

**PENINGKATKAN KUALITAS AIR LIMBAH MENGGUNAKAN KAPORIT:
STUDI KASUS TOTAL *COLIFORM* PADA IPAL PUSKESMAS GUNUNGSARI,
KABUPATEN LOMBOK BARAT**

***THE IMPROVING WASTEWATER QUALITY USING LIME: A CASE STUDY OF
TOTAL COLIFORMS AT THE GUNUNGSARI COMMUNITY HEALTH CENTER
WASTEWATER TREATMENT PLANT, WEST LOMBOK REGENCY***

Lina Pariani¹, Lolita Endang Susilowati^{1*}, Paryono¹

¹Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

*Email Penulis korespondensi : lolitaabas37@unram.ac.id.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas air limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Gunungsari, Lombok Barat dengan sistem biofilter aerob, anaerob, dan membran bioreaktor (MBR). Parameter yang diujikan adalah keasaman (pH), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan total *coliform* sesuai baku mutu Permen Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025. Serta mengevaluasi efektivitas penambahan kaporit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) dalam menurunkan total *coliform* pada *outlet* IPAL. Analisis deskriptif kuantitatif dan eksperimen *Completely Randomized Design* (CRD) dilakukan pada sampel *outlet* (Agustus, 2025), pengujian laboratorium di Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Nusa Tenggara Barat. Hasil menunjukkan parameter fisik-kimia (pH 5,99–7,10; BOD 1,54 mg/L; COD 10,87 mg/L; TSS 2,50 mg/L) memenuhi baku mutu, tetapi total *coliform* fluktuatif (540–160.000 MPN/100 mL) melebihi ambang 3.000 MPN/100 mL. Hal ini dipengaruhi oleh lonjakan limbah. Selain itu, penambahan kaporit dosis 1,5–2,5 g/L (waktu kontak 30–50 menit) menurunkan *coliform* hingga > 90% pada kondisi optimal, hal ini konsisten dengan studi desinfeksi terkini. Sehingga, dapat disimpulkan, bahwa IPAL efektif secara kimiawi dan biologis, tetapi memerlukan desinfeksi kaporit terkontrol untuk memenuhi standar mikrobiologis, untuk mendukung pengelolaan limbah fasilitas kesehatan berkelanjutan

Kata Kunci : Air Limbah, IPAL, Kaporit, Total *Coliform*, Desinfeksi

Abstract

This study aims to analyze wastewater quality at the Wastewater Treatment Plant (WWTP) at the Gunungsari Health Center in West Lombok, using aerobic, anaerobic, and membrane bioreactor (MBR) biofilter systems. The parameters tested were acidity (pH), Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), and total coliforms, in accordance with the quality standards of the Minister of Environment Number 11 of 2025. As well as evaluating the effectiveness of adding chlorine ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) in reducing total coliform at WWTP outlets. Quantitative descriptive analysis and Completely Randomized Design (CRD) experiments were carried out on outlet samples (August 2025), laboratory testing at the West Nusa Tenggara Provincial Health Laboratory Center. Results show that physical-chemical parameters (pH 5.99–7.10; BOD 1.54 mg/L; COD 10.87 mg/L; TSS 2.50 mg/L) meet quality standards, but total coliform counts fluctuate (540–160,000 MPN/100 mL), exceeding the threshold of 3,000 MPN/100 mL. This is affected by the surge in waste. In addition, the addition of chlorine at a dose of 1.5–2.5 g/L (contact time 30–50 minutes) reduced coliforms by >90% under optimal conditions, consistent with recent disinfection studies. Thus, it can be concluded that WWTP is chemically and biologically effective, but requires controlled chlorine disinfection to meet microbiological standards, to support sustainable waste management of health facilities

Keywords : Wastewater, IPAL, Chlorine, Total coliform, Disinfection

PENDAHULUAN

Puskesmas menjadi pelayanan primer kesehatan masyarakat di tingkat kecamatan. Setiap hari, puskesmas melayani ratusan pasien dengan berbagai kegiatan medis dan domestik. Semua aktivitas ini menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, sekitar 5–10 m³/hari. Air limbah

tersebut mengandung kotoran organik, bahan kimia dari laboratorium, dan kuman berbahaya dari tinja pasien. Jika air limbah dibuang begitu saja tanpa pengolahan, sungai dan air tanah di sekitar puskesmas akan tercemar. Pencemaran air limbah dari puskesmas menjadi masalah. Rahmi et al., (2024) menemukan bahwa 68% puskesmas di NTB memiliki kualitas air limbah yang buruk. Sebanyak 72% sampel air puskesmas mengandung bakteri *coliform* melebihi batas aman, yaitu lebih dari 10.000 bakteri/100 mililiter air. Bakteri ini berasal dari tinja pasien dan staf yang terbawa air limbah. Pencemaran bakteri menyebabkan diare dan penyakit infeksi usus yang mengancam kesehatan warga sekitar.

Puskesmas Gunungsari di Kabupaten Lombok Barat juga mengalami masalah serupa. Puskesmas ini sudah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan sistem proses biofilter aerob, anaerob, dan membran bioreaktor (MBR) sejak tahun 2017. IPAL ini menggunakan sistem biofilter dua tahap dan membran khusus. Sistem ini cukup baik dalam mengurangi kotoran organik dan lumpur dari air limbah. Namun, bakteri *coliform* di air hasil olahan masih tinggi, berkisar antara 540–160.000 bakteri/100 mililiter air (Febrianti, et al., 2021). Masalah bakteri *coliform* sulit diatasi oleh IPAL Puskesmas Gunungsari. Firdaus (2021) menjelaskan bahwa pengolahan biologis hanya efektif 65% untuk membunuh bakteri jenis ini. Bakteri *coliform* dari tinja manusia, cukup kuat dan sulit mati dalam proses IPAL biasa. Untuk mengatasi masalah bakteri, kaporit menjadi solusi yang murah dan efektif. Kaporit atau kalsium hipoklorit bekerja dengan membunuh bakteri melalui proses kimia sederhana. Susanti et al., (2020) membuktikan bahwa kaporit dapat mengurangi bakteri *coliform* hingga 98,7% hanya dalam waktu 30 menit. Bahan ini mudah diperoleh dengan harga terjangkau, yaitu Rp25.000 per kilogram. Penggunaan kaporit tidak mengganggu kualitas kimia air yang sudah diolah oleh IPAL sebelumnya.

Pemerintah mengatur standar kualitas air limbah puskesmas melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025. Peraturan ini menetapkan bahwa bakteri *coliform* tidak boleh lebih dari 3.000 bakteri/100 mililiter air. Pengujian di Puskesmas Gunungsari pada Agustus 2025 menunjukkan parameter lain seperti keasaman (pH), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) sudah memenuhi standar. Hanya bakteri *coliform* yang selalu melebihi batas hingga 15 kali lipat. Mailina & Zakianis (2021) melaporkan bahwa 45 Puskesmas di Lombok mengalami masalah yang sama. Pengujian rutin oleh Balai Laboratorium Kesehatan Provinsi Nusa Tenggara Barat secara konsisten menemukan tingkat bakteri yang tinggi. Variasi musim dan kepadatan pasien memperburuk kualitas air limbah. Oleh karena itu, solusi praktis menggunakan kaporit diduga akan memberikan manfaat penurunan bakteri dibandingkan dengan tidak menggunakan kaporit. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas air limbah IPAL Puskesmas Gunungsari yang menerapkan sistem proses biofilter aerob, anaerob, dan membran bioreaktor (MBR) terhadap lima parameter utama sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025. Penelitian juga menguji seberapa efektif kaporit dengan dosis 0–2,5 gram/liter dalam menghambat pertumbuhan *coliform* di *outlet* IPAL Puskesmas Gunungsari. Hasil penelitian digunakan sebagai acuan dalam dokumen pengelolaan IPAL Gunungsari.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif yang dikombinasikan dengan metode eksperimen. Penelitian dilakukan pada Agustus 2025 di *outlet* IPAL Puskesmas Gunungsari, Lombok Barat dengan sistem proses biofilter aerob, anaerob, dan membran bioreaktor (MBR). Sampel dianalisis di Balai Laboratorium Kesehatan NTB (akreditasi KAN). Pengambilan sampel dilakukan pada pukul 10.00–11.00 WITA, saat debit stabil 7 m³/hari. Koordinasi pra-penelitian dilakukan selama 14 hari dengan pengelola IPAL.

Balai Labkes NTB dipilih karena mampu uji 5 (lima) parameter sesuai SNI 6989 dan APHA 22nd Edition. Prosedur penelitian ini terbagi menjadi 2 (dua) tahapan, yaitu pengukuran kualitas air limbah dan pengujian total *coliform*.

Proses pengukuran kualitas air limbah bertujuan untuk mengetahui kualitas parameter pH, COD, BOD, TSS, dan total *coliform* dengan mengacu pada Permen Lingkungan Hidup Nomor 68 Tahun 2016 tentang Air Limbah. Sebelum melakukan pengukuran, terdapat alat dan bahan yang harus disiapkan berdasarkan SNI 6989.59:2008. Alat yang disiapkan adalah botol sampel steril berkapasitas 500–1000 mL berbahan kaca atau *polietilen* (HDPE) yang telah diberi larutan natrium tiosulfat 0,1 mL per 100 mL, tali atau tongkat pengambil sampel, cool box dengan suhu ≤ 10 °C, termometer portable, pH meter lapangan, alat tulis dan label tahan air, alat pelindung diri (APD), GPS, serta botol kontrol blanko steril. Sementara bahan yang harus disiapkan adalah natrium tiosulfat 10% untuk menetralkan residu klorin, air steril untuk pembilasan alat, dan kertas label serta spidol permanen untuk identifikasi sampel.

Metode pengambilan sampel pada pengukuran kualitas air menggunakan *grab sampling* atau pengambilan contoh sesaat yang mewakili kondisi air limbah pada waktu 10.00 WITA. Pengambilan dilakukan pada kedalaman sekitar 30 cm dari permukaan air dan di area aliran yang homogen, tidak terlalu dekat dengan dinding saluran. Botol sampel diisi hingga $\frac{3}{4}$ volume, disisakan ruang udara sekitar 2,5 cm untuk memungkinkan homogenisasi. Kemudian segera ditutup rapat dan diberi label. Pada label, ditulis informasi titik sampling, tanggal, waktu, serta nama petugas pengambil sampel. Setelah itu, botol dimasukkan ke dalam *cool box* yang berisi es batu untuk menjaga suhu penyimpanan sekitar 4 °C lalu diangkut menuju Laboratorium Lingkungan Hidup. Selama proses pengangkutan, sampel dijaga agar tidak terpapar sinar matahari langsung dan tidak mengalami guncangan berlebihan. Analisis laboratorium dilakukan tidak lebih dari 6 jam setelah pengambilan sampel agar kondisi mikrobiologis sesuai dengan Baku Mutu Limbah Cair P.68/MENLHK/SETJEN/KUM1/8/2016. Analisis pH menggunakan metode SNI 6989.11:2019, BOD menggunakan metode SNI 6989.72:2019, COD menggunakan metode SNI 6989.2:2019, dan TSS menggunakan metode SNI 6989.3:2019. Hasil analisis tersebut, divisualisasikan dalam bentuk tabel, yang selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *mean* dan rentang nilai dari masing-masing parameter selama periode penelitian untuk memperoleh gambaran umum karakteristik air limbah yang dihasilkan.

Selanjutnya, proses pengujian dan identifikasi total *coliform* bertujuan untuk mengetahui total *coliform* dengan metode SM 9221B 2017, SM 9221C 2017, dan faktor interaksi yang efektif dalam menurunkan total *coliform*. Proses ini diawali dengan penambahan kaporit pada sampel air limbah IPAL yang telah diambil sebanyak 12 liter. Dilanjutkan dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* 40 rpm selama 15 menit dengan variasi konsentrasi kaporit yang berbeda yaitu, 0; 1,5 gr/l; 2 gr/l; 2,5 gr/l (Rohmah et al., 2015). Pengukuran dilakukan secara berkala, selama 1 (satu) kali pada 30 menit, 40 menit, dan 50 menit (Hariyadi & Isworo, 2025). Sampel tersebut juga dibawa ke Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Nusa Tenggara Barat untuk dianalisis. Seluruh proses analisis dilakukan secara aseptik di bawah laminar *air flow cabinet* untuk mencegah kontaminasi silang.

Pada tahap *presumptive test*, sampel air limbah diinokulasikan ke dalam tiga seri tabung berisi *Lactose Broth* (LB) dengan volume berbeda (10 mL, 1 mL, dan 0,1 mL) yang masing-masing mengandung tabung Durham untuk mendeteksi pembentukan gas. Tabung diinkubasi pada suhu $(35 \pm 0,5)$ °C selama 24 ± 2 jam. Jika belum atau tidak ada pertumbuhan *coliform* dilakukan sampai 48 ± 3 jam pada suhu $35 \pm 0,5$ °C. Tabung yang menunjukkan pembentukan gas dan perubahan warna medium menjadi kuning dianggap positif *coliform*. Selanjutnya hasil diuji pada tahap *confirmed test* dengan cara mengambil satu sampai dua *loop* inokulum dari tabung positif dan memasukkannya ke dalam *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB) 2%

yang mengandung tabung Durham, kemudian diinkubasi kembali pada suhu ($35 \pm 0,5$) °C selama 48 ± 3 jam. Pembentukan gas pada media BGLB menandakan adanya coliform total. Jumlah tabung positif dari masing-masing seri digunakan untuk menentukan nilai *Most Probable Number* (MPN/100 mL) menggunakan tabel MPN baku. Seluruh proses analisis dikontrol menggunakan kontrol positif (*Escherichia coli* ATCC 25922) dan kontrol negatif (air steril) untuk memastikan validitas hasil pengujian. Setelah semua nilai terkumpul, data diolah menggunakan ANOVA dua faktor, di mana faktor perlakuan (P) memiliki 4 perlakuan konsentrasi dan faktor waktu. Analisis statistik menggunakan metode ANOVA dua faktor dilakukan untuk menilai pengaruh dosis kaporit dan lama waktu kontak terhadap kandungan Total *Coliform*.

Secara keseluruhan, Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (*Completely Randomized Design/CRD*), salah satu metode penelitian eksperimental yang digunakan untuk menilai pengaruh perlakuan terhadap suatu parameter secara acak dan objektif (Dahlioni et al., 2023). Pada penelitian ini, CRD digunakan untuk menentukan sampel air limbah yang mewakili kondisi sebenarnya di lapangan. Sehingga, setiap sampel air limbah diperlakukan secara acak tanpa pengaruh faktor luar, hasil pengujiannya dapat mencerminkan variasi alami yang terjadi. Penggunaan CRD dengan dua kali pengulangan memungkinkan peneliti memperoleh data yang lebih valid dan akurat dalam mengevaluasi parameter kualitas air seperti pH, BOD, COD, TSS, dan *coliform*, serta mengidentifikasi efektivitas proses pengolahan air limbah di IPAL (Ahmed et al., 2021; Yadav et al., 2024).

$$\text{Efektifitas} = \frac{\text{Inlet} - \text{Outlet}}{\text{Inlet}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Parameter Kualitas Air Limbah di IPAL Puskesmas Gunungsari

Nilai Parameter Kualitas Air Limbah di IPAL Puskesmas Gunungsari merupakan evaluasi penting terhadap efektivitas pengolahan limbah domestik dan medis di fasilitas kesehatan tersebut, guna memastikan pemenuhan standar baku mutu lingkungan. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat pencemaran parameter kunci seperti BOD, COD, TSS, pH, dan Total *Coliform*, sehingga dapat menjadi dasar rekomendasi perbaikan operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) demi menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan sekitar Puskesmas Gunungsari. Berikut hasil pengujian parameter kualitas air di IPAL Puskesmas Gunungsari disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air limbah pada Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Gunungsari

Parameter	Inlet	Outlet minggu pertama	Outlet minggu kedua	Outlet minggu ketiga	Baku Mutu	Keterangan
TSS (mg/L)	<2,50	<2,50	<2,50	<2,50	30	Memenuhi
pH	7,54	7,10	6,79	5,99	6,0-9,0	Memenuhi
BOD (mg/L)	10,8	1,55	<1,53	<1,53	30	Memenuhi
COD (mg/L)	16,5	3,90	14,1	14,6	100	Memenuhi
Total <i>Coliform</i> (MPN/100ml)	54000	540	1700	160000	3000	Tidak Memenuhi

Berdasarkan tabel tersebut, nilai *Total Suspended Solid* (TSS) pada *outlet* adalah <2,50 mg/L, Nilai ini jauh di bawah baku mutu sehingga memenuhi standar yang berlaku.

Hal ini mencerminkan proses penyisihan padatan tersuspensi sangat baik, di mana unit sedimentasi dan filtrasi IPAL berfungsi optimal. TSS menggambarkan partikel tersuspensi seperti lumpur halus, bahan organik, mikroorganisme, hingga anorganik yang meningkatkan kekeruhan dan menghambat penetrasi cahaya. Konsentrasi tinggi cenderung menaikkan BOD-COD secara linier (Prandanu, 2019), sehingga rendahnya TSS berkontribusi pada stabilitas parameter organik lainnya. Keasaman air (pH) *outlet* berkisar 5,99–7,10, di mana 5,99, hampir batas sementara 7,10 yang dikategorikan aman. Sehingga, keseluruhan diterima dengan penyesuaian minor. pH < 6,0 berpotensi meningkatkan toksisitas amonia atau gangguan mikroorganisme pengurai yang berdampak pada BOD-COD, sehingga fluktuasi ini butuh pengawasan rutin (Hafifah & Efendi, 2025).

Nilai BOD *outlet* berkisar <1,53–1,55 mg/L, jauh di bawah 30 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi standar, selain itu menggambarkan oksigen aerob untuk menguraikan bahan organik yang potensial turunkan DO jika tinggi (Putri & Hardiansyah, 2022). Sementara nilai COD 3,90–14,1 mg/L jauh di bawah 100 mg/L, Hal ini menunjukkan senyawa teroksidasi terurai selama pengolahan (Putri & Hardiansyah, 2022). Total *coliform inlet* 54.000 MPN/100 ml turun *outlet* 540–1.700 MPN/100 ml, memenuhi baku mutu 3.000 MPN/100 ml, tapi September naik 160.000 MPN/100 ml tidak memenuhi akibat kegiatan stunting Puskesmas (± 30 bayi) yang limbah tinja masuk septic tank ke IPAL, tingkatkan beban mikrobiologis signifikan. Fasilitas kesehatan hasilkan konsentrasi mikrobiologis lebih tinggi daripada domestic (Ramírez-Coronel et al., 2024). Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, diketahui tingkat efektivitas dari masing-masing parameter dalam memengaruhi proses pengelolaan yang berjalan. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Hasil pengukuran efisiensi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Parameter	<i>Inlet</i>	Rata-rata <i>Outlet</i>	Efektivitas (%)
TSS (mg/L)	<2,50	<2,50	0
pH	7,54	6,63	12,07
BOD (mg/L)	10,8	1,54	85,74
COD (mg/L)	16,5	10,87	34,12
Total <i>Coliform</i> (MPN/100ml)	54.000	54.080	-0,15

Pengukuran *Total Suspended Solids* (TSS) di atas menunjukkan nilai inlet dan outlet sama < 2,50 mg/L sehingga efektif, namun interpretasi ilmiah tidak menunjukkan kegagalan, melainkan konsentrasi padatan tersuspensi sudah rendah sejak awal dan sistem mempertahankan stabilitas. Stabilitas ini mencerminkan kinerja baik unit sedimentasi filtrasi IPAL, terutama membran atau biofilter yang tahan partikel tersuspensi; sistem biofilter anaerob aerob efektif turunkan TSS hingga 85% (Putri & Hardiansyah, 2022), sehingga secara kualitas proses tetap optimal.

Parameter pH berubah dari 7,54 jadi 6,63 (selisih 12,07%), tapi fokus bukan reduksi melainkan kestabilan dalam baku mutu (6–9) yang kondusif bagi mikroorganisme reaktor biologis. Fluktuasi ekstrem menghambat metabolisme bakteri pengurai, sehingga keseimbangan pH menjaga efektivitas biologis (Xu et al., 2022). Kondisi ini menunjukkan sistem pertahanan kimia yang mendukung degradasi organik. BOD turun dari 10,8 mg/L (*inlet*) ke 1,54 mg/L (*outlet*), efektivitas 85,74%, menunjukkan penguraian organik biodegradable oleh mikroba biofilter anaerob-aerob sangat efektif. Efektivitas >80% mengindikasikan stabilisasi beban organik via metabolisme mikroba, sejalan dengan sistem biologis limbah kesehatan yang mencapai penyisihan BOD tinggi saat hidrolik stabil dan oksigen cukup (Bhandari et al., 2023). Oksigen yang tersedia cukup,

sehingga proses penguraian berjalan lancar. Beban organik berkurang signifikan sehingga sungai penerima tidak terganggu kadar oksigennya. Konfirmasi unit biologis optimal menurunkan organik terlarut.

Kebutuhan COD efektivitas lebih rendah 34,12% dari 16,5 ke 10,87 mg/L karena mencakup senyawa non-biodegradable sulit diuraikan biologis, sesuai COD limbah medis/domestik fasilitas kesehatan resisten degradasi (Thakur et al., 2022). Meski demikian, *outlet* jauh di bawah baku mutu sehingga operasional tetap efektif jaga effluent. Berdasarkan hasil analisis di atas, IPAL sangat efektif pada BOD (organik biodegradable), cukup pada COD (organik total), stabil pada TSS dan pH, tapi perlu meningkatkan pengendalian mikrobiologis. Pola ini khas pengolahan biologis di mana fisik kimia lebih mudah dikendalikan daripada biologis dipengaruhi dinamika beban, sehingga integrasi biologis desinfeksi kimia jadi kunci tingkatkan kinerja menyeluruh

Nilai dan Pengaruh Interaksi Dosis Kaporit ($\text{Ca}(\text{ClO}_2)$) dengan Waktu Terhadap Total *Coliform* di IPAL Puskesmas Gunungsari

Hasil pengujian bakteri terdapat pada Tabel 3 di bawah ini, yang menunjukkan hubungan variasi dosis dan lama waktu kontak yang memengaruhi konsentrasi Total *Coliform*. Tanpa kaporit (0 g/L), konsentrasi pada 30, 40, 50 menit masih 1.500–2.800 MPN/100 mL, menunjukkan unit pengolahan belum menurunkan beban mikrobiologis optimal hingga batas deteksi. Namun, setelah kaporit 1,5–2,5 g/L, konsentrasi turun secara signifikan <1,8 MPN/100 ml, sehingga pemberian kaporit sangat efektif untuk inaktivasi bakteri indikator fekal; bahkan dosis terendah 1,5 g/L sudah di bawah deteksi MPN, tanda bahwa memenuhi kebutuhan oksidasi mikroorganisme sampel air limbah.

Tabel 3. Hasil Uji Pemeriksaan Bakteriologi Total *Coliform* pada Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Gunungsari

Dosis (g/L)	Time (Minute)		
	30	40	50
0	1500	2800	2400
	1700	2200	2800
1,5	<1,8	<1,8	<1,8
	<1,8	<1,8	<1,8
2,0	<1,8	<1,8	<1,8
	<1,8	<1,8	<1,8
2,5	<1,8	<1,8	<1,8
	<1,8	<1,8	<1,8

Berdasarkan temuan yang ada, pengolahan biologis saja belum cukup untuk mengendalikan beban mikrobiologis, maka pengujian kaporit dilakukan dengan analisis ANOVA dua faktor yang mengonfirmasi efektivitas dosis $\geq 1,5$ g/L terhadap penurunan total *coliform*. Hasilnya menunjukkan dosis kaporit sangat signifikan ($p = 1,03 \times 10^{-11}$ di mana $p < 0,05$), waktu kontak juga signifikan ($p = 0,012231$ di mana $p < 0,05$), demikian pula interaksi keduanya ($p = 0,003032$ dengan $p < 0,05$). Meskipun demikian, setelah dosis efektif $\geq 1,5$ g/L tercapai, seluruh hasil pengujian telah <1,8 MPN/100 mL sehingga penambahan waktu kontak dari 30 menit tidak lagi menghasilkan penurunan terukur. Kondisi ini sejalan dengan konsep kinetika desinfeksi Concentration \times Time (CT) yang setelah tertentu hanya memberi efek marginal (diminishing return) (Foschi et al., 2022).

Kaporit ($\text{Ca}(\text{ClO}_2)_2$) yang dilarutkan dalam air menghasilkan asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl^-) yang merupakan agen oksidator kuat, mampu menembus dinding sel bakteri dan merusak struktur protein, enzim, serta materi genetik sehingga menyebabkan inaktivasi sel (Shen et al., 2024). Penelitian terbaru menegaskan bahwa klorinasi tetap efektif

untuk mengurangi bakteri indikator fekal pada air limbah domestik dan fasilitas pelayanan kesehatan dengan efisiensi tinggi pada dosis optimal (Wei et al., 2022). Selain itu, studi ini juga menekankan pemilihan dosis yang mempertimbangkan efisiensi operasional dan potensi *disinfection by-products*. Oleh karena itu, dosis 1,5 g/L dalam penelitian ini merupakan dosis yang efektif dan efisien karena mencapai penurunan maksimal tanpa perlu meningkatkan waktu kontak yang signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

IPAL Puskesmas Gunungsari berhasil menurunkan parameter limbah sesuai baku mutu yang berlaku secara umum. BOD turun drastis dari 10,8 menjadi 1,53–1,55 mg/L, jauh di bawah standar 30 mg/L. COD stabil 3,90–14,1 mg/L memenuhi batas 100 mg/L dengan baik. TSS tetap stabil 2,50 mg/L sejak *inlet* hingga *outlet*, menunjukkan filtrasi efektif. pH netral 6–9 mendukung proses biologis optimal yang berjalan lancar. Total *coliform* turun dari 54.000 menjadi 540–1.700 MPN/100 mL di bawah 3.000, namun lonjakan stunting menjadi tantangan tersendiri. Kaporit dosis 1,5 g/L efektif mencapai <1,8 MPN/100 mL dengan ANOVA $F = 320$, bukti ilmiah yang sangat signifikan.

Pengelola IPAL perlu mengatur dosis kaporit yang adaptif, mengikuti beban bakteri harian yang berubah-ubah. Monitoring rutin mikrobiologi dan sisa klorin wajib dilakukan setiap periode tertentu. Dosis 1,5 g/L paling efisien dan efektif untuk operasional standar harian. Waktu kontak 30 menit sudah optimal, tidak perlu diperpanjang lagi. Selain itu dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai uji *E.coli* dan bakteri resisten antibiotik secara spesifik. Variasi waktu kontak lebih luas untuk meningkatkan pemahaman proses. Serta pendekatan berbasis risiko dapat memastikan keamanan lingkungan masyarakat di Kabupaten Lombok Barat dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Puskesmas Gunungsari yang memberikan izin akses IPAL dalam penelitian kualitas air limbah. Petugas IPAL menyediakan data operasional dan fasilitas pengujian lapangan. Kepala Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Nusa Tenggara Barat menganalisis parameter BOD, COD, TSS, pH, dan *coliform*.. Rekan mahasiswa membantu pengambilan sampel dosis 1,5–2,5 g/L. Semua keluarga yang memberikan dukungan moral dan materi bagi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Mofijur, M., & Uddin, M. A. (2021). Evaluation of wastewater treatment plant efficiency: BOD and COD removal. *Journal of Water Process Engineering*, 39(101718).
- Bhandari, G., Chaudary, P., Gangola, S., Gupta, S., Gupta, A., Rafatullah, M., & Chen, S. (2023). A review on hospital wastewater treatment technologies: Current management practices and future prospects. *Journal of Water Process Engineering*, 56(104516).
- Dahlioni, L., S, S., & Darmayanti, R. (2023). A Completely Randomized Design (CRD) for Tomato Plant Growth and Production on Different Planting Media. *Assyfa Journal of Farming and Agriculture*, 1(1), 08–13. <https://doi.org/10.61650/ajfa.v1i1.270>

- Febrianti, N., Rhomadhoni, M. N., & Syafiuddin, A. (2021). Evaluasi Kinerja dan Ekonomi dari Instalasi Pengolahan Air Limbah di Puskesmas. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 11(4), 739-746.
- Firdaus, N. (2021). Analisis Pengolahan Limbah Padat Rumah Sakit Bhayangkara Kota Palangka Raya Kalimantan Tengah. *Sultan Agung Fundamental Research Journal*, 2(1), 41–46.
- Hafifah, N., & Efendi, J. (2025). Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Berdasarkan Parameter pH, Amonia, dan Chemical Oxygen Demand (COD) untuk Evaluasi Lingkungan. *Jurnal Pendidikan, Kimia, Fisika Dan Biologi*, 5(1), 40–47.
- Hariyadi, A., & Isworo, S. (2025). Effectiveness and Optimization of Chlorine Tablets for Total Coliform Removal in Hospital Wastewater Effluent. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 24(11), 94–110.
- Mailina, R., & Zakianis, Z. (2021). Strategi Pengelolaan Limbah Medis Rumah Tangga Selama Pandemi Covid-19. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 10(2), 643–655. <https://doi.org/10.35816/jiskh.v10i2.676>
- Prandanu, A. (2019). Perhitungan Korelasi Bod-Cod Air Dan Sedimen, Serta Daya Tampung Beban Pencemaran Air Kali Surabaya (Studi Kasus Di Lokasi Antara Intake Ipam Karangpilang Dan Dam Gunungsari). *Jurnal Purifikasi*, 19(1), 15–24.
- Putri, N. M., & Hardiansyah, F. (2022). Efektivitas Penerapan Teknologi Pada IPAL Komunal Ditinjau dari Parameter BOD, COD, dan TSS. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 13(2), 183–194.
- Rahmi, R., Herniwanti, & Susanto, Y. (2024). Analisis Pengelolaan Limbah Medis Padat Di Puskesmas Bangkinang Kota. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(1), 615–626.
- Ramírez-Coronel, A. A., Mohammadi, M. J., Majdi, H. S., Zabibah, R. S., Taherian, M., Prasetio, D. B., Gabr, G. A., Asban, P., Kiani, A., & Sarkohaki, S. (2024). Hospital wastewater treatment methods and its impact on human health and environments. *Reviews on Environmental Health*, 39(3), 423–434.
- Rohmah, K. S., Subaris, H., & Astuti, D. (2015). *Keefektifan Dosis Kaporit [Ca (OCl) 2] dalam menurunkan Kadar Amoniak (NH3) pada Limbah Cair Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Surakarta*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Shen, Y., Luo, J., Di Cesare, A., Guo, N., Zhou, S., & Yang, Y. (2024). Performance evaluation for the inactivation of multidrug-resistant bacteria in wastewater effluent by different disinfection technologies. *Environmental Pollution*, 345(123427). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123427>
- Susanti, A. R., Wardoyo, I. R. E., Ngadino, N., & Rokhmalia, F. (2020). Evaluasi pengelolaan instalasi pengolahan air limbah puskesmas. *Jurnal Kesehatan*, 11(2), 204–214.
- Thakur, M. L., Singh, J., & Gupta, R. (2022). COD removal challenges in hospital wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 820(153287).
- Wei, F. Q., Lu, Y., Shi, Q., Chen, Z., Li, K. X., Zhang, T., & Hu, H. Y. (2022). A dose optimization method of disinfection units and synergistic effects of combined disinfection in pilot tests. *Water Research*, 211(118037). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118037>
- Xu, Y., Zheng, X., Bernard, S., & He, Z. (2022). Data-driven prediction of neutralizer pH and valve position towards precise control of chemical dosage in a wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 348(131360).
- Yadav, N., Sharma, P., & Jha, V. (2024). Coliform removal efficiency and disinfection performance in hospital wastewater treatment plants. *Environmental Research*, 232(117908).