

VARIASI DOSIS KLOORIN DIOKSIDA (ClO₂) TERHADAP PENURUNAN BAKTERI COLIFORM PADA LIMBAH CAIR DOMESTIK DI PT.X

Variation of Chlorine Dioxide (ClO₂) Dosage on the Reduction of Coliform Bacteria in Domestic Wastewater at PT. X

Lulu Aulya Nurzamzam Putri Setiawan*, Ujang Nurjaman,
Muhammad Iqbal, Elanda Fikri
Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Bandung

Article Info	ABSTRACT
Article History	<i>Domestic wastewater that is not properly managed has the potential to become a source of microbiological contamination, including Coliform bacteria. This study aims to analyze the effect of varying doses of chlorine dioxide (ClO₂) on the reduction of Coliform in domestic wastewater at PT X. Initial examination showed that the Coliform level in the wastewater reached 3,352 CFU/100 mL, exceeding the quality standard limit set by the Indonesian Ministry of Environment Regulation No. 68 of 2016, which is 3,000 CFU/100 mL. The research method used was a true experimental design with a posttest with control group approach, and samples were collected using the grab sampling technique. Treatment was carried out by applying ClO₂ at varying doses of 1.2 mg/L, 1.6 mg/L, and 2 mg/L to homogenized wastewater samples. Coliform analysis was conducted using the membrane filter method based on SNI 8539:2010. The results showed that ClO₂ effectively reduced Coliform levels significantly. The optimal dose was found at 2 mg/L, with a reduction efficiency of more than 98%.</i>
Submitted:	
15 September 2025	
Accepted:	
19 December 2025	
Published:	
21 December 2025	
Keyword: Wastewater; Chlorine Dioxide; Coliform; Disinfection.	
Correspondence Address: Jl. Babakan Loa – Cimahi, Indonesia *Email: aualialulu70@gmail.com	

PENDAHULUAN

Pencemaran air akibat limbah cair yang tidak terolah merupakan krisis global yang mendesak. Menurut UNESCO (2021), sekitar 80% air limbah dunia dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan memadai. Di Indonesia, limbah domestik menjadi penyumbang utama karena tingginya kandungan bahan organik yang memicu penurunan kualitas perairan.

Limbah ini seringkali terkontaminasi bakteri patogen, dengan bakteri Coliform sebagai indikator utama pencemaran mikrobiologis (Mulyati et al., 2022). Keberadaan Coliform menunjukkan adanya kontaminasi feces yang berisiko menyebarkan penyakit melalui air. Selain risiko kesehatan, limbah organik memicu tingginya nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang menghabiskan oksigen terlarut, sehingga mengancam kelangsungan ekosistem akuatik.

Tantangan di Indonesia diperparah oleh infrastruktur sanitasi yang belum memadai dan sistem tangki septik yang sering bocor ke air tanah. Tanpa integrasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang efektif, pencemaran ini akan terus mengancam ketersediaan air bersih dan kesehatan masyarakat secara luas. (Mulyati et al., 2022).

Tingkat pengolahan limbah domestik di Indonesia masih rendah, dan parameter *Total Coliform* sering melebihi baku mutu yang ditetapkan (KLHK, 2023). Salah satu teknologi penting dalam pengolahan limbah adalah desinfeksi menggunakan klorin. Namun, klorin konvensional berpotensi menghasilkan senyawa samping berbahaya seperti *trihalometana* (THM). Klorin dioksida (ClO_2) menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan karena efektif membunuh mikroorganisme tanpa menghasilkan THM, serta tetap stabil dalam rentang pH yang luas (Said, 2017; Paul V. Roberts et al., 2022).

Penelitian telah menunjukkan efektivitas ClO_2 dalam menurunkan *Coliform* secara signifikan dengan efisiensi hingga 100% (Mulyati et al., 2022; A. Sandri et al., 2020). PT.X, sebagai perusahaan pembangkit listrik yang menerapkan sistem *zero discharge*, masih menghadapi masalah *Coliform* dalam limbah domestiknya yang melebihi ambang batas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis klorin dioksida terhadap penurunan bakteri *Coliform* pada limbah cair domestik di PT.X, serta menentukan dosis optimum yang efektif dan ramah lingkungan.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis *true experimental* dengan desain *posttest with control group design*, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dosis klorin dioksida (ClO_2) terhadap penurunan bakteri *Coliform* pada limbah cair domestik di PT.X. Penelitian dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa tiga variasi dosis ClO_2 , yaitu 1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2 mg/L, kemudian dilakukan pengukuran kadar *Coliform* setelah perlakuan. Sampel diambil menggunakan teknik *grab sampling* mengacu pada SNI 6989.59:2009.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh limbah cair domestik yang dihasilkan dari Sewage Treatment Plant (STP) di PT.X. Sampel yang digunakan merupakan bagian dari air limbah domestik tersebut, diambil dari titik outlet STP. Penelitian menggunakan total 24 sampel, yang terdiri dari 6 sampel kontrol dan 18 sampel perlakuan.

Pemeriksaan kadar *Coliform* dilakukan menggunakan metode *membrane filter* dengan bahan utama berupa media selektif, sampel air limbah, alkohol 70%, dan tisu steril untuk sterilisasi. Seluruh peralatan dijaga dalam kondisi steril guna mencegah kontaminasi. Peralatan yang digunakan mencakup unit filtrasi membran (corong filter dan pompa vakum), membran filter berpori 0,45 μm , *dry compact*, forceps steril, cawan petri steril, inkubator bersuhu 35–37°C atau 44,5°C. Proses filtrasi dan inokulasi dilakukan di dalam laminar air flow cabinet untuk menjaga kondisi aseptik. Alat bantu dokumentasi seperti spidol tahan air, label, dan buku log juga digunakan untuk pencatatan data.

Prosedur dimulai dengan sterilisasi alat dan area kerja. Sampel air limbah sebanyak 100 mL disaring menggunakan unit filtrasi dan pompa vakum. Membran yang telah menyaring sampel dipindahkan secara aseptik ke atas media selektif dalam cawan petri, lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 35–37°C untuk *Total Coliform* atau 44,5°C untuk *Coliform* fekal. Setelah inkubasi, koloni *Coliform* yang tumbuh dihitung secara visual dan hasil dinyatakan dalam satuan CFU/100 mL, yang merepresentasikan tingkat kontaminasi mikrobiologis air limbah.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan hasil pengukuran langsung di lapangan, meliputi kadar bakteri *Coliform* serta parameter pendukung seperti suhu dan pH air limbah, yang diperoleh melalui pengambilan sampel dan pengujian di laboratorium terakreditasi. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen pendukung seperti laporan

operasional STP di PT.X, serta referensi ilmiah berupa buku, jurnal, dan literatur lain yang relevan dengan topik penelitian.

HASIL

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian klorin dioksida (ClO_2) pada variasi dosis 1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2 mg/L mampu menurunkan kadar bakteri Coliform dalam limbah cair domestik PT.X secara signifikan.

a. Hasil Pemeriksaan pH Air Limbah

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan pH Air Limbah

P	K	Post Test pH		
		V1	V2	V3
1	6,25	6,10	6,35	6,50
2	6,30	6,20	6,40	6,55
3	6,35	6,40	6,60	6,70
4	6,28	6,25	6,50	6,65
5	6,32	6,30	6,30	6,60
6	6,20	6,15	6,45	6,80
Min	6,20	6,30	6,30	6,50
Maks	6,35	6,40	6,60	6,80

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pH air limbah pada semua variasi dosis klorin dioksida berada dalam kisaran netral, yaitu antara 6,3 hingga 6,8. Kisaran ini tergolong ideal untuk proses desinfeksi karena pada pH netral, klorin dioksida mampu bekerja secara optimal dalam menonaktifkan bakteri *Coliform* tanpa terdegradasi oleh kondisi lingkungan. Dengan demikian, kestabilan pH selama perlakuan merupakan faktor penting yang turut mendukung keberhasilan penurunan bakteri secara maksimal.

b. Hasil Pemeriksaan Suhu Air Limbah

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Suhu Air Limbah

P	Suhu Udara (°C)	K (°C)	Post Test (°C)		
			V1	V2	V3
1	25,1	27,5	26,1	26,3	27,1
2	26,1	26,3	26,7	26,6	27,6
3	26,7	25,3	26,1	26,1	26,6
4	27,4	26,4	26,3	25,6	25,8
5	26,2	26,3	25,6	25,7	26,1
6	26,8	26,8	25,9	25,6	26,5
Min	25,1	25,3	25,6	25,6	25,8
Maks	27,4	27,5	26,7	26,6	27,6

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa suhu udara selama penelitian pada tanggal 8–9 Mei 2025 berkisar antara 25,2°C hingga 27,6°C. Suhu air limbah pada kontrol berada pada rentang 25,3–27,5°C, sedangkan pada post test masing-masing variasi dosis klorin dioksida menunjukkan kisaran suhu yang relatif stabil, yakni 25,6–26,7°C untuk dosis 1,2 mg/L, 25,6–26,6°C untuk dosis 1,6 mg/L, dan 25,8–27,6°C untuk dosis 2 mg/L. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu selama proses perlakuan berada dalam kisaran optimal dan tidak menunjukkan perubahan ekstrem, sehingga tidak memengaruhi efektivitas desinfeksi klorin dioksida terhadap bakteri *Coliform*.

c. Kadar Total Coliform

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Total Coliform

P	T	K	Post test CFU/100 ml		
			V1	V2	V3
1	8/5/25	3349	348	155	66
2	8/5/25	3350	349	154	67
3	8/5/25	3348	351	156	67
4	9/5/25	3351	350	154	66
5	9/5/25	3349	348	155	66
6	9/5/25	3351	351	156	67
Min		3348	348	154	67
Maks		3351	351	156	67
$\bar{x}$		3350	349	155	66

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan signifikan jumlah *Total Coliform* pada air limbah di PT.X setelah perlakuan dengan klorin dioksida. Sebelum perlakuan, rata-rata *Total Coliform* sebesar 3.350 CFU/100 mL. Setelah perlakuan, terjadi penurunan bertahap sesuai dosis yang diberikan, yaitu menjadi 349 CFU/100 mL pada dosis 1,2 mg/L, 155 CFU/100 mL pada dosis 1,6 mg/L, dan 66 CFU/100 mL pada dosis 2 mg/L. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi dosis klorin dioksida yang digunakan, semakin efektif dalam menurunkan bakteri *Coliform* hingga mendekati nol, dan seluruh hasil pascaperlakuan telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

d. Penurunan Kadar Bakteri Coliform

Tabel 4 Hasil Penurunan Kadar Bakteri Coliform

P	V1		V2		V3	
	(-)	(%)	(-)	(%)	(-)	(%)
P1	2.999	89,57	3.193	95,35	3.283	98,03
P2	3.000	89,56	3.196	95,40	3.283	98,00
P3	3.000	89,62	3.191	95,34	3.281	97,99
P4	3.000	89,53	3.196	95,38	3.285	98,03
P5	3.000	89,61	3.194	95,37	3.284	98,04
P6	3.001	89,56	3.194	95,32	3.284	97,99

P	V1		V2		V3	
	(-)	(%)	(-)	(%)	(-)	(%)
Max	3.001	89,62	3.196	95,40	3.285	98,04
Min	2.999	89,53	3.191	95,32	3.281	97,99
$\bar{x}$	3.000	89,58	3.194	95,36	3.283	98,0

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian klorin dioksida (ClO_2) mampu menurunkan kadar *Total Coliform* secara signifikan pada limbah cair domestik di PT.X. Penurunan tertinggi terjadi pada dosis 2 mg/L dengan rata-rata penurunan 3.285 CFU/100 mL atau sebesar 98,04%. Diikuti oleh dosis 1,6 mg/L dengan penurunan 3.196 CFU/100 mL (95,40%) dan dosis 1,2 mg/L sebesar 3.001 CFU/100 mL (89,62%). Semakin tinggi dosis yang diberikan, semakin besar pula penurunan kadar *Total Coliform*, yang menunjukkan efektivitas klorin dioksida dalam proses desinfeksi air limbah.

e. Uji Normalitas

Tabel 5 Hasil Uji Normalitas

V	N	α	P Value	Ket
Post V1	6	0,05	0,989	Normal
Post V2	6	0,05	0,924	Normal
Post V3	6	0,05	0,908	Normal

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa seluruh data post test pada masing-masing variasi dosis klorin dioksida, yaitu 1,2 mg/L ($p = 0,989$), 1,6 mg/L ($p = 0,924$), dan 2 mg/L ($p = 0,908$), memiliki nilai p -value $> 0,05$. Dengan demikian, seluruh data berdistribusi normal dan memenuhi asumsi untuk dilakukan analisis statistik parametrik.

f. Uji Homogenitas

Tabel 6 Hasil Uji Homogenitas

Variabel	α	P Value	Ket
Hasil penurunan <i>Total Coliform</i>	0,05	0,163	Homogen

Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa data penurunan *Total Coliform* dari kelompok kontrol dan masing-masing kelompok perlakuan (dosis 1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2 mg/L) memiliki nilai p -value sebesar 0,163, yang lebih besar dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data memiliki varians yang homogen, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan uji statistik parametrik selanjutnya.

g. Uji One Way Anova

Tabel 7 Hasil Uji One Way Anova

Variabel	α	F Hitung	P Value	Ket
Hasil penurunan <i>Total Coliform</i>	0,05	104208	0,001	H0 Ditolak

Hasil uji One Way ANOVA menunjukkan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,001, yang berarti lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak dan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata penurunan kadar *Total Coliform* pada masing-masing variasi dosis klorin dioksida. Ketiga dosis perlakuan (1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2 mg/L) menunjukkan efektivitas yang berbeda dalam mengurangi jumlah *Total Coliform* pada air limbah, dan perbedaan tersebut dapat dianalisis lebih lanjut melalui pembahasan mengenai selisih dan persentase penurunan pada masing-masing dosis.

PEMBAHASAN

a. Penurunan Kadar Bakteri Coliform

Penelitian ini menunjukkan bahwa klorin dioksida (ClO_2) efektif menurunkan kadar *Total Coliform* dalam limbah cair domestik di PT.X. Pemberian tiga variasi dosis ClO_2 —1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2 mg/L—dengan waktu kontak 15 menit menghasilkan penurunan kadar *Total Coliform* secara signifikan. Dosis 2 mg/L memberikan hasil paling optimal dengan rata-rata penurunan sebesar 98,04%, menurunkan kadar *Coliform* hingga jauh di bawah ambang batas baku mutu (3.000 CFU/100 mL) sebagaimana ditetapkan dalam PermenLHK No. 68 Tahun 2016.

Uji statistik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan antar variasi dosis ($p = 0,000$), dan efektivitas desinfeksi juga ditunjang oleh kondisi pH netral (6,6–7,2) serta suhu yang stabil (25,6–27,6°C). ClO_2 bekerja sebagai oksidator kuat tanpa menghasilkan produk samping berbahaya seperti trihalometana (THM), menjadikannya pilihan yang lebih aman dan ramah lingkungan dibanding klorin konvensional. Meski demikian, perhatian perlu diberikan terhadap potensi pembentukan residu klorat dan klorit serta kebutuhan pengolahan in situ karena kestabilan ClO_2 yang rendah.

Secara keseluruhan, dosis 2 mg/L ClO_2 direkomendasikan sebagai dosis optimum untuk desinfeksi air limbah domestik karena efektif, memenuhi baku mutu, dan sesuai untuk sistem pengolahan limbah industri yang menerapkan prinsip zero discharge, seperti di PT.X. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mulyati (2022) yang menyatakan bahwa klorin tablet mampu menurunkan 98,5% bakteri coliform.

b. Pengaruh Suhu dan pH terhadap Penurunan Bakteri Coliform

Suhu udara dan suhu air limbah selama proses penelitian berada dalam rentang wajar dan sesuai ketentuan Permenkes RI No. 2 Tahun 2023, dengan selisih tidak

melebihi $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Kisaran suhu air limbah $25,3\text{--}27,6^{\circ}\text{C}$ dinilai valid dan representatif, serta berkontribusi positif terhadap efektivitas desinfeksi menggunakan klorin dioksida. Suhu yang hangat menurunkan viskositas air, mempercepat difusi senyawa kimia, dan meningkatkan laju reaksi oksidasi, sehingga mempercepat inaktivasi bakteri *Coliform*. Kenaikan suhu air limbah setelah perlakuan juga merupakan efek alami dari reaksi oksidasi eksotermis, aktivitas mikroorganisme, serta pengaruh suhu lingkungan sekitar. Faktor-faktor ini memperkuat efisiensi desinfeksi dan menunjukkan bahwa suhu menjadi variabel pendukung penting dalam proses pengolahan limbah cair domestik.

Selama proses klorinasi, pH air limbah terjaga dalam kisaran $6,6\text{--}7,2$ yang tergolong netral hingga sedikit asam, menciptakan kondisi optimum bagi efektivitas klorin dioksida (ClO_2). Tidak seperti klorin konvensional yang efektivitasnya menurun pada pH tinggi, ClO_2 tetap aktif dalam rentang pH luas ($5\text{--}10$) karena mekanisme kerjanya tidak tergantung pada bentuk asam atau basa, melainkan melalui transfer elektron langsung ke mikroorganisme. Stabilitas pH ini mendukung kerusakan membran dan inaktivasi enzim bakteri *Coliform* secara optimal. Peningkatan pH setelah perlakuan dapat disebabkan oleh produk samping ClO_2 yang cenderung netral hingga sedikit basa, serta hasil biodegradasi bahan organik seperti amonia dan senyawa basa lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemantauan pH, selain suhu, merupakan faktor penting yang mendukung keberhasilan proses desinfeksi dan menjadi indikator kualitas dalam pengolahan air limbah domestik di STP PT.X.

c. Penerapan di PT.X

Penelitian ini menunjukkan bahwa klorin dioksida (ClO_2) sangat efektif sebagai agen desinfeksi dalam menurunkan kadar Total Coliform pada limbah domestik di IPAL PT.X. Sistem perlakuan dirancang dalam bentuk prototipe berskala kecil dengan debit uji sekitar $12,73\text{ m}^3$ dan waktu kontak $15\text{--}30$ menit, menyesuaikan karakteristik kerja ClO_2 yang optimal dalam waktu singkat. Desain bak klorinasi mempertimbangkan aspek hidrolis dan dimensi aktual IPAL, dengan rasio panjang:lebar $8:7$ serta ruang bebas yang memadai. Seluruh dosis yang diuji ($1,2$; $1,6$; dan 2 mg/L) berhasil menurunkan kadar Coliform hingga di bawah ambang batas baku mutu 3.000 CFU/100 mL sesuai PermenLHK No. 68 Tahun 2016, dengan dosis 2 mg/L direkomendasikan sebagai dosis optimal. Penerapan sistem klorinasi ini ideal ditempatkan setelah proses aerasi dan klarifikasi, agar ClO_2 bekerja lebih efektif pada air limbah yang telah berkurang beban organiknya.

Teknologi ini berpotensi diimplementasikan secara nyata untuk mendukung efisiensi pengolahan mikrobiologi dan pencapaian target zero discharge di IPAL PT.X. Pengembangan sistem permanen dari prototipe ini perlu disertai kontrol terhadap pH, suhu, dan waktu kontak untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan proses desinfeksi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai variasi dosis klorin dioksida (ClO_2) terhadap penurunan bakteri *Coliform* pada limbah cair domestik di PT.X, dapat disimpulkan bahwa air limbah domestik di PT.X sebelum perlakuan memiliki kadar *Coliform* sebesar 3.352 CFU/100 mL, yang melebihi baku mutu maksimal 3.000 CFU/100 mL sesuai PermenLHK No. 68 Tahun 2016. Dan pemberian klorin dioksida dengan dosis 1,2 mg/L, 1,6 mg/L, dan 2,0 mg/L terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar *Coliform*. Semakin tinggi dosis yang diberikan, semakin besar efektivitas desinfeksinya. Dosis 1,2 mg/L mampu menurunkan kadar *Coliform*, namun belum optimal. Dosis 1,6 mg/L menunjukkan hasil yang lebih baik, sedangkan dosis 2,0 mg/L memberikan efektivitas penurunan tertinggi dengan efisiensi lebih dari 98%. Dosis optimum yang paling efektif adalah 2,0 mg/L karena mampu menurunkan kadar *Coliform* hingga di bawah ambang batas baku mutu, tanpa menghasilkan produk samping berbahaya seperti trihalometana (THM), sehingga aman dan ramah lingkungan. Penggunaan klorin dioksida (ClO_2) sebagai desinfektan terbukti efektif, efisien, dan lebih aman dibandingkan klorin konvensional, serta layak digunakan sebagai alternatif utama dalam sistem pengolahan air limbah domestik untuk mengendalikan pencemaran mikrobiologis.

DAFTAR RUJUKAN

1. A. Sandri, A., Khair, A., & S. H. (2020). Mengoptimalkan dosis klorin untuk mengurangi coliform kontaminasi pada pasokan air rumah sakit: Studi kasus di RSUD Alek Mas Amsyar Kasongan. *Machine Translated by Google*, 107–114.
2. Bakkara, C. G., & Purnomo, A. (2022). Kajian instalasi pengolahan air limbah domestik terpusat di Indonesia. *Jurnal Teknik ITS*, 11(3).
3. Butler, J. B., Suyasa, I. W. B., & Negara, I. M. S. (2022). Penurunan COD, BOD, TSS, amonia dan koliform air limbah rumah potong hewan dengan biofilter aerobik fixed-bed reactor dan klorinasi. *Jurnal Kimia*, 16(2), 174.

4. Chen, L., Xu, Y., & Wang, H. (2023). Alkalinitas air limbah dan kaitannya dengan stabilitas pH dalam proses desinfeksi. *Journal of Environmental Science Research*, 18(3), 221–229.
5. Chunai Tao, Tang, X., Gan, Y., Qin, Y., Yang, M., & Huang, F. (2024). Investigation of the disinfection efficiency of commercial hydrogen peroxide, chlorine dioxide, and chlorine disinfectant on different surfaces. *Medical Journal of Hygiene and Public Health*.
6. Fitrianiingsih, Suparyanti, T., & Lestari, E. (2022). Efektivitas desinfektan terhadap parameter mikrobiologi air limbah domestik. *Jurnal Medika Husada*, 2, 24–31.
7. Kamaludin, A., Iqbal, M., & Alian, A. R. (2021). *Modul teori dan praktik pemeriksaan air limbah*. Edisi I. Poltekkes Kemenkes Jakarta.
8. Li, M., Zhao, H., & Zhang, X. (2022). Chlorite and chlorate formation during chlorine dioxide disinfection: Mechanism and mitigation strategies. *Water Research*, 215, 118259.
9. .
10. Mulyati, S. A., Azizah, M., Atikah, N., & Sareal, T. (2022). The effectiveness of chlorine tablets to reducing coliform in wastewater treatment plant. *Jurnal Sains Natural*, 12(1), 10–16.
11. Narulitta, A. A., Sutopo, M. N., & Khumaira, A. (2023). Perhitungan bakteri Coliform pada limbah cair outlet dan inlet untuk mengetahui pengaruh pengolahan limbah cair terhadap pencemaran lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1, 48–55.
12. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.68 Tahun 2016. Baku mutu air limbah domestik.
13. Paul V. Roberts, Aieta, M., Berg, J. D., & Chang, B. M. (2022). *Kimia dasar limbah air natrium klorit: Disinfeksi dengan klorin dioksida*. Terjemahan edisi revisi. Academic Press.
14. Rahman, M., Widodo, R., & Kartika, L. (2021). Pengaruh suhu dan intensitas cahaya terhadap suhu air limbah di ruang terbuka. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 9(1), 12–18.
15. Said, N. I. (2017). *Teknologi pengolahan air limbah: Teori dan aplikasi* (L. Simarmata, Ed.). Erlangga.
16. Sun, H., Li, Y., & Chen, Z. (2024). Comparison of chlorine and chlorine dioxide disinfection in drinking water: Evaluation of disinfection byproduct formation under equal disinfection efficiency. *Water Research*, 260, 121932.
17. Supriyadi, Sumantri, I., & Hartati, I. (2016). Pengaruh dosis klorin pada pertumbuhan bakteri Coliform total dan *Escherichia coli* pada sungai Kreo, Garang, dan Tugu Suharto. *Momentum*, 12(1), 30–35.
18. Ummah, M. S. (2020). *Buku praktikum statistical program*. Sustainability (Switzerland), 11(1), 1–14.
19. Warren-Vega, W. M., Campos-Rodríguez, A., Zárate-Guzmán, A. I., & Romero-Cano, L. A. (2023). A current review of water pollutants in American continent: Trends and perspectives in detection, health risks, and treatment technologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5).
20. Xu, Y., Wang, D., & He, Z. (2023). Effects of mixing intensity on the kinetics of chlorine dioxide disinfection in wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(2), 109582.
21. Yew, G. C. K. (2019). Environmental pollution control in Singapore: The intersection of torts, statutes, regulations and community norms. *Vietnamese Journal of Legal Sciences*, 1(1), 77–88.

22. Zhang, Y., Qiu, J., Xu, X., & Zhou, L. (2021). Disinfection kinetics of free chlorine, monochloramines and chlorine dioxide on ammonia-oxidizing bacterium inactivation in drinking water. *Water*, 13(21), 3026.