

Analisis Efektivitas dan Efisiensi Kinerja IPAL Domestik di MGS Menggung

PT. Pertamina EP Cepu

Syintia Vatma Kusuma Harum^{1*}, Nadinda Aisyah Kamila^{2 *}, Rifat Adine Pratama³

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains & Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

³ PT Pertamina EP Cepu Zona 11 - Cepu Field

*Email: syintiavatmakh@gmail.com

Abstract

Domestic wastewater produced by industrial areas, although not directly derived from the production process, still has the potential to cause environmental pollution if not properly treated. This waste generally contains organic pollutants, nutrients, oil and fat, and pathogenic microorganisms. If not properly treated, waste discharge into water bodies can increase BOD, COD, TSS, Oil and Greaset, Ammonia, and Total Coliform levels, which have an impact on water quality degradation. This study aims to evaluate the effectiveness of the performance of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) at PT MGS Menggung PT Pertamina EP Cepu by utilizing primary data through field observations and interviews, as well as secondary data in the form of laboratory test results for the period July–December 2024. The evaluation was carried out on six wastewater quality parameters, namely Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), Oil and Grease, Ammonia, and Total Coliform. The analysis results show that the average BOD reduction efficiency is 42.8% and COD is 52.31%, which is considered quite effective. Conversely, the reduction efficiency of TSS (38.80%) and Total coliform (39.32%) was still less than optimal. This low efficiency indicates the need for improvements in the sedimentation and disinfection units. Therefore, it is recommended to add a coagulation-flocculation process and optimize the chlorination system to improve WWTP performance so that the treated product meets domestic wastewater quality standards as stipulated in applicable regulations.

Keywords: Domestic Wastewater, Treatment Efficiency, Total Suspended Solid (TSS), Total Coliform

Abstrak

Air limbah domestik yang dihasilkan oleh kawasan industri, meskipun tidak berasal langsung dari proses produksi, tetap berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Limbah ini umumnya mengandung polutan organik, nutrien, minyak dan lemak, serta mikroorganisme patogen. Apabila tidak diolah secara tepat, pembuangan limbah ke badan air dapat meningkatkan kadar BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, Ammonia, dan Total Coliform, yang berdampak pada penurunan kualitas air. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di MGS Menggung PT Pertamina EP Cepu dengan memanfaatkan data primer melalui observasi lapangan dan wawancara, serta data sekunder berupa hasil uji laboratorium periode Juli–Desember 2024. Evaluasi dilakukan terhadap enam parameter kualitas air limbah, yaitu Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), minyak dan lemak, Ammonia, serta Total Coliform. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata efisiensi penurunan BOD sebesar 42,8% dan COD sebesar 52,31%, yang tergolong cukup efektif. Sebaliknya, efisiensi penurunan TSS (38,80%) dan Total coliform (39,32%) masih kurang optimal. Rendahnya efisiensi tersebut menunjukkan perlunya perbaikan pada unit sedimentasi dan desinfeksi. Oleh karena itu, disarankan penambahan proses koagulasi–flokulasi serta optimasi sistem klorinasi untuk meningkatkan kinerja IPAL agar hasil olahan memenuhi baku mutu air limbah domestik sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Kata Kunci: Air Limbah domestik, Efisiensi Pengolahan, Total Suspended Solid (TSS), Total Coliform

1. Pendahuluan

Air adalah sumber daya yang sangat penting dan menjadi dasar bagi kehidupan di planet ini. Semua makhluk hidup sangat memerlukan air untuk berbagai kebutuhan, baik dalam aspek biologis, sosial, maupun ekonomi. Dalam rangka pembangunan yang berkelanjutan, air termasuk dalam sumber daya yang perlu dilestarikan agar bisa digunakan oleh generasi kini dan yang akan datang. Namun, dengan meningkatnya jumlah penduduk, urbanisasi, dan industrialisasi, jumlah air limbah yang dihasilkan juga mengalami peningkatan yang signifikan. Jika pengelolaan air limbah ini tidak dilakukan dengan baik, maka dapat menjadi penyebab pencemaran yang mengancam lingkungan dan kesehatan masyarakat (1).

Air limbah domestik terdiri dari dua kategori utama: *grey water* dan *black water*. *Grey water* dihasilkan dari kegiatan mencuci, mandi, dan penggunaan dapur, sedangkan *Black water* berasal dari limbah toilet yang mengandung ekskreta manusia. Air limbah domestik industri umumnya mengandung polutan seperti bahan organik (COD dan BOD), nutrien (nitrogen dan fosfor), serta patogen. Meski tingkat pencemarannya relatif lebih rendah dibanding air limbah proses industri, air limbah domestik industri tetap memerlukan pengolahan yang memadai sebelum dibuang ke lingkungan untuk mencegah degradasi kualitas air permukaan maupun tanah (2).

Jika air limbah domestik industri tidak dikelola dengan baik, dampak negatifnya sangat luas dan serius, baik bagi lingkungan maupun kesehatan masyarakat. Limbah cair yang dibuang langsung ke badan air atau meresap ke tanah tanpa pengolahan memiliki kandungan organik yang tinggi dan dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di perairan, yang berakibat pada matinya organisme akuatik dan terganggunya rantai makanan. Selain itu, kandungan nutrien yang tidak dikendalikan dapat memicu *eutrofikasi*, yaitu pertumbuhan alga secara berlebihan yang memperburuk kualitas air dan menimbulkan bau tak sedap.

Pengelolaan limbah domestik biasanya dilakukan dalam beberapa tahapan unit-unit seperti *grease trap*, *bak ekualisasi*, *biofilter anaerob* - *biofilter aerob*, *sedimentasi* dan *desinfeksi*. Sistem ini dirancang untuk menurunkan parameter pencemar agar sesuai dengan baku mutu air limbah domestik yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Efisiensi dalam pengelolaan limbah domestik sangat *krusial* karena berhubungan dengan kinerja lingkungan industri secara menyeluruh. Pengelolaan yang tidak optimal dapat menghasilkan air olahan yang dibuang ke sumber air masih mengandung zat pencemar berbahaya, yang pada akhirnya dapat mencemari sumber air permukaan dan tanah, memicu eutrofikasi, serta menjadi penyebab penyakit yang terkait dengan air (3). Selain itu, efisiensi pengolahan berdampak pada biaya operasional dan keberlanjutan sistem. Semakin efisien sistem pengolahan seperti pemanfaatan biofilter, maka semakin rendah biaya operasional yang dikeluarkan industri. Efisiensi juga merupakan pemenuhan standar lingkungan tanpa investasi besar yang berlebihan, menjadikannya solusi strategis untuk operasional industri jangka Panjang (4)

2. Metode

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer berupa foto lokasi pengolahan limbah cair domestik (*IPAL Biofilter*). Untuk mendapatkan data primer, peneliti melakukan *observasi* atau pengamatan langsung ke lokasi penelitian. Pengamatan langsung ini dimaksudkan untuk mendapatkan dokumentasi yang berupa foto terkait *IPAL Biofilter* dan wawancara dengan salah satu penanggung jawab *IPAL Domestik* di *MGS Menggung PT. Pertamina EP Cepu*

2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui catatan yang telah diserahkan oleh *MGS Menggung PT Pertamina EP Cepu* ke peneliti. Catatan ini berisi uraian terkait data internal perusahaan berupa hasil uji air limbah yang telah dilakukan oleh pihak ketiga yang bekerja sama dengan *PT. MGS*



Menggung PT. Pertamina EP Cepu serta profil pengelolaan air limbah domestik yang meliputi pengolahan di IPAL *biofilter* serta kalkulasi efektivitas pengolahan air limbah. Menurut Buku *Metcalf and Eddy* (1991) perhitungan efisiensi pengolahan sebagai berikut:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100\%$$

Keterangan:

S_o : Konsentrasi parameter dalam *influent* (mg/L)

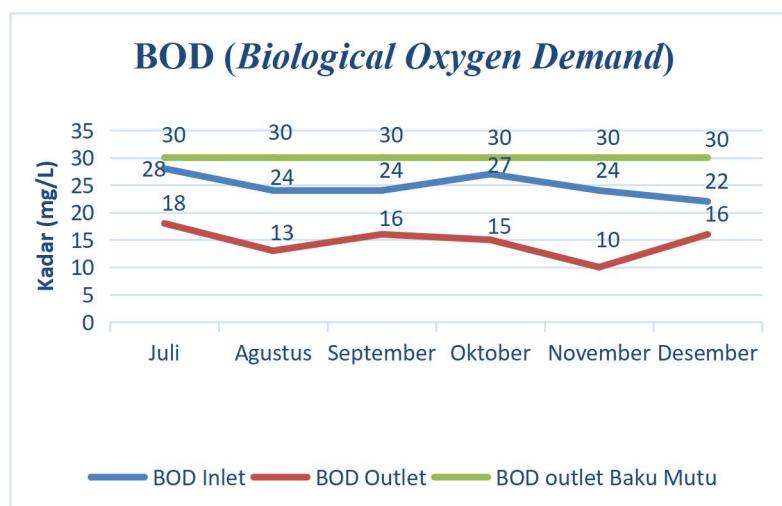
S : Konsentrasi parameter dalam *effluent* (mg/L)

3. Hasil dan Pembahasan

Air limbah domestik yang berasal dari industry merupakan air buangan yang berasal dari non produksi melainkan Kandungan parameter pada air limbah adalah pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD5), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), Minyak dan lemak, Total Ammonia, *Total Coliform*. Kandungan pada outlet setelah pengolahan air limbah harus sesuai dengan peraturan baku mutu acuan dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik, maka dapat dikatakan aman apabila baku mutu dan jika sebaliknya dapat dikatakan tidak aman.

3.1 Kualitas Air Limbah.

Penilaian kualitas air limbah umumnya dilakukan berdasarkan sejumlah parameter fisik, kimia, dan biologi. Parameter fisik seperti suhu dan kekeruhan mencerminkan kondisi visual dan termal dari air limbah. Parameter kimia seperti pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan kandungan nutrien seperti nitrogen dan fosfor digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran oleh senyawa organik dan anorganik (5). Sementara itu, parameter biologi, termasuk keberadaan coliform dan mikroorganisme lain, digunakan untuk menilai potensi penyebaran penyakit (Sawyer et al., 2003).



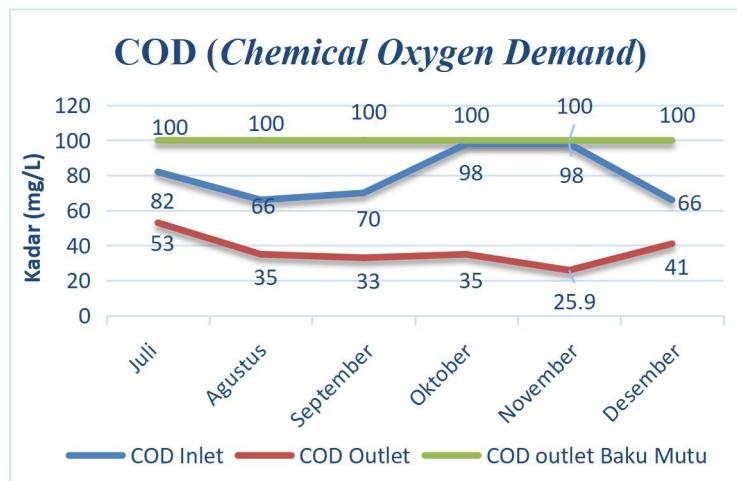
Gambar 1. Kadar *inlet* dan *Outlet* BOD

Sumber: Data Perusahaan, 2025

Berdasarkan dari grafik di atas fluktuasi konsentrasi *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) MGS Menggung PT. Pertamina EP Cepu selama periode Juli hingga Desember 2024. Konsentrasi BOD inlet berada pada rentang 22–28 mg/L, sedangkan BOD outlet berkisar antara 10–18 mg/L. Secara umum, terlihat adanya penurunan konsentrasi BOD setelah melalui proses pengolahan, yang menunjukkan bahwa IPAL berfungsi menurunkan beban pencemar organik. Pada Juli, kadar BOD inlet mencapai 28 mg/L dengan outlet 18 mg/L, kemudian menurun pada Agustus menjadi 24 mg/L (inlet) dan 13 mg/L (outlet). Peningkatan kembali terlihat pada September (BOD inlet 24 mg/L; outlet 16 mg/L) dan mencapai puncaknya pada



Oktober dengan 27 mg/L untuk inlet dan 15 mg/L untuk outlet. Selanjutnya, pada November, BOD inlet turun menjadi 24 mg/L dengan outlet 10 mg/L, lalu sedikit meningkat pada Desember menjadi 22 mg/L (inlet) dan 16 mg/L (outlet). Terlihat bahwa proses pengolahan air limbah mampu menurunkan kadar BOD dari inlet ke outlet secara konsisten, dengan efisiensi yang cukup stabil. Penurunan paling efektif terjadi pada bulan November, di mana kadar BOD berhasil dikurangi dari 24 mg/L menjadi 10 mg/L. Penurunan kadar BOD ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan bekerja dengan cukup baik dalam mengeliminasi senyawa organik. Selain itu, penelitian Putri dan Pratama (2020) melaporkan bahwa keberhasilan penurunan BOD dipengaruhi oleh kinerja unit *biofilter*, waktu detensi, dan

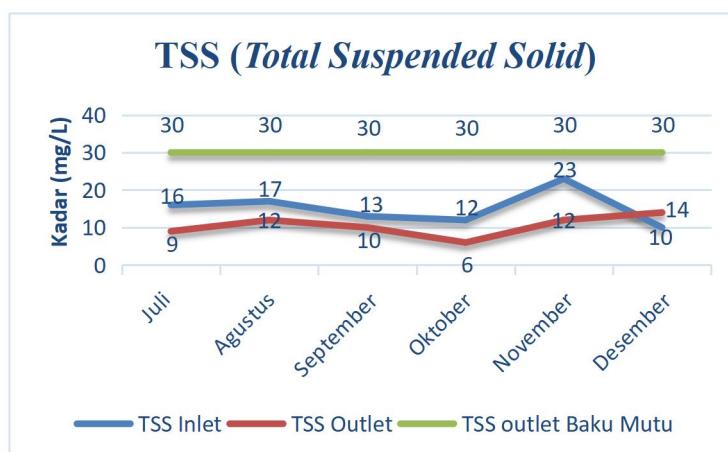


ketersediaan oksigen terlarut.

Gambar 2. Kadar inlet dan Outlet COD

Sumber: Data Perusahaan, 2025

Gambar menunjukkan fluktuasi konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada inlet dan outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik MGS Menggung PT. Pertamina EP Cepu selama periode Juli hingga Desember 2024. Konsentrasi COD inlet berada pada rentang 66–98 mg/L, sedangkan COD outlet berkisar antara 25,9–53 mg/L. Secara umum, terlihat adanya penurunan konsentrasi COD setelah melalui proses pengolahan, menandakan bahwa IPAL mampu menurunkan beban pencemar organik terlarut. Perbedaan antara nilai COD dan BOD juga dapat diobservasi dari grafik, apabila nilai COD jauh lebih tinggi dari BOD, maka hal ini menandakan adanya kandungan zat-zat kimia yang tidak dapat diuraikan secara biologis (Sawyer et al., 2003; (5).



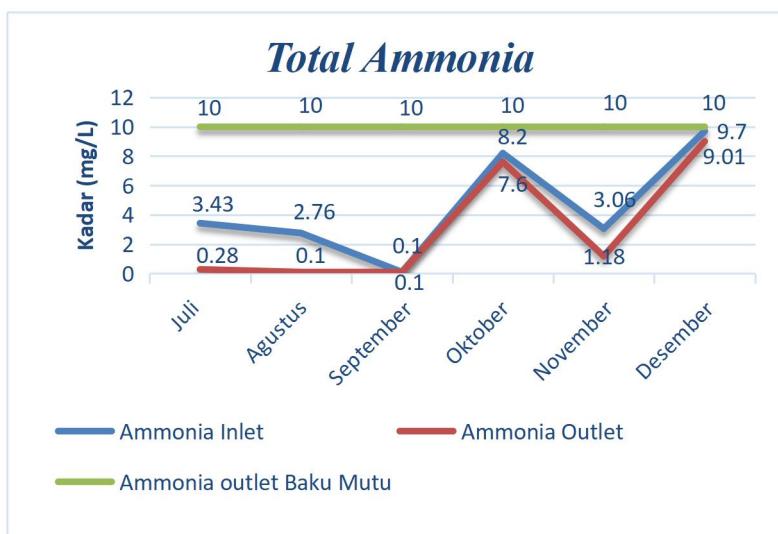
Gambar 3. Kadar inlet dan Outlet TSS

Sumber: Data Perusahaan, 2025



Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa terdapat perbedaan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) antara saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) selama periode Juli hingga Desember. Nilai TSS inlet menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan, dengan kadar tertinggi terjadi pada bulan November sebesar 23 mg/L, dan kadar terendah pada bulan Oktober sebesar 12 mg/L. Sementara itu, kadar TSS outlet relatif lebih stabil, dengan nilai berkisar antara 6 mg/L hingga 12 mg/L.

Penurunan kadar TSS dari inlet ke outlet menunjukkan bahwa proses pengolahan air yang dilakukan memiliki efisiensi yang baik dalam menurunkan jumlah padatan tersuspensi. Misalnya, pada bulan Oktober, kadar TSS inlet sebesar 12 mg/L berhasil diturunkan menjadi 6 mg/L pada outlet, menunjukkan efisiensi pengurangan sebesar 50%. Hal serupa terjadi pada bulan November, di mana meskipun terjadi lonjakan kadar TSS pada inlet, sistem masih mampu menurunkan kadar TSS outlet menjadi 12 mg/L. Hasil ini konsisten dengan penelitian Rahman et al. (2019), yang menyatakan bahwa sistem pengolahan berbasis *biofilter* dan sedimentasi umumnya memiliki tingkat efisiensi penurunan TSS antara 40% hingga 60% pada kondisi operasional optimal. Sejalan dengan itu, studi yang dilakukan oleh Kurniawan et al. (2021) melaporkan bahwa penurunan TSS pada IPAL domestik dapat ditingkatkan dengan melakukan optimasi proses *biofilter aerob* dan penyesuaian waktu detensi pada bak sedimentasi, sehingga efisiensi penurunan TSS dapat mencapai lebih dari 65%.



Gambar 4. Kadar *inlet* dan *Outlet* Total Ammonia

Sumber: Data Perusahaan, 2025

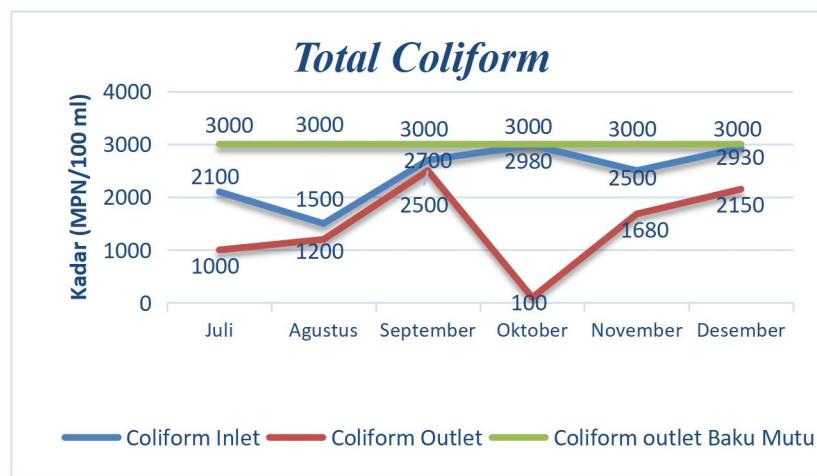
Berdasarkan grafik *Total Ammonia* menunjukkan penurunan kadar total amonia pada titik keempat dan kelima, yang dapat mengindikasikan terjadinya *nitrifikasi parsial*, yakni proses biologis yang mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri nitrifikasi. Namun, jika proses ini tidak berjalan optimal karena rendahnya oksigen terlarut atau kondisi pH yang tidak mendukung, maka konsentrasi amonia akan tetap tinggi (Sawyer et al., 2003). Grafik menunjukkan variasi kadar *Total Ammonia* (NH_3) pada saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) selama periode Juli hingga Desember. Secara umum, terdapat perbedaan signifikan antara nilai *amonia* pada *inlet* dan *outlet*, yang mencerminkan proses pengolahan ammonia di instalasi pengolahan air.

Pada bulan Juli hingga September, kadar *amonia inlet* tergolong rendah, dengan nilai tertinggi pada Juli yaitu 3,43 mg/L dan terendah pada September (0,1 mg/L). Selama periode ini, kadar *amonia outlet* juga rendah, berkisar antara 0,1 mg/L hingga 0,28 mg/L, menunjukkan efektivitas sistem dalam mempertahankan kualitas *effluent*. Namun, terjadi lonjakan kadar amonia pada bulan Oktober, di mana nilai *inlet* meningkat drastis menjadi 8,2 mg/L, dan *outlet* juga ikut meningkat menjadi 7,6 mg/L, menunjukkan penurunan efisiensi proses pengolahan. Hal ini dapat mengindikasikan adanya gangguan atau penurunan kinerja unit pengolahan, seperti penurunan aktivitas mikroba dalam proses *nitrifikasi*.



Pada bulan November, kadar *amonia inlet* kembali turun menjadi 3,06 mg/L, dan outlet menjadi 1,18 mg/L, menandakan pemulihan efisiensi proses. Namun, pada bulan Desember terjadi lonjakan kembali pada kadar inlet hingga 9,7 mg/L, sementara outlet berada pada 9,01 mg/L, menunjukkan kembali rendahnya efisiensi pengolahan amonia pada akhir tahun.

Fluktuasi yang cukup besar pada nilai amonia, terutama pada bulan Oktober dan Desember, perlu menjadi perhatian. Perubahannya dapat terjadi karena beban organik, suhu, atau gangguan pada sistem biologi pengolahan air. Diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap parameter operasional dan perawatan sistem untuk memastikan stabilitas proses pengolahan amonia. Selain itu, menurut (6), gangguan pada proses *nitrifikasi* juga dapat terjadi akibat ketidakseimbangan antara bakteri oksidasi amonia (AOB) dan bakteri oksidasi nitrit (NOB), yang menyebabkan amonia tidak sepenuhnya terkonversi menjadi nitrat.



Gambar 5. Kadar *inlet* dan *Outlet* Total Coliform

Sumber: Data Perusahaan, 2025

Berdasarkan Pada titik ketiga dan keempat, grafik menunjukkan penurunan jumlah *coliform*, yang merupakan hasil dari proses pengolahan biologis seperti aerasi atau kontak dengan disinfektan. Namun, nilai *coliform* pada titik-titik tersebut masih berada jauh di atas standar yang diperbolehkan, menandakan bahwa proses pengolahan yang digunakan belum efektif sepenuhnya dalam menurunkan kontaminasi mikrobiologis (Chapman, 1996).

3.2 Analisis Efisien Instalasi Pengolahan Air Limbah

Menurut Soeparman dan Suparmin (2001), data parameter air limbah *inlet* dan *outlet* digunakan untuk menghitung efisiensi removal pengolahan air limbah. Adapun lima tingkat efisiensi IPAL tersebut sebagai berikut:

-Sangat efisien =>80%

-Efisien = 60% sampai 80%

-Cukup = 40% sampai \leq 60%

-Kurang = 20% sampai \leq 40

-Tidak Efisien = \leq 20%

Perhitungan Rata-rata efisiensi pengolahan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Rata-Rata Efisiensi Pengolahan

Parameter	Efisiensi Rata-Rata	Keterangan
BOD	42,8%	Cukup Efisien
COD	52,31%	Cukup Efisien
TSS	38,80%	Kurang Efisien
Minyak dan lemak	-	Aman
Ammonia	52,79%	Cukup Efisien
Total Coliform	39,32%	Kurang Efisien

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi pengolahan IPAL kualitas air limbah dari bulan Juli hingga Desember 2024 terlihat bahwa beberapa parameter utama belum seluruhnya optimal dan masih bervariasi. Efisiensi penghilangan BOD dan COD masing-masing tercatat rata-rata menunjukkan 42,8% dan 52,31% ini menunjukkan tergolong cukup efisien karena berada pada rentang 40% sampai $\leq 60\%$. Meskipun begitu, nilai tersebut menunjukkan bahwa proses biologis yang berlangsung belum maksimal, sehingga perlu dilakukan peningkatan efisiensi, khususnya pada unit *biofilter* dan sistem *aerasi*. Sementara itu, parameter TSS memiliki efisiensi terendah dengan rata-rata hanya 38,80% dan termasuk dalam kategori kurang efektif karena berada di rentang nilai 20% sampai $\leq 40\%$. Hal ini menunjukkan bahwa unit sedimentasi belum bekerja dengan optimal dalam mengendapkan partikel tersuspensi.

Sedangkan untuk parameter minyak dan lemak, hasil pengukuran secara konsisten menunjukkan kadar $< 5 \text{ mg/L}$, yang berarti sistem *grease trap* berfungsi dengan baik dan tidak memerlukan perbaikan signifikan. Adapun parameter total amonia memiliki efisiensi rata-rata 52,79% yang tergolong cukup efektif karena berada di rentang nilai 40% sampai $\leq 60\%$, namun hasilnya sangat fluktuatif dari bulan ke bulan. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem *aerasi* perlu distabilkan dan kontrol pH harus dijaga agar proses nitrifikasi berjalan lebih konsisten. Yang menjadi perhatian utama adalah efisiensi penurunan *total coliform*, yang hanya mencapai 39,32% secara rata-rata dan tergolong kurang efektif karena nilai berada di rentang 20% sampai $\leq 40\%$. Efisiensi *desinfeksi* yang tidak stabil menunjukkan bahwa sistem klorinasi saat ini tidak bekerja dengan konsisten, hal ini disebabkan oleh kerusakan pada *chlorine tank* atau kontrol dosis yang kurang akurat.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil evaluasi efektivitas kinerja IPAL Domestik *MGS Menggung* PT. Pertamina EP Cepu adalah bahwa efisiensi penghilangan *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Coliform* saat ini masih kurang optimal karena menunjukkan rata-rata efisiensi removal sebesar 38,80% dan 39,32%. Namun demikian, hasil pemantauan kualitas *effluent* masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan, sehingga dapat dikatakan IPAL masih berfungsi sesuai regulasi. Oleh karena itu, arah perbaikan lebih difokuskan untuk meningkatkan efektivitas pengolahan IPAL.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah penambahan proses *koagulasi* dan *flokulasi* yang lebih efektif. Selain itu, penting juga dilakukan penggantian tangki klorin (*chlorine tank*) agar proses *desinfeksi* dapat berjalan lebih efektif dalam menurunkan jumlah *Total Coliform*. Dengan penambahan dan perbaikan tersebut, diharapkan kualitas air limbah yang dihasilkan dapat meningkatkan efektivitas kinerja pengolahan secara keseluruhan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para peneliti terdahulu yang telah memberikan kontribusi penting melalui gagasan, teori, dan temuan mereka. Hasil penelitian sebelumnya menjadi landasan berharga dalam pengembangan kajian ini serta memberikan arah yang jelas bagi penulis dalam menyusun penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah mendukung penyelesaian penelitian ini, baik melalui bantuan teknis, moral, maupun motivasi. Semoga segala bantuan yang diberikan mendapatkan balasan yang setimpal.

References

1. United Nations Environment Programme (UNEP). Wastewater Management A UN-Water Analytical Brief. In 2021. p. 1–52.
2. Yusof, N., Lau, W. J., & Ismail AF. Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019;76:17–28.
3. Syarif, F., & Yuningsih S. Evaluasi Kinerja IPAL Domestik pada Kawasan Industri di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 2020;26:187–195.
4. Arifin, A., & Pratama YA. mampuan Hybrid Anaerobic Baffled Reactor (ABR)-Biofilter dalam Menurunkan Total Nitrogen dan Fosfor pada Air Limbah Apartemen. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 2023;21:574–80.
5. Metcalf & Eddy Inc, Tchobanoglous G, Stensel H, Tsuchihashi R, Burton F. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 1994;
6. Abma WR, Driessen W, Haarhuis R, van Loosdrecht MCM. Upgrading of sewage treatment plant by sustainable and cost-effective separate treatment of industrial wastewater. *Water Science and Technology*. 2010 Apr 1;61(7):1715–22.
7. Kurniawan R, et al. Optimasi proses biofilter aerob dan sedimentasi. 2021
8. Putri A, Pratama D. Analisis kinerja IPAL dalam penurunan beban pencemar. 2020.
9. Rahman A, et al. Efektivitas biofilter dalam menurunkan TSS pada IPAL domestik. 2019
10. Rusten B, Eikebrokk B, Ulgenes Y, Lygren E. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Water Sci Technol*. 1995;32(8):53–60. doi:10.2166/wst.1995.0312
11. Soeparman HM, Suparmin. Pembuangan tinja dan limbah cair: suatu pengantar. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC; 2001.
12. Trisyanti D, Soedjono ES, Purnama IL. Domestic wastewater management in Indonesia: a review. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2017;70(1):012031. doi:10.1088/1755-1315/70/1/012031