



Evaluasi Sistem Disinfeksi dan Analisis Hubungan Antara Tekanan Air dengan Sisa Klor di Daerah Pelayanan Reservoir Wonosari Perumda Air Minum Tirta Aji Kabupaten Wonosobo

R. Gagak Eko Bhaskoro, Nitis Aruming Firdaus, Sabrina Ifhami Ilminafia

Program Studi Teknik Lingkungan, Akademi Teknik Tirta Wiyata, Magelang

E-mail: gagak.water@gmail.com

Diterima 20 November 2023, Direvisi 20 Desember 2023, Disetujui Publikasi 30 Desember 2023

Abstract

Water quality, especially from microbiological perspectives, is a priority that must be taken seriously because water is a prime necessity of human life. Water quality issue that appeared in Public Drinking Water Company (Perumda Air Minum) Tirta Aji of Wonosobo Regency, especially in Wonosari Reservoir, was on the chlorine dosage that didn't have exact calculation. In fact, the water flow entering Wonosari Reservoir tends to change every season, causing the chlorine dosage that needs to be adjusted periodically. This research aimed to perceive an effective disinfection system to be carried out in the Wonosari Reservoir service area by calculations and EPANET simulations, along with analyze the relationship between water pressure and residual chlorine using T test in SPSS. The scope of this study limits the indicators used in the evaluation of disinfection systems to residual chlorine, total Coliform bacteria, and E. Coli, and also chlorine injection techniques are not discussed. EPANET simulations have shown that there is excessive residual chlorine at the area near the Wonosari Reservoir. However, if the chlorine dosage is reduced, the farthest area will lack residual chlorine. So, the solution is to reduce the chlorine dosage from 0.59 mg/l to 0.45 mg/l followed by adding chlorine boosters at two points located far from the reservoir. Meanwhile, the T-test in SPSS showed that there is no effect of water pressure on residual chlorine in the pipeline.

Keywords: residual chlorine, chlorine decay, water disinfection, EPANET, T test, SPSS

Abstrak

Kualitas air, terutama dari sisi mikrobiologi, merupakan prioritas yang harus diperhatikan karena air merupakan komponen utama dalam kehidupan manusia. Permasalahan kualitas air di Perumda Air Minum Tirta Aji Kabupaten Wonosobo, terutama di Reservoir Wonosari, ada pada pemberian klor di yang belum memiliki sistem perhitungan pasti. Padahal, debit yang masuk Reservoir Wonosari cenderung berubah setiap musim yang berdampak pada dosis klor yang perlu terus disesuaikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem disinfeksi yang efektif untuk dilakukan di daerah pelayanan Reservoir Wonosari dengan perhitungan dan simulasi EPANET serta mengetahui hubungan antara tekanan air dengan sisa klor menggunakan uji T di SPSS. Ruang lingkup penelitian ini membatasi indikator yang digunakan dalam evaluasi sistem disinfeksi adalah sisa klor, total bakteri Coliform, dan E. Coli serta teknis injeksi klor tidak dibahas. Hasil simulasi EPANET menunjukkan bahwa terdapat sisa klor berlebih di daerah dekat dengan Reservoir Wonosari. Namun jika dosisnya dikurangi, pada daerah terjauh akan kekurangan sisa klor. Jadi, solusi yang dapat dilakukan adalah menurunkan dosis pembubuhan klor dari 0,59 mg/l menjadi 0,45 mg/l diikuti dengan penambahan chlorine booster di dua titik yang letaknya jauh dari reservoir. Sementara itu, uji T di SPSS menunjukkan bahwa tidak pengaruh tekanan air terhadap sisa klor di jaringan pipa.

Kata Kunci: sisa klor, penurunan klor, disinfeksi air, EPANET, uji T, SPSS

A. Pendahuluan

Kualitas air, terutama dari sisi mikrobiologi, merupakan prioritas yang harus diperhatikan karena air merupakan komponen utama dalam kehidupan manusia. Beberapa tindakan sudah dan masih terus dilakukan untuk memastikan semua orang mendapatkan akses terhadap air minum yang aman. Contoh upayanya ada pada tujuan ke enam *Sustainable Development Goals* (SDGs) bertajuk “*Clean Water and Sanitation*” dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) oleh Pemerintah Republik Indonesia. Di Perumda Air Minum Tirta Aji Kabupaten Wonosobo, terutama di Reservoir Wonosari, masalah kualitas air ada pada pemberian klor di jaringan yang belum memiliki sistem perhitungan pasti. Padahal, debit yang masuk Reservoir Wonosari cenderung berubah setiap musim yang berdampak pada dosis klor yang perlu terus disesuaikan. Karena belum ada sistem perhitungan yang pasti, penentuan dosis klor yang dibubuhkan masih belum efektif karena hanya diperkirakan. Hal tersebut dapat berdampak pada sisa klor di pelanggan yang terlalu banyak atau terlalu sedikit. Padahal, penting bagi Perumda Air Minum Tirta Aji untuk menjaga kualitas air minum supaya sesuai dengan baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mencari sistem disinfeksi yang paling efektif untuk dilakukan di Reservoir Wonosari.

Dalam kegiatan menjaga kualitas air minum di Reservoir Wonosari, Perumda Air Minum Tirta Aji, muncul beberapa permasalahan yang perlu dikaji. Permasalahan yang ada antara lain adalah bagaimana kondisi eksisting sistem disinfeksi di Reservoir Wonosari, dan bagaimana sistem disinfeksi yang efektif dilakukan di Reservoir Wonosari, serta apakah tekanan air berpengaruh terhadap sisa klor di jaringan. Berdasarkan permasalahan yang ada, penelitian ini

dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting sistem disinfeksi di Reservoir Wonosari, sistem disinfeksi yang paling efektif dilakukan di Reservoir Wonosari, dan hubungan antara tekanan air dengan sisa klor. Menurut Mohapatra, 2017, disinfeksi didefinisikan sebagai proses penghilangan total mikroorganisme yang ada dalam fase vegetatif.

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Muhammad Rasyad *et al.*, 2021, tentang Simulasi Sisa Klor pada Jaringan Distribusi IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih. Penelitian tersebut bertujuan untuk memetakan pola sebaran konsentrasi sisa klor di jaringan distribusi IPA Pramuka PDAM Bandarmasih dan mendiskripsikan pengaruh jarak terhadap kehilangan klor pada jaringan distribusi tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan simulasi data eksisting menggunakan software EPANET 2.0 yang kemudian dikalibrasi dengan data sisa klor di lapangan dan divalidasi dengan data *flow*. Sedangkan pengaruh jarak terhadap nilai sisa klor dianalisa menggunakan analisa regresi linier. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa saat jam puncak sebaran sisa klor mencapai 79% tetapi hanya 2,58% yang memenuhi baku mutu. Jarak yang berpengaruh pada pengurangan nilai sisa klor merupakan jarak pipa dan sistem perpipaan. Semakin panjang pipa dan semakin besar perubahan atau belokan yang terjadi pada pipa maka nilai sisa klornya semakin menurun.

B. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Reservoir Wonosari di Kecamatan Wonosobo, Perumda Air Minum Tirta Aji Kabupaten Wonosobo, Cabang Wonosobo selama bulan Juli tahun 2023. Data sekunder yang dibutuhkan yaitu data kualitas air baku, kebutuhan kaporit dan prosedur pembubuhan, daerah dan cakupan pelayanan, panjang, diameter, dan elevasi pipa, gambar jaringan pipa, debit di reservoir, dan dimensi serta volume

reservoir. Sedangkan data primer yang dibutuhkan yaitu sisa klor, total bakteri *Coliform*, *E. Coli*, dan tekanan air di pelanggan. Pengumpulan data-data tersebut dilakukan dengan beberapa cara, yaitu observasi di lapangan, wawancara pada pihak terkait, dalam hal ini yaitu staff Perumda Air Minum Tirta Aji, pengukuran langsung di lapangan, dan studi literatur dari berbagai buku, jurnal, dan sumber-sumber lainnya.

Analisis sistem disinfeksi efektif dilakukan dengan melihat dosis pembubuhan klor di Reservoir Wonosari. Selain itu, diuji sisa klor di lapangan, dan total bakteri *Coliform*, serta *E. Coli* di laboratorium. Pengujian kualitas air tersebut dilakukan di pelanggan-pelanggan di daerah pelayanan Reservoir Wonosari dan dibandingkan hasilnya dengan baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023. Titik-titik sampling di pelanggan ditentukan berdasarkan simulasi usia air di EPANET. Sedangkan analisis hubungan antara tekanan air dengan sisa klor dilakukan dengan uji T di SPSS. Namun sebelumnya, dilakukan pengukuran sisa klor dan tekanan air terlebih dahulu di titik-titik sampling di pelanggan. Setelah nilai t hitung didapatkan di SPSS, nilai tersebut dibandingkan dengan nilai t tabel untuk menentukan apakah tekanan air berpengaruh terhadap sisa klor di jaringan pipa. Untuk analisis sistem disinfeksi yang efektif dilakukan di Reservoir Wonosari, dilakukan penentuan dosis pembubuhan dengan rumus dan dengan simulasi di EPANET. Rumus yang digunakan berdasarkan Petunjuk Teknis PUPR 28 Tahun 2000 tentang Tata Cara Pembubuhan pada Unit IPA. Untuk penentuan sistem disinfeksi eksisting di EPANET, dilakukan simulasi kondisi eksisting terlebih dahulu, lalu dilakukan analisis masalah, kemudian ditentukan alternatif penyelesaian masalah yang ada.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan Analisis Sistem Disinfeksi Eksisting

Proses disinfeksi di Reservoir Wonosari dilakukan dengan menggunakan *Trichloroisocyanuric Acid* (TCCA) dengan rumus kimia $C_3Cl_3N_3O_3$. TCCA yang digunakan ini memiliki kandungan klor sebanyak 90% dengan bentuk sediaan tablet dengan berat 20 gram/tablet. Karena debit yang masuk Reservoir Wonosari berubah-ubah setiap musim, maka dosis klor yang diberikan dapat berubah-ubah. Pada bulan Juli 2023, debit air yang masuk ke Reservoir Wonosari yaitu sebesar 28 l/dt. Menyesuaikan debit tersebut, banyaknya TCCA yang diberikan oleh Operator Sistem Disinfeksi di Reservoir Wonosari yaitu 1,6 kg/hari.

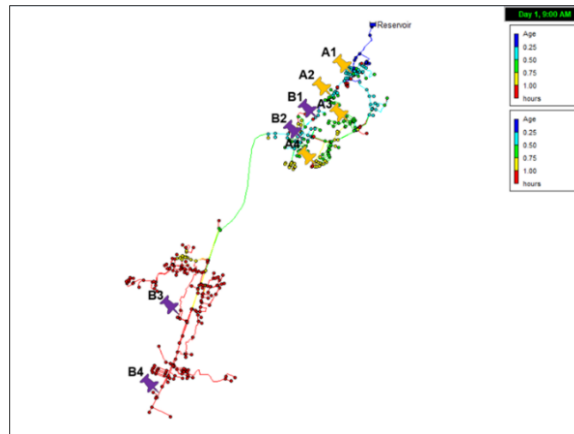


Gambar 1 Sistem Disinfeksi

Untuk mengetahui apakah jumlah disinfektan yang diberikan sudah sesuai, dapat dilakukan pemeriksaan sisa klor di pelanggan. Pemeriksaan sisa klor di pelanggan dilakukan di titik-titik tertentu, yaitu titik terdekat, titik tengah, dan titik terjauh dari reservoir. Titik-titik sampling tersebut didapatkan dengan melihat usia air pada jaringan menggunakan simulasi EPANET.

Berdasarkan simulasi usia air di EPANET, ditemukan titik-titik sampling

seperti gambar di bawah:



Gambar 2 Titik Sampling berdasarkan Simulasi Usia Air di EPANET

Setelah ditemukan titik-titik sampling, maka dilakukan sampling di pelanggan untuk menguji sisa klor, total T

bakteri *Coliform*, dan *E. Coli*. Pengukuran di lapangan menuntukkan hasil sebagai berikut:

abel 1. 1 Hasil Uji Kualitas Air di Pelanggan

Titik	Jalur	Posisi	Sisa Klor	Total Bakteri <i>Coliform</i>	<i>E. Coli</i>
			mg/l	CFU/ 100 ml	CFU/ 100ml
A1	150	Terdekat	0,45	0	0
A2	150	Tengah	0,43	0	0
A3	150	Tengah	0,41	0	0
A4	150	Terjauh	0,40	0	0
B1	200	Terdekat	0,45	0	0
B2	200	Tengah	0,45	0	0
B3	200	Tengah	0,41	0	0
B4	200	Terjauh	0,37	0	0

Baku Mutu Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023:

- Sisa klor: 0,2 mg/l – 0,5 mg/l
- Total Bakti *Coliform*: 0 CFU/100 ml (air minum) 50 CFU/100 ml (air bersih)
- *E. Coli*: 0 CFU/100 ml (untuk air minum dan air bersih)

Berdasarkan uji yang dilakukan, disimpulkan bahwa seluruh sampel air sudah memenuhi persyaratan sebagai air minum menurut parameter mikrobiologi dan sisa klor berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023.

Analisis Hubungan Antara Tekanan Air dengan Sisa Klor

Dalam perjalanan air hingga pelanggan terjauh, ada berbagai faktor yang mungkin dapat mempengaruhi sisa klor di dalamnya. Menurut Damayanti, 2020, salah satu faktor yang mungkin mempengaruhi sisa klor di dalam air adalah tekanan air. Jadi, dalam penelitian ini, akan dianalisis mengenai kemungkinan pengaruh tekanan air terhadap sisa klor. Berikut data tekanan air dan sisa klor yang akan diuji hubungannya:

Tabel 2 Hasil Pengukuran Tekanan Air dan Sisa klor di Pelanggan

Titik	Jalur	Posisi	Tekanan (bar)	Sisa Klor (mg/l)
A1	150	Terdekat	2,4	0,45
A2	150	Tengah	2,45	0,43
A3	150	Tengah	2,1	0,41
A4	150	Terjauh	2,2	0,40
B1	200	Terdekat	1,5	0,45
B2	200	Tengah	0,75	0,45
B3	200	Tengah	0,25	0,41
B4	200	Terjauh	0,75	0,37

Setelah data didapatkan, selanjutnya dilakukan uji T di SPSS. Uji T di SPSS menunjukkan hasil sebagai berikut:

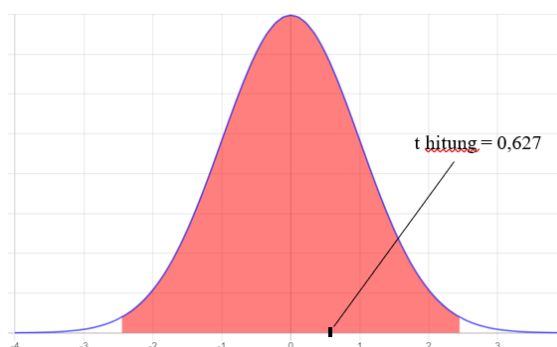
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
1	(Constant)	.408	.023		17.603	.000
	TEKANAN	.008	.013	.248	.627	.554

a. Dependent Variable: KLOR

Gambar 1. 3 Hasil Uji T Antara Tekanan Air dan Sisa Klor di SPSS

Dari hasil di atas, diketahui bahwa nilai t hitung adalah 0,627. Selain itu, hasil menunjukkan bahwa nilai t tabel

adalah 2,447. Nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam grafik distribusi t di bawah:



Gambar 4 Analisis Hubungan antara Tekanan Air dan Sisa Klor

Karena nilai t hitung sebesar 0,627 berada di antara daerah tidak ada pengaruh, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh tekanan air terhadap sisa klor di di jaringan.

Analisis Sistem Disinfeksi Efektif

Berdasarkan Rumus Hitung

Kebutuhan disinfektan dapat dihitung dengan rumus berdasarkan Petunjuk Teknis PUPR 28 Tahun 2000. Mula-mula, dihitung terlebih dahulu DPC (Daya Pengikat *Chlor*), kemudian dihitung dosis klor, lalu dihitung

kebutuhan disinfektan. DPC dicari dengan percobaan di laboratorium dan dihitung dengan rumus.

Tabel 3 Sisa Klor dari Percobaan DPC yang Dilakukan

Erlenmeyer	1	2	3
ml larutan kaporit yang ditambahkan	0,2	0,4	0,6
Sisa klor (mg/l)	0,6	0,79	1,34

Dari hasil percobaan tersebut, dapat dihitung nilai DPC sebesar 0,53 mg/l seperti pada perhitungan di bawah:

$$DPC = \left(\left(\frac{1000}{250} \times V \times C \right) - D \right)$$

$$DPC = \left(\left(\frac{1000}{250} \times 0,2 \times 0,9 \right) - 0,6 \right) + \left(\left(\frac{1000}{250} \times 0,4 \times 0,9 \right) - 0,79 \right) + \left(\left(\frac{1000}{250} \times 0,6 \times 0,9 \right) - 1,34 \right)$$

$$DPC = 0,53 \text{ mg/L}$$

Selanjutnya, dihitung dosis klor yang diinginkan dengan menjumlahkan DPC dengan sisa klor yang diinginkan. Dengan asumsi bahwa sisa klor yang diinginkan adalah 0,3 mg/l, berarti dosis klor yang diinginkan adalah 0,83 mg/l. Dosis tersebut kemudian digunakan untuk menghitung TCCA. TCCA yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut:

$$W = Q \times C \times Rs$$

$$W = 28 \times \frac{100}{90} \times 0,83$$

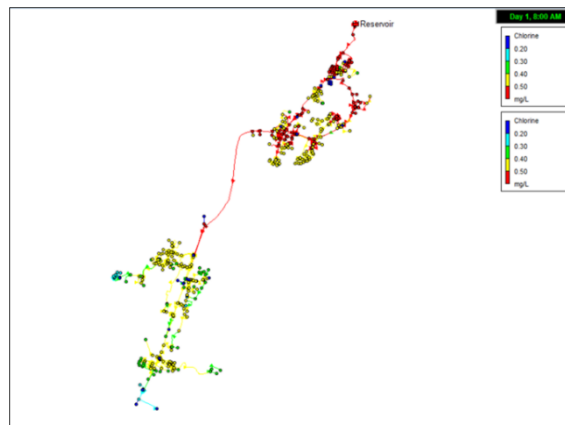
$$W = 25,82 \text{ mg/dt}$$

$$W = 2,23 \text{ kg/hari}$$

Jadi berdasarkan rumus hitung, dosis klor yang efektif untuk Reservoir Wonosari adalah sebesar 0,53 mg/l atau pembubuhannya sebanyak 2,23 kg/hari.

a. Berdasarkan simulasi EPANET

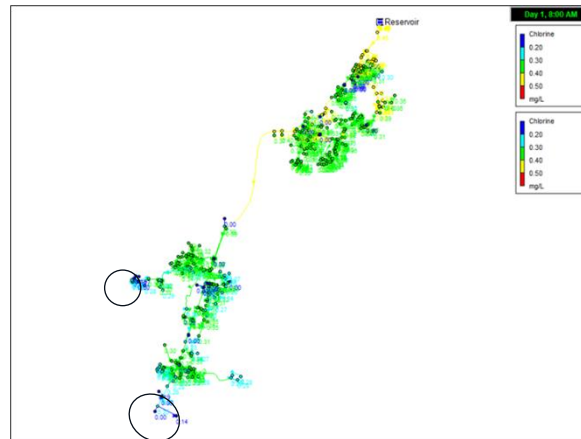
Simulasi sisa klor di EPANET, data yang perlu dimasukkan yaitu *initial quality* sebesar 0,59 mg/l, *global bulk coefficient* sebesar -0,000029, dan *global wall coefficient* sebesar -0,2. Jika semua data sudah dimasukkan, maka dapat dilihat hasil simulasi kondisi eksisting sisa klor seperti berikut:



Gambar 5 Simulasi Sisa Klor pada Kondisi Eksisting

Simulasi sisa klor pada kondisi eksisting diatas menunjukkan bahwa masih ada daerah dengan sisa klor melebihi baku mutu, daerah ini ditandai dengan warna merah. Untuk mengatasi

masalah tersebut, maka dapat dilakukan penurunan *initial quality*. Jika *initial quality* diturunkan menjadi 0,45 mg/l, maka hasilnya adalah sebagai berikut:

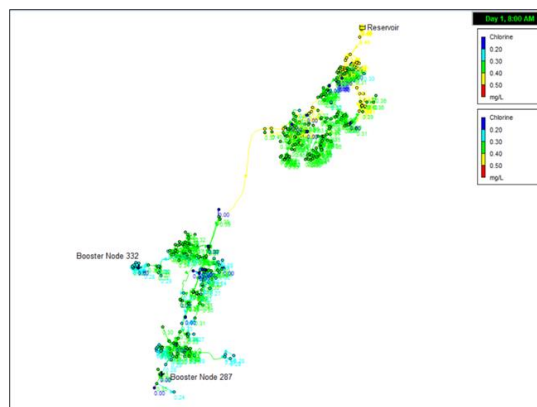


Gambar 6 Hasil Simulasi Sisa Klor Setelah Penurunan *Initial Quality*

Seperti gambar di atas, setelah *initial quality* diturunkan menjadi 0,45 mg/l, daerah yang tadinya memiliki sisa klor melebihi 0,5 mg/l, sekarang sudah memiliki sisa klor sesuai baku mutu. Namun, muncul masalah baru, yaitu sisa klor di daerah yang letaknya jauh dari reservoir memiliki sisa klor kurang dari baku mutu (daerah dilingkari). Untuk mengatasi masalah tersebut maka dapat dipasang *chlorine booster* di dua daerah tersebut. *Chlorine booster* dengan *source*

quality sebesar 0,1 mg/l dan 0,15 mg/l untuk daerah yang terletak di ujung selatan.

Setelah *initial quality* diturunkan dan dipasang dua buah *chlorine booster*, hasil simulasi menunjukkan bahwa sisa klor di daerah pelayanan Reservoir Wonosari sudah sesuai dengan baku mutu dari Permenkes No. 2 Tahun 2023 yaitu sebesar 0,2 mg/l – 0,5 mg/l. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah:



Gambar 1. 7 Hasil Simulasi Sisa Klor Setelah Alternatif Penyelesaian Masalah

D. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting sistem disinfeksi Reservoir Wonosari menggunakan *Trichloroisocyanuric Acid* (TCCA) 90%. TCCA diberikan sebanyak 1,6 kg/hari. Parameter sisa klor, total bakteri *Coliform*, dan *E. Coli* yang diuji di titik

sampling pelanggan menunjukkan hasil sesuai dengan baku mutu Permenkes No. 2 Tahun 2023. Sedangkan hasil Uji T menggunakan SPSS menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh antara tekanan air dengan sisa klor di jaringan pipa. Selain itu, perhitungan dosis dengan rumus menunjukkan dosis klor yang sebaiknya diberikan adalah 2,23 kg/hari, tetapi jumlah ini kurang sesuai untuk diterapkan

di Reservoir Wonosari. Sedangkan hasil simulasi EPANET menunjukkan bahwa terdapat sisa klor berlebih di daerah dekat dengan Reservoir Wonosari. Namun jika dosisnya dikurangi, pada daerah terjauh akan kekurangan sisa klor. Jadi, solusi yang dapat dilakukan adalah menurunkan dosis pembubuhan klor dari 0,59 mg/l menjadi 0,45 mg/l diikuti dengan penambahan chlorine booster di dua titik yang letaknya jauh dari reservoir dengan dosis sebesar 0,1 mg/l dan 0,15 mg/l.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas sistem disinfeksi di Reservoir Wonosari adalah penurunan dosis pembubuhan klor dari 0,59 mg/l menjadi 0,45 mg/l diikuti dengan penambahan chlorine booster di dua titik yang letaknya jauh dari reservoir dengan dosis sebesar 0,1 mg/l dan 0,15 mg/l. Selain itu, karena debit di Reservoir Wonosari yang cenderung berubah setiap musim, maka perlu dilakukan pemantauan dan penyesuaian dosis klor yang diberikan di Reservoir Wonosari secara rutin.

Daftar Pustaka

- Damayanti. 2020. *Evaluasi Sistem Disinfeksi pada PDAM Sleman Unit Nogotirto*. Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia.
- Hassan, Fahir, and Ali Masduqi. 2014. *Pemodelan Penurunan Sisa Chlor Jaringan Distribusi Air Minum dengan EPANET (Studikusus Kecamatan Sukun Kota Malang)*. *Jurnal Teknik ITS*, 3(2): 188-192.
- Marsha, Adennita. 2020. *Evaluasi Sistem Disinfeksi pada PDAM Sleman Unit Tridadi*. Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia
- Rasyad, Muhammad et al. 2021. *Simulasi Sisa Klor pada Jaringan Distribusi IPA II Pramuka PDAM Bandarmasih*. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan*, 4(1).
- Sivakumar, P., Prasad, R. K., & Chandramouli, S. 2013. *Effect of Booster Disinfection on Water Quality Behaviour in Distribution Networks*. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3(4): 93-101.
- United Nations. Sustainable Development Goals. Diakses dari: <https://sdgs.un.org/goals>
- Umar, N. (2013). *Pengetahuan dan Kesiapsiagaan Masyarakat Menghadapi Bencana Banjir Di Bolapapu Kecamatan Kulawi Sigi Sulawesi Tengah*. *Jurnal Keperawatan Soedirman*. 8(3).
- Utami, D. R. R. B., Sari, D. K., Wulandari, R., & Istiqomah, A. R. (2021). *Kesiapsiagaan Bencana Banjir Masyarakat Dusun Kesongo*. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Keperawatan*, 17(1), 01-07