

Kajian Efisiensi Penyisihan Unit IPAM Karangpilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

Lutfiah Qa'ilina Adlaa¹, Sulistiya Nengse², Rr. Diah Nugraheni Setyowati³, Widya Nilandita⁴

^{1,2,3,4}Teknik Lingkungan, UIN Sunan Ampel, Surabaya, Indonesia

Email: 09020521030@student.uinsby.ac.id

Received 10 Januari 2025 | Revised 20 Januari 2025 | Accepted 25 Januari 2025

ABSTRAK

Air menjadi kebutuhan primer semua makhluk hidup. Pengolahan air minum Kota Surabaya dinaungi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surya Sembada. Setiap tahunnya kebutuhan air pelanggan Kota Surabaya semakin meningkat sehingga dilakukan peningkatan kapasitas pada setiap unit IPAM. Perubahan peningkatan kapasitas tersebut akan membuat kinerja IPAM dalam kondisi maksimal. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang ada. Studi ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan teknik pengumpulan data melalui wawancara dan observasi. Data yang digunakan merupakan data sekunder. Hasil analisis yang didapatkan yakni persentase penyisihan unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024 terdapat dua parameter yang memiliki persentase rendah yaitu parameter warna (-26,58%) dan nitrit (-35,00%). Efisiensi rata-rata parameter pada setiap unit di antaranya warna 89,05%, kekeruhan 99,29%, Nitrit 94,45%, Aluminium 67,78%, Amonia 73,17%, dan Zat organik 65,18%. Efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sebagian besar memiliki nilai yang efisien dan menandakan bahwa kinerja unit IPAM masih optimal.

Kata kunci: efisiensi penyisihan, parameter, air bersih, unit IPAM

ABSTRACT

Water is a primary need for all living things. The drinking water treatment of Surabaya City is managed by the Regional Drinking Water Company (PDAM) Surya Sembada. Every year, the water needs of Surabaya City customers increase so that the capacity of each IPAM unit is increased. The change in capacity increase will make the IPAM performance in maximum condition. The purpose of this study was to determine the efficiency removal of the Karangpilang III IPAM unit compared to previous studies. This study uses a descriptive quantitative method with data collection techniques through interviews and observations. The data used are secondary data. The results of the analysis obtained are the percentage of penyisihan of the Karangpilang III IPAM unit in January 2024, there are two parameters that have a low percentage, namely the color parameter (-26.58%) and nitrite (-35.00%). The average efficiency of the parameters in each unit includes color 89.05%, turbidity 99.29%, Nitrite 94.45%, Aluminum 67.78%, Ammonia 73.17%, and Organic matter 65.18%. The efficiency removal of the IPAM Karangpilang III PDAM Surya Sembada Surabaya City unit mostly has an efficient value and indicates that the performance of the IPAM unit is still optimal.

Keywords: efficiency removal, parameters, clean water, IPAM unit

1. PENDAHULUAN

Air menjadi kebutuhan primer semua makhluk hidup. Artinya berbagai aktivitas di bumi membutuhkan peran air untuk keberlangsungannya. Kebermanfaatan air yang begitu vital bagi manusia, hewan maupun tumbuhan, menjadi sebuah tugas manusia untuk terus menjaga kualitas air dengan baik. Air menjadi salah satu kebutuhan pokok paling penting yang dibutuhkan makhluk hidup terutama manusia. Unsur air juga menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan alam dan sangat diperlukan dalam meningkatkan kualitas kehidupan manusia serta pertumbuhan ekonomi suatu wilayah [1].

Dewasa ini berbagai permasalahan air muncul sebagai akibat pencemaran yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Hal tersebut mengakibatkan berkurangnya sumber air bersih yang ada atau dapat dikonsumsi oleh makhluk hidup. Menurut PP No. 22 Tahun 2021 pencemaran air merupakan kondisi air yang melebihi persyaratan baku mutu sebagai akibat dari tercampurnya air dengan makhluk hidup, zat atau bahan, energi secara sengaja maupun tidak sengaja. Pencemaran air akan menyebabkan kualitas air yang tidak layak dikonsumsi, sehingga dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia seperti keropos tulang, terkikisnya lapisan gigi, anemia hingga kerusakan pada fungsi ginjal [2].

Selain pencemaran, masalah yang dihadapi Indonesia saat ini ada pada penyediaan air bersih di masyarakat secara luas dan merata, di mana hingga saat ini akses air bersih yang tersedia di Indonesia baru mencapai angka 67% [3]. Sedangkan kebutuhan air bersih semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk di Indonesia. Berdasar standar SNI 6728.1 Tahun 2015 kebutuhan air bersih rumah tangga dalam kota besar adalah sebesar 120 – 150 liter per orang per hari. Dari permasalahan di atas, maka perlu adanya pengolahan yang baik untuk mengubah air baku menjadi air bersih layak konsumsi dan penyediaan air bersih secara merata bagi masyarakat.

Pengolahan air bersih/air minum di Kota Surabaya dinaungi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surya Sembada. Dilansir dari web resmi PDAM Surya Sembada menyatakan bahwa cakupan pelayanan air bersih tahun 2023 di Surabaya telah mencapai 100% [4]. Proses pengolahan air minum PDAM Surya Sembada terdiri dari Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang I, II, III, IPAM Ngagel I, II dan III, dengan proses pengolahan secara fisik, kimia, dan biologi.

Pada setiap tahunnya kebutuhan air pelanggan Kota Surabaya semakin meningkat. Berdasarkan perbaruan data pada Juli 2022 dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur melaporkan bahwa jumlah pelanggan air bersih Kota Surabaya pada tahun 2018, 2019, dan 2020 berturut – turut sebanyak 562.381; 574.173; 585.604 pelanggan [5]. Nilai tersebut menunjukkan kenaikan pelanggan Kota Surabaya dengan persentase rata-rata 2% pada tahun tersebut. Dilihat dari data tersebut yang mengindikasikan bahwa adanya peningkatan pelanggan Kota Surabaya yang tentu juga berpengaruh pada kebutuhan air bersih, sehingga dilakukan peningkatan kapasitas pada masing-masing IPAM. Perubahan peningkatan kapasitas air pada unit IPAM akan membuat kinerja IPAM dalam kondisi maksimal sehingga perlu adanya pembuatan IPAM baru untuk mengembalikan kapasitas awal yang dimampu pada unit operasionalnya. Faktor tersebut tentu akan berpengaruh pada konsumsi energi yang meningkat juga. Apabila tidak dilakukan pembuatan IPAM baru, maka kinerja IPAM akan dipaksa secara terus menerus dan melebihi kapasitas normalnya sehingga mengakibatkan kinerja IPAM tidak optimal dan berpengaruh pada hasil kualitas air minum.

Penelitian ini berfokus pada efisien penyisihan pada unit IPAM Karangpilang III. Efisiensi penyisihan ini merujuk pada kandungan atau konsentrasi parameter yang dapat tersisihkan, semakin tinggi persentase efisiensi penyisihan unit maka semakin kecil nilai hasil uji parameter yang menjauhi baku mutu [6]. Efisiensi penyisihan dari hasil pengolahan air baku menjadi air bersih pada IPAM perlu banyak dikaji, hal ini karena nilai efisiensi merupakan salah satu indikasi yang dapat dipertimbangkan apakah kinerja IPAM telah optimal dan apakah hasil pengolahan telah sesuai dengan baku mutu. Terlebih lagi pengolahan air yang melibatkan instalasi atau unit yang digunakan adalah faktor yang berpengaruh pada nilai efisiensi penyisihan [7].

IPAM Karangpilang I, II, dan III memiliki unit yang sama, tetapi terdapat satu perbedaan pola aliran air yang berbeda. Pengolahan air di IPAM Karangpilang III terdiri dari: *intake* dan *bar screen*, sumur penyeimbang, prasedimentasi, *flash mixer* (proses koagulasi), *clearator* (flokulasi dan sedimentasi), filtrasi, desinfeksi (penginjeksian gas klor ke dalam galeri filter), dan reservoir. Sehingga, hal ini dipilih berdasarkan adanya perbedaan sistem pengolahan dibanding IPAM lainnya yakni proses flokulasi dan sedimentasi yang terjadi pada unit *clearator* dengan arah aliran vertikal. Perbedaan tipe aliran juga sedikit banyak berpengaruh pada efisiensi penyisihan [8]. *Clearator* merupakan unit pengolahan yang sejenis dengan clarifier, perbedaannya hanya terletak pada arah aliran. *Clarifier* menggunakan arah aliran horizontal sedangkan *clearator* menggunakan arah aliran vertikal. Unit *clearator* merupakan unit gabungan dari proses flokulasi dan sedimentasi yang berbentuk lingkaran dengan dasar kerucut dan dilengkapi dengan *tube settler* [9].

Studi oleh Safira (2023) menjelaskan bahwa peningkatan efisiensi penyisihan kekeruhan perlu dilakukan untuk meningkatkan juga kinerja IPA Paket, hal tersebut dapat dicapai dengan penggunaan metode CDF (*Continuous Discharge Flow*) pada unit sedimentasi [10]. Studi lainnya oleh Radityaningrum dkk. (2023) berfokus pada persentase efisiensi penyisihan mikroplastik dalam pengolahan air minum yang dipengaruhi oleh jenis teknologi pengolahan dan kriteria utama setiap teknologi yang dipilih [11]. Persentase efisiensi penyisihan mikroplastik dalam WTP (*Water Treatment Plant*) menggunakan unit aerasi dan prasedimentasi berkisar antara 16,5% hingga 98,4% [12]. Oleh karena itu, untuk mencapai efisiensi penyisihan yang tinggi adalah dengan mengoptimalkan proses pengolahan yang menjadi tolak ukur keefektifan unit IPAM [13].

Kajian terkait persentase *removal* ataupun efisiensi penyisihan unit IPAM menjadi penting untuk dibahas dengan beberapa alasan yaitu untuk menilai, menjamin, dan meningkatkan efisiensi pengolahan air sehingga aman untuk dikonsumsi, sebagai indikator keoptimalan instalasi/unit, dan sebagai pemantauan kinerja IPAM jangka panjang. Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk mengkaji efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Kajian ini dibahas secara mendalam untuk mengetahui apakah persentase penyisihan unit pengolahan air di IPAM Karangpilang III telah memenuhi standar kriteria desain yang ada.

2. METODOLOGI

2.1 Desain Penelitian

Kajian penelitian ini disusun menggunakan jenis pendekatan deskriptif kuantitatif yang berkonsentrasi pada pengumpulan dan pengolahan data berdasarkan numerik (angka) dan bertujuan untuk menentukan variabel secara objektif, mendeteksi pola, dan menganalisis hasil dengan memanfaatkan metode statistik. Desain penelitian kuantitatif bersifat eksplisit, terformulasi dengan tepat, memiliki pengujian yang valid dan tingkat konsistensi atau kestabilannya dapat dipertanggung jawabkan serta diketahui secara spesifik [14]. Studi ini berfokus pada analisis dan membandingkan efisiensi penyisihan antar unit dari prasedimentasi hingga reservoir.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melalui observasi secara langsung, analisis data, dan studi pustaka sebagai bahan perbandingan hasil penelitian. Sedangkan data tambahan didapatkan dari hasil wawancara dengan pihak operator IPAM. Data yang diolah merupakan data sekunder dari arsip data laboratorium IPAM Karangpilang, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui efisiensi penyisihan pengolahan air IPAM Karangpilang III. Adapun data-data yang dibutuhkan selama proses penelitian adalah sebagai berikut:

a. Data kualitas air tiap unit

Data kualitas air tiap unit merupakan data kualitas air sebelum masuk unit pengolahan (*inlet*) dan kualitas air setelah diolah (*outlet*) setiap unit pada bulan Januari. Pengambilan data dilakukan dalam kurun waktu satu bulan dikarenakan keterbatasan waktu penelitian dan data diambil pada saat musim hujan. Alasan ini mendasari pemilihan data dengan mengambil persentase curah hujan pada

tingkat persentase 1,4 dari 74 ZOM (Zona Musim) [15]. Selain itu penggunaan data telah memenuhi tujuan penelitian yang difokuskan untuk mendapatkan gambaran sementara, serta mengingat kualitas air baku PDAM yang bersifat fluktuasi. Sedangkan untuk kinerja unit IPAM tidak mengalami perubahan dalam waktu singkat, sehingga data satu bulan dianggap cukup dan mewakili hasil analisis berupa efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III.

Hasil uji tersebut meliputi nilai NTU untuk parameter kekeruhan dan mg/L untuk parameter lainnya. Untuk mengetahui efisiensi unit IPAM data yang dibutuhkan didapatkan dari data kualitas air pada outlet aerator atau *inlet* prasedimentasi yang menjadi data air baku, kemudian hasil *outlet* prasedimentasi atau *inlet clearator*, *out clearator/inlet filter*, dan terakhir outlet filter/reservoir.

Pemilihan parameter tersebut merupakan hasil pertimbangan dari beberapa faktor yakni, (1) Frekuensi pengambilan data untuk kualitas air pada setiap parameter berbeda – beda yaitu berdasarkan pada pengujian sampel air produksi yang diuji secara harian, mingguan, dan bulanan; (2) Tidak semua parameter yang diuji ada pada setiap unit, melainkan ada beberapa parameter yang diuji hanya untuk kualitas air baku dan air distribusi saja.; (3) Sampel air yang diuji berasal dari *outlet prased*, *outlet clearator*, *outlet filtrasi*, dan air distribusi; (4) Terdapat sekitar 21 parameter yang diuji untuk mengetahui kualitas air baku dan 30 parameter yang diuji sebagai hasil kualitas air produksi PDAM.

pH warna dan kekeruhan merupakan salah satu parameter penting yang wajib ada pada pengukuran kualitas air [16]. Zat organik menjadi salah satu parameter penting juga yang perlu diperhatikan karena berpengaruh pada efisiensi penyisihan kekeruhan [17]. Data yang sudah didapatkan akan dianalisis untuk mengetahui tingkat efisiensi penyisihan dalam bentuk persen pada setiap unit IPAM menggunakan Persamaan 1 dengan rumus sebagai berikut [18]:

$$\text{Efisiensi penyisihan} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A = Nilai parameter air baku dalam *inlet*

B = Nilai parameter air baku dalam *outlet*

b. Data kualitas air distribusi (*outlet* IPAM)

Parameter air distribusi yang dimaksudkan merupakan data kualitas air yang diambil pada unit reservoir setelah hasil uji laboratorium. Data tersebut meliputi parameter fisik, kimia, dan biologi. Data parameter fisik yang teruji meliputi suhu, kekeruhan, rasa, bau, warna, *Total Dissolved Solid* (TDS), *Total Suspended Solid* (TSS). Adapun data parameter kimia meliputi pH, sisa klor, zat organik (KMnO₄), amonia, nitrat, nitrit, sulfat, besi terlarut, aluminium terlarut, mangan, oksigen terlarut, detergen (MBAS), kesadahan, kalsium, magnesium, silikat, natrium, fosfat, klorida, fluorida, sianida, total kromium, kadmium, seng, tembaga, timbal, krom heksavalen, CO₂ bebas, dan alkalinitas. Sedangkan parameter mikrobiologi adalah *Escherichia coli* dan Total coliform. Data dari parameter di atas didapatkan dari laboratorium IPAM Karangpilang III, di mana analisis parameter tersebut dilakukan setiap hari, setiap minggu, dan setiap satu bulan sekali.

c. Data kualitas air baku

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah kualitas air baku IPAM Karangpilang III yang bersumber dari DAS Brantas. Data kualitas air tersebut yang diuji dalam laboratorium di antaranya yakni, suhu, kekeruhan, warna, pH, oksigen terlarut, nitrit, amonia, tembaga terlarut, sulfida, besi terlarut, seng terlarut, zat organik (KMnO₄), COD, sulfat, total coliform, fecal coliform, aluminium terlarut, TSS, Detergen (MBAS), dan kalsium. Data ini sebagai data *inlet* pengolahan yang diperlukan untuk menghitung efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III.

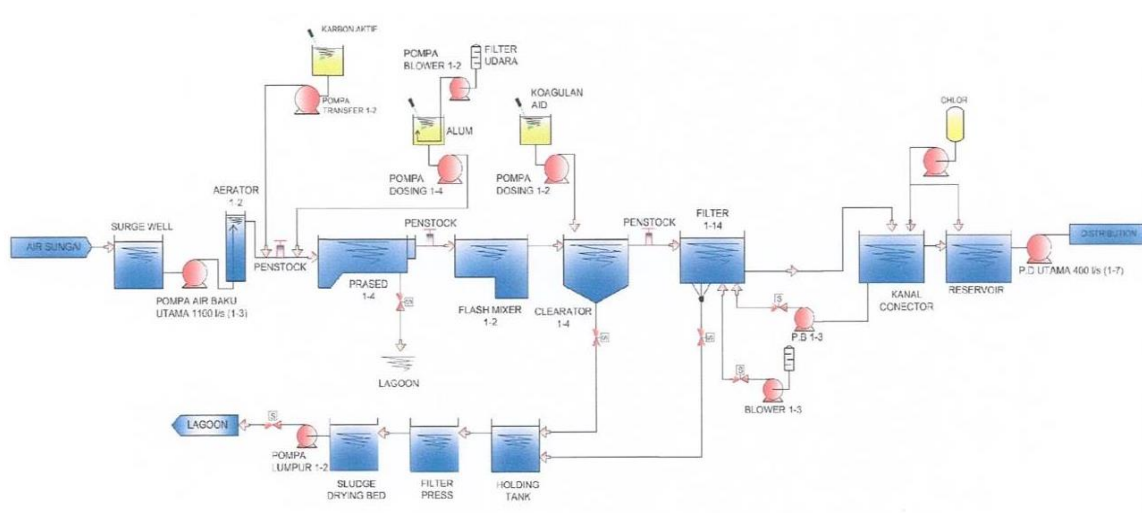
d. Data proses pengolahan air

Data mengenai proses/aliran pengolahan air di IPAM Karangpilang III didapatkan dengan metode wawancara langsung antara peneliti dengan pembimbing lapangan maupun pegawai/operator instansi terkait. Wawancara ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi secara kualitatif tentang pandangan, pengalaman, dan tanggapan narasumber yang menunjang data dari laporan sesuai topik

peneliti. Data ini berupa informasi yang disampaikan secara langsung, *print-out* diagram alir pengolahan air IPAM Karangpilang III, dan *file pdf* mengenai proses produksi air Karangpilang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengolahan air minum IPAM Karangpilang III melibatkan beberapa unit pengolahan untuk mengolah air baku menjadi air bersih/minum yang berkualitas dan memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Pengolahan air tersebut dimulai dari *intake*, sumur penyeimbang, aerator, bak prasedimentasi, bak *flash mixer*, *clearator*, filtrasi, desinfeksi, reservoir dan *forwarding*. IPAM Karangpilang III dibangun dan mulai beroperasi pada tahun 2010 dengan kapasitas 2.000 liter/detik, kemudian ditingkatkan menjadi 2.400 liter/detik disebabkan karena peningkatan permintaan maupun kebutuhan masyarakat Surabaya. Sumber air baku yang akan diolah oleh IPAM Karangpilang bersumber dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang terpecah di pintu air Mlirip Mojokerto. Adapun diagram alir terkait proses pengolahan air minum di IPAM Karangpilang III terlampir dalam Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pengolahan IPAM Karangpilang III
Sumber: Arsip PDAM Surya Sembada Surabaya

Pengolahan air baku yang dinaungi oleh PDAM terkait, menentukan hasil suatu kualitas air bersih. Kualitas air dapat dikatakan baik dan aman apabila parameter air bersih hasil olahan yang akan didistribusikan kepada masyarakat harus lulus uji berdasarkan baku mutu yang diprasyaratkan dan masih berlaku. Baku mutu tersebut tertera dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 2 Tahun 2023.

Kinerja unit operasional berpengaruh pada hasil olahan air bersih, di mana hal tersebut juga menentukan seberapa efektif dan efisien kinerja penyisihan unit IPAM. Efisiensi kinerja unit pengolahan air bersih atau *Water Treatment Plant* (WTP) adalah suatu proses untuk mengukur efisiensi penyisihan berdasarkan pada beberapa indikator kinerja yang ditetapkan seperti tingkat penghilangan polutan misalnya pada parameter kekeruhan, warna, padatan tersuspensi, dan lain-lain [19].

Efisiensi penyisihan pada unit IPAM Karangpilang III didapatkan dari data *inlet* dan *outlet* masing-masing hasil olahan pada setiap unit. Analisis kualitas air per unit serta *persentase* penyisihan unit IPAM Karangpilang III pada bulan Januari tahun 2024 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tingginya tingkat efisiensi penyisihan pada unit pengolah air, di antaranya yaitu kondisi air baku (*inlet*) di mana tingkat pencemaran yang terlalu tinggi akan memberi beban besar terhadap kinerja unit pengolah sehingga berpengaruh juga pada nilai efisiensi penyisihan

unit tersebut. Selain itu, desain dan ukuran unit juga mempengaruhi efisiensi penyisihan, di mana *volume* air yang akan diolah harus berbanding lurus dengan ukuran unit pengolah.

Tabel 1. Analisis Kualitas Air Per Unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024

Parameter	Satuan	Kualitas Air Baku (Sungai Kelas II)	Unit Pengolahan							
			Prasedimentasi		Flash Mixer + Clearator		Filtrasi		Desinfeksi + Reservoir	
			Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Output
pH		7,68	7,68	7,37	7,37	7,28	7,28	7,20	7,20	7,18
Warna	TCU	11,87	11,87	7,90	7,90	10,00	10,00	8,20	8,20	1,30
Kekeruhan	NTU	155,08	155,08	33,70	33,70	5,61	5,61	1,10	1,10	1,10
Nitrit	mg/L	0,20	0,20	0,27	0,27	0,23	0,23	0,02	0,02	0,0111
Aluminium	mg/L	0,09	0,090	0,074	0,074	0,072	0,072	0,029	0,029	0,029
Amonia	mg/L	0,82	0,82	0,58	0,58	0,41	0,41	0,22	0,22	0,22
Zat organik	mg/L	23,61	23,61	15,80	15,80	15,65	15,65	12,00	12,00	8,22

Sumber: Data penelitian yang diolah

Tabel 2. Persentase Penyisihan Unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024

Parameter	Satuan	Unit Pengolahan			
		Prasedimentasi	Flash Mixer + Clearator	Filtrasi	Desinfeksi + Reservoir
		% Penyisihan	% Penyisihan	% Penyisihan	% Penyisihan
pH		Efisien	Efisien	Efisien	Efisien
Warna	TCU	33,45%	-26,58%	18,00%	84,15%
Kekeruhan	NTU	78,27%	83,34%	80,41%	0,00%
Nitrit	mg/L	-35,00%	14,44%	91,34%	44,50%
Aluminium	mg/L	17,78%	2,70%	59,72%	0,00%
Amonia	mg/L	29,27%	29,31%	46,34%	0,00%
Zat organik	mg/L	33,08%	0,95%	23,32%	31,50%

Sumber: Data penelitian yang diolah

Pemeliharaan dan pengoperasian unit juga menjadi faktor yang berpengaruh pada tingkat penyisihan yang akan dihasilkan. Hal tersebut seperti dalam contoh kasus berkurangnya ketinggian pasir pada unit filtrasi yang akan menyebabkan efisiensi penyisihan kekeruhan berkurang. Oleh sebab itu, efisiensi penyisihan unit IPAM sangat penting diperhatikan karena berhubungan langsung dengan kinerja unit bangunan. Selain itu, kombinasi pengolahan juga turut dapat meningkatkan nilai efisiensi penyisihan bahan pencemar pada air baku [20].

3.1 Efisiensi Penyisihan Unit Prasedimentasi

Efisiensi penyisihan perlu diperhatikan untuk mengetahui apakah operasional unit bekerja secara optimal atau tidak. Umumnya unit prasedimentasi dapat menyisihkan beberapa parameter, namun dalam studi terdahulu parameter yang sering diperhatikan dalam efisiensi penyisihannya adalah kekeruhan dan warna. Menurut peneliti terdahulu menyebutkan bahwa efisiensi rata-rata penghilangan kekeruhan untuk unit sedimentasi adalah sebesar 76,4% [19]. Sedangkan menurut peneliti lainnya oleh Rachmawati dan Marsono (2021) menyebutkan bahwa efisiensi penyisihan pada *outlet* prasedimentasi untuk kekeruhan sebesar 95% dan untuk penyisihan zat organik sebesar 35% [21]. Berikut perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter warna unit prasedimentasi IPAM Karangpilang III:

Warna

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: } & \text{Inlet (A)} = 11,87 \text{ TCU} \\
 & \text{Outlet (B)} = 7,90 \text{ TCU} \\
 \text{Efisiensi penyisihan} &= \frac{(11,87 \text{ TCU} - 7,90 \text{ TCU})}{11,87 \text{ TCU}} \times 100\% \\
 &= 33,45\%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas menunjukkan bahwa unit prasedimentasi dapat menyisihkan beban pencemar yang dibawa air baku seperti tertera di atas. Unit prasedimentasi bertujuan untuk mengendapkan partikel diskrit seperti lumpur secara gravitasi sehingga unit ini cocok untuk menyisihkan kekeruhan dalam air olah sebesar 40 – 60% [6]. Hal tersebut jika dibandingkan dengan perhitungan efisiensi penyisihan unit prasedimentasi IPAM Karangpilang III sudah baik bahkan melewati dari rentang tersebut yakni sebesar 78,27%.

Sedangkan penyisihan amonia di unit ini adalah sebesar 29,27%, di mana nilai tersebut lebih tinggi dari pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Kurnia dan Purwanti (2023) disebutkan bahwa unit prasedimentasi dapat menurunkan kadar amonia sebesar 20% [22]. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja unit prasedimentasi telah berjalan optimal dalam menurunkan kadar amonia dalam air baku.

Tetapi dalam kondisi lain terdapat satu parameter yang memiliki nilai negatif, parameter tersebut adalah nitrit dengan nilai sebesar -35%. Nilai negatif atau minus untuk persentase penyisihan tersebut menandakan bahwa nilai *inlet* lebih kecil dari nilai *outlet*. Hal tersebut terjadi karena peningkatan kadar nitrit pada unit prasedimentasi. Hasil ini selaras dengan studi sebelumnya oleh Nurjanah dan Cahyonugroho (2024) bahwa persentase penyisihan bernilai negatif mengindikasikan bahwa adanya peningkatan konsentrasi nitrit setelah adanya pengolahan di unit koagulasi flokuasi [23].

Persentase penyisihan bernilai negatif juga tidak disebabkan karena faktor teknis atau akibat kesalahan operasional melainkan terjadi karena adanya kontaminasi bahan kimia atau bakteri yang kemudian terjadi proses biologis yaitu proses nitrifikasi. Tahapan awal proses nitrifikasi melibatkan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrospira* yang mengalami oksidasi terhadap amonia sehingga menjadi senyawa nitrit [24]. Dalam kondisi ini kadar amonia akan menurun dan kadar nitrit akan meningkat. Oleh karena itu meningkatnya kadar nitrit dalam air olahan dapat disebabkan karena banyaknya bakteri yang ada pada air baku yang kemudian terkontaminasi dan terjadi reaksi dengan penambahan bahan kimia aluminium sulfat pada *outlet* unit aerator. Sehingga kinerja unit prasedimentasi tidak berpengaruh pada efisiensi penyisihan parameter nitrit dalam air olahan.

3.2 Efisiensi Penyisihan Unit *Clearator*

Efisiensi penyisihan pada unit *clearator* merupakan kemampuan unit pengolah air untuk memecah flok – flok yang sudah terbentuk saat penambahan koagulan pada unit sebelumnya untuk diendapkan melalui proses sedimentasi. Tingkat penyisihan pada *clearator* relatif tinggi pada setiap parameternya, hal ini terjadi karena flok-flok yang telah terurai akan dibuang bersama lumpur. Efisiensi Penyisihan menurut Omar dan Aziz (2020) menyebutkan bahwa parameter kekeruhan dapat disisihkan sebesar 77,30% pada unit *clearator* [19]. Sedangkan studi terbaru mengenai kinerja unit *clearator* dalam penyisihan kekeruhan mencapai 57,37% [25]. Berikut perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter kekeruhan unit *clearator* IPAM Karangpilang III:

$$\begin{aligned}
 \text{Kekeruhan} & \\
 \text{Diketahui: } & \text{Inlet (A)} = 33,70 \text{ NTU} \\
 & \text{Outlet (B)} = 5,61 \text{ NTU} \\
 \text{Efisiensi penyisihan} &= \frac{(33,70 \text{ NTU} - 5,61 \text{ NTU})}{33,70 \text{ NTU}} \times 100\% \\
 &= 83,34 \%
 \end{aligned}$$

Unit *clearator* atau sedimentasi tingkat II ini dapat menyisihkan kandungan amonia sebesar 55% [26]. Sedangkan dalam IPAM Karangpilang III amonia dapat tersisihkan hanya sebesar 29,31%. Tingkat

parameter kekeruhan dapat disisihkan hingga sebesar 83,34% dalam clearator. Hal ini juga diperkuat dengan penelitian sebelumnya bahwa persentase rata-rata efisiensi penyisihan parameter kekeruhan unit *clearator* yakni sebesar 92% [27].

Sebelum proses di unit *clearator* terjadi penambahan koagulan pada bak *flash mixer*, sehingga akan mempengaruhi pH air baku yang akan di oleh dalam unit *clearator*. Penambahan koagulan tersebut akan menyebabkan penurunan pH air baku. Namun dalam kondisi ini dilihat dari hasil analisis pH air baku masih dalam rentang baku mutu. Penambahan koagulan berupa aluminium sulfat di unit sebelumnya juga mempengaruhi kadar aluminium dalam air baku sehingga *clearator* hanya mampu menyisihkan sebesar 2,70%. Karena disisi lain, senyawa tersebut juga berfungsi untuk mengikat kekeruhan berupa flok dan lumpur.

Nilai persentase efisiensi penyisihan unit yang berbeda dapat dipengaruhi oleh faktor cuaca dan karakteristik air baku suatu wilayah, di mana air baku akan memiliki kekeruhan dengan konsentrasi tinggi saat musim hujan, dan kekeruhan dengan konsentrasi rendah pada saat musim kemarau. Hal tersebut tentu mempengaruhi kinerja dari unit pengolahan dalam menyisihkan bahan pencemar. Kekeruhan clearator IPAM Karangpilang III pada bulan Januari berada pada rentang ≤ 6 NTU. Kadar kekeruhan di clearator harus lebih rendah daripada kadar pada unit prasedimentasi, hal ini karena lumpur – lumpur yang terkandung dalam air baku telah diikat oleh koagulan membentuk flok – flok kecil.

Dalam proses koagulasi flokulasi yang terjadi pada unit *flash mixer* dan *clearator* terdapat satu parameter yang mengalami peningkatan konsentrasi sehingga nilai yang didapatkan pada unit ini adalah negatif. Parameter tersebut adalah warna yang memiliki nilai sebesar -26,58%. Dalam kondisi ini juga sama dengan parameter nitrit sebelumnya bahwa kinerja unit *clearator* tidak berpengaruh pada efisiensi penyisihan parameter warna, melainkan nilai negatif tersebut ada karena nilai *inlet* lebih kecil daripada *outlet*, serta nilai negatif tersebut tidak dapat dikaitkan pada keoptimalan kinerja unit *clearator*.

Pada beberapa literatur menyebutkan bahwa proses penambahan koagulan dapat menurunkan kadar warna. Tetapi hal ini akan berada pada kondisi sebaliknya ketika dosis koagulan yang ditambahkan tidak tepat pada unit *flash mixer*, seperti dosis yang ditambahkan terlalu banyak ataupun kurang. Faktor tersebut akan mempengaruhi konsentrasi warna pada air produksi yang diolah. Selain itu, penyebab terjadinya oksidasi pada parameter warna saat pengolahan air terjadi karena penggunaan bahan kimia, di mana penggunaan bahan kimia tersebut ditujukan untuk mempermudah proses pemisahan lumpur, memecah padatan yang tidak terlarut, mengurangi kadar minyak dan lemak [28]. Terjadinya oksidasi warna ini akan menyebabkan bahan kimia tertentu mengalami perubahan warna akibat terjadi reaksi kimia antara oksigen dengan zat lainnya, sehingga kadar warna dalam air juga akan meningkat.

3.3 Efisiensi Penyisihan Unit Filtrasi

Efisiensi penyisihan unit filtrasi merupakan kemampuan unit tersebut dalam mengurangi kontaminan atau zat pencemar pada air olahan menggunakan media filter. Efisiensi penyisihan dalam unit ini juga dipengaruhi dari ukuran, jenis, dan ketebalan media filter yang dipakai harus sesuai dengan kriteria desain. Efisiensi penyisihan parameter kekeruhan dan zat organik pada *outlet* unit filtrasi berturut – turut adalah sebesar 53% dan 18% [21]. Berikut perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter nitrit unit filtrasi IPAM Karangpilang III:

$$\begin{aligned} &\text{Nitrit} \\ &\text{Diketahui: } \begin{array}{ll} \text{Inlet (A)} &= 0,23 \text{ mg/L} \\ \text{Outlet (B)} &= 0,02 \text{ mg/L} \end{array} \\ &\quad \quad \quad \frac{(0,23 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,02 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{0,23 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% \\ &\text{Efisiensi penyisihan} = \\ &\quad \quad \quad = 91,34\% \end{aligned}$$

Unit filtrasi merupakan unit yang memiliki pengaruh besar dalam menurunkan bahan pencemar dengan beberapa parameter wajib air minum, sehingga kualitas air akan tetap terjaga setelah dilakukan penyaringan dalam bak filtrasi ini. Beberapa parameter air memiliki persentase penyisihan cukup besar

setelah dilakukan pengolahan dalam unit filtrasi di antaranya, kekeruhan, nitrit, aluminium, dan amonia. Menurut penelitian Mirhan parameter kekeruhan dapat tepenyisihan sebesar 78,26% dalam unit filtrasi IPA Pucang Gading. Sedangkan unit filtrasi pada IPAM Karangpilang III dapat menurunkan kekeruhan sebesar 80,41%, hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan unit filtrasi IPAM Karangpilang III berjalan optimal. Untuk parameter warna pada unit ini dapat tersisihkan sebesar 18%, nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian Ramli yang menyebutkan efisien penyisihan warna pada unit filtrasi rata-rata sebesar 17,71% [29].

Selain itu penyisihan parameter nitrit juga berkaitan dengan penurunan kadar amonia, pasalnya nitrit merupakan bentuk oksidasi dari amonia menjadi nitrat. Sehingga jika kadar nitrit menurun maka konsentrasi amonia juga akan menurun. Menurut Kusmindari & Yuliwati dalam hasil penelitiannya menyebutkan bahwa efisiensi penyisihan filtrasi terhadap kadar $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar 92,89% [30]. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan efisiensi penyisihan unit filtrasi pada IPAM Karangpilang III yaitu 91,34% untuk penyisihan parameter nitrit, dan 46,34% untuk penyisihan parameter amonia.

3.4 Efisiensi Penyisihan Unit Desinfeksi dan Reservoir

Pada unit desinfeksi dan reservoir juga terdapat pengaruh pada nilai efisiensi penyisihan, hal ini dikarenakan adanya proses klorinasi atau penambahan senyawa klor untuk menghilangkan patogen pada air yang akan didistribusikan kepada pelanggan. Unit paling akhir ini juga memiliki nilai efisiensi penyisihan relatif kecil dibandingkan dengan unit – unit sebelumnya. Hal tersebut disebabkan karena zat pengotor dalam air sudah tersisihkan dan tersaring pada unit sebelumnya, sehingga unit desinfeksi dan reservoir ini memfokuskan pada penyisihan jumlah mikroorganisme patogen dalam air. Berikut perhitungan efisiensi penyisihan pada parameter zat organik unit desinfeksi dan reservoir IPAM Karangpilang III:

Zat Organik

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } & \text{Inlet (A)} = 12 \text{ mg/L} \\ & \text{Outlet (B)} = 8,22 \text{ mg/L} \\ & \frac{(12 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 8,22 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{12 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% \\ \text{Efisiensi penyisihan} & = \\ & = 31,50\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan efisiensi penyisihan dalam proses desinfeksi tersebut terlihat bahwa ada penurunan kadar parameter yang disebabkan karena penambahan klor. Parameter yang mengalami penurunan adalah pH sebesar 0,32%, warna (84,15%), nitrit (44,50%), dan zat organik sebesar 31,50%. Penurunan parameter zat organik disebabkan karena proses desinfeksi yaitu penambahan klor dalam air baku. Kandungan zat organik dalam air baku berpengaruh pada konsentrasi sisa klor dalam reservoir. Sehingga dengan kondisi zat organik yang tinggi, untuk membuat sisa klor dalam reservoir tetap sesuai baku mutu IPAM Karangpilang III memberikan penambahan desinfektan lain berupa TCCA atau *Trichloroisocyanuric Acid* dengan jumlah 25 kg per dua jam. Selain itu efisiensi penyisihan cukup tinggi terjadi pada kandungan warna dan nitrit dalam air pada unit reservoir akibat adanya zat klorin. Klorin ini berfungsi untuk mengatur adanya organisme patogen, mereduksi senyawa yang mengakibatkan timbulnya bau dan rasa dalam air, mereduksi kandungan besi dan mangan, serta menghilangkan warna [31].

Berdasar hasil perhitungan dan analisis di atas, berikut terlampir pada Tabel 3 yang menyajikan tentang efisiensi rata - rata Unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024.

Tabel 3. Efisiensi Rata – Rata Unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024

Parameter	Satuan	Kualitas Air Baku (Sungai Kelas II)	Kualitas Air Produksi	Rata-rata Efisiensi
pH		7,68	7,18	Efisien
Warna	TCU	11,87	1,30	89,05%
Kekeruhan	NTU	155,08	1,10	99,29%
Nitrit	mg/L	0,20	0,0111	94,45%

Parameter	Satuan	Kualitas Air Baku (Sungai Kelas II)	Kualitas Air Produksi	Rata-rata Efisiensi
Aluminium	mg/L	0,09	0,029	67,78%
Amonia	mg/L	0,82	0,22	73,17%
Zat organik	mg/L	23,61	8,22	65,18%

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat dinyatakan bahwa persentase penyisihan unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024 terdapat dua parameter yang memiliki persentase rendah yaitu pada parameter warna (-26,58%) dan nitrit (-35,00%). Faktor rendahnya persentase kedua parameter tersebut telah dijelaskan pada analisis deskripsi unit prasedimentasi dan *flash mixer & clearator*. Sedangkan untuk efisiensi rata – rata setiap unit IPAM Karangpilang III pada Bulan Januari Tahun 2024 memiliki efisiensi rata – rata yang sudah baik dengan range 65,18% - 99,29%, dan jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu kinerja unit IPAM Karangpilang III dapat dikatakan telah optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan terdapat dua parameter yang memiliki nilai negatif yaitu parameter nitrit pada unit prasedimentasi dan parameter warna pada unit *flash mixer & clearator* yang memiliki nilai masing-masing adalah -35,00% dan -26,58%. Nilai negatif untuk persentase penyisihan dalam dua parameter tersebut disebabkan karena faktor penambahan bahan kimia yaitu koagulan sehingga mengakibatkan peningkatan konsentrasi nitrit dan oksidasi warna. Efisiensi penyisihan unit IPAM Karangpilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya sebagian besar memiliki nilai yang efisien, hal ini dapat disimpulkan bahwa kinerja unit IPAM masih optimal. Efisiensi rata-rata setiap parameter pada masing-masing unit adalah: warna 89,05%, kekeruhan 99,29%, Nitrit 94,45%, Aluminium 67,78%, Amonia 73,17%, dan Zat organik 65,18%.

Penulis menyarankan untuk peneliti selanjutnya dapat menambah jangka waktu penelitian agar hasil efisiensi penyisihan unit IPAM yang diperoleh lebih terukur dan konsisten. Selain itu, peneliti selanjutnya dapat menambah dan mengembangkan bahasan penelitian terkait perbandingan efisiensi penyisihan unit IPAM pada musim kemarau dan musim hujan. Rekomendasi yang dapat diberikan penulis adalah pengambilan sampel untuk uji kualitas air dapat dilakukan pada keseluruhan unit IPAM tidak hanya berpatokan pada arsip data laboratorium saja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak PDAM Surya Sembada Kota Surabaya terlebih kepada pihak IPAM Karangpilang Surabaya yang telah memberi tempat, ilmu, dan dukungan selama penulis melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Nasution, D. Helard, dan S. Indah, “Kajian Kinerja Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum (Spam) di Kabupaten Solok dan Kota Solok Berbasis Buku Kinerja Badan Peningkatan Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum (BPPSPAM),” vol. 8, Sep 2021.
- [2] S. Angelina, A. Hakim, D. Suprayogi, R. D. N. Setyowati, dan S. Nengse, “Analisis Kualitas Air Sumur Gali Desa Berbek dengan Metode Indeks Pencemar,” *JRSL*, vol. 7, no. 1, hlm. 105, Agu 2023, doi: 10.19184/jrsl.v7i1.27574.

- [3] M. G. Silangen, S. Tilaar, dan A. Sembel, "Pemetaan Masalah Penyediaan Air Minum di Perkotaan Tobelo Kabupaten Halmahera. Spasial," vol. 7, 2020.
- [4] "Wali Kota Surabaya, Eri Cahyadi meresmikan Reservoir Mbah Ratu, Rumah Pompa Air Baku Tambahan IPAM Karangpilang, dan Rehabilitasi Jaringan Pipa 142 Km PDAM | PDAM Surya Sembada Kota Surabaya." Diakses: 29 Agustus 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.pdam-sby.go.id/read/wali-kota-surabaya-eri-cahyadi-meresmikan-reservoir-mbah-ratu-rumah-pompa-air-baku-tambahan-ipam-karangpilang-dan-rehabilitasi-jaringan-pipa-142-km-pdam>
- [5] "Jumlah Pelanggan Air Bersih Menurut Kabupaten/Kota - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur." Diakses: 21 Januari 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTQ3IzI=/jumlah-pelanggan-air-bersih-menurut-kabupaten-kota.html>
- [6] T. Joko, "Unit produksi dalam sistem penyediaan air minum," *Yogyakarta: Graha Ilmu*, vol. 237, 2010.
- [7] Luqman Mufid Musyary, Widyo Astono, dan Sarah Aphirta, "Analisis Pemilihan Unit Pengolahan Biologis pada IPAL Domestik Soreang, Kabupaten Bandung," *bhuwana*, hlm. 114–126, Nov 2023, doi: 10.25105/bhuwana.v3i2.18765.
- [8] D. P. Rahayu, "Kajian Literatur Perbandingan Mekanisme Penyisihan Mikroplastik pada Pengolahan Air Minum menggunakan Teknologi Membran dan Ozonasi Terintegrasi dengan Filtrasi," 2021.
- [9] P. N. Fatekhah dan A. Amalia, "Penentuan Dosis Koagulan dan Persentase Kebutuhan Air pada Pemanfaatan Air Backwash Unit Filtrasi dan Sludge Unit Clearator di IPAM Surabaya," *J- TESLINK*, vol. 6, no. 1, hlm. 88–95, Mar 2024, doi: 10.52005/teslink.v6i1.316.
- [10] N. T. Safira, "Kinerja Paket IPA Metode Continuous Discharges Flow (CDF) dengan Penambahan Media Filter Karbon Aktif dalam Menyisihkan Tds dan Kekeruhan Air Baku Artifisial," *Andalas Padang*, 2023.
- [11] A. Radityaningrum, Y. Trihadiningrum, dan E. Soedjono, "Performance of Conventional Drinking Water Treatment Plants in Removing Microplastics in East Java, Indonesia," *J. Ecol. Eng.*, vol. 24, no. 6, hlm. 129–143, Jun 2023, doi: 10.12911/22998993/162785.
- [12] K. H. D. Tang dan T. Hadibarata, "Microplastics Removal Through Water Treatment Plants: Its Feasibility, Efficiency, Future Prospects and Enhancement by Proper Waste Management," *Environmental Challenges*, vol. 5, hlm. 100264, Des 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100264.
- [13] A. D. Radityaningrum, R. Rizqi'ain, R. D. Afrianisa, dan C. B. Priyono, "Performance of Hybrid Aeration-Pre-sedimentation Process in Microplastic Removal from Raw Water," *Gema Lingkungan Kesehatan*, vol. 22, no. 2, hlm. 85–89, Jul 2024, doi: 10.36568/gelinkes.v22i2.139.
- [14] R. Agustianti dkk., *Metode Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif*. TOHAR MEDIA, 2022.
- [15] "(Prakiraan 6 Bulanan) Awal Musim Hujan Tahun 2023 - 2024 Zona Musim di Provinsi Jawa Timur." Diakses: 24 Januari 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://staklim-malang.info/index.php/prakiraan-musim/4193-prakiraan-musim-hujan/prakiraan-awal-musim-hujan/prakiraan-awal-musim-hujan-propinsi-jawa-timur/prakiraan-awal-musim-hujan-tahun-2023-2024-zona-musim-di-provinsi-jawa-timur/555560358-prakiraan-6-bulanan-awal-musim-hujan-tahun-2023-2024-zona-musim-di-provinsi-jawa-timur>
- [16] V. Harmelina, "Kajian Risiko Air Baku dan Air Produksi PDAM Tirta Sewakadarma Kota Denpasar menggunakan Metode Hazard Identification And Risk Assessment (HIRA)," 2022.
- [17] M. R. Sururi dan Hardika, "Penyisihan Kekeruhan dan Natural Organic Matter (NOM) pada Unit Koagulasi-Flokulasi Instalasi Pengolahan Air Minum di Asia Tenggara : Studi Literatur," vol. 12, no. 1, hlm. 63–79, Mar 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.26760/rekalingkungan.v12i1.63-79>.
- [18] N. Quraini, M. Busyairi, dan F. Adnan, "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Berbasis Masyarakat Kelurahan Masjid Samarinda Seberang," *J. Teknologi Lingkungan. UNMUL*, vol. 6, no. 1, hlm. 1, Jun 2022, doi: 10.30872/jtlunmul.v6i1.7231.
- [19] I. A. Omar dan S. Q. Aziz, "Research on Performance Evaluation and Improvement of Ifraz-2 Water Treatment Plant," vol. 2, Des 2020.
- [20] R. B. J. Pinanggih, D. R. Nurmaningsih, S. Nengse, T. T. Utama, dan A. Hakim, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Kombinasi Unit Biofilter Aerobik dan

- Adsorpsi Karbon Aktif Kantor Pusat PT. Pertamina Marketing Operation Region (MOR) V Surabaya,” vol. 7, 2021.
- [21] F. R. Rachmawati dan B. D. Marsono, “Evaluasi Teknis Instalasi Pengolahan Air Unit Ultrafiltrasi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Sidoarjo,” vol. 10, 2021.
- [22] S. M. Kurnia dan I. F. Purwanti, “Pengolahan Air Limbah Tambak Ikan Tradisional di Kecamatan Cerme, Kabupaten Gresik Menggunakan Constructed Wetland,” vol. 12, 2023.
- [23] F. L. Nurjanah dan O. H. Cahyonugroho, “Evaluasi dan Optimalisasi Kinerja Unit Accelerator Pada IPAM Ngagel II Kota Surabaya,” vol. 9, no. 3, hlm. 9632–9638, Jul 2024.
- [24] M. B. Marta, Yahya, dan H. Nursyam, “Pengolahan Limbah Cair Industri Pembekuan Ikan Kaca Piring (Sillago sihama) Menggunakan Kombinasi Bakteri *Acinetobacter Baumannii*, *Bacillus Megaterium*, *Nitrococcus* Sp. dan *Pseudomonas Putida* Secara Aerob,” vol. 3, 2021.
- [25] N. N. A. Putri dan A. Amalia, “Analisis Kinerja dan Evaluasi Unit Clearator dan Clarifier di PDAM Surya Sembada Surabaya,” vol. 6, Mar 2024.
- [26] P. Goni, I. R. Mangangka, dan O. B. A. Sompie, “Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Pusat Prof. Dr. R. D. Kandou Manado,” vol. 19, Apr 2021.
- [27] A. A. Nofitri dan A. D. Radityaningrum, “Evaluasi Kinerja Pengolahan Air Bersih IPAM Karangpilang III PDAM Kota Surabaya,” 2023.
- [28] S. A. Siregar, *Instalasi pengolahan air limbah*. Kanisius, 2005.
- [29] R. J. Ramli, “Analisis Kualitas Air Sungai Bulian Menggunakan Media Filtrasi Dengan Metode Slow Sand Filter (SSF),” 2021.
- [30] C. D. Kusmindari dan E. Yuliwati, “Optimasi Kondisi Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Kelapa Sawit,” vol. 6, no. 1, 2021.
- [31] Black & Veatch Corporation, *White’s handbook of chlorination and alternative disinfectants*. John Wiley & Sons, 2011.