

Evaluasi Unit Filtrasi IPAM Ngagel II Surabaya

Siti Kayyisa Nakhwa Endjani¹, Okik Hendriyanto Cahyonugroho^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Koresponden email: okikhc@upnjatim.ac.id

Diterima: 22 Mei 2024

Disetujui: 7 Juni 2024

Abstract

IPAM Ngagel II Surabaya is one of the drinking water treatment plants managed by PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, which was established in 1959 with a production capacity of 1000L/second. At IPAM Ngagel II, there are several treatment units consisting of intake, pre-sedimentation, accelerator, filtration and disinfection. The aim of this research is to evaluate the filtration unit as an optimisation effort to increase production capacity. The research was carried out by analysing the filtration performance to see the efficiency of removing turbidity and organic matter. The existing condition of the filtration unit was then compared with standard filtration unit design criteria. Water samples were taken in the morning for 20 days by testing the quality of the raw water and the effluent at the pre-sedimentation, accelerator and filtration treatment units. Based on the analysis results, the turbidity removal efficiency is more than 70% on average, while the organic matter removal efficiency is less than 20% on average. The way to optimise the filtration unit is not to change the condition of the existing unit, as the quality of the produced water still meets the standards, but it is necessary to check the height of the filter media and to replace single media with double media.

Keyword: *water treatment, filtration, evaluate, filter, design criteria*

Abstrak

IPAM Ngagel II Surabaya merupakan salah satu instalasi pengolahan air minum yang dikelola oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang berdiri sejak tahun 1959 dengan kapasitas produksi 1000L/detik. Terdapat beberapa unit pengolahan di IPAM Ngagel II yang terdiri dari intake, prasedimentasi, accelator, filtrasi, dan desinfeksi. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengevaluasi unit filtrasi sebagai upaya pengoptimalan dalam meningkatkan kapasitas produksi. Penelitian dilakukan dengan menganalisis kinerja filtrasi untuk melihat efisiensi penyisihan kekeruhan dan zat organiknya. Kemudian membandingkan antara kondisi eksisting unit filtrasi dengan standar kriteria desain unit filtrasi. Pengambilan sampel air dilakukan pada waktu pagi hari selama 20 hari dengan menguji kualitas air baku dan outlet pada unit pengolahan prasedimentasi, accelator dan filtrasi. Berdasarkan dari hasil analisa, efisiensi penyisihan kekeruhan memiliki rata-rata lebih dari 70% sedangkan efisiensi penyisihan zat organik memiliki rata-rata kurang dari 20%. Bentuk optimalisasi pada unit filtrasi yaitu dengan tidak mengubah kondisi unit bangunan yang sudah ada karena kualitas air hasil produksi yang masih memenuhi standar namun diperlukan adanya pengecekan tinggi media filter dan penggantian single media menjadi dual media.

Kata kunci: *pengolahan air, filtrasi, evaluasi, filter, kriteria desain*

1. Pendahuluan

PDAM Surya Sembada Surabaya adalah badan usaha milik daerah yang bergerak di bidang pengelolaan dan pendistribusian air bersih bagi masyarakat wilayah Kota Surabaya. IPAM Ngagel II Surabaya merupakan salah satu instalasi pengolahan air minum yang dikelola oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang berdiri sejak tahun 1959 dengan kapasitas produksi 1000L/detik. IPAM Ngagel II mengolah air baku yang berasal dari hulu Sungai Kali Jagir hingga menjadi air bersih yang telah memenuhi persyaratan baku mutu PERMENKES No. 2 Tahun 2023 baik secara fisik, kimia, maupun biologi. Namun PDAM menetapkan standar baku mutu yang lebih ketat untuk parameter kekeruhan yaitu 1,5 NTU. Tujuan standar yang ketat ini adalah untuk memastikan bahwa kualitas air yang diberikan kepada pelanggan benar-benar memenuhi standar PERMENKES No. 2 Tahun 2023 karena saat proses distribusi ke pelanggan parameter kekeruhan dan zat organik cenderung mengalami peningkatan [1].

Kebutuhan akan air bersih terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di Kota Surabaya. PDAM Kota Surabaya berupaya untuk meningkatkan kapasitas produksi demi memenuhi kebutuhan air bersih warga Surabaya. Peningkatan kapasitas produksi menyesuaikan dengan kemampuan unit pengolahan dan kualitas efluen dari masing-masing unit untuk memperkirakan besarnya debit air baku

yang akan diolah. Unit pengolahan pada IPAM Ngagel II yang terdiri dari intake, prasedimentasi, accelerator, filtrasi, dan desinfeksi. Proses koagulasi dan flokulasi merupakan proses pengolahan air yang paling umum digunakan dengan menggabungkan antara proses penyerapan dan netralisasi muatan [2]. Koagulasi yakni proses penetralan partikel dalam air dengan cara mencampurkan koagulan serta pengadukan secara cepat sehingga terbentuk microflok sedangkan flokulasi adalah proses pembentukan makroflok dengan cara pengadukan lambat agar partikel yang ada dalam air mengendap dengan cepat [3]. Flok yang terbentuk pada proses koagulasi flokulasi akan mengendap secara gravitasi yang disebut juga proses sedimentasi. Pada IPAM Ngagel II proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi terjadi pada unit accelerator dengan tipe pengadukan mekanis dan koagulan berupa tawas. Kualitas air yang dihasilkan dari proses yang terjadi di unit accelerator akan memengaruhi kinerja filtrasi. Filtrasi merupakan sistem penyaringan air melalui media berpori guna menghilangkan zat-zat tersuspensi serta koloid dalam air dengan memanfaatkan bahan penyaring[4].

Pada penelitian ini berfokus pada analisa kondisi unit filtrasi karena ditemukan perbedaan kualitas filtrat yang cukup signifikan pada masing-masing bak filtrasi. Untuk itu diperlukan analisis kondisi eksisting unit filtrasi sehingga dapat mengetahui kinerja dari filter yang digunakan dan selanjutnya dapat dilakukan evaluasi dengan membandingkan antara kondisi eksisting unit dengan standar kriteria desain. Hasil evaluasi tersebut dapat digunakan sebagai upaya pengoptimalan untuk meningkatkan kapasitas produksi.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data pada penelitian ini yaitu metode analisis dengan data primer dan sekunder. Pengambilan data primer dilakukan pada pukul 09.30 selama 20 hari yaitu menguji kualitas air baku dan outlet unit pengolahan seperti prasedimentasi, accelerator, dan filtrasi. Data primer yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil perhitungan nilai removal kekeruhan dan nilai permanganat. Analisa zat organik menggunakan metode titrasi permanganometri dengan hasil berupa nilai permanganat yaitu jumlah $KMnO_4$ yang dibutuhkan untuk menyisihkan zat organik pada setiap 1000mL sampel air. Nilai permanganat dapat dihitung menggunakan persamaan rumus seperti berikut [5]:

$$KMnO_4(mg/L) = \frac{[(10+a)b-(10 \times c)]1 \times 31,6 \times 1000}{d} \times f \quad (1)$$

Dengan:

a = Volume $KMnO_4$ yang dibutuhkan pada titrasi (mL)

b = Normalitas $KMnO_4$ (N)

c = Normalitas asam oksalat (N)

d = Volume sampel uji (mL)

f = Faktor pengencer sampel uji

Pengenceran adalah penambahan sejumlah pelarut pada larutan pekat dengan volume dan konsentrasi tertentu untuk menghasilkan larutan yang lebih encer [6]. Faktor pengenceran adalah rasio antara volume larutan pekat dengan pelarut. Jika tidak dilakukan pengenceran maka volume awal dan akhir nilainya sama sehingga $fp=1$.

Pada penelitian ini data sekunder berupa perhitungan kriteria desain kondisi eksisting unit filtrasi IPAM Ngagel II Surabaya. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara data sekunder dengan standar kriteria desain yaitu SNI 6774:2008, Spesifikasi Teknik Pasir Silika PDAM Surabaya, dan studi literatur. Hasil evaluasi tersebut dapat digunakan sebagai upaya pengoptimalan untuk meningkatkan kapasitas produksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Kualitas Air Baku

Hasil pengujian kekeruhan dan zat organik pada air baku IPAM Ngagel II selama 20 hari dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kualitas air baku berdasarkan kekeruhan dan zat organik

No	Hari/tanggal	Waktu Sampling	Kekeruhan (NTU)	Zat Organik, $KMnO_4$ (mg/L)
1	Kamis, 21 Maret 2024	09.30	17,6	15,17
2	Jumat, 22 Maret 2024	09.30	19,6	17,85
3	Senin, 25 Maret 2024	09.30	23,9	18,17

No	Hari/tanggal	Waktu Sampling	Kekeruhan (NTU)	Zat Organik, KMnO ₄ (mg/L)
4	Selasa, 26 Maret 2024	09.30	50,5	17,38
5	Rabu, 27 Maret 2024	09.30	42,8	16,59
6	Kamis, 28 Maret 2024	09.30	26	14,85
7	Senin, 01 April 2024	09.30	27,4	15,96
8	Selasa, 02 April 2024	09.30	38	28,12
9	Rabu, 03 April 2024	09.30	84,1	24,96
10	Selasa, 16 April 2024	09.30	48,9	21,17
11	Rabu, 17 April 2024	09.30	41,1	20,38
12	Kamis, 18 April 2024	09.30	39,8	17,54
13	Jumat, 19 April 2024	09.30	46,3	22,91
14	Senin, 22 April 2024	09.30	34,3	17,38
15	Selasa, 23 April 2024	09.30	70,4	21,01
16	Rabu, 24 April 2024	09.30	55,6	21,33
17	Kamis, 25 April 2024	09.30	62	24,49
18	Jumat, 26 April 2024	09.30	66	22,75
19	Senin, 29 April 2024	09.30	26,2	15,17
20	Selasa, 30 April 2024	09.30	34,3	18,49

Sumber: Hasil penelitian, 2024

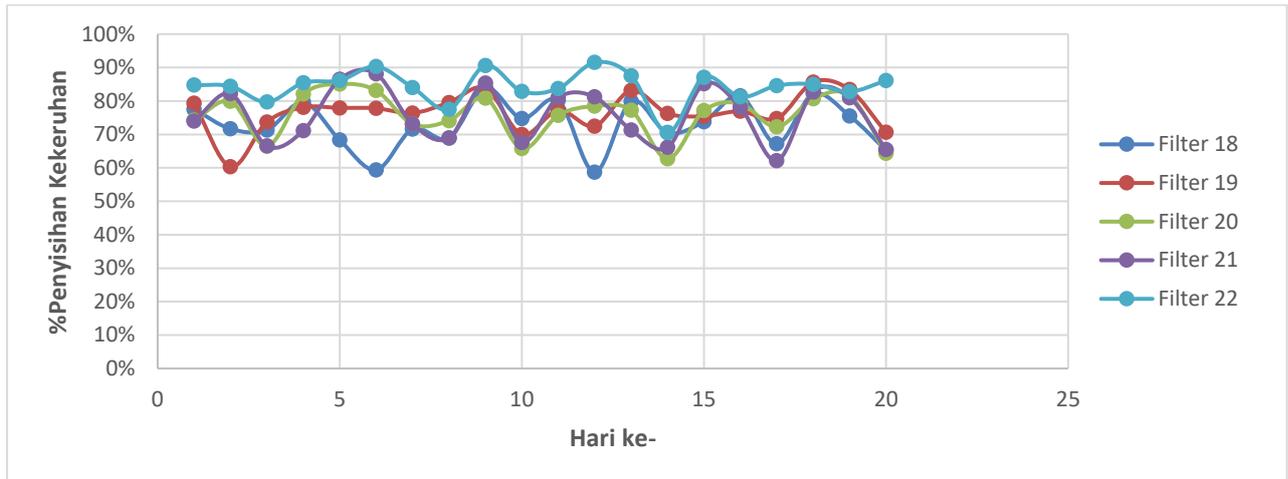
PDAM Kota Surabaya menggunakan standar maksimal air baku berdasarkan PP No.22 Tahun 2021 dengan kriteria mutu air sungai dan sejenisnya berdasarkan Kelas II. Pada peraturan tersebut tidak terdapat standar baku mutu yang mengatur tentang batas maksimal parameter kekeruhan dan zat organik pada air baku. Namun telah ditetapkan standar parameter kekeruhan maksimal sebesar 200 NTU dan zat organik sebesar 20 ppm KMnO₄ [7]. Berdasarkan hasil pengujian di atas dapat diketahui bahwa rata-rata parameter kekeruhan dan zat organik air baku masih memenuhi standar baku mutu PDAM.

3.2 Kondisi Eksisting Unit Filtrasi

Jenis filtrasi yang digunakan oleh IPAM Ngagel II Surabaya yaitu saringan pasir cepat dengan single media berupa pasir silika. Harga yang relatif terjangkau menjadi salah satu alasan dipilihnya pasir silika sebagai media filter di IPAM Ngagel II. Unit filtrasi IPAM Ngagel II terdiri dari 22 bak filtrasi dengan dimensi panjang, lebar, dan kedalaman sebesar 10x3,6x1,5 meter. Untuk pemeliharaan unit filtrasi maka dilakukan backwash atau pencucian pada media filter dengan menggunakan blower selama 15 menit dengan periode 24 jam. Blower menghembuskan udara untuk melepaskan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaan media filter, kemudian dilanjutkan dengan proses backwash yaitu membilas media filter menggunakan air agar kotoran-kotoran yang sudah terlepas dapat mengalir menuju gutter (saluran pembuangan).

Setiap hari dilakukan pengujian pH, kekeruhan, dan zat organik KMnO₄ pada filtrat untuk memantau kinerja filtrasi. Penyisihan kekeruhan filtrasi berkisar antara 70-85% sedangkan penyisihan zat organik sebesar 16-20%.

3.3 Efisiensi Unit Filtrasi Berdasarkan Nilai Removal Kekeruhan dan Zat Organik



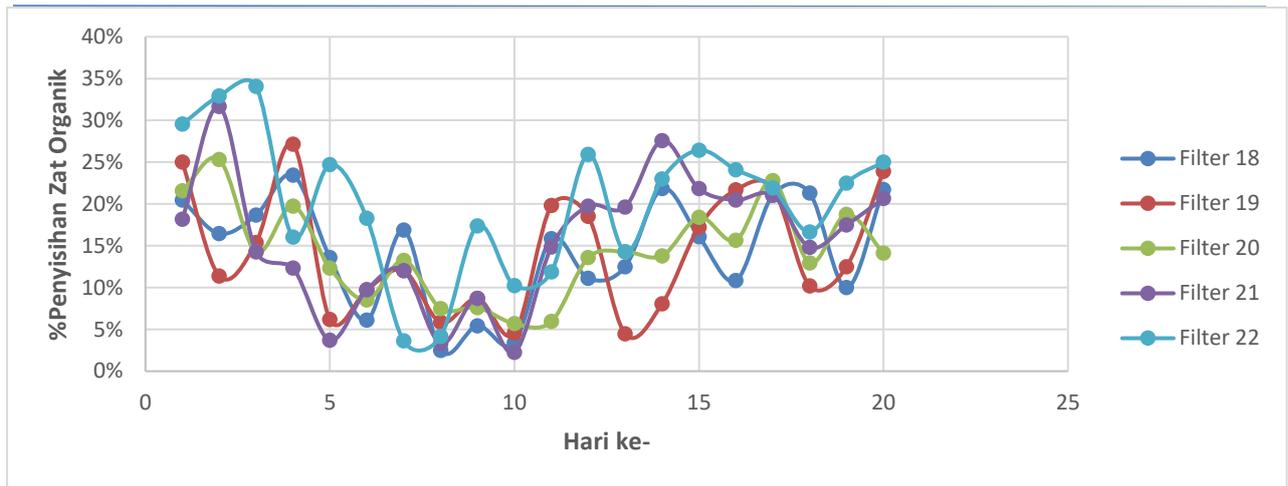
Gambar 1. Pengaruh waktu sampling dan unit filtrasi terhadap persentase penyisihan kekeruhan
Sumber: Hasil penelitian, 2024

Dari kelima bak filter tersebut menunjukkan bahwa penyisihan kekeruhan yang paling optimum terletak pada filter nomor 22 dengan rata-rata sebesar 84%. Sebaliknya penyisihan kekeruhan minimum sebesar 73% pada filter nomor 18. Meskipun demikian, kinerja pada unit filtrasi IPAM Ngagel II sudah cukup baik jika dilihat berdasarkan nilai penyisihannya yang memiliki persentase rata-rata diatas 70%. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa penurunan yang signifikan terlihat pada filter nomor 18 di hari ke-6 dan 12 dengan nilai removal sebesar 59% dan filter nomor 19 pada hari ke-2 dengan nilai removal sebesar 60%. Hal tersebut dapat terjadi karena penyumbatan pada media filter sehingga proses filtrasi bekerja kurang optimal. Saat proses filtrasi berlangsung, media filter lama kelamaan akan mengalami penyumbatan (*clogging*) karena partikel yang terperangkap di media filter. Hal tersebut menyebabkan peningkatan hilangnya air pada media filter (*headloss*) yang ditandai dengan naiknya permukaan air pada media dan penurunan debit filtrasi [8]. Untuk menghindari terjadinya *clogging* maka dilakukan pencucian media filter (*backwash*) sesuai dengan SOP yang berlaku.

Pada filter nomor 22 menunjukkan kinerja filtrasi paling optimum dibandingkan dengan keempat filtrasi lainnya karena karakteristik media filter yang masih bekerja secara optimal. Tanda tersumbatnya media filter dapat dilihat pada kondisi dan ketinggian permukaan air. Sebagian besar filter yang diuji menunjukkan adanya flok-flok yang mengambang di atas permukaan air. Namun pada filter nomor 22 tidak ditemukan adanya tanda-tanda tersebut.

Ukuran diameter butiran media dapat berpengaruh pada porositas, kecepatan filtrasi, daya saring dan daya adsorpsi pada air. Kemampuan penyerapan air bergantung pada besar kecilnya ukuran diameter butiran pasir. Ukuran pasir yang semakin kecil memiliki struktur agregat atau kelompok mineralnya yang lebih padat sehingga kualitas filtrat akan semakin baik [9].

Selanjutnya dilakukan pengujian nilai permanganat dengan metode titrimetri guna mengetahui efisiensi filtrasi berdasarkan penyisihan zat organik. Berikut ini adalah nilai permanganat dan persentase penyisihan yang diperoleh:



Gambar 2. Pengaruh waktu sampling dan unit filtrasi terhadap persentase penyisihan zat organik
Sumber: Hasil penelitian, 2024

Dari grafik **Gambar 2** di atas dapat dilihat bahwa penyisihan zat organik optimum terletak pada bak filter nomor 22 dengan rata-rata sebesar 20% dan penyisihan minimum sebesar 12% pada bak filter nomor 18. Rata-rata penyisihan zat organik dari kelima bak filter tersebut kurang dari 20%.

Pengambilan sampling dilakukan pada tanggal 21 Maret-30 April 2024 yang pada saat itu memasuki musim kemarau. Hasil pengujian air baku berdasarkan **Tabel 1** menunjukkan nilai kekeruhan dan zat organik yang terbilang rendah sehingga penyisihan yang diperoleh juga rendah. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan dijelaskan bahwa adanya pengaruh cuaca terhadap penyisihan kekeruhan dan zat organik [1][10]. Hal ini dikarenakan kualitas air sungai yang berubah saat terjadinya hujan. Beban pencemar akan meningkat seiring dengan besarnya curah hujan karena air limpasan yang mengandung senyawa organik di permukaan akan masuk ke dalam air sungai[11]. Selain itu hujan dapat meningkatkan kekeruhan dan perubahan warna pada air karena terjadi pengikisan pada badan sungai dan proses hamburan sedimentasi [12].

Unit filtrasi di IPAM Ngagel II berfokus untuk menyisihkan kekeruhan sedangkan penyisihan zat organik difokuskan pada proses koagulasi dan desinfeksi. Proses koagulasi memudahkan proses filtrasi karena zat organik yang telah diserap oleh tawas menjadi makroflok dan akan mudah mengendap saat proses sedimentasi, sehingga mengurangi beban penyaringan [13]. Adanya gas klor sebagai desinfektan akan mereduksi zat organik atau zat patogen yang masih tersisa dari proses filtrasi sehingga terbentuk sisa klor atau klor bebas

3.4 Evaluasi dan Optimalisasi Berdasarkan Kriteria Desain

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan antara kondisi eksisting unit filtrasi IPAM Ngagel II dengan standar kriteria desain. Beberapa parameter sudah memenuhi kriteria tetapi ada dua parameter yang belum memenuhi kriteria desain yaitu kecepatan penyaringan dan kedalaman unit filtrasi. Kecepatan filtrasi yang rendah dapat disebabkan oleh media filter yang kotor karena terjadi penyumbatan pada lubang pori filter sehingga laju filtrasi menjadi melambat. Kecepatan penyaringan merupakan aspek penting yang sangat berpengaruh pada proses filtrasi. Kecepatan filtrasi dapat mempengaruhi kualitas air produksi dan lama dari operasi filter [17].

Tabel 2. Perbandingan kondisi eksisting unit filtrasi IPAM Ngagel II dengan kriteria desain

Kriteria Desain	Spek Teknis PDAM	Hasil Analisa	Keterangan
Kecepatan penyaringan	6-11 m/jam	5,01 m/jam	Tidak memenuhi
Sistem pencucian	Tanpa/dengan blower surfacewash	Dengan blower surfacewash	-
Lama pencucian	10-15 menit	15 menit	Memenuhi
Periode antara pencucian	18-24 jam	24 jam	Memenuhi
Luas area filter	25-100 m ²	36 m ²	Memenuhi
Kedalaman	4-8 m	1,5 m	Tidak memenuhi
Effective size	1,4-2 mm	1,8 mm	Memenuhi
Uniformity coefficient	1,2-1,4	1,28	Memenuhi
Ukuran butiran	1,4-3 mm	2,84 mm	Memenuhi

Sumber: [14-16]

Besarnya kecepatan filtrasi akan berpengaruh pada proses filtrasi. Pergerakan butiran media akan menutup lubang pori sehingga akan mempercepat terjadinya clogging [18]. Menentukan kedalaman unit bangunan filtrasi akan berpengaruh pada ukuran tinggi media filter. Ketinggian media filter mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan kekeruhan dan penurunan *headloss*. Semakin tinggi media filter maka penyisihan kekeruhan akan semakin baik namun *headloss* yang dihasilkan akan semakin besar karena rongga antar partikel akan semakin besar seiring dengan tingginya media filter sehingga memungkinkan lebih banyak partikel yang ditangkap oleh media filter dan menghasilkan penyisihan yang semakin baik [19].

Bentuk optimalisasi pada unit filtrasi IPAM Ngagel II dilakukan dengan tidak mengubah kondisi unit bangunan yang sudah ada karena kualitas air hasil produksi masih memenuhi standar baku mutu PDAM Surabaya yaitu kurang dari 1,5 NTU untuk kekeruhan dan kurang dari 5mg/L untuk zat organik KMnO₄. Selain itu efisiensi penyisihan kekeruhan dan zat organik hasil penelitian masih berada dalam kisaran efisiensi eksisting filtrasi. Namun diperlukan adanya peningkatan kecepatan filtrasi agar sesuai dengan kriteria desain yaitu pengecekan ketinggian media filter yang sesuai dengan standar IPAM Ngagel II yaitu 90cm. Semakin tinggi media filter maka proses filtrasi akan semakin lama sehingga akan memperlambat kecepatan filtrasi dan juga sebaliknya [20]. Upaya lain yang dapat dilakukan yaitu dengan mengganti single media menjadi dual media. Selain dapat meningkatkan laju filtrasi, penggunaan dual media dapat menghindari penyumbatan material.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa kinerja filtrasi IPAM Ngagel II terbilang masih cukup baik karena kualitas air hasil produksi yang masih memenuhi standar baku mutu PDAM yaitu kurang dari 1,5 NTU untuk parameter kekeruhan dan 10 mg/L untuk parameter zat organik. Efisiensi penyisihan kekeruhan memiliki rata-rata lebih dari 70% sedangkan efisiensi penyisihan zat organik memiliki rata-rata kurang dari 20% sehingga efisiensi hasil penelitian dengan kondisi eksisting nilainya sama.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi filtrasi antara lain kualitas air baku, ukuran diameter butiran media filter, dan efisiensi proses koagulasi. Parameter yang tidak sesuai dengan kriteria desain yaitu kecepatan filtrasi dan kedalaman unit dengan nilai sebesar 4,54 m/jam dan 1,5 m. Bentuk optimalisasi pada unit filtrasi yaitu dengan tidak mengubah kondisi unit bangunan yang sudah ada karena kualitas air hasil produksi yang masih memenuhi standar namun diperlukan adanya pengecekan tinggi media filter dan penggantian single media menjadi dual media.

5. Daftar Pustaka

- [1] Arief Rahman, "Studi Peningkatan Kinerja IPAM Karangpilang-PDAM Surya Sembada," 2017.
- [2] Okik Hendriyanto dan Euis N H, "Characterization of Natural Organic Matter by FeCl₃ Coagulation," dalam *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, 2018.
- [3] Mulkan Hambali, Edo Wijaya, dan Afthar Reski, "Pembuatan Kitosan Dan Pemanfaatannya Sebagai Agen Koagulasi-Flokulasi," 2017.
- [4] Septi Ika dan Okik Hendriyanto, "Penurunan BOD₅ dan COD pada Air Permukaan Pasar Umum Negara dengan Metode Filtrasi Sederhana," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 6, hlm. 1099–1108, 2023.
- [5] SNI 06-6989.22-2004, *Cara Uji Nilai Permanganat secara Titrimetri*. 2004.
- [6] Mainur Hikmayanti dan Lisa Utami, "Analisis Kemampuan Multiple Representasi Siswa Kelas XI MAN 1 Pekanbaru Pada Materi Titration Asam Basa," *JRPK: Jurnal Riset Pendidikan Kimia*, vol. 9, no. 1, Sep 2019, doi: 10.21009/jrpk.091.07.
- [7] PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, "Buku Rencana Operasi 2023." Surabaya, 2023.
- [8] Widyastuti, Sri, and Antik Sepdian Sari. "Kinerja Pengolahan Air Bersih dengan Proses Filtrasi dalam Mereduksi Kesadahan." *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA* 9.1 (2011): 43-54.
- [9] I. Yuniawati dan A. Dharmawan, "Optimasi Diameter Silika Dengan Metode Regresi Polinomial Untuk Meningkatkan Kinerja Unit Filter PDAM," 2022.
- [10] A. A. Rahman, I. Y. Perwira, dan W. D. Kartika, "Kandungan Bahan Organik Total (BOT) dan Kekeruhan pada Air di Estuari DAM, Badung, Bali," 2022.
- [11] P. Nurjanah, "Analisis Pengaruh Curah Hujan Terhadap Kualitas Air Parameter Mikrobiologi dan Status Mutu Air di Sungai Code, Yogyakarta," 2018.
- [12] Millah Hudiyah DB dan Satyanto Krido Saptomo, "Analisis Kualitas Air pada Jalur Distribusi Air Bersih di Gedung Baru Fakultas Ekonomi dan Manajemen Institut Pertanian Bogor (Analysis of

- Water Quality of Water Distribution Channels in New Building of Faculty of Economics and Management Bogor Agricultural University (IPB)),” vol. 04, no. 01, 2019.
- [13] Nurlina, Titin Anita Zahara, Gusrizal, dan Indah Dwi Kartika, “Efektivitas Penggunaan Tawas Dan Karbon Aktif Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu,” 2015.
- [14] SNI 6774:2008, *Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air*. 2008.
- [15] Mackenzie L. Davis, *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. 2010.
- [16] Subdirektorat Pengadaan dan Logistik PDAM Kota Surabaya, *Spesifikasi Teknis Pasir Silika PDAM Kota Surabaya*. 2022.
- [17] Helma Alwiga dan Bowo Djoko, “Kajian Penerapan Membran Mikrofiltrasi Terendam pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Sidoarjo,” *TEKNIK ITS*, vol. 10, 2021.
- [18] Deni Maryani, Ali Masduqi, dan Atiek Moesriati, “Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform,” *TEKNIK POMITS*, vol. 3, 2014.
- [19] Fathimah Hanun, “Pengaruh Tinggi Media Pasir Silika Terhadap Penyisihan Kekeruhan Pada Unit Filtrasi Pengolahan Air Minum,” 2019.
- [20] Sundari dan Hanifah Sri, “Pengaruh Variasi Flow Rate Terhadap Penurunan Kekeruhan Pada Slow Sand Filter,” 2019.