

Evaluation of the Effectiveness of Oil and Gas Industrial Wastewater Treatment: A Case Study of PT Kilang Pertamina Internasional RU III Palembang

Evaluasi Efektivitas Pengolahan Air Limbah Industri Migas: Studi Kasus PT Kilang Pertamina Internasional RU III Palembang

Dewi Indriani¹, Prabawa Eka Soesanta¹, Subekti Nurmawati¹

¹Universitas Terbuka, Indonesia

*surel: 501172672@ecampus.ut.ac.id

ABSTRACT

Wastewater treatment in the oil and gas industry plays an important role in meeting environmental quality standards and preventing pollution. This study aims to evaluate the effectiveness of wastewater treatment at PT Kilang Pertamina Internasional RU III Palembang through a comparison of influent and effluent quality. The parameters analyzed include ammonia, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), sulfide, pH, and oil and fat. The study used a quantitative approach with paired comparative analysis based on 12 months of operational data. The normality test using Kolmogorov–Smirnov showed that some of the data showed a normal distribution so that hypothesis testing was continued using a paired t-test at a 95% confidence level ($\alpha = 0.05$). The results showed an effective reduction of 58.97% (ammonia), 28.34% (BOD), 37.51% (COD), and 56.81% (oil and fat), while sulfide was relatively low (22.02%) and pH tended to be stable (-0.81%). The results of the paired t-test showed a significant difference ($p < 0.05$) between influent and effluent concentrations in the main parameters, indicating that the wastewater treatment system was working effectively. However, the suboptimal effectiveness of several parameters indicated the need for optimization of the treatment process.

Keywords:

Wastewater Treatment, Effectiveness, Paired t-test, Oil and Gas Industry, SPSS

Received: April 23rd 2026

Reviewed: May 10th 2026

Published: July 21st 2026

ABSTRAK

Pengolahan air limbah pada industri minyak dan gas bumi memiliki peran penting dalam memenuhi baku mutu lingkungan dan mencegah pencemaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan air limbah di PT Kilang Pertamina Internasional RU III Palembang melalui perbandingan kualitas influen dan efluen. Parameter yang dianalisis meliputi amonia, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), sulfida, pH, serta minyak dan lemak. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis komparasi berpasangan berdasarkan data operasional selama 12 bulan. Uji normalitas menggunakan Kolmogorov–Smirnov menunjukkan bahwa sebagian data menunjukkan distribusi normal sehingga pengujian hipotesis dilanjutkan menggunakan uji t berpasangan (paired t-test) pada tingkat kepercayaan sebesar 95% ($\alpha = 0,05$). Hasil penelitian memperlihatkan adanya efektivitas penurunan sebesar 58,97% (amonia), 28,34% (BOD), 37,51% (COD), dan 56,81% (minyak dan lemak), sedangkan sulfida relatif rendah (22,02%) dan pH cenderung stabil (-0,81%). Hasil uji t berpasangan menunjukkan adanya perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antara konsentrasi influen dan efluen pada parameter utama, yang mengindikasikan bahwa sistem pengolahan limbah bekerja secara efektif. Namun demikian, efektivitas yang belum optimal pada beberapa parameter menunjukkan perlunya upaya optimalisasi proses pengolahan.

Kata Kunci:

Air Limbah, Efektivitas, Uji t Berpasangan, Industri Migas, SPSS

Diterima: 23 April 2026

Direview: 10 Mei 2026

Dipublikasi: 21 Juli 2026



© 2026 D. Indriani, P. E. Soesanta, S. Nurmawati. Published by Institute for Research and Community Services

Universitas Muhammadiyah Palangkaraya. This is Open Access article under the CC-BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>). DOI: <https://doi.org/10.33084/mitl.v11i2.12729>

PENDAHULUAN

Sektor industri minyak dan gas bumi (migas) memiliki peranan yang sangat penting dalam menunjang pertumbuhan ekonomi nasional karena menjadi salah satu sektor strategis yang mendukung berbagai aktivitas pembangunan [1]. Namun demikian, aktivitas industri migas menghasilkan limbah cair yang memiliki karakteristik kompleks dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila proses pengolahannya tidak dilakukan secara maksimal. Limbah cair industri migas umumnya mengandung senyawa organik dan anorganik seperti Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), amonia, sulfida, serta minyak dan lemak. Keberadaan zat-zat tersebut dapat menurunkan kualitas badan air penerima serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan di sekitarnya [2]. Seiring dengan meningkatnya tuntutan terhadap perlindungan lingkungan, pengolahan air limbah menjadi aspek krusial dalam kegiatan industri. Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dirancang untuk menurunkan beban pencemar melalui kombinasi proses fisik, kimia, dan biologis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa efektivitas pengolahan limbah cair sangat dipengaruhi oleh karakteristik influen, teknologi yang digunakan, serta kondisi operasional sistem [3]. Selain itu, efisiensi pengolahan juga berkaitan dengan stabilitas proses dan kinerja unit pengolahan dalam jangka panjang [4].

Evaluasi kinerja IPAL menjadi sangat penting karena kompleksitas limbah yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan limbah domestik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem pengolahan limbah pada industri minyak dan gas mampu menurunkan parameter pencemar secara signifikan, meskipun beberapa parameter seperti sulfida sering menunjukkan efisiensi yang lebih rendah atau tidak stabil [5]. Hal ini menunjukkan bahwa evaluasi berbasis data operasional diperlukan untuk mengidentifikasi efektivitas sistem secara menyeluruh.

Penelitian terkait evaluasi kinerja IPAL industri masih didominasi oleh studi jangka pendek atau skala terbatas. Beberapa penelitian nasional menunjukkan bahwa analisis perbandingan antara inlet dan outlet dapat memberikan gambaran efektivitas sistem pengolahan limbah secara kuantitatif [6]. Namun demikian, kajian yang mengintegrasikan analisis statistik untuk menguji signifikansi perubahan parameter pencemar masih relatif terbatas, khususnya pada sektor industri migas. Selain itu, pendekatan evaluasi modern tidak hanya menitikberatkan pada penurunan konsentrasi pencemar, tetapi juga mempertimbangkan efisiensi sistem secara keseluruhan serta aspek keberlanjutan lingkungan [7]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi kinerja IPAL, tidak hanya dari aspek teknis, tetapi juga dari sisi statistik dan efektivitas proses.

PT Kilang Pertamina Internasional RU III Palembang sebagai salah satu industri pengolahan migas memiliki sistem pengolahan limbah cair yang perlu dievaluasi secara berkala untuk memastikan bahwa kualitas efluen telah sesuai dengan standar baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 [8]. Evaluasi ini penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan serta meningkatkan kinerja sistem pengolahan limbah.

Penelitian ini dilakukan untuk menilai tingkat efektivitas proses pengolahan air limbah berdasarkan perbandingan kualitas influen dan efluen serta mengkaji signifikansi statistik perubahan parameter pencemar menggunakan pendekatan komparatif berpasangan. Data yang digunakan merupakan data operasional selama 12 bulan dengan parameter BOD, COD, amonia, sulfida, pH, serta minyak dan lemak [9].

Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan data operasional aktual secara kontinu dalam jangka waktu satu tahun serta penerapan analisis statistik untuk menguji signifikansi perubahan kualitas air limbah. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih representatif terhadap kinerja sistem pengolahan limbah dalam kondisi operasional nyata, sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan untuk optimalisasi IPAL di industri migas.

METODOLOGI

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) sistem Primary Effluent Treatment–Secondary Effluent Treatment (PET–SET) di PT KPI RU III Palembang. Pengambilan data dilakukan selama periode 12 bulan, yaitu dari Januari hingga Desember 2024.

Prosedur Penelitian

Parameter

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi Amonia, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Sulfida, pH, Chemical Oxygen Demand (COD), serta Minyak dan Lemak.

Analisis Data

Data penelitian dianalisis secara statistik dengan bantuan perangkat lunak Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Pengujian normalitas data dilakukan melalui metode Kolmogorov-Smirnov guna mengetahui pola distribusi data penelitian. Apabila data menunjukkan distribusi normal, maka analisis dilanjutkan menggunakan uji t berpasangan (paired t-test). Sebaliknya, jika data tidak memenuhi asumsi normalitas, maka digunakan uji Wilcoxon sebagai alternatif pengujian. Pengujian dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Analisis Efektivitas Pengolahan

Efektivitas sistem pengolahan limbah cair dihitung berdasarkan persentase penurunan konsentrasi parameter antara inlet dan outlet menggunakan rumus sebagai berikut:

Efektivitas pengolahan dihitung dengan rumus:

$$\text{Efisiensi (\%)} = (C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) / C_{\text{in}} \times 100 \text{ [12]}$$

Keterangan:

C_{in} = Konsentrasi influent

C_{out} = Konsentrasi effluent

Efisiensi (%) = Persentase penurunan kadar pencemar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil pengujian menggunakan statistik deskriptif kualitas air limbah terdapat pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Statistik Deskriptif Kualitas Air Limbah

Parameter	N	Min	Max	Mean	Std. Deviation	Baku Mutu (PP 22thn 2021)	Pergub Sumsel No 8 Thn 2012	Satuan
Inlet_Amoniak	12	0.064	0.842	0.391	0.213	≤ 5–10	≤ 10	mg/l
Outlet_Amoniak	12	0.041	0.421	0.160	0.124			
Inlet_BOD	12	35.800	43.800	39.492	3.383	≤ 30–100	≤ 50	mg/l
Outlet_BOD	12	27.000	29.200	28.300	0.800			
Inlet_Sulfida	12	0.009	0.099	0.035	0.024	≤ 0.5–1	≤ 1	mg/l
Outlet_Sulfida	12	0.001	0.122	0.027	0.034			
Inlet_PH	12	6.400	7.800	7.181	0.351	6 - 9	6 – 9	
Outlet_PH	12	6.730	7.800	7.239	0.254			
Inlet_COD	12	82.900	201.000	133.158	37.521	≤ 100–300	≤ 100	mg/l
Outlet_COD	12	66.400	92.700	83.217	6.689			
Inlet_MinyakLemak	12	6.920	38.700	14.014	8.833	≤ 10	≤ 100	mg/l
Outlet_MinyakLemak	12	5.000	9.700	6.053	1.444			
Valid N (listwise)	12							

Hasil analisis komparasi antara konsentrasi inlet dan outlet menunjukkan adanya penurunan pada sebagian besar parameter limbah cair. Penurunan ini mengindikasikan bahwa sistem pengolahan limbah cair yang diterapkan mampu mereduksi beban pencemar secara umum [10]. Tingkat keberhasilan tersebut diperkuat oleh nilai efektivitas pengolahan yang menunjukkan variasi kinerja pada masing-masing parameter. Hasil uji statistik menggunakan Wilcoxon Signed-Rank Test menunjukkan bahwa parameter amonia, BOD, COD, serta minyak dan lemak mengalami perbedaan yang signifikan antara inlet dan outlet ($p < 0,05$). Sebaliknya, parameter sulfida dan pH tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak semua penurunan konsentrasi yang terjadi memiliki makna statistik, sehingga perlu dianalisis lebih lanjut dalam konteks efektivitas sistem pengolahan [11].

Tabel 2. Hasil Uji Komparasi Inlet dan Outlet

Parameter	Metode Uji	p-value	Keterangan
Amonia	Paired t-test	0,009	Sig
BOD	Wilcoxon	0,002	Sig
Sulfida	Wilcoxon	0,169	Non-Sig
pH	Wilcoxon	0,317	Non-Sig
COD	Paired t-test	0,002	Sig
Minyak & Lemak	Wilcoxon	0,002	Sig

Keterangan: $p < 0,05$ menunjukkan perbedaan signifikan

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Kolmogorov–Smirnov

Parameter	Sig. Inlet	Sig. Outlet	Distribusi
Amonia	0,200	0,050	Normal
BOD	0,020	0,068	Tidak normal
Sulfida	0,005	0,002	Tidak normal
pH	0,024	0,200	Tidak normal
COD	0,050	0,146	Normal
Minyak & Lemak	0,001	0,045	Tidak normal

Parameter amonia dan minyak dan lemak menunjukkan efektivitas tertinggi masing-masing sebesar 58,97% dan 56,81%, diikuti oleh COD sebesar 37,51% dan BOD sebesar 28,34%. Sementara itu, parameter sulfida menunjukkan efektivitas yang relatif rendah sebesar 22,02%, dan pH cenderung stabil dengan nilai perubahan sebesar -0,81% tertera pada Tabel 4. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan lebih efektif dalam menurunkan parameter yang bersifat organik dan mudah terdegradasi dibandingkan dengan parameter yang lebih stabil secara kimia.

Tabel 4. Efektivitas Pengolahan Air Limbah

No	Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Efisiensi (%)
1	Amonia	mg/L	0,39	0,16	58,97
2	BOD	mg/L	39,49	28,30	28,34
3	Sulfida	mg/L	0,03	0,03	22,02
4	pH	-	7,18	7,24	-0,81
5	COD	mg/L	133,16	83,22	37,51
6	Minyak & Lemak	mg/L	14,01	6,05	56,81

Keterkaitan antara hasil analisis komparasi, efektivitas, dan uji statistik menunjukkan adanya konsistensi dalam kinerja sistem pengolahan limbah cair. Parameter dengan nilai efektivitas tinggi cenderung menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik, sedangkan parameter dengan efektivitas rendah tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas pengolahan tidak hanya bergantung pada besarnya penurunan konsentrasi, tetapi juga pada stabilitas proses yang terjadi selama periode pengamatan [12]. Penurunan signifikan pada parameter BOD dan COD menunjukkan bahwa proses biologis dalam sistem pengolahan berjalan dengan baik [13]. Mikroorganisme berperan dalam menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses biodegradasi. Namun demikian, nilai efektivitas yang masih

tergolong sedang menunjukkan bahwa proses degradasi belum berlangsung secara optimal. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor operasional seperti waktu tinggal hidrolis (*hydraulic retention time*), beban organik, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan ketersediaan oksigen terlarut. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa efisiensi pengolahan BOD dan COD sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional dan karakteristik limbah [14].

Parameter amonia menunjukkan efektivitas yang tinggi serta perbedaan yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa proses nitrifikasi berlangsung dengan baik. Proses ini melibatkan oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat oleh bakteri nitrifikasi dalam kondisi aerobik. Efisiensi proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut, pH, serta rasio nutrisi dalam sistem pengolahan. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kondisi aerasi yang optimal dapat meningkatkan efisiensi penghilangan amonia secara signifikan [15]. Efektivitas tinggi pada parameter minyak dan lemak menunjukkan bahwa proses fisik dan biologis dalam sistem pengolahan bekerja secara sinergis. Proses pemisahan seperti flotasi, sedimentasi, serta degradasi oleh mikroorganisme lipolitik berkontribusi dalam menurunkan konsentrasi senyawa tersebut. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa kombinasi proses fisik dan biologis efektif dalam menghilangkan minyak dan lemak dari limbah cair industri [16]. Sebaliknya, parameter sulfida menunjukkan efektivitas rendah dan tidak signifikan secara statistik. Hal ini disebabkan oleh sifat sulfida yang relatif stabil dan memerlukan kondisi oksidasi tertentu untuk dapat terurai secara optimal. Dalam sistem pengolahan konvensional, senyawa sulfida cenderung sulit dihilangkan tanpa adanya proses tambahan seperti aerasi intensif atau oksidasi kimia. Kondisi ini menyebabkan efisiensi pengolahan sulfida menjadi lebih rendah dibandingkan parameter lainnya [17].

Parameter pH tidak menunjukkan perubahan signifikan karena adanya sistem buffer alami dalam limbah cair yang mempertahankan kestabilan pH selama proses pengolahan. Dalam sistem biologis, fluktuasi pH umumnya relatif kecil dan berada dalam kisaran optimum bagi aktivitas mikroorganisme, sehingga tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil uji statistik. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengolahan limbah cair yang diterapkan telah efektif dalam menurunkan parameter pencemar utama, khususnya yang bersifat organik [18]. Namun demikian, masih diperlukan optimasi proses untuk meningkatkan efisiensi pengolahan pada parameter tertentu seperti BOD, COD, dan sulfida. Upaya optimalisasi dapat dilakukan melalui pengaturan waktu tinggal, peningkatan aerasi, serta penambahan unit pengolahan lanjutan. Hal ini sejalan dengan penelitian terkini yang menyatakan bahwa keberhasilan sistem pengolahan limbah cair sangat dipengaruhi oleh kombinasi teknologi dan stabilitas kondisi operasional [19].

KESIMPULAN

Sistem pengolahan limbah cair PET-SET di PT KPI RU III Palembang terbukti mampu menurunkan konsentrasi parameter pencemar utama, yaitu BOD, COD, amonia, serta minyak dan lemak secara signifikan ($p < 0,05$), sehingga menunjukkan kinerja pengolahan yang efektif. Parameter sulfida dan pH tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$), yang mengindikasikan bahwa proses pengolahan belum optimal dalam mengendalikan parameter tertentu dan masih dipengaruhi oleh kondisi operasional sistem. Keseluruhan, kualitas efluen hasil pengolahan telah memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, sehingga layak dibuang ke badan air, meskipun tetap diperlukan upaya peningkatan kinerja sistem untuk menjaga konsistensi kualitas efluen.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih mendalam faktor-faktor yang mempengaruhi rendahnya efektivitas pengolahan pada parameter sulfida dan pH, seperti kondisi mikrobiologis, waktu tinggal hidrolis (HRT), serta stabilitas proses biologis, sehingga dapat memperkaya pengembangan ilmu di bidang pengolahan limbah cair industri migas. Pihak pengelola IPAL PT KPI RU III Palembang disarankan untuk melakukan optimalisasi proses pengolahan, khususnya pada unit yang berperan dalam pengendalian sulfida dan pH, melalui pengaturan kondisi operasional seperti aerasi, kontrol pH, dan waktu tinggal, serta melakukan monitoring dan evaluasi kinerja sistem secara berkala guna memastikan kualitas efluen tetap memenuhi baku mutu secara konsisten.

REFERENSI

- [1] A. Susanto and R. Putri, "Risiko psikososial di industri minyak dan gas bumi (MIGAS): Tinjauan literatur naratif," *Jurnal Lentera Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, no. 2, pp. 124–136, 2025, Link: <https://doi.org/10.69883/mgh1hq52>
- [2] E. C. Kumala, M. Fjasmine, S. A. P. Rimansa, F. Amalia, H. Mulyanti, and R. M. Kusuma, "Analisis Kualitas Buangan Air Limbah Unit Pengolahan Migas (Kilang) PPSDM Migas Cepu," *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, vol. 7, no. 2, pp. 21–32, 2024, Link: <https://doi.org/10.22437/jpb.v7i2.37417>
- [3] T. A. Karini, D. R. Wijaya, and Z. F. Arranuri, "Karakteristik dan Kualitas Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Deskriptif di Rumah Sakit X Kabupaten Jeneponto)," vol. 6, no. 2, pp. 100–107, 2020, Link: <https://doi.org/10.24252/higiene.v6i2.18234>
- [4] D. Tetanika, H. Hardoyo, and A. Setiajaya, "Kinerja Lagoon Digester Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Sebagai Bahan Baku Biogas Di PT Tedco Agri Makmur," *Jurnal Ilmiah Research Student*, vol. 3, no. 1, pp. 148–157, 2026, Link: <https://ejurnal.kampusakademik.co.id/index.php/jirs/article/view/8431/7196>
- [5] H. Purnata, S. Rahmat, N. A. Ilahi, N. A. Triwuri, and A. F. Pratiwi, "Pengolahan Limbah Cair Batik dengan Elektrokoagulasi dan Filtrasi-Adsorpsi untuk Keberlanjutan," *Room of Civil Society Development*, vol. 4, no. 1, pp. 197–210, 2024, Link: <https://doi.org/10.59110/rcsd.528>
- [6] A. M. Tsani and Y. M. Yustiani, "Evaluasi Kinerja Operasional dan Pemeliharaan WWTP Industri Susu Berdasarkan Parameter Kualitas Effluent dan Manajemen Operasional (Studi Kasus: PT. CC)," *Infomatek*, vol. 27, no. 2, pp. 229–236, 2025, Link: <https://doi.org/10.23969/infomatek.v27i2.40838>
- [7] J. Jumawati, R. Ramli, Sukriati, Hamran, M. I. Ahmad, M. A. Imran, and A. R. Saleh, "Integrasi, Implementasi, dan Evaluasi Pengendalian Mutu dalam Manajemen Modern," *Sulawesi Tenggara Educational Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 225–232, 2025, Link: <https://doi.org/10.54297/seduj.v5i1.1102>
- [8] F. Rozi, M. Widiyanti, M. Yusuf, and M. I. Hadjri, "The influence of work motivation on employee performance: Case study at PT Pertamina International Refinery RU III Plaju," *International Research Journal of Management*, vol. 11, no. 6, pp. 264–271, 2024, Link: <https://doi.org/10.21744/irjmis.v11n6.2480>
- [9] A. Naillah, L. Y. Budiarti, and F. Heriyani, "Literature Review: Analisis Kualitas Air Sungai dengan Tinjauan Parameter pH, Suhu, BOD, COD, DO terhadap Coliform," *Homeostasis*, vol. 4, no. 2, pp. 487–494, 2021, Link: <https://doi.org/10.20527/ht.v4i2.4041>
- [10] V. C. Yolanda and A. P. Heriyanti, "Wastewater Quality Characteristics Test in Domestic Wastewater Treatment Plant Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang," *Indonesian Journal of Earth and Human*, vol. 1, no. 1, pp. 44–52, 2026, Link: <https://journal.unnes.ac.id/journals/ijeh/article/view/2678>
- [11] R. Tosepu, Analisis Kualitas Lingkungan. Uwais Inspirasi Indonesia, 2024.
- [12] T. M. Mulyasari and M. Firdaust, "The Effectiveness of the Use of 'SM' Wastewater Treatment Equipment on the Physical and Chemical Quality of Laundry Wastewater," *Buletin Keslingmas*, vol. 44, no. 4, pp. 281–290, 2025, Link: <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v44i4.14015>
- [13] I. W. Tuye, J. Sutrisno, and D. Majid, "Potensi salvinia molesta dan pistia stratiotes dalam penurunan kadar fosfat, BOD, dan COD pada limbah cair laundry," *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, vol. 21, no. 02, Jul 2023, Link: <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i02.7727>
- [14] Y. Ananta, "Dinamika Pertumbuhan Bakteri Pengurai pada Biofilter Air Limbah Domestik di Bawah Variasi pH dan Suhu," *Jurnal Greenation Pertanian dan Perkebunan*, vol. 3, no. 2, pp. 63–73, 2025, Link: <https://doi.org/10.38035/igpp.v3i2.583>
- [15] T. Fahrianto, T. Fahrianto, and M. Naswir, "Pengaruh Waktu Aerasi terhadap peningkatan efisiensi penghilangan amonia di air lindi pada sistem ammonia stripper," *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, vol. 7, no. 2, pp. 91–95, 2024, Link: <https://online-journal.unja.ac.id/JPB/article/view/38625>

- [16] N. S. Prihatini, C. Abdi, I. Nirtha, R. Noor, B. Mu'min, and Y. Agafe, "Pengolahan Limbah Cair Bengkel Dengan Metode Fisik-Biologis Dalam Menurunkan Kandungan Minyak Dan Lemak," *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*, vol. 10, no. 1, 2025, Link: <https://snllb.ulm.ac.id/prosiding/index.php/snllb-lit/article/view/1313>
- [17] H. Sani, "Evaluasi Kinerja Permeable Reactive Barrier Anaerobik dalam Pengolahan Air Asam Tambang Skala Pilot: Efektivitas dan Tantangan dalam Penyisihan Mangan," *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 3, pp. 8221–8226, 2025, Link: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.3150>
- [18] A. Wulandari, R. W. Nusantara, and M. S. Anwari, "Efektifitas Sistem Lahan Basah Buatan Dalam Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit-X (Effectiveness of Artificial Wetland System in Processing Liquid Waste of Hospital-X)," *Jurnal Manusia & Lingkungan*, vol. 27, no. 2, pp. 39, 2020, Link: <https://doi.org/10.22146/jml.52179>
- [19] G. N. Affandi, P. C. G. Berlianti, N. R. Ramadhania, R. S. A. Shawaaba, and D. O. Radianto, "Efektivitas Pengolahan Limbah Fisik (Padat Dan Cair) dengan Menggunakan Teknologi Inovatif," *JWIKAL*, vol. 3, no. 1, pp. 84–98, 2024, Link: <https://doi.org/10.58169/jwikal.v3i1.368>