Mikrofiltrasi Terendam

Setelah proses penghitungan desain dan diperoleh gambaran desain dari membran mikrofiltrasi terendam, penghitungan dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai pertimbangan bagi IPA Siwalanpanji PDAM Sidoarjo dalam pembangunan membran mikrofiltrasi terendam. Proses penghitungan dari RAB didasarkan pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Pemerintah Kota Surabaya Tahun 2020. Berdasarkan penghitungan RAB membran mikrofiltrasi terendam diperoleh bahwa anggaran

untuk investasi adalah Rp 105.878.419,94.

Biaya operasional untuk membran adalah biaya untuk pembersihan secara kimiawi, biaya pompa untuk pengisapan permeat, dan biaya pompa untuk *backwash*. Biaya operasional untuk membran mikrofiltrasi terendam adalah sebesar Rp 26.631.052,80 setiap bulan. Sedangkan, biaya operasional pada IPA Siwalanpanji adalah biaya untuk pembubuhan $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ atau Kalsium hipoklorit dan biaya listrik pompa pre-klorinasi. Biaya operasional IPA Siwalanpanji untuk pre-klorinasi adalah Rp 32.399.398,95 setiap bulan.

Biaya operasional pada membran mikrofiltrasi terendam lebih rendah dibandingkan dengan biaya operasional untuk pre-klorinasi. Biaya operasional membran dapat menghemat Rp 5.768.346,15 per bulan dibandingkan dengan biaya operasional pre-klorinasi pada IPA Siwalanpanji.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini, yang pertama adalah kualitas air minum yang dihasilkan IPA Siwalanpanji memenuhi baku mutu air minum Permenkes RI No. 492 Tahun 2010, kecuali kandungan zat organik. Selanjutnya, penggantian media filter pasir oleh membran MF terendam dengan kapasitas produksi 50 L/detik, dibutuhkan 288 buah *plate* membran. *Plate* membran disusun menjadi sebuah modul dengan dimensi yaitu panjang 1,12 m, lebar 0,65 m, dan tinggi 1,60 m. Untuk operasi dan proses pencucian membran, maka direncanakan menjadi 2 buah modul. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan kapasitas $3 \text{ m}^3/\text{menit}$ dan *head* sebesar 5 m. Pompa direncanakan terdapat 2 buah yang beroperasi secara bergantian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Bupati Sidoarjo Provinsi Jawa Timur No. 86 Tahun 2019, *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Sidoarjo Tahun 2018-2037*, vol. 8, no. 5. 2019.
- [2] U. Suriawiria, *Pengantar Mikrobiologi Umum*. Bandung: Penerbit Angkasa, 1996.
- [3] F. P. E. Riyanty and H. Indarjanto, "Kajian Dampak Proses Pengolahan Air di IPA Siwalanpanji Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, pp. D86–D90, 2015.
- [4] H. Gallard and U. von Gunten, "Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation," *Water Res.*, vol. 36, no. 1, pp. 65–74, 2002.
- [5] L. Zhang, L. Zhang, and Y. Zhang, *The Integrative Process of Flocculation and Submerged Membrane Filtration for Drinking Water Supply*. Springer Singapore, 2018.
- [6] E. Nagy, "Membrane Materials, Structures, and Modules," *Basic Equations Mass Transp. Through a Membr. Layer*, no. 1, pp. 11–19, 2019, doi: 10.1016/b978-0-12-813722-2.00002-9.
- [7] T. Miyoshi *et al.*, "Low-cost water treatment system using submerged membrane filtration in developing countries," *Desalin. Water Treat.*, vol. 57, no. 39, pp. 18101–18108, 2016, doi: 10.1080/19443994.2015.1094419.
- [8] A. M. Yakobus, "Aplikasi Bioreaktor Membran pada Pengolahan Air Limbah dan Lindi TPA," *Teknik Kimia*, Bandung, 2016.
- [9] R. Singh and N. P. Hankins, "Introduction to Membrane Processes for Water Treatment," in *Emerging Membrane Technology for Sustainable Water Treatment*, Elsevier B.V., 2016, pp. 15–52.

- [10] M. H. Padrian and M. F. A. Effendy, "Studi Pengolahan Air Minum di IPA Siwalanpanji PDAM Delta Tirta Sidoarjo," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [11] F. Qu *et al.*, "A pilot study of hybrid biological activated carbon (BAC) filtration-ultrafiltration process for water supply in rural areas: role of BAC pretreatment in alleviating membrane fouling," *Environ. Sci. Water Res. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 315–324, 2018.
- [12] D. D. Atmojo and R. Wulandari E., "Kajian Unit Pengolahan Air Minum Instalasi Penjernihan Air Minum Ngagel III PDAM Surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2004.
- [13] B. D. Marsono, "Evaluasi Kinerja Filter Cepat di PDAM Sidoarjo Dengan Metoda Filter Coring," *J. Purifikasi*, vol. 16, no. 2, 2016.
- [14] L. Huisman and W. E. Wood, *Slow sand filtration*. World Health Organization, 1974.
- [15] S. R. H. Abadi, M. R. Sebzari, M. Hemati, F. Rekabdar, and T. Mohammadi, "Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater," *Desalination*, vol. 265, no. 1–3, pp. 222–228, 2011, doi: 10.1016/j.desal.2010.07.055.
- [16] K. J. Hwang, C. S. Chan, and K. L. Tung, "Effect of backwash on the performance of submerged membrane filtration," *J. Memb. Sci.*, vol. 330, no. 1–2, pp. 349–356, 2009, doi: 10.1016/j.memsci.2009.01.012.