JIP
Jurnal Ilmiah PLATAX
Universitas Sam Ratulangi
Terakreditasi Ristekdikti No: 28/E/KPT/2019
ISSN : 2302-3589 (Online)
E_mail : jip_platax@unsrat.ac.id

Performance of Shipboard Sewage Treatment Plants in Reducing Total Coliform and Biochemical Oxygen Demand in Domestic Wastewater from Pioneer Passenger Vessels on the R-36 Route

(Kinerja Sewage Treatment Plant dalam Menurunkan Total Coliform dan Biochemical Oxygen Demand pada Limbah Domestik Kapal Penumpang Perintis Rute R-36)

Vennda U. Kalmareuro[1,2*], Rosita A. J. Lintang[3], Wilmy E. Pelle[3], Robert A. Bara[3], Annita C.L. Sinjal[3], Deiske A. Sumilat[3], Mercy I. R. Taroreh[4]

[1.] *Master of Marine Science Program, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University, Manado*
[2.] *North Sulawesi Maritime Polytechnic*
[3.] *Faculty of Fisheries and Marine Sciences, Sam Ratulangi University, Manado*
[4.] *Faculty of Agriculture, Sam Ratulangi University, Manado*

**Corresponding author:* uno@poltekpelsulut.ac.id

Manuscript received: 19 April. 2026. Revision accepted: 27 June 2026

Abstract. This study evaluated the performance of Sewage Treatment Plants (STPs) in reducing Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Total Coliform in domestic wastewater from two pioneer passenger vessels operating on the R-36 route at Bitung and Likupang Ports, North Sulawesi, Indonesia. Wastewater samples were collected from two treatment stages: WP I, representing the inlet or pre-treatment wastewater, and WP II, representing the treated effluent. Laboratory analyses were conducted at SGS-WLN, a laboratory accredited by the National Accreditation Committee of Indonesia, using standard methods for BOD and Total Coliform determination. The results showed a consistent decrease in both parameters after STP treatment. In Vessel A, the average BOD decreased from 42.0 to 19.5 mg/L, while Total Coliform decreased from 15,250 to 2,435 MPN/100 mL. In Vessel B, the average BOD decreased from 60.0 to 20.0 mg/L, while Total Coliform decreased from 24,350 to 2,690 MPN/100 mL. The removal efficiency of Total Coliform reached 84.03% in Vessel A and 88.95% in Vessel B. All treated effluent samples complied with the Indonesian domestic wastewater quality standards. Although the Wilcoxon signed-rank test showed no statistically significant difference between pre- and post-treatment values ($p = 0.068$), the descriptive results indicate that the STPs effectively reduced organic and microbiological pollutant loads. These findings highlight the importance of routine STP monitoring and maintenance to prevent microbiological pollution from passenger vessels in port environments.

*Keywords**:** Biochemical Oxygen Demand; domestic wastewater; pioneer passenger vessel; Sewage Treatment Plant; Total Coliform*

Abstrak. Penelitian ini menganalisis kinerja Sewage Treatment Plant (STP) pada dua kapal penumpang perintis rute R-36 dengan membandingkan kualitas limbah sebelum pengolahan (WP I) dan efluen setelah pengolahan (WP II). Sampel diambil di Pelabuhan Bitung dan Pelabuhan Likupang pada 6-8 Maret 2026. Parameter yang dianalisis adalah Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Total Coliform. Analisis dilakukan di SGS-WLN, laboratorium penguji terakreditasi KAN LP-433-IDN, menggunakan metode SM APHA 24th Ed. 5210 B.2023 untuk BOD dan Total Coliform (IDEXX) berbasis SM APHA 24th Ed. 9223 B.2023. Data dianalisis secara deskriptif-komparatif dan didukung uji Wilcoxon Signed-Rank. Hasil menunjukkan bahwa STP menurunkan kedua parameter pada seluruh sampel. Rata-rata BOD turun dari 42,0 menjadi 19,5 mg/L pada Kapal A dan dari 60,0 menjadi 20,0 mg/L pada Kapal B. Total Coliform turun dari 15.250 menjadi 2.435 MPN/100 mL pada Kapal A dan dari 24.350 menjadi 2.690 MPN/100 mL pada Kapal B, dengan efektivitas penurunan masing-masing 84,03% dan 88,95%. Seluruh efluen WP II memenuhi baku mutu Permen LHK No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016. Uji Wilcoxon tidak menunjukkan perbedaan signifikan ($p = 0,068$), sehingga temuan statistik perlu ditafsirkan dengan mempertimbangkan jumlah sampel yang terbatas. Secara deskriptif, STP pada kedua kapal berfungsi baik dalam menurunkan beban organik dan mikrobiologis, tetapi pemantauan berkala tetap diperlukan untuk menjaga stabilitas mutu efluen.

Kata kunci: BOD; kapal penumpang perintis; Pelabuhan Bitung; Sewage Treatment Plant; Total Coliform

PENDAHULUAN

Aktivitas pelayaran dan operasi pelabuhan semakin dipahami sebagai salah satu sumber tekanan antropogenik terhadap perairan pesisir. Selain tumpahan minyak, limbah operasional, dan residu bahan kimia, limbah domestik kapal menjadi sumber pencemar yang perlu dikelola

secara ketat karena mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, nutrien, serta mikroorganisme indikator sanitasi. Limbah domestik kapal umumnya berasal dari black water dan grey water yang dihasilkan dari toilet, dapur, mandi, cucian, dan aktivitas sanitasi penumpang maupun awak kapal. Apabila tidak diolah secara memadai, limbah tersebut dapat meningkatkan beban organik dan mikrobiologis di perairan pelabuhan, terutama pada kawasan dengan sirkulasi air terbatas (Zhang et al., 2024).

Kerangka pengendalian limbah domestik kapal secara internasional terkait dengan MARPOL Annex IV, sedangkan pedoman teknis kinerja instalasi pengolahan limbah domestik kapal dijelaskan dalam Resolution MEPC.227(64) tentang standar efluen dan uji kinerja sewage treatment plant di kapal (Organization, 2012), (Organization, n.d.). Dalam konteks nasional, kualitas air limbah domestik mengacu pada Permen LHK No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016, yang menetapkan batas maksimum beberapa parameter, termasuk BOD dan Total Coliform, sebelum air limbah dibuang ke lingkungan (*Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*, 2016). Keterpaduan antara kerangka maritim dan baku mutu nasional penting digunakan untuk menilai apakah efluen STP kapal telah memenuhi persyaratan pengendalian pencemaran.

Total Coliform banyak digunakan sebagai indikator praktis kualitas sanitasi dalam pemantauan air dan air limbah. Parameter ini tidak selalu merepresentasikan jumlah patogen secara langsung, tetapi keberadaannya dapat menunjukkan pengaruh limbah domestik dan kemungkinan kontaminasi fekal pada sistem perairan. Dalam kajian kualitas air, Total Coliform umumnya ditafsirkan bersama parameter lain seperti BOD, karena BOD menunjukkan besarnya beban bahan organik biodegradable yang dapat memengaruhi kebutuhan oksigen dalam proses penguraian biologis (Cabral, 2010), (Holcomb & Stewart, 2020). Indikator mikrobiologis semacam ini juga penting dalam pengendalian risiko kesehatan. WHO (2021) menempatkan indikator kontaminasi fekal sebagai komponen penting dalam penilaian mutu perairan rekreasional dan pesisir, sedangkan paparan terhadap perairan yang tercemar limbah domestik dapat meningkatkan risiko kesehatan bagi masyarakat pesisir, pekerja pelabuhan, dan konsumen organisme laut tertentu (Li et al., 2021), (McKee & Cruz, 2021).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa kegiatan kapal dan pelabuhan dapat berkontribusi terhadap tekanan mikrobiologis di perairan pesisir. Koboevic et al. (2022) menegaskan bahwa peningkatan aktivitas kapal di kawasan Dubrovnik berkaitan dengan risiko pencemaran dari limbah domestik kapal, terutama pada periode lalu lintas kapal yang tinggi. Pada skala pelabuhan besar, Hu et al. (2024) menunjukkan bahwa perairan pelabuhan dapat menjadi lokasi ditemukannya komunitas bakteri, kandidat patogen, dan gen resistensi antibiotik, sehingga pengawasan mikrobiologis perlu menjadi bagian dari manajemen kualitas lingkungan pelabuhan. Di Indonesia, pemantauan Coliform di perairan pantai dan pelabuhan juga menunjukkan pentingnya pengawasan kontaminasi mikrobiologis pada kawasan yang menerima input antropogenik dari daratan maupun aktivitas pelayaran (Setyati et al., 2022), (Saputri et al., 2025).

Kapal penumpang perintis memiliki fungsi sosial-ekonomi yang penting karena menghubungkan wilayah kepulauan, daerah terluar, dan rute yang tidak selalu layak secara komersial. Karakteristik ini membuat layanan kapal perintis menjadi bagian dari pemerataan akses transportasi laut, tetapi pada saat yang sama aktivitas penumpang dan awak kapal menghasilkan limbah domestik yang harus dikelola secara konsisten (Fahrudin et al., 2024). Pada kapal yang beroperasi secara berulang di rute antarpulau, kinerja STP menjadi aspek penting karena efluen yang tidak memenuhi standar dapat memperbesar tekanan mikrobiologis

pada pelabuhan singgah. Peran pelabuhan dalam pengelolaan limbah kapal juga telah ditekankan dalam studi pengelolaan limbah kapal di kawasan Baltik, yang menunjukkan bahwa pengendalian limbah tidak hanya bergantung pada kapal, tetapi juga pada sistem pengawasan dan fasilitas pendukung Pelabuhan (Wilewska-Bien & Anderberg, 2018).

Pelabuhan Bitung merupakan salah satu simpul transportasi laut penting di Indonesia bagian timur. Meskipun demikian, data ilmiah mengenai kualitas efluen STP kapal penumpang perintis pada rute R-36 masih terbatas. Keterbatasan data ini menjadi celah penelitian karena evaluasi pencemaran mikrobiologis di pelabuhan sering lebih banyak diarahkan pada perairan penerima, sementara pengukuran langsung pada titik sebelum dan sesudah pengolahan STP kapal belum banyak dilaporkan. Penelitian ini menawarkan bukti awal berbasis data berpasangan WP I dan WP II untuk menilai kemampuan STP kapal dalam menurunkan BOD dan Total Coliform sebelum efluen dilepaskan ke lingkungan perairan.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kelimpahan Total Coliform dan nilai BOD pada limbah domestik kapal penumpang perintis sebelum dan sesudah pengolahan STP, menilai efektivitas STP dalam menurunkan beban pencemar, serta membandingkan kualitas efluen dengan baku mutu air limbah domestik yang berlaku. Fokus penelitian tetap dibatasi pada dua kapal penumpang perintis rute R-36, dua tahap pengolahan, dan dua parameter utama, yaitu BOD dan Total Coliform.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif komparatif dengan dukungan analisis statistik nonparametrik untuk mengevaluasi kinerja *Sewage Treatment Plant* (STP) dalam menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Coliform* pada limbah domestik kapal penumpang perintis. Penelitian diposisikan sebagai studi kasus yang difokuskan pada dua kapal penumpang perintis yang beroperasi pada rute R 36. Pendekatan ini digunakan untuk membandingkan kualitas limbah domestik sebelum pengolahan (*WP I*) dan sesudah pengolahan (*WP II*) pada masing masing kapal, sehingga hasil penelitian menggambarkan kinerja STP pada objek yang diamati tanpa dimaksudkan sebagai generalisasi terhadap seluruh kapal penumpang perintis.

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 6 sampai 8 Maret 2026 di Pelabuhan Bitung dan Pelabuhan Likupang, Provinsi Sulawesi Utara. Pengambilan sampel dilakukan pada dua tahap pengolahan, yaitu *WP I* sebagai titik masuk limbah domestik sebelum pengolahan STP dan *WP II* sebagai titik keluaran efluen setelah limbah melewati proses pengolahan. Kode P1 digunakan untuk sampel yang diambil di Pelabuhan Bitung, sedangkan kode P2 digunakan untuk sampel yang diambil di Pelabuhan Likupang. Ringkasan lokasi, waktu, dan titik pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1**.**

Skema proses STP yang menjadi dasar pengamatan mengikuti rancangan sistem pada manual kapal, yang meliputi tahapan penampungan, pengendapan, aerasi, pemisahan, hingga keluaran efluen. Skema umum proses STP disajikan pada Gambar 1.

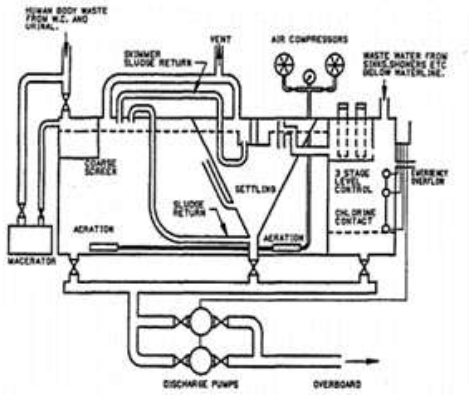
Analisis laboratorium dilakukan di SGS WLN, laboratorium penguji yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional dengan nomor LP 433 IDN. Seluruh sampel dimasukkan ke dalam botol steril, diberi label berdasarkan kode kapal, lokasi, titik pengambilan sampel, tanggal, dan parameter analisis, kemudian disimpan di dalam *cool box* dengan suhu sekitar ±4°C selama proses transportasi menuju laboratorium. Penanganan sampel dilakukan secara aseptik untuk menjaga kestabilan karakteristik biologis dan kimiawi selama proses pengujian.

Parameter BOD dianalisis menggunakan metode *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* SM APHA Edisi ke 24 metode 5210 B Tahun 2023, sedangkan

parameter *Total Coliform* dianalisis menggunakan metode *Total Coliform* (IDEXX) berbasis SM APHA Edisi ke 24 metode 9223 B Tahun 2023 (Association et al., 2023). Pengujian BOD dilakukan melalui pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi selama lima hari pada suhu terkontrol, sedangkan pengujian *Total Coliform* dilakukan menggunakan metode substrat enzimatik dengan hasil yang dinyatakan dalam satuan *Most Probable Number* (MPN) per 100 mL. Ringkasan parameter dan metode analisis laboratorium disajikan pada Tabel 2**.**

Tabel 1. Titik dan waktu pengambilan sampel limbah domestik kapal.

Kode	Kapal	Lokasi	Tanggal	Tahap	Keterangan
WP I/P1 (A)	Kapal A	Pelabuhan Bitung	6 Maret 2026	Sebelum pengolahan	Inlet STP/limbah domestik sebelum pengolahan
WP II/P1 (A)	Kapal A	Pelabuhan Bitung	6 Maret 2026	Sesudah pengolahan	Outlet STP/efluen setelah pengolahan
WP I/P2 (A)	Kapal A	Pelabuhan Likupang	7 Maret 2026	Sebelum pengolahan	Inlet STP/limbah domestik sebelum pengolahan
WP II/P2 (A)	Kapal A	Pelabuhan Likupang	7 Maret 2026	Sesudah pengolahan	Outlet STP/efluen setelah pengolahan
WP I/P1 (B)	Kapal B	Pelabuhan Bitung	7 Maret 2026	Sebelum pengolahan	Inlet STP/limbah domestik sebelum pengolahan
WP II/P1 (B)	Kapal B	Pelabuhan Bitung	7 Maret 2026	Sesudah pengolahan	Outlet STP/efluen setelah pengolahan
WP I/P2 (B)	Kapal B	Pelabuhan Likupang	8 Maret 2026	Sebelum pengolahan	Inlet STP/limbah domestik sebelum pengolahan
WP II/P2 (B)	Kapal B	Pelabuhan Likupang	8 Maret 2026	Sesudah pengolahan	Outlet STP/efluen setelah pengolahan



Gambar 1. Skema proses Sewage Treatment Plant (STP) kapal berdasarkan manual sistem KM John Lie**.**

Tabel 2. Parameter dan metode analisis laboratorium di SGS-WLN terakreditasi KAN LP-433-IDN.

Parameter	Matriks	Metode uji	Satuan	Makna analitik
BOD5	Wastewater	SM APHA 24th Ed., 5210 B.2023	mg/L	Indikator beban bahan organik biodegradable
Total Coliform	Wastewater	Total Coliform (IDEXX), SM APHA 24th Ed., 9223 B.2023	MPN/100 mL	Indikator kualitas sanitasi dan beban mikrobiologis

Data hasil laboratorium digunakan untuk membandingkan kualitas limbah domestik sebelum dan sesudah pengolahan STP. Nilai pada *WP I* merepresentasikan kondisi limbah sebelum pengolahan, sedangkan nilai pada *WP II* menunjukkan kualitas efluen setelah pengolahan. Selanjutnya, hasil efluen dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik

berdasarkan Permen LHK Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 yang menetapkan batas maksimum BOD sebesar 30 mg/L dan *Total Coliform* sebesar 3.000 jumlah per 100 mL.

Analisis data dilakukan secara deskriptif komparatif dengan membandingkan nilai BOD dan *Total Coliform* antara *WP I* dan *WP II* pada masing masing kapal. Efektivitas penurunan dihitung menggunakan persamaan:

Efektivitas (%) = [(Cin − Cout) / Cin] × 100

dengan *Cin* sebagai konsentrasi sebelum pengolahan dan *Cout* sebagai konsentrasi setelah pengolahan. Nilai rata rata setiap parameter dihitung untuk menggambarkan kecenderungan perubahan kualitas limbah setelah melewati proses pengolahan STP.

Sebagai pendukung analisis deskriptif, dilakukan uji normalitas menggunakan uji Shapiro Wilk karena jumlah sampel kurang dari 50. Apabila data tidak berdistribusi normal, maka perbedaan antara *WP I* dan *WP II* dianalisis menggunakan uji Wilcoxon *Signed Rank Test* pada taraf signifikansi 5 persen. Hasil analisis statistik kemudian diinterpretasikan bersama hasil deskriptif dengan mempertimbangkan keterbatasan jumlah pasangan sampel yang digunakan dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Limbah Domestik Sebelum dan Sesudah Pengolahan Sewage Treatment Plant

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Total Coliform* pada seluruh sampel mengalami penurunan setelah limbah domestik melewati proses pengolahan *Sewage Treatment Plant* (STP). Pola penurunan tersebut terlihat secara konsisten pada kedua kapal maupun pada kedua lokasi pengambilan sampel, yaitu Pelabuhan Bitung dan Pelabuhan Likupang. Hasil lengkap pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis BOD dan Total Coliform sebelum dan sesudah pengolahan STP kapal.

Kapal	Kode sampel	Lokasi	Tanggal	Tahap	BOD (mg/L)	Total Coliform (MPN/100 mL)
Kapal A	WP I/P1	Pelabuhan Bitung	6 Maret 2026	Sebelum pengolahan	43	15.300
Kapal A	WP I/P2	Pelabuhan Likupang	7 Maret 2026	Sebelum pengolahan	41	15.200
Kapal A	WP II/P1	Pelabuhan Bitung	6 Maret 2026	Sesudah pengolahan	21	2.460
Kapal A	WP II/P2	Pelabuhan Likupang	7 Maret 2026	Sesudah pengolahan	18	2.410
Kapal B	WP I/P1	Pelabuhan Bitung	7 Maret 2026	Sebelum pengolahan	46	24.200
Kapal B	WP I/P2	Pelabuhan Likupang	8 Maret 2026	Sebelum pengolahan	74	24.500
Kapal B	WP II/P1	Pelabuhan Bitung	7 Maret 2026	Sesudah pengolahan	19	2.610
Kapal B	WP II/P2	Pelabuhan Likupang	8 Maret 2026	Sesudah pengolahan	21	2.770

Pada Kapal A, nilai BOD sebelum pengolahan berada pada kisaran 41 sampai 43 mg/L dan menurun menjadi 18 sampai 21 mg/L setelah pengolahan. Penurunan serupa juga terjadi pada parameter *Total Coliform*, yaitu dari 15.200 sampai 15.300 MPN/100 mL menjadi 2.410 sampai 2.460 MPN/100 mL. Sementara itu, pada Kapal B nilai BOD menurun dari kisaran 46 sampai 74 mg/L menjadi 19 sampai 21 mg/L, sedangkan *Total Coliform* menurun dari 24.200 sampai 24.500 MPN/100 mL menjadi 2.610 sampai 2.770 MPN/100 mL.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa STP pada kedua kapal mampu menurunkan beban organik maupun beban mikrobiologis limbah domestik sebelum efluen dibuang ke lingkungan. Penurunan kedua parameter tersebut sesuai dengan fungsi utama STP yang bekerja melalui kombinasi proses fisik, biologis, dan disinfeksi untuk mengurangi kandungan bahan organik serta mikroorganisme indikator sanitasi. Efektivitas pengolahan limbah domestik kapal sangat dipengaruhi oleh stabilitas proses pengolahan, kondisi operasional unit, serta karakteristik limbah yang masuk ke dalam system (Zhang et al., 2024).

Nilai BOD pada limbah sebelum pengolahan yang mencapai 41 sampai 74 mg/L menunjukkan bahwa limbah domestik kapal masih mengandung beban bahan organik yang relatif tinggi. Setelah melalui proses pengolahan, seluruh nilai BOD turun hingga berada di bawah baku mutu nasional. Penurunan ini mengindikasikan bahwa proses biologis di dalam STP mampu menguraikan bahan organik yang mudah terdegradasi secara efektif. Efektivitas proses tersebut dipengaruhi oleh kecukupan aerasi, waktu tinggal limbah, kondisi biomassa mikroorganisme, serta kestabilan operasi unit pengolahan. Gangguan pada salah satu komponen tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas efluen (Pasaribu et al., 2023).

Pada parameter *Total Coliform*, seluruh sampel juga menunjukkan penurunan yang konsisten setelah proses pengolahan. Meskipun parameter ini tidak secara langsung menggambarkan keberadaan mikroorganisme patogen, *Total Coliform* tetap menjadi indikator penting dalam penilaian kualitas sanitasi air limbah karena berkaitan dengan kemungkinan kontaminasi fekal. Penggunaan indikator mikrobiologis semacam ini telah banyak direkomendasikan dalam pemantauan kualitas air karena mampu memberikan gambaran awal mengenai potensi risiko kesehatan lingkungan (Holcomb & Stewart, 2020), (Li et al., 2021).

Efektivitas Sewage Treatment Plant dalam Menurunkan BOD dan Total Coliform

Rata-rata nilai BOD dan *Total Coliform* sebelum serta sesudah pengolahan menunjukkan bahwa kedua kapal memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan beban pencemar limbah domestik. Ringkasan efektivitas penurunan setiap parameter disajikan pada Tabel 4**.**

Tabel 4. Rata-rata parameter dan efektivitas penurunan setelah pengolahan STP.

Kapal	Rata-rata BOD WP I (mg/L)	Rata-rata BOD WP II (mg/L)	Penurunan BOD (%)	Rata-rata Total Coliform WP I	Rata-rata Total Coliform WP II	Penurunan Total Coliform (%)
Kapal A	42,0	19,5	53,57	15.250	2.435	84,03
Kapal B	60,0	20,0	66,67	24.350	2.690	88,95
Keseluruhan	51,0	19,75	61,27	19.800	2.562,5	87,06

Rata-rata BOD pada Kapal A menurun dari 42,0 menjadi 19,5 mg/L dengan efektivitas penurunan sebesar 53,57%, sedangkan pada Kapal B menurun dari 60,0 menjadi 20,0 mg/L dengan efektivitas sebesar 66,67%. Secara keseluruhan, efektivitas penurunan BOD mencapai 61,27%.

Pada parameter *Total Coliform*, rata-rata konsentrasi pada Kapal A menurun dari 15.250 menjadi 2.435 MPN/100 mL dengan efektivitas sebesar 84,03%, sedangkan pada Kapal B menurun dari 24.350 menjadi 2.690 MPN/100 mL dengan efektivitas sebesar 88,95%. Secara keseluruhan, efektivitas penurunan *Total Coliform* mencapai 87,06%.

Persentase penurunan yang lebih tinggi pada Kapal B tidak secara langsung menunjukkan bahwa sistem pengolahannya lebih baik dibandingkan Kapal A. Hal tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi awal *Total Coliform* yang lebih tinggi sehingga menghasilkan nilai persentase penurunan yang lebih besar. Apabila ditinjau berdasarkan kualitas efluen, kedua

kapal menghasilkan konsentrasi akhir yang relatif berdekatan dan seluruhnya berada di bawah baku mutu nasional.

Meskipun demikian, nilai *Total Coliform* setelah pengolahan masih berada cukup dekat dengan ambang batas maksimum yang ditetapkan dalam Permen LHK Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan memenuhi baku mutu tetap perlu didukung oleh pemantauan operasional STP secara berkala agar kualitas efluen tetap stabil. Temuan ini sejalan dengan pedoman *Resolution MEPC.227(64)* yang menekankan bahwa efektivitas pengendalian pencemaran bergantung pada kinerja dan pemeliharaan sistem STP secara berkelanjutan (Organization, 2012).

Analisis Statistik Perubahan Kualitas Limbah Domestik

Untuk mendukung analisis deskriptif, dilakukan uji normalitas menggunakan Shapiro–Wilk dan dilanjutkan dengan uji Wilcoxon *Signed Rank Test*. Hasil analisis statistik disajikan pada Tabel 5**.**

Tabel 5. Hasil uji normalitas dan Wilcoxon Signed-Rank Test.

Parameter	Shapiro-Wilk WP I (p)	Shapiro-Wilk WP II (p)	Wilcoxon WP I-WP II (p)	Interpretasi
BOD	0,037	0,224	0,068	Tidak signifikan secara statistik; seluruh pasangan data menurun
Total Coliform	0,037	0,643	0,068	Tidak signifikan secara statistik; seluruh pasangan data menurun

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data *WP I* untuk parameter BOD dan *Total Coliform* tidak berdistribusi normal, sedangkan data *WP II* berdistribusi normal. Berdasarkan hasil tersebut, analisis perbedaan antara kondisi sebelum dan sesudah pengolahan dilakukan menggunakan uji Wilcoxon *Signed Rank Test*.

Nilai *p* yang diperoleh untuk kedua parameter adalah 0,068. Nilai tersebut lebih besar daripada taraf signifikansi 0,05 sehingga secara statistik belum menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah pengolahan. Meskipun demikian, seluruh pasangan sampel memperlihatkan arah perubahan yang konsisten, yaitu penurunan nilai BOD dan *Total Coliform* setelah limbah melewati proses pengolahan STP.

Hasil ini menunjukkan bahwa interpretasi statistik perlu dilakukan secara proporsional dengan mempertimbangkan jumlah pasangan sampel yang relatif terbatas. Pada penelitian dengan ukuran sampel kecil, kekuatan uji statistik menjadi lebih rendah sehingga nilai signifikansi belum tentu sepenuhnya mencerminkan perubahan yang secara deskriptif terlihat jelas. Oleh karena itu, hasil uji Wilcoxon dalam penelitian ini lebih tepat dipandang sebagai pelengkap analisis deskriptif daripada satu-satunya dasar dalam mengevaluasi kinerja STP. Dengan demikian, penurunan yang terjadi pada seluruh pasangan sampel tetap memberikan indikasi bahwa sistem pengolahan limbah bekerja secara konsisten selama periode pengamatan.

Kesesuaian Kualitas Efluen Terhadap Baku Mutu Air Limbah Domestik

Evaluasi terhadap mutu efluen dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian laboratorium dengan baku mutu air limbah domestik berdasarkan Permen LHK Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016. Hasil perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 6**.**

Seluruh sampel pada tahap *WP I* menunjukkan nilai BOD dan *Total Coliform* yang melebihi baku mutu sehingga belum memenuhi persyaratan kualitas air limbah domestik. Sebaliknya, seluruh sampel pada tahap *WP II* telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Nilai

BOD setelah pengolahan berada pada kisaran 18 sampai 21 mg/L, sedangkan *Total Coliform* berada pada kisaran 2.410 sampai 2.770 MPN/100 mL

Tabel 6. Kesesuaian hasil pengujian dengan baku mutu air limbah domestik.

Kapal	Tahap	BOD (mg/L)	Status BOD	Total Coliform (MPN/100 mL)	Status Total Coliform
Kapal A	WP I/P1	43	Tidak memenuhi	15.300	Tidak memenuhi
Kapal A	WP I/P2	41	Tidak memenuhi	15.200	Tidak memenuhi
Kapal A	WP II/P1	21	Memenuhi	2.460	Memenuhi
Kapal A	WP II/P2	18	Memenuhi	2.410	Memenuhi
Kapal B	WP I/P1	46	Tidak memenuhi	24.200	Tidak memenuhi
Kapal B	WP I/P2	74	Tidak memenuhi	24.500	Tidak memenuhi
Kapal B	WP II/P1	19	Memenuhi	2.610	Memenuhi
Kapal B	WP II/P2	21	Memenuhi	2.770	Memenuhi

Pencapaian tersebut menunjukkan bahwa STP pada kedua kapal mampu menghasilkan efluen yang memenuhi standar nasional pada saat pengambilan sampel. Keberhasilan ini mencerminkan bahwa proses pengolahan limbah domestik berjalan sesuai fungsi utamanya dalam menurunkan beban organik dan mikrobiologis sebelum limbah dilepaskan ke lingkungan perairan.

Walaupun seluruh efluen telah memenuhi baku mutu, nilai *Total Coliform* yang masih berada relatif dekat dengan batas maksimum menunjukkan bahwa sistem pengolahan tetap memerlukan pengawasan secara berkelanjutan. Perubahan pada beban limbah masuk, penurunan efisiensi proses aerasi, akumulasi lumpur, maupun gangguan pada proses disinfeksi berpotensi memengaruhi kualitas efluen. Oleh karena itu, keberhasilan memenuhi baku mutu pada saat penelitian sebaiknya dipandang sebagai indikator bahwa sistem bekerja dengan baik pada kondisi pengamatan, bukan sebagai jaminan bahwa kualitas efluen akan selalu berada pada kondisi yang sama tanpa pemeliharaan yang memadai.

Implikasi Pengelolaan Sewage Treatment Plant Pada Kapal Penumpang Perintis

Hasil penelitian ini memberikan gambaran bahwa evaluasi kualitas limbah secara langsung pada titik masuk dan titik keluar STP mampu memberikan informasi yang lebih spesifik mengenai kinerja sistem pengolahan dibandingkan pemantauan yang hanya dilakukan pada perairan penerima. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi kemampuan STP dalam menurunkan beban pencemar sebelum efluen dilepaskan ke lingkungan sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan limbah domestik kapal.

Dalam konteks operasional pelabuhan, pengelolaan limbah domestik kapal tidak hanya bergantung pada keberadaan STP, tetapi juga dipengaruhi oleh sistem pemeliharaan, pengawasan operasional, serta kepatuhan terhadap prosedur pengoperasian. Penelitian Koboevic et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan lalu lintas kapal berpotensi meningkatkan risiko pencemaran mikrobiologis apabila pengelolaan limbah domestik tidak dilakukan secara konsisten. Penelitian Hu et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa kawasan pelabuhan dapat menjadi lokasi akumulasi komunitas mikroorganisme yang berpotensi memengaruhi kualitas lingkungan perairan (Koboevic et al., 2022), (Hu et al., 2024).

Selain faktor operasional STP, kondisi lingkungan perairan penerima turut memengaruhi dinamika mikroorganisme setelah efluen dilepaskan ke lingkungan. Intensitas cahaya, suhu, salinitas, kekeruhan, kandungan bahan organik, serta kondisi hidrodinamika merupakan faktor yang dapat memengaruhi keberadaan bakteri indikator di perairan pesisir (Nguyen et al., 2022). Oleh karena itu, pengelolaan limbah domestik kapal sebaiknya dipadukan

dengan pemantauan kualitas lingkungan perairan secara berkala agar perlindungan terhadap ekosistem pelabuhan dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

Keandalan hasil penelitian ini juga didukung oleh penggunaan laboratorium SGS WLN yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional dengan metode pengujian standar SM APHA untuk parameter BOD dan *Total Coliform*. Penggunaan metode terstandarisasi memberikan keyakinan bahwa hasil analisis laboratorium memiliki validitas yang memadai sebagai dasar evaluasi kualitas efluen.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada jumlah kapal yang diamati, jumlah pasangan sampel, serta parameter kualitas limbah yang dianalisis. Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat diposisikan sebagai studi kasus awal mengenai kinerja STP pada kapal penumpang perintis rute R 36 dan belum dapat digeneralisasikan untuk seluruh kapal penumpang maupun seluruh pelabuhan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melibatkan jumlah kapal yang lebih banyak, periode pengamatan yang lebih panjang, serta penambahan parameter kualitas limbah seperti *Chemical Oxygen Demand*, *Total Suspended Solids*, amonia, minyak dan lemak, *Escherichia coli*, enterokokus, maupun kualitas perairan penerima sehingga evaluasi kinerja STP dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

STP pada dua kapal penumpang perintis rute R-36 yang diamati mampu menurunkan BOD dan Total Coliform pada seluruh pasangan sampel. Pada Kapal A, rata-rata BOD menurun dari 42,0 menjadi 19,5 mg/L dan Total Coliform menurun dari 15.250 menjadi 2.435 MPN/100 mL. Pada Kapal B, rata-rata BOD menurun dari 60,0 menjadi 20,0 mg/L dan Total Coliform menurun dari 24.350 menjadi 2.690 MPN/100 mL. Efektivitas penurunan Total Coliform mencapai 84,03% pada Kapal A dan 88,95% pada Kapal B. Seluruh efluen setelah pengolahan memenuhi baku mutu air limbah domestik untuk BOD dan Total Coliform berdasarkan Permen LHK No. P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016.

Uji Wilcoxon menunjukkan bahwa perbedaan antara sebelum dan sesudah pengolahan belum signifikan secara statistik ($p = 0,068$). Namun, seluruh data menunjukkan penurunan secara deskriptif setelah pengolahan STP. Dengan demikian, STP pada kapal yang diamati dapat dinyatakan berfungsi baik dalam menurunkan beban organik dan mikrobiologis selama periode pengamatan, tetapi pemantauan berkala dan perluasan jumlah sampel tetap diperlukan untuk memperkuat evaluasi kinerja secara jangka panjang.

Saran

Pemantauan dan pemeliharaan *Sewage Treatment Plant* (STP) pada kapal penumpang perintis perlu dilakukan secara rutin untuk menjaga kestabilan kualitas efluen agar tetap memenuhi baku mutu air limbah domestik. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan jumlah kapal dan sampel yang lebih banyak, periode pengamatan yang lebih panjang, serta menambahkan parameter kualitas limbah seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), amonia, minyak dan lemak, *Escherichia coli*, enterokokus, dan kualitas perairan penerima sehingga evaluasi kinerja STP dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada operator kapal, pihak laboratorium SGS-WLN, dan seluruh pihak yang mendukung proses pengambilan sampel serta analisis laboratorium dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Association, A. P. H., Association, A. W. W., & Federation, W. E. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (24th ed.). APHA Press.

Ayitey, S., Mafaziya Nijamdeen, T. W. G. F., Peiris, H., Arachchilage, S. K., George, I. F., Dahdouh-Guebas, F., & Deepananda, K. H. M. A. (2025). Environmental factors affecting the presence of coliform bacteria in water and oysters (Crassostrea cucullata Born, 1778) in Negombo Lagoon, Sri Lanka. Marine Environmental Research, 212, 107561.

Cabral, J. P. S. (2010). Water microbiology: Bacterial pathogens and water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *7*(10), 3657–3703. https://doi.org/10.3390/ijerph7103657

Fahrudin, F., Hattab, S., & Ahsan, C. (2024). Implementasi kebijakan pelayanan angkutan laut perintis di Pelabuhan Kelas II Teluk Palu Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia*, *10*(4), 515–528. https://doi.org/10.29210/020243971

Holcomb, D. A., & Stewart, J. R. (2020). Microbial indicators of fecal pollution: Recent progress and challenges in assessing water quality. *Current Environmental Health Reports*, *7*(3), 311–324. https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1

Hu, L., Xue, J., & Wu, H. (2024). Composition and distribution of bacteria, pathogens, and antibiotic resistance genes at Shanghai Port, China. *Water*, *16*(18), 2569. https://doi.org/10.3390/w16182569

Koboevic, Z., Miskovic, D., Capor Hrosik, R., & Koboevic, N. (2022). Analysis of sea pollution by sewage from vessels. *Sustainability*, *14*(1), 263. https://doi.org/10.3390/su14010263

Li, E., Saleem, F., Edge, T. A., & Schellhorn, H. E. (2021). Biological indicators for fecal pollution detection and source tracking: A review. *Processes*, *9*(11), 2058. https://doi.org/10.3390/pr9112058

McKee, A. M., & Cruz, M. A. (2021). Microbial and viral indicators of pathogens and human health risks from recreational exposure to waters impaired by fecal contamination. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, *7*(2), 3121001. https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000936

Nguyen, K. H., Smith, S., Roundtree, A., Feistel, D. J., Kirby, A. E., Levy, K., & Mattioli, M. C. (2022). Fecal indicators and antibiotic resistance genes exhibit diurnal trends in the Chattahoochee River: Implications for water quality monitoring. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1029176. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1029176

Organization, I. M. (n.d.). *Prevention of pollution by sewage from ships*. Retrieved https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sewage-Default.aspx

Organization, I. M. (2012). *2012 Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants (Resolution MEPC.227(64))*. IMO.

Pasaribu, C. A., Yando, M., & Damoyanto, P. (2023). Case study of decreasing of quality of processed waste at sewage treatment plant to contain waste disposal on ship MV. CK Angie. *International Journal of Advanced Multidisciplinary*, *2*(2), 603–607. https://doi.org/10.38035/ijam.v2i2.305

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/MENLHK/SETJEN/KUM.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. (2016).

Safitri, L. F., Widyorini, N., & Jati, O. E. (2018). Analisis kelimpahan total bakteri coliform di perairan Muara Sungai Sayung, Morosari, Demak. Saintek Perikanan: Indonesian

Journal of Fisheries Science and Technology, 14(1), 30-35. https://doi.org/10.14710/ijfst.14.1.30-35

Saputri, W. D., Salma, K. S., Sintasari, R., Simanjutak, S., Romadhon, G., Ariel, M. H. P., Wahyuningtyas, P., Edelweis, D. S. A., Dhiyaulhaq, K. M., Ardani, A. M., & Junaedi, A. S. (2025). Analisis kelimpahan total bakteri coliform di Pelabuhan Kamal, Kecamatan Kamal, Kabupaten Bangkalan. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, *5*(1), 73–81. https://doi.org/10.24252/filogeni.v5i1.56376

Setyati, W. A., Pringgenies, D., Pamungkas, D. B. P., & Suryono, C. A. (2022). Monitoring bakteri coliform pada pasir pantai dan air laut di wisata Pantai Marina dan Pantai Baruna. *Jurnal Kelautan Tropis*, *25*(1), 113–120. https://doi.org/10.14710/jkt.v25i1.13775

Wilewska-Bien, M., & Anderberg, S. (2018). Reception of sewage in the Baltic Sea: The port's role in the sustainable management of ship wastes. *Marine Policy*, *93*, 207–213. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.012

World Health Organization. (2021). Guidelines on recreational water quality: Volume 1, coastal and fresh waters. World Health Organization.

Zhang, Y., Xian, B., Sun, W., Lu, R., Zhang, Q., Wang, M., Xu, D., Liu, H., Bai, S., & Fu, M. (2024). The environmental hazards and treatment of ship's domestic sewage. *Toxics*, *12*(11), 826. https://doi.org/10.3390/toxics12110826