

EVALUASI KEPATUHAN BAKU MUTU EFFLUENT DAN EFEKTIVITAS PENYISIHAN POLUTAN PADA IPAL KOMUNAL: TINJAUAN LITERATUR SISTEMATIS

Wan Azizah^{1*}, Nurhayati², Joni Safaat Adiansyah³

^{1,2,3}Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Mataram
wanazizah010401@gmail.com; nurhayati.faperta.ummat@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak: Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal dalam memenuhi baku mutu air limbah domestik masih menjadi tantangan penting karena efluen yang tidak memenuhi standar berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan risiko kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kepatuhan baku mutu efluen dan efektivitas penyisihan polutan pada IPAL komunal melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Penelitian dilakukan menggunakan pedoman PRISMA dengan sumber data yang berasal dari Google Scholar, Scopus, Elicit, Scite.ai, SciSpace, dan DOAJ. Artikel yang dianalisis merupakan publikasi ilmiah terindeks dan peer-reviewed pada periode 2016–2025 yang memuat data kuantitatif mengenai karakteristik influen-efluen, efektivitas penyisihan polutan, dan tingkat kepatuhan terhadap baku mutu air limbah domestik pada sistem pengolahan air limbah komunal atau terdesentralisasi; status peer-review setiap artikel diverifikasi melalui basis data indeksasi pada tahap full-text review. Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan biofilter anaerobik merupakan teknologi yang paling banyak digunakan dengan efisiensi penyisihan BOD sebesar 70–99% dan COD sebesar 51–99%. Namun demikian, kepatuhan terhadap baku mutu efluen masih rendah terutama pada parameter amonia, Total Suspended Solids (TSS), total coliform, dan parameter mikrobiologis lainnya. Kinerja pengolahan dipengaruhi oleh karakteristik influen, Hydraulic Retention Time (HRT), kondisi infrastruktur, operasi dan pemeliharaan, serta kapasitas kelembagaan pengelola. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tingginya efisiensi penyisihan polutan tidak selalu menjamin terpenuhinya baku mutu efluen. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam optimalisasi teknologi, penguatan pengelolaan operasional, dan peningkatan sistem pemantauan kualitas efluen untuk mendukung keberlanjutan IPAL komunal.

Kata Kunci: IPAL komunal; kepatuhan baku mutu efluen; efektivitas penyisihan polutan; air limbah domestik; *Anaerobic Baffled Reactor*; Tinjauan Literatur Sistematis

Abstract: The performance of communal wastewater treatment plants (WWTPs) in meeting domestic wastewater effluent standards remains a critical issue, as non-compliant effluent can contribute to environmental pollution and public health risks. This study aimed to evaluate effluent quality compliance and pollutant removal efficiency in communal WWTPs through a Systematic Literature Review (SLR). The review adopted the PRISMA framework and analyzed peer-reviewed articles retrieved from Google Scholar, Scopus, Elicit, Scite.ai, SciSpace, and DOAJ. Eligible studies were published between 2016 and 2025 and provided quantitative information on influent–effluent characteristics, pollutant removal performance, and compliance with wastewater quality standards in communal or decentralized wastewater treatment systems. The findings indicate that Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and anaerobic biofilter technologies are the most widely applied systems, achieving Biological Oxygen Demand (BOD) removal efficiencies of 70–99% and Chemical Oxygen Demand (COD) removal efficiencies of 51–

99%. However, compliance with effluent standards remains inconsistent, particularly for ammonia, Total Suspended Solids (TSS), total coliform, and other microbiological parameters. The review further reveals that treatment performance is strongly influenced by hydraulic retention time, influent characteristics, operational management, maintenance practices, infrastructure conditions, and institutional capacity. This study concludes that high pollutant removal efficiency does not necessarily guarantee compliance with effluent standards. The findings provide practical implications for improving operational management, monitoring systems, and technology optimization to enhance the sustainability and environmental performance of communal WWTPs.

Keywords: Communal wastewater treatment plant; Effluent quality compliance; Pollutant removal efficiency; Domestic wastewater; Anaerobic baffled reactor; Systematic literature review

Article History:

Received: 08-06-2026

Revised : 16-07-2026

Accepted: 03-08-2026

Online : 04-09-2026



*This is an open access article under the
CC-BY-SA license*

A. LATAR BELAKANG

Air limbah domestik merupakan salah satu sumber pencemar utama badan air yang berasal dari aktivitas rumah tangga seperti mandi, mencuci, memasak, dan sanitasi. Peningkatan jumlah penduduk dan urbanisasi telah menyebabkan peningkatan volume air limbah yang memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal menjadi salah satu pendekatan yang banyak diterapkan di negara berkembang karena mampu melayani beberapa rumah tangga secara kolektif dengan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan sistem terpusat. Keberhasilan IPAL komunal umumnya diukur melalui tingkat kepatuhan effluent terhadap baku mutu yang ditetapkan regulator serta kemampuan sistem dalam menurunkan konsentrasi polutan pencemar. Menurut (Ranudi, 2018), parameter utama yang digunakan dalam evaluasi kinerja pengolahan air limbah meliputi BOD, COD, TSS, amonia, minyak dan lemak, serta bakteri indikator seperti total coliform. Sementara itu, (Eddy, n.d. 2014) menegaskan bahwa kualitas effluent yang memenuhi baku mutu merupakan indikator utama keberhasilan sistem pengolahan air limbah dalam melindungi kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Di Indonesia, baku mutu air limbah domestik diatur melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.68 Tahun 2016 yang menjadi acuan dalam penilaian kinerja IPAL domestik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016).

Efektivitas penyisihan polutan menggambarkan kemampuan suatu unit pengolahan dalam mengurangi konsentrasi parameter pencemar dari influent menjadi effluent. Efisiensi pengolahan biasanya dinyatakan dalam persentase removal yang dihitung berdasarkan selisih konsentrasi influent dan effluent terhadap konsentrasi influent. Parameter amonia, minyak dan lemak, serta total coliform merupakan indikator penting karena berhubungan langsung dengan risiko eutrofikasi, gangguan estetika lingkungan, serta penyebaran penyakit berbasis air. Menurut (Sperling, n.d.), efektivitas pengolahan biologis sangat dipengaruhi oleh

karakteristik influent, waktu tinggal hidraulik, kondisi mikroorganisme, serta operasi dan pemeliharaan fasilitas pengolahan.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tingkat kepatuhan baku mutu effluent pada IPAL komunal masih bervariasi. (Brontowiyono et al., 2022) mengevaluasi enam IPAL komunal di Kabupaten Sleman, Indonesia, yang melayani sekitar 625 rumah tangga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar IPAL telah memenuhi baku mutu untuk parameter pH, suhu, minyak dan lemak, serta amonia. Namun demikian, beberapa IPAL masih gagal memenuhi baku mutu untuk parameter TSS, BOD, dan total coliform. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa lima dari enam IPAL yang diteliti mampu menurunkan total coliform secara efektif, sedangkan satu IPAL mengalami peningkatan konsentrasi total coliform pada effluent akibat masalah operasional seperti penyumbatan dan bau yang mengindikasikan ketidakseimbangan proses biologis. Temuan ini menunjukkan bahwa kepatuhan baku mutu tidak selalu konsisten pada seluruh parameter yang dipersyaratkan sehingga diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja unit pengolahan.

Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh (John Tunggu Jama¹, 2023) pada IPAL Semanggi Kota Surakarta menunjukkan bahwa proses pengolahan mampu menurunkan BOD sebesar 78,28%, COD sebesar 37,21%, TSS sebesar 41,14%, dan total coliform sebesar 32,01%. Meskipun demikian, penelitian tersebut menemukan bahwa konsentrasi amonia pada effluent justru mengalami peningkatan dibandingkan influent sehingga belum memenuhi baku mutu yang berlaku. Fenomena peningkatan amonia pada effluent juga dilaporkan oleh (Brontowiyono et al., 2024), yang menunjukkan bahwa sebagian unit pengolahan anaerobik mengalami peningkatan konsentrasi amonia dari 1,26 mg/L menjadi 1,77 mg/L pada effluent. Hasil-hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa efektivitas penyisihan polutan tertentu, khususnya amonia dan mikroorganisme indikator, masih menjadi tantangan utama dalam pengelolaan IPAL komunal dan sistem pengolahan air limbah domestik skala kecil.

Berdasarkan berbagai temuan penelitian tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa sebagian besar studi masih berfokus pada evaluasi kinerja IPAL pada lokasi tertentu dengan parameter dan metode pengukuran yang berbeda-beda. Hingga saat ini masih terbatas kajian yang secara sistematis mengintegrasikan hasil penelitian mengenai kepatuhan baku mutu effluent dan efektivitas penyisihan polutan pada berbagai IPAL komunal dalam satu kerangka analisis yang komprehensif. Kesenjangan penelitian (research gap) tersebut menunjukkan perlunya sintesis ilmiah yang mampu mengidentifikasi pola kinerja pengolahan, tingkat kepatuhan terhadap regulasi, serta faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas penyisihan polutan. Oleh karena itu, novelty penelitian ini terletak pada: (1) penyusunan tinjauan sistematis pertama yang mengintegrasikan hasil penelitian mengenai kepatuhan baku mutu efluen dan efektivitas penyisihan polutan pada IPAL komunal lintas jenis teknologi pengolahan; (2) pemetaan parameter pencemar yang paling sering gagal memenuhi baku mutu berdasarkan bukti dari berbagai lokasi kajian; dan (3) kontribusi terhadap penguatan kebijakan pemantauan kualitas efluen IPAL komunal berbasis bukti ilmiah. Tujuan penelitian ini adalah

menganalisis tingkat kepatuhan effluent terhadap baku mutu air limbah domestik serta mengevaluasi efektivitas penyisihan berbagai parameter pencemar pada IPAL komunal berdasarkan bukti ilmiah yang tersedia. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan bagi pengelola, pemerintah daerah, dan pemangku kepentingan dalam meningkatkan kinerja dan keberlanjutan sistem pengolahan air limbah domestik berbasis masyarakat.

B. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan pendekatan deskriptif-kualitatif dan teknik sintesis naratif (narrative synthesis) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian terkait kepatuhan baku mutu effluent dan efektivitas penyisihan polutan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal. Proses kajian dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada pedoman PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) untuk meningkatkan transparansi dan reproduktibilitas penelitian.

Sumber data utama diperoleh dari tiga basis data bibliografis ilmiah, yaitu Google Scholar, Scopus, dan Directory of Open Access Journals (DOAJ), karena menyediakan indeksasi artikel peer-reviewed yang relevan dengan bidang pengolahan air limbah domestik, sanitasi lingkungan, dan pengelolaan IPAL komunal. Elicit, Scite.ai, dan SciSpace digunakan sebagai alat bantu penelusuran (literature discovery tools) untuk mempercepat identifikasi artikel yang relevan dan tidak digunakan sebagai basis data bibliografis utama.

Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel ilmiah yang diterbitkan pada periode 2016–2025; (2) artikel yang membahas kinerja IPAL komunal, sistem pengolahan air limbah domestik, atau instalasi pengolahan air limbah terdesentralisasi; (3) artikel yang melaporkan data kualitas influent dan effluent atau efisiensi penyisihan parameter pencemar seperti BOD, COD, TSS, amonia, minyak dan lemak, total coliform, maupun parameter sejenis; (4) artikel yang tersedia dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris; serta (5) artikel yang dipublikasikan pada jurnal terindeks nasional maupun internasional dan telah melalui proses peer-review, yang diverifikasi melalui basis data indeksasi (Scopus, DOAJ, atau SINTA) pada tahap full-text review. Adapun kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel duplikat; (2) prosiding, laporan teknis, skripsi, tesis, disertasi, buku, dan dokumen non-peer-reviewed; (3) artikel yang tidak menyediakan data kuantitatif mengenai kinerja pengolahan; serta (4) artikel yang hanya membahas aspek desain tanpa evaluasi operasional.

Artikel yang memenuhi kriteria inklusi selanjutnya diekstraksi berdasarkan informasi penulis, tahun publikasi, lokasi penelitian, jenis teknologi pengolahan, jumlah sampel atau unit IPAL yang diteliti, parameter kualitas air limbah, tingkat kepatuhan baku mutu, serta nilai efektivitas penyisihan polutan. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan teknik sintesis naratif (narrative synthesis) dengan membandingkan hasil penelitian berdasarkan karakteristik teknologi pengolahan dan parameter kualitas air limbah yang dievaluasi. Untuk meningkatkan

validitas dan keandalan hasil kajian, proses seleksi dan ekstraksi data dilakukan secara sistematis menggunakan formulir evaluasi yang terstandarisasi, sedangkan kualitas artikel dinilai berdasarkan relevansi topik, kelengkapan data, metodologi penelitian, serta kredibilitas sumber publikasi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik IPAL Komunal dan Parameter Kualitas Air Limbah

Karakteristik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal di Indonesia menunjukkan performa penyisihan parameter organik yang signifikan namun sering terkendala oleh masalah teknis dan operasional yang memengaruhi kualitas efluen. Penelitian terhadap enam lokasi IPAL komunal di Malang yang menerapkan teknologi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan biofilter melaporkan angka statistik efisiensi penyisihan Biological Oxygen Demand (BOD) sebesar 78% hingga 99% dan Chemical Oxygen Demand (COD) antara 71% hingga 99%, meskipun rasio BOD/COD yang rendah (0,22–0,41) mengindikasikan adanya limbah domestik yang sulit terurai secara biologis (Pitoyo et al., 2021). Dari aspek kapasitas pelayanan, evaluasi pada dua unit IPAL di Banda Aceh dengan kapasitas desain masing-masing 72 m³/hari untuk 50 rumah tangga menunjukkan bahwa konsentrasi BOD influen mencapai 54,7 mg/L (melebihi baku mutu 30 mg/L), di mana kegagalan sistem sering terjadi akibat kesalahan elevasi pipa yang menghambat koneksi saluran rumah (Syah et al., 2024). Lebih lanjut, studi di Mlati, Yogyakarta mengungkapkan bahwa kurang dari 40% IPAL komunal mampu beroperasi secara efektif, dengan temuan efluen yang sering gagal memenuhi baku mutu pada parameter Total Suspended Solids (TSS) dan bakteri *E. coli*, yang menunjukkan ketidakkonsistenan kinerja sistem dalam skala pelayanan yang lebih luas (Brontowiyono et al., 2024).

Penelitian mengenai karakteristik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Indonesia umumnya berfokus pada penerapan teknologi anaerobik seperti Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan biofilter untuk menyisihkan parameter pencemar organik seperti BOD, COD, dan TSS.

Evaluasi kinerja pada 7 unit IPAL komunal di Gresik menunjukkan efisiensi penyisihan BOD berkisar antara 79–96%, meskipun penyisihan COD tercatat lebih rendah yakni sebesar 52,7% (Soedjono et al., 2019). Sejalan dengan hal tersebut, studi pada 9 fasilitas IPAL di Kabupaten Bantul melaporkan bahwa sebagian besar unit mampu mencapai efisiensi penyisihan BOD di atas 70% dan TSS di atas 50% (Rahmawati et al., 2019). Penggunaan teknologi biofilter anaerobik pada 2 unit reaktor eksperimental juga terbukti efektif dengan rata-rata reduksi BOD sebesar 53%, COD 51,39%, dan TSS 72,40% (Yunita & Asmoro, 2023). Analisis statistik lebih lanjut menggunakan uji-T mengonfirmasi adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antara kadar influen dan efluen pada parameter BOD₅ dan COD, dengan efisiensi penyisihan masing-masing mencapai 78,78% dan 73,23% (Apip, 2021).

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah direview, dapat diinterpretasikan bahwa IPAL komunal di Indonesia pada umumnya memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menurunkan beban pencemar organik, khususnya parameter BOD dan COD, yang ditunjukkan oleh efisiensi penyisihan berkisar antara 53–99% untuk BOD dan 51–99% untuk COD. Temuan ini mengindikasikan bahwa teknologi

anaerobik seperti Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan biofilter masih menjadi alternatif yang efektif dan ekonomis untuk pengolahan air limbah domestik skala komunal. Namun demikian, tingginya efisiensi penyisihan tidak selalu berbanding lurus dengan kepatuhan terhadap baku mutu efluen. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kualitas efluen masih belum memenuhi standar pada parameter tertentu seperti TSS, E. coli, dan BOD, meskipun proses pengolahan telah berlangsung. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kinerja IPAL komunal tidak hanya ditentukan oleh kemampuan teknologi dalam mengurangi konsentrasi polutan, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor operasional seperti desain hidraulik, kesesuaian kapasitas dengan beban aktual, kondisi jaringan perpipaan, frekuensi pemeliharaan, serta kompetensi pengelola. Rendahnya rasio BOD/COD yang ditemukan pada beberapa lokasi juga mengindikasikan adanya fraksi bahan organik yang sulit terdegradasi secara biologis, sehingga dapat menurunkan efektivitas proses pengolahan anaerobik. Oleh karena itu, evaluasi kinerja IPAL komunal perlu dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan aspek teknis, operasional, dan kualitas efluen secara simultan.

2. Evaluasi Kepatuhan Baku Mutu Effluent pada IPAL Komunal

Evaluasi kepatuhan baku mutu effluent pada IPAL komunal menunjukkan tingkat ketidaksesuaian yang signifikan terhadap standar baku mutu air limbah domestik. Penelitian multi-lokasi melibatkan berbagai jumlah subjek: (Doddy Dharmawibawa, 2019) mengevaluasi 3 IPAL komunal secara primer dan 40 IPAL komunal melalui data sekunder di Kota Bogor, menemukan bahwa parameter total coliform tidak memenuhi baku mutu di ketiga lokasi, COD melebihi standar di 2 lokasi, dan TSS di atas baku mutu di 1 lokasi [Dhama Susanthi et al., 2018]. Ilmi Fajriati et al. (2023) pada 1 IPAL komunal menemukan hanya 2 dari 6 parameter memenuhi baku mutu (pH 7,3 dan TSS 22 mg/L), sementara BOD 42 mg/L, COD 163 mg/L, amonia 207 mg/L, dan MPN Coli $99,9 \times 10^3$ mg/L tidak memenuhi standar [Ilmi Fajriati et al., 2023]. Erlina Kurnianingtyas et al. (2020) melaporkan efisiensi penyisihan BOD 54,02%, COD 41,04%, dan TSS 71,55% pada 1 IPAL komunal, namun tetap tidak sesuai baku mutu (Kurnianingtyas et al., 2020).

Penelitian terhadap 10 unit IPAL di Kota Cimahi mengungkapkan bahwa seluruh efluen (100%) tidak memenuhi baku mutu, dengan efisiensi penyisihan TSS hanya berkisar antara 34,84% hingga 42,56% (Widiawati & wiliانا wili mohamad rangga, 2021). Selain TSS, parameter amonia sering kali menjadi pencemar utama yang gagal memenuhi standar; studi pada IPAL Ngudi Saras menunjukkan perlunya reduksi amonia total sebesar 67,47% untuk mencapai kepatuhan terhadap regulasi (Robbani et al., 2023). Di lokasi lain, evaluasi pada 5 unit IPAL di Banda Aceh mengonfirmasi bahwa TSS dan total coliform secara konsisten melampaui baku mutu meskipun parameter BOD dan COD masih memenuhi syarat (Muslimin & Machdar, 2022). Rendahnya kepatuhan ini juga ditemukan pada 3 IPAL di Kota Padang di mana parameter BOD, amonium, dan TSS tetap gagal memenuhi standar meskipun waktu detensi hidrolik (HRT) sistem secara teoritis telah terpenuhi (Lingkungan et al., 2022).

Table 1. Kepatuhan Parameter Kualitas Effluent

Parameter	Jml. Studi Memenuhi	Studi (Memenuhi)	Jml. Studi Tidak Memenuhi	Studi (Tidak Memenuhi)
BOD	1	Muslimin & Machdar (2022)	3	Brontowiyono et al. (2022) sebagian lokasi; Ilmi Fajriati et al. (2023); Lingkungan et al. (2022)
COD	1	Muslimin & Machdar (2022)	2	Dhama Susanthi et al. (2018) 2 lokasi; Ilmi Fajriati et al. (2023)
TSS	1	Ilmi Fajriati et al. (2023)	5	Brontowiyono et al. (2022); Dhama Susanthi et al. (2018); Widiawati et al. (2021); Muslimin & Machdar (2022); Lingkungan et al. (2022)
Amonia	1	Brontowiyono et al. (2022) parameter dasar	5	John Tunggu Jama & Pambudi (2023); Brontowiyono et al. (2024); Ilmi Fajriati et al. (2023); Robbani et al. (2023); Lingkungan et al. (2022)
Total coliform	0	—	3	Dhama Susanthi et al. (2018) 3 lokasi; Muslimin & Machdar (2022); sebagian Brontowiyono et al. (2022)

Secara mekanistik, tingginya kegagalan parameter amonia dan mikrobiologis pada sistem anaerobik komunal dapat dijelaskan melalui karakteristik proses biologis yang diterapkan. Reaktor anaerobik seperti ABR dan biofilter anaerobik dirancang terutama untuk mendegradasi bahan organik terlarut melalui hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis, sehingga sangat efektif menurunkan BOD dan COD. Namun, proses nitrifikasi oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri Nitrosomonas dan Nitrobacter memerlukan kondisi aerobik dengan oksigen terlarut yang memadai, yang umumnya tidak tersedia pada unit anaerobik. Akibatnya, amonia yang terlepas dari degradasi protein dan senyawa nitrogen organik cenderung tidak mengalami transformasi lebih lanjut dan terbawa langsung ke efluen. Hal ini menjelaskan mengapa penelitian (Brontowiyono et al., 2024) dan (John Tunggu Jama¹, 2023) melaporkan peningkatan konsentrasi amonia pada efluen dibandingkan influen.

Demikian pula, kegagalan parameter total coliform pada sebagian besar IPAL komunal berkaitan dengan tidak adanya unit desinfeksi lanjutan (seperti klorinasi, UV, atau ozonasi) pada sistem anaerobik konvensional. Proses anaerobik dapat menurunkan sebagian mikroorganisme patogen melalui sedimentasi dan kompetisi mikrobiologis, tetapi umumnya tidak cukup untuk mencapai standar bakteriologis tanpa tahap desinfeksi tambahan.

Kegagalan parameter TSS sering kali disebabkan oleh sedimentasi yang tidak optimal akibat waktu tinggal hidraulik (HRT) yang terlalu singkat, kecepatan aliran yang tinggi, atau resuspensi lumpur akibat gangguan hidraulik dan akumulasi lumpur yang tidak dikuras secara berkala. Ketika HRT lebih pendek dari waktu yang dibutuhkan untuk pengendapan partikel tersuspensi, efluen yang dihasilkan akan

tetap mengandung padatan dalam konsentrasi tinggi meskipun efisiensi penyisihan BOD/COD terlihat baik. Temuan pada penelitian (Aniriani et al., 2022) Lingkungan et al. (2022) bahwa parameter BOD, amonium, dan TSS tetap gagal memenuhi baku mutu meskipun HRT sistem secara teoritis telah terpenuhi mengindikasikan bahwa kesesuaian HRT desain tidak selalu mencerminkan kondisi operasional aktual di lapangan, yang dapat dipengaruhi oleh beban hidraulik puncak, penyumbatan saluran, atau penurunan volume efektif reaktor akibat akumulasi lumpur.

Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa permasalahan utama IPAL komunal di Indonesia bukan hanya terletak pada kemampuan sistem dalam menurunkan konsentrasi pencemar, tetapi juga pada ketidakmampuannya menghasilkan efluen yang secara konsisten memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Nilai efisiensi penyisihan yang tinggi tidak selalu menjamin kepatuhan terhadap baku mutu apabila konsentrasi influen awal sangat tinggi atau kapasitas pengolahan tidak sesuai dengan beban limbah yang diterima.

3. Efektivitas Penyisihan Polutan dan Faktor yang Mempengaruhinya

Variasi rentang efisiensi penyisihan polutan yang cukup lebar pada IPAL komunal misalnya efisiensi BOD yang berkisar antara 53% hingga 99% perlu dipahami dalam konteks perbedaan jenis teknologi pengolahan yang diterapkan. Berikut hasil sintesis yang dikelompokkan berdasarkan jenis teknologi.

a. Teknologi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan Biofilter Anaerobik

Tunggal

Evaluasi terhadap enam lokasi IPAL komunal dengan sistem ABR-Biofilter di Malang menunjukkan efisiensi penyisihan BOD sebesar 78–99%, COD 71–99%, dan TSS 56–100% (Pitoyo et al., 2021). Evaluasi pada 7 unit IPAL di Gresik menunjukkan efisiensi BOD 79–96% dengan COD lebih rendah yaitu 52,7% (Soedjono et al., 2019). Pada 9 fasilitas IPAL di Bantul, efisiensi BOD di atas 70% dan TSS di atas 50% (Rahmawati et al., 2019). Reaktor biofilter anaerobik eksperimental skala kecil melaporkan efisiensi BOD 53%, COD 51,39%, dan TSS 72,40% (Yunita & Asmoro, 2023). John Tunggu Jama & Pambudi (2023) melaporkan efisiensi BOD 78,28%, COD 37,21%, TSS 41,14%, dan total coliform 32,01%. Erlina Kurnianingtyas et al. (2020) melaporkan efisiensi BOD 54,02%, COD 41,04%, dan TSS 71,55%, dengan faktor penurunan efektivitas berupa masuknya limbah non-domestik dan HRT yang tidak sesuai desain pada unit sedimentasi dan anaerobic filter. Ilmi Fajriati et al. (2023) menunjukkan perbedaan tajam antar unit dalam satu sistem: bak ABR mencapai efisiensi BOD 48% dan COD 41%, sedangkan bak Anaerobic Filter (AF) hanya 0,045% untuk BOD dan bahkan –0,87% (negatif) untuk COD.

b. Kombinasi ABR dengan Constructed Wetland

Integrasi ABR dengan constructed wetland terbukti mampu meningkatkan penyisihan amonia hingga 76% (Marsono & Voijan, 2022), jauh lebih tinggi dibandingkan sistem ABR tunggal yang umumnya kurang optimal untuk parameter nitrogen. Temuan ini menegaskan bahwa penambahan unit wetland yang menyediakan kondisi aerobik-anaerobik campuran melalui zona perakaran

tanaman dapat mengatasi keterbatasan proses nitrifikasi pada sistem anaerobik murni.

Rendahnya efisiensi bahkan nilai negatif pada unit Anaerobic Filter (AF) yang dilaporkan Ilmi Fajriati et al. (2023) secara mekanistik dapat dijelaskan oleh beberapa kemungkinan: (1) washout biomassa akibat kecepatan aliran yang melebihi kapasitas desain filter; (2) akumulasi lumpur berlebih yang menyebabkan short-circuiting aliran sehingga air limbah tidak kontak optimal dengan biofilm; (3) beban organik kejut (shock loading) yang mengganggu keseimbangan populasi mikroorganisme anaerobik; atau (4) media filter yang telah jenuh dan memerlukan pembersihan/penggantian. Nilai negatif pada efisiensi COD mengindikasikan bahwa konsentrasi COD pada efluen justru lebih tinggi daripada influen, yang dapat terjadi akibat pelepasan senyawa organik terlarut dari lumpur yang mengalami dekomposisi tidak sempurna atau kondisi anaerobik yang tidak stabil (souring).

Secara keseluruhan, efektivitas penyisihan polutan pada IPAL komunal sangat dipengaruhi oleh jenis teknologi yang digunakan, kondisi operasional sistem, serta kualitas pengelolaan instalasi. Teknologi berbasis anaerobik seperti ABR dan biofilter secara umum menunjukkan kemampuan yang baik dalam menurunkan parameter organik, khususnya BOD dan COD, dengan efisiensi yang pada beberapa studi mencapai lebih dari 90%. Namun, variasi efisiensi yang lebar antar lokasi penelitian bahkan antar unit dalam satu sistem, sebagaimana ditunjukkan oleh perbedaan tajam antara bak ABR dan bak AF pada penelitian Ilmi Fajriati et al. (2023) mengindikasikan bahwa keberhasilan teknologi tidak hanya ditentukan oleh desain proses, tetapi juga oleh kondisi operasional aktual di lapangan. Kombinasi teknologi, seperti integrasi ABR dengan constructed wetland, menunjukkan potensi mengatasi keterbatasan sistem anaerobik tunggal, khususnya untuk parameter amonia. Faktor lain seperti masuknya limbah non-domestik, HRT yang tidak memenuhi kriteria desain, serta kurangnya pemeliharaan juga terbukti berkontribusi terhadap menurunnya efektivitas pengolahan. Oleh karena itu, evaluasi kinerja IPAL komunal perlu dilakukan tidak hanya berdasarkan capaian efisiensi penyisihan, tetapi juga dengan mempertimbangkan aspek desain, operasi, kondisi lingkungan, dan kapasitas pengelolaan sistem secara menyeluruh.

(John Tunggu Jama1, 2023) pada 1 IPAL komunal melaporkan efisiensi penyisihan BOD5 sebesar 78,28%, COD 37,21%, TSS 41,14%, dan Total Coliform 32,01% John Tunggu Jama & Yonathan Suryo Pambudi, 2023. Erlina Kurnianingtyas et al. (2020) pada 1 IPAL komunal menemukan efisiensi BOD 54,02%, COD 41,04%, dan TSS 71,55%, dengan faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas meliputi masuknya limbah non-domestik, nilai HRT (Hydraulic Retention Time) yang tidak memenuhi kriteria desain pada unit sedimentasi dan anaerobic filter, serta kurangnya pemeliharaan oleh pengelola dan pengguna IPAL (Kurnianingtyas et al., 2020). Ilmi Fajriati et al. (2023) pada 1 IPAL komunal menunjukkan perbedaan efisiensi antar unit: bak ABR mencapai efisiensi BOD 48% dan COD 41%, sedangkan bak AF hanya 0,045% untuk BOD

dan -0,87% untuk COD, mengindikasikan pentingnya desain dan operasional unit pengolahan Ilmi Fajriati et al., 2023.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review (SLR), dapat disimpulkan bahwa IPAL komunal di Indonesia umumnya mampu menurunkan konsentrasi polutan organik dengan tingkat efektivitas yang relatif baik, terutama pada parameter BOD dan COD. Teknologi berbasis anaerobik, khususnya Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan biofilter anaerobik, menunjukkan kinerja penyisihan yang paling konsisten dengan efisiensi BOD mencapai 70–99% dan COD sebesar 51–99%. Meskipun demikian, tingginya efisiensi penyisihan polutan tidak selalu diikuti oleh kepatuhan terhadap baku mutu efluen. Parameter amonia, Total Suspended Solids (TSS), total coliform, dan bakteri indikator lainnya merupakan parameter yang paling sering gagal memenuhi standar kualitas air limbah domestik. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengolahan air limbah tidak hanya ditentukan oleh kemampuan teknologi dalam mereduksi beban pencemar, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor operasional dan manajerial seperti kesesuaian desain dengan beban aktual, nilai Hydraulic Retention Time (HRT), kondisi infrastruktur, pemeliharaan rutin, kualitas influen, serta kapasitas kelembagaan pengelola.

Keterbatasan kajian ini terletak pada beberapa aspek: jumlah artikel yang dianalisis relatif terbatas artikel dan mayoritas berasal dari studi kasus lokal di Indonesia sehingga generalisasi ke konteks geografis lain perlu dilakukan secara hati-hati; heterogenitas metode pengukuran dan standar baku mutu antarwilayah studi; variasi jenis dan skala teknologi pengolahan yang membatasi perbandingan langsung; serta terbatasnya pelaporan data operasional pada studi primer seperti HRT aktual, debit riil, umur instalasi, dan frekuensi pemeliharaan, sehingga analisis faktor penentu kinerja sebagian bersifat interpretatif berdasarkan laporan tidak langsung dalam artikel sumber.

Penelitian di masa mendatang perlu difokuskan pada evaluasi hubungan antara faktor teknis, kelembagaan, dan partisipasi masyarakat terhadap keberhasilan jangka panjang IPAL komunal, terutama dalam menjaga kepatuhan terhadap baku mutu amonia dan parameter mikrobiologis. Selain itu, diperlukan penelitian komparatif mengenai efektivitas teknologi hibrida (ABR constructed wetland, biofilter wetland, atau teknologi berbasis nature-based solutions) yang dikombinasikan dengan analisis biaya operasional dan keberlanjutan pengelolaan untuk menghasilkan model IPAL komunal yang lebih adaptif dan berkelanjutan di negara berkembang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini. Apresiasi disampaikan kepada para peneliti yang karya ilmiahnya menjadi bagian dari proses sintesis literatur dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada institusi akademik dan pengelola basis data ilmiah yang telah menyediakan akses terhadap berbagai sumber referensi yang diperlukan. Dukungan, masukan,

dan kontribusi dari berbagai pihak telah membantu meningkatkan kualitas penelitian dan penyusunan artikel ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Aniriani, G. W., Putri, M. S. A., & Nengseh, T. (2022). Efektivitas Penambahan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan. *JURNAL ILMIAH SAINS*, 22(1), 67. <https://doi.org/10.35799/jis.v22i1.35562>
- Apip, nurhayati dan. (2021). *ANALISIS EFEKTIVITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DI RUMAH SAKIT UMUM DAERAH KABUPATEN SUMEDANG*. 5(2), 17–25.
- Brontowiyono, W., Boving, T., Asmara, A. A., Rahmawati, S., Yulianto, A., Wantoputri, N. I., Lathifah, A. N., & Andriansyah, Y. (2022). Communal Wastewater Treatment Plants' Effectiveness, Management, and Quality of Groundwater: A Case Study in Indonesia. *Water (Switzerland)*, 14(19), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w14193047>
- Brontowiyono, W., Boving, T., Asmara, A. A., Rahmawati, S., Yulianto, A., Wantoputri, N. I., Lathifah, A. N., & Andriansyah, Y. (2024). *Communal Wastewater Treatment Plants ' Effectiveness , Management , and Quality of Groundwater : A Case Study in Indonesia*. 18, 1–23.
- Doddy Dharmawibawa, I. (2019). Struktur komunitas annelida sebagai bioindikator pencemaran sungai ancar Kota Mataram. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 7(1), 42–58.
- Eddy. (n.d.). *Wastewater Engineering*.
- John Tunggu Jama1, Y. S. P. (2023). *EVALUASI PROSES PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK*. 2(1)
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2016). Peraturan Menteri LHK No.68 th 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. *Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 68, 1–13. [http://neo.kemenperin.go.id/files/hukum/19 Permen LHK th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.pdf](http://neo.kemenperin.go.id/files/hukum/19%20Permen%20LHK%20th%202016%20No.%20P.63%20Baku%20Mutu%20Air%20Limbah%20Domestik.pdf)
- Kurnianingtyas, E., Prasetya, A., & Yuliansyah, A. T. (2020). Kajian Kinerja Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal (Studi Kasus: IPAL Komunal Kalisong, Kelurahan Sembung, Kecamatan Tulungagung, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur). *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 5(1), 62–70.
- Muslimin, I., & Machdar, I. (2022). *EFFLUENT QUALITY TEST ON THE COMMUNAL WWTP*. 8(2), 273–286. <https://doi.org/10.22373/ekw.v8i2.11775>
- Pitoyo, E., Hendriarianti, E., Karnaningroem, N., Lingkungan, T., Teknik, F., & Teknologi, I. (2021). Evaluasi IPAL Komunal Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. *Teknik Lingkungan*, 3, 1–10
- Ranudi, R. S. E. (2018). *Evaluasi Pengelolaan IPAL Komunal di Kabupaten Sleman*. 8–25. [https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/10630/SKRIPSI SELESAI.pdf?sequence=1](https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/10630/SKRIPSI%20SELESAI.pdf?sequence=1)
- Robbani, D., Wahid, G., & Utami, A. (2023). *Rehabilitasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Ngudi Saras di Dusun Jetak , Kabupaten Sleman untuk Mengurangi Amonia Total Rehabilitation of The Ngudi Saras Communal Wastewater Treatment Plant (IPAL) in Jetak Hamlet , Sleman Regency , aimed to Reduce Total Ammonia*. 10, 107–113.
- Soedjono, E. S., Fitriani, N., Setiawan, A., Mulia, G. J. T., & Ningsih, A. (2019). *Study on Communal Wastewater Treatment Plants (CWWTPs) in Gresik , Indonesia*. 2, 236–242.
- Sperling, M. von. (n.d.). *B I O L O G I C A L W A S T E W A T E R T R E A T M E N T S E R I E S*

TREATMENT AND (Vol. 1).

Syah, I. M., Suhendrayatna, S., & Zaki, M. (2024). *Performance Evaluation of Domestic Wastewater Treatment Plant Systems : A Case Study of Domestic Wastewater Systems in Lembah Hijau Housing , Banda Aceh City , Indonesia. 01007*, 1–10.

Widiawati, N., & wiliana wili mohamad rangga, mila dirgawati. (2021). *Jurnal Presipitasi Evaluation of Regional Domestic Waste Water Treatment Plant Performance in Cimahi City. 18(1)*, 141–152.