



Analisis Evaluasi Kualitas Air pada Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Salah Satu Rumah Sakit Wilayah Surabaya Barat

Aquila Nuh Islami¹✉, Mohammad Mirwan¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.53700

✉ Corresponding author:

[22034010121@student.upnjatim.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Rumah Sakit;

Evaluasi Kinerja IPAL;

Kualitas Air

Air limbah rumah sakit memiliki karakteristik yang membedakannya dari air limbah yang dihasilkan oleh kegiatan usaha manusia lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengevaluasi operasi IPAL Rumah Sakit di Surabaya Barat dan menilai seberapa baik mereka mempengaruhi kualitas air limbah yang dihasilkannya. Metode penelitian yang diterapkan yaitu dengan cara pengamatan langsung proses IPAL dan berdiskusi dengan penanggung jawab IPAL Rumah Sakit di Surabaya Barat tersebut. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa beberapa unit proses IPAL bekerja sesuai standar, tetapi beberapa bagian proses menunjukkan penurunan efisiensi, yang berdampak pada kualitas air yang dihasilkan. Perhitungan penyisihan rata-rata parameter BOD5 sebesar 95,03%, COD sebesar 93,73%, NH3-N sebesar 99,9%, dan PO4 sebesar 96%. Hasil ini menunjukkan bahwa semua parameter telah memenuhi standar mutu yang berlaku dan diperlukan pengoptimalan aspek pemeliharaan IPAL.

Keywords:

Hospital;

WWTP Performance

Evaluation;

Water Quality

Abstract

Hospital wastewater has characteristics that distinguish it from wastewater generated by other human activities. The purpose of this study is to analyze and evaluate the operation of Hospital Wastewater Treatment Plants in West Surabaya and assess how well they affect the quality of the wastewater they produce. The research method applied is direct observation of the WWTP process and discussion with the person in charge of the hospital's WWTP in West Surabaya. The evaluation results show that some WWTP process units are operating according to standards, but some process sections show a decrease in efficiency, which impacts the quality of the water produced. The average removal rate for the parameters BOD5 was 95.03%, COD was 93.73%, NH3-N was 99.9%, and PO4 was 96%. These results indicate that all parameters meet the applicable quality standards and optimization of the maintenance of the WWTP system is required.

1. PENDAHULUAN

Air limbah rumah sakit memiliki karakteristik yang berbeda dan lebih kompleks dibandingkan dengan limbah dari kegiatan domestik atau industri biasa, karena sering mengandung senyawa kimia, bahan organik, serta patogen yang berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Utami, 2018). Kompleksitas tersebut menjadikan air limbah rumah sakit sebagai salah satu sumber pencemar yang memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaannya. Keberadaan patogen dan bahan berbahaya dalam limbah cair rumah sakit berpotensi menimbulkan dampak negatif apabila tidak ditangani dengan baik.

Oleh karena itu, pengelolaan limbah cair rumah sakit harus dilakukan secara khusus melalui instalasi pengolahan air limbah (IPAL) untuk menjamin bahwa effluent yang dibuang memenuhi standar baku mutu lingkungan (Kasih et al., 2023). Implementasi IPAL di fasilitas pelayanan kesehatan menjadi hal yang sangat penting karena air limbah rumah sakit tidak hanya membawa beban bahan kimia dan organik. Limbah tersebut juga mengandung limbah darah, cairan laboratorium, obat-obatan, serta mikroorganisme pathogen (Remirez-Coronel et al., 2024).

Apabila air limbah rumah sakit dibuang tanpa melalui pengolahan yang tepat, kondisi ini dapat menimbulkan risiko pencemaran lingkungan serta meningkatkan potensi penyebaran penyakit. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efektivitas IPAL sangat bervariasi, meskipun pada beberapa kasus pengolahan mampu menurunkan parameter pencemar seperti BOD, COD, TSS, serta senyawa kimia berbahaya. Namun demikian, hasil pengolahan tersebut belum selalu memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

Variasi keberhasilan pengolahan ini menunjukkan bahwa kinerja IPAL sangat bergantung pada desain, operasional, dan pemeliharaan sistem yang diterapkan (Haribowo R et al., 2022). Melalui pendekatan observasi langsung dan diskusi dengan petugas pengelola, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan masukan praktis bagi peningkatan kinerja IPAL. Selain itu, penelitian ini memiliki relevansi penting dalam mendukung perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat secara berkelanjutan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan pada analisis dan evaluasi proses IPAL Rumah Sakit di Surabaya Barat setempat untuk menilai sejauh mana sistem IPAL yang ada mampu menghasilkan effluent air limbah sesuai baku mutu. Kami menggunakan pendekatan observasi langsung proses IPAL serta diskusi dengan petugas pengelola agar mendapatkan gambaran operasional yang akurat. Hasil analisis diharapkan memberikan masukan praktis untuk peningkatan kinerja IPAL di fasilitas kesehatan.

Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi signifikan baik dari aspek perlindungan lingkungan maupun kesehatan masyarakat, karena pengelolaan limbah yang baik akan meminimalkan risiko pencemaran lingkungan serta penyebaran patogen akibat limbah rumah sakit. Di samping itu, temuan dari penelitian ini dapat menjadi dasar rekomendasi terhadap pengelolaan dan pemeliharaan IPAL di Rumah Sakit di Surabaya Barat sehingga standar baku mutu air limbah dapat terpenuhi secara konsisten.

2. METODE

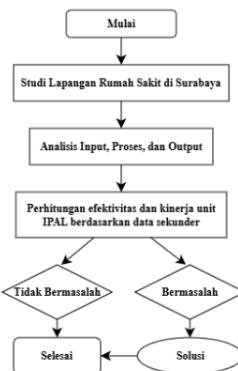
Penelitian ini menggunakan pendekatan secara kualitatif dan kuantitatif dalam menganalisis sistem pengolahan air limbah Rumah Sakit di Surabaya Barat tersebut. Observasi lapangan dilakukan pada minggu ke 3 hingga 4 pada bulan November 2025. Objek dalam penelitian adalah sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berlokasi di gedung lama dan baru. Evaluasi yang akan dianalisis dalam penelitian dilakukan secara bertahap dimulai dari input hingga output pada proses pengolahan IPAL tersebut.

Analisis evaluasi IPAL dengan observasi langsung di lokasi IPAL Rumah Sakit di Surabaya Barat untuk mengamati seluruh rangkaian proses pengolahan air limbah secara real time, termasuk proses penerimaan limbah (*inlet*), tahap pengolahan (fasilitas fisik maupun biologi/kimia), sampai pembuangan effluent (*outlet*) sesuai praktik lapangan. Pendekatan observasi langsung dipilih karena memungkinkan peneliti memetakan kondisi aktual instalasi, jalur aliran limbah, serta operasional alat suatu metode yang umum digunakan dalam evaluasi sistem IPAL Rumah Sakit di Surabaya Barat (Kasih et al., 2023).

Dilakukan juga evaluasi pada analisis kinerja IPAL melalui debit kebutuhan air bersih yang akan digunakan untuk pengolahan air limbah. Selain itu, data sekunder yang diperoleh pada hasil observasi adalah data uji inlet dan outlet yang dimana efisiensi kinerja IPAL dinilai mampu menanggulangi baku mutu air limbah yang berlebih.

Selain itu, dilakukan wawancara mendalam dengan petugas atau penanggung jawab operasional IPAL untuk mendapatkan informasi mengenai manajemen operasional, frekuensi perawatan alat, prosedur pemeliharaan, serta kendala operasional sehari-hari. Informasi kualitatif ini penting untuk memahami aspek non

teknis yang mempengaruhi kinerja IPAL, sebagaimana dilakukan dalam penelitian sejenis. Adapun skema penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Neraca Air pada Rumah Sakit

Berikut data penggunaan air PDAM serta debit *effluent* air limbah yang keluar dari *outlet* IPAL.

Tabel 1. Perbandingan Debit Air Bersih dengan Hasil Pencatatan Debit Air Limbah *Effluent*

	Jan m ³ /bln	Feb m ³ /bln	Mar m ³ /bln	Apr m ³ /bln	Mei m ³ /bln	Jun m ³ /bln	Jul m ³ /bln	Ags m ³ /bln	Sep m ³ /bln	Okt m ³ /bln
Debit Penggunaan PDAM	159	162	159	157	158	158	194	245	188	182
Debit <i>Effluent</i> IPAL	80	80	77	80	81	76	77	83	82	80
Selisih	79	82	82	77	77	82	117	162	106	102

Sumber: Data Sekunder Bulan Januari – Oktober

Dapat dilihat pada Tabel 3.1 bahwa terdapat selisih yang besar pada data debit penggunaan air PDAM dengan debit *effluent* air limbah. Hal ini mencerminkan fenomena yang juga didiskusikan dalam literatur ilmiah tentang pengelolaan limbah rumah sakit. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa air limbah rumah sakit berasal dari berbagai sumber kegiatan domestik dan medis sehingga volumetriknya bervariasi dan tidak selalu berbanding lurus dengan konsumsi air bersih PDAM yang masuk ke fasilitas. Sebab, sebagian air yang digunakan dapat terakumulasi dalam bentuk uap, meresap ke dalam material, terserap pada proses pembersihan alat medis, atau dimanfaatkan kembali untuk keperluan internal sebelum akhirnya menjadi limbah cair yang diukur sebagai *effluent* IPAL (Haribowo R et al., 2022). Selisih debit antara air masuk dan air limbah juga dapat disebabkan oleh faktor pemakaian air bersih untuk kegiatan pencucian mobil tanpa bahan kimia (sabun atau detergen) rumah sakit, freezing area, penyiraman tanaman, serta pembangunan gedung baru, yang pada proses akhirnya tidak menghasilkan limbah cair yang mengalir menuju sistem IPAL karena tidak terindikasi adanya baku mutu air limbah. Oleh karena itu, debit air limbah yang dihasilkan tidak mencapai 80% air bersih yang digunakan sebagaimana yang dijelaskan pada literatur. Dikarenakan kegiatan dalam proses maupun langsung diresapkan ke tanah sebagai air yang tidak mengandung polutan pencemar (Shatriadi et al., 2025).

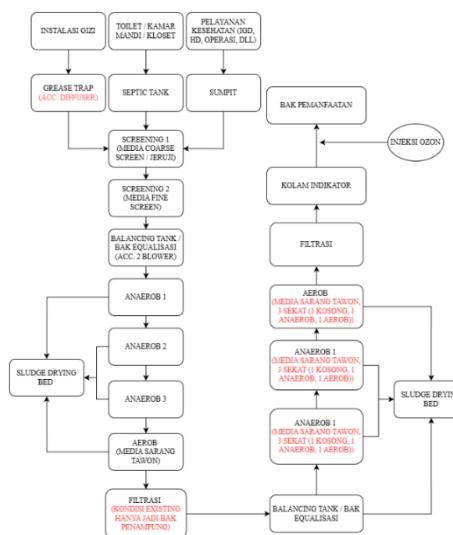
Selain itu, kapasitas IPAL pada kondisi existing memiliki ukuran 50 m³/hari sedangkan debit air limbah yang dihasilkan berdasarkan pencatatan debit mencapai 80 m³/hari. Dapat disimpulkan bahwa kapasitas IPAL tidak mencukupi (*overload*) untuk mengolah air limbah yang dihasilkan di rumah sakit tersebut. Data pada tabel juga menunjukkan bahwa debit air PDAM mengalami fluktuasi bulanan, terutama pada bulan Juli hingga September, dengan puncak pada bulan Agustus sebesar 245 m³. Kenaikan ini dapat diinterpretasikan sebagai peningkatan aktivitas rumah sakit, seperti peningkatan jumlah pasien, intensitas pembersihan, kebutuhan sterilisasi peralatan, serta frekuensi penggunaan fasilitas sanitasi. Namun demikian, debit *effluent* IPAL tidak menunjukkan peningkatan yang sama, karena *output* limbah cair pada bulan tersebut hanya sebesar 83 m³. Kondisi ini menghasilkan selisih debit terbesar pada bulan Agustus, yaitu mencapai 162 m³. Stabilitas debit air limbah yang relatif konstan sepanjang tahun (76-83 m³) menunjukkan bahwa beban limbah cair lebih dipengaruhi oleh karakteristik operasional internal rumah sakit dibandingkan volume air bersih yang digunakan. Hal ini juga mengindikasikan bahwa meskipun konsumsi air meningkat secara signifikan karena kebutuhan fasilitas, peningkatan tersebut tidak sepenuhnya terkonversi menjadi *effluent* IPAL. Dengan demikian, pola perbedaan

debit pada tabel tersebut tidak hanya menggambarkan variasi volume air dan limbah, tetapi juga mencerminkan kompleksitas sistem pemanfaatan air di rumah sakit.

B. Proses Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit

Proses pengolahan limbah rumah sakit ini menggunakan sistem terpadu dengan menggunakan pengolahan fisika, biologis, dan kimia untuk menurunkan parameter pencemar. Pengolahan air limbah secara fisika pada IPAL dimulai dari *screening 1* dengan media *coarse screen* lalu dilanjutkan ke *screening 2* dengan media *fine screen* yang bertujuan untuk menahan partikel besar dan kecil. Kemudian dilanjutkan ke *balancing tank* (bak equalisasi) dengan perlengkapan dua blower didalamnya, lalu dialirkan ke *anaerobic* untuk menguraikan limbah tanpa oksigen dan efektif menurunkan BOD serta COD yang didalamnya terdapat media sarang tawon. Selanjutnya dialirkan ke pengolahan biologis *aerobic* yang berfungsi untuk menguraikan bahan organik dalam mendukung mikroorganisme dengan adanya oksigen dan didalam unit tersebut terdapat media sarang tawon (Soetopo et al., 2011). Selanjutnya lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air limbah dialirkan ke SDB (*sludge drying bed*) untuk dilakukan pengurasan (Khansa & Herumurti, 2021). Lalu air limbah lanjut mengalir ke filtrasi (kondisi *existing* hanya berfungsional seperti layaknya bak penampung). Dilanjutkan ke IPAL gedung baru dengan rangkaian unit *balancing tank*, dua unit anaerob, satu aerob, dan lumpur dialihkan ke (*sludge drying bed*). Terakhir dialirkan ke proses pengolahan kimiawi desinfeksi dengan adanya injeksi ozon (O₃) di kolam indicator.

Berikut gambar alur pengolahan IPAL salah satu rumah sakit di Surabaya Barat yang menggambarkan uraian paragraf sebelumnya:



Gambar 2. Alur Pengolahan IPAL Rumah Sakit Surabaya Barat

Hasil uji laboratorium sampel air limbah Rumah Sakit di Surabaya Barat menunjukkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Air Limbah Inlet dan Outlet

No.	Parameter	Standar Baku Mutu	Satuan	Bulan Juni	
				Inlet	Outlet
1	pH	6 – 9	pH	8.55	8.48
2	Temperature	30	C	28.8	25
3	Biochemical Oxygen Demand, BOD ₅	30	mg/L	161	8
4	Chemical Oxygen Demand, COD	80	mg/L	373	23.4
5	Total Suspended Solid, TSS	30	mg/L	26	2.5
6	Free Ammonia, NH ₃ -N	0.1	mg/L	10	0.01
7	Phosphate, PO ₄	2	mg/L	6	0.24
8	Total Coliform	10.000	MPN/100 mL	3.500	1.3

Sumber: Data Sekunder Bulan Juni 2025

Pada tabel 3.2 (Parameter Air Limbah Inlet), terdapat beberapa parameter air limbah yang melebihi baku ketika uji inlet. Diantaranya ada BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), NH₃-N (*ammonia bebas*), dan PO₄ (*Phosphate*). Sedangkan pada tabel 3.3, terdapat hasil parameter air limbah outlet yang dimana telah memenuhi baku mutu air limbah sesuai peraturan yang ada. Meskipun telah memenuhi baku

mutu air limbah, tetapi ada beberapa yang perlu dievaluasi pada unit pengolahannya. Pertama, mempertimbangkan efektivitas aksesoris *diffuser* yang terpasang pada *grease trap*, dengan harapan apabila tidak terpasangnya *diffuser* pada *grease trap* bisa meningkatkan pengendapan minyak dan lemak yang dihasilkan dari instalasi gizi (Ali Ma et al., 2024). Kedua, penambahan unit sedimentasi setelah sistem biofilter aerob, dikarenakan dapat meningkatkan efisiensi pengendapan partikel padatan yang telah menggumpal dari sistem biofilter anaerob dan aerob sebelumnya. Ketiga, penambahan media pada unit filtrasi yang telah dinonaktifkan, seperti contohnya penambahan media *carbon active* yang dapat menurunkan kekeruhan kualitas air limbah (Susmanto et al., 2020).

Dengan demikian, data pada tabel inlet dan outlet menunjukkan bahwa meskipun kinerja IPAL telah sesuai dengan baku mutu, keberhasilan tersebut perlu dipertahankan melalui evaluasi teknis lanjutan. Optimalisasi unit pengolahan seperti *grease trap*, sedimentasi, dan filtrasi akan memberikan jaminan efektivitas operasional yang lebih stabil terutama dalam menghadapi kadar polutan yang tinggi pada aliran inlet. Langkah evaluatif ini juga menjadi bagian penting dalam upaya menjaga kualitas lingkungan serta memastikan keberlanjutan sistem pengolahan air limbah di rumah sakit.

Tabel 3. Efisiensi Penyisihan Parameter

No.	Parameter	Standar Baku Mutu	Satuan	Bulan Juni	Efisiensi Penyisihan
IPAL				Inlet	Outlet
1	pH	6 – 9	pH	8.55	8.48
2	<i>Temperature</i>	30	C	28.8	25
3	<i>Biochemical Oxygen Demand, BOD₅</i>	30	mg/L	161	8
4	<i>Chemical Oxygen Demand, COD</i>	80	mg/L	373	23.4
5	<i>Total Suspended Solid, TSS</i>	30	mg/L	26	2.5
6	<i>Free Amonia, NH₃-N</i>	0.1	mg/L	10	0.01
7	<i>Phosphate, PO₄</i>	2	mg/L	6	0.24
8	<i>Total Coliform</i>	10.000	MPN/100 mL	3.500	1.3

Sumber: Data Sekunder Bulan Juni 2025

Perhitungan efisiensi merupakan perhitungan besarnya penyisihan beban pencemar yang mampu diolah oleh IPAL dan dinyatakan dalam persentase. Perhitungan efisiensi dihitung melalui rumus:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Besar Parameter Inlet} - \text{Besar Parameter Outlet}}{\text{Besar Parameter Inlet}} \times 100$$

Perhitungan efisiensi penyisihan merupakan salah satu indikator utama dalam menilai kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menurunkan beban pencemar dari kondisi inlet menuju outlet. Efisiensi penyisihan dihitung berdasarkan selisih konsentrasi parameter pencemar pada inlet dan outlet yang kemudian dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap konsentrasi awal. Semakin tinggi nilai efisiensi yang diperoleh, semakin efektif sistem IPAL dalam mengolah air limbah dan mengurangi potensi pencemaran lingkungan. Berdasarkan hasil perhitungan, parameter BOD₅, COD, NH₃-N, dan PO₄ menunjukkan nilai efisiensi penyisihan yang sangat tinggi, masing-masing sebesar 95,03%, 93,73%, 99,90%, dan 96,00%. Tingginya efisiensi tersebut mengindikasikan bahwa proses pengolahan yang diterapkan mampu secara optimal menurunkan kandungan bahan organik, senyawa nitrogen, dan fosfat dalam air limbah. Kondisi ini umumnya dicapai melalui penerapan sistem pengolahan yang terintegrasi antara proses fisik, biologis, dan kimia, di mana proses biologis berperan dominan dalam degradasi bahan organik dan nitrogen, sedangkan proses kimiawi berkontribusi dalam pengendapan fosfat.

Efektivitas penyisihan beban pencemar juga dipengaruhi oleh stabilitas operasi IPAL, termasuk kesesuaian desain unit pengolahan, waktu tinggal hidraulik, serta kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme pengolah limbah. Selain itu, pengendalian operasional yang baik, seperti pengaturan aerasi dan pengelolaan lumpur, turut berperan penting dalam mempertahankan kinerja pengolahan agar tetap optimal. Dengan demikian, hasil efisiensi penyisihan yang tinggi pada bulan Juni menunjukkan bahwa IPAL berfungsi dengan baik dan mampu memenuhi tujuan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Meskipun demikian, kegiatan pemantauan dan evaluasi secara berkala tetap diperlukan untuk memastikan konsistensi kinerja IPAL serta menjaga kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan yang berlaku, sehingga potensi dampak negatif terhadap ekosistem perairan dapat diminimalkan (Aib et al., 2024).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Rumah Sakit di Surabaya Barat mampu menurunkan konsentrasi parameter pencemar secara signifikan dari kondisi inlet menuju outlet, sehingga seluruh parameter kualitas air limbah telah memenuhi baku mutu sesuai ketentuan yang berlaku. Efisiensi penyisihan yang dicapai meliputi BOD_5 sebesar 95,03%, COD sebesar 93,73%, ammonia bebas ($\text{NH}_3\text{-N}$) sebesar 99,9%, dan fosfat (PO_4) sebesar 96%, yang menunjukkan bahwa sistem pengolahan bekerja dengan efektif melalui proses fisika, biologis, dan kimia secara terintegrasi.

Meskipun demikian, air limbah yang dihasilkan mengalami kekeruhan dikarenakan kurangnya suatu evaluasi, maka dari itu beberapa tahapan pengolahan yang perlu dilakukan optimalisasi. Upaya peningkatan kinerja IPAL dapat dilakukan melalui evaluasi grease trap dan pemasangan diffuser, penambahan unit sedimentasi lanjutan, serta pengaktifan kembali proses filtrasi dengan menambahkan suatu media seperti *carbon active* untuk meningkatkan kestabilan kualitas effluent. Dengan demikian, diperlukan pemeliharaan sistematis dan pengendalian operasional yang berkelanjutan agar kinerja IPAL tetap optimal dalam menghadapi fluktuasi beban limbah serta mendukung upaya perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

5. REFERENSI

- Aib, H., Czegeny, I., Benhizia, R., & Czédli, H. M. (2024). Evaluating the Efficiency of Wastewater Treatment Plants in the Northern Hungarian Plains Using Physicochemical and Microbiological Parameters. *Water (Switzerland)*, 16(24), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w16243590>
- Ali Ma, M., Mujaddidi, shum, Taruna Utama, T., & Pribadi, A. (2024). Evaluasi Operasional dan Pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kimia PT. XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, IX(4), 11099–11112.
- Haribowo R, Yuliani E, & Prihatino Galang S. (2022). Studi Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah pada Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Haryoto Kabupaten Lumajang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2), 156–165.
- Kasih, B. C., Romadon, S., & Rosariawati, F. (2023). ANALISIS EVALUASI KINERJA DAN PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) RUMAH SAKIT Air limbah RSUD Haji Provinsi Jawa Timur diolah menggunakan IPAL dengan mekanisme pengolahan secara biologi , fisika , dan kimia . Pengolahan dimulai dari bak ekuali. 3(2), 124–133.
- Khansa, H. A., & Herumurti, W. (2021). Perencanaan Tipikal Unit Pengolahan Skala Kecil Lumpur IPAL Domestik Kabupaten Gresik. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.56811>
- Penurunan Pencemaran Perairan Akibat Limbah Pabrik dengan Pembuatan Resirkulasi Air Sistem Biofilter Anaerob-Aerob di Desa Burai, S., Selatan, S., Huda, S., Mardhiyyah, A., Oktavia, I., Umami, R., Amalia, F., Fitriani, M., Studi Budidaya Perairan, P., Perikanan, J., Pertanian, F., Sriwijaya, U., & Ilir, O. (2021). *Strategi Penurunan Pencemaran*. 338–347.
- Ramírez-Coronel, A., Mohammadi, M., Majdi, H., Zabibah, R., Taherian, M., Prasetio, D., Gabr, G., Asban, P., Kiani, A. & Sarkohaki, S. (2024). Hospital wastewater treatment methods and its impact on human health and environments. *Reviews on Environmental Health*, 39(3), 423-434. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0216>
- Shatriadi, H., Putra, C., Said, F. M., & Rashid, N. A. B. D. (2025). EFFECTIVENESS AND OPTIMIZATION OF HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS (WWTPS): A LITERATURE REVIEW. 32(3), 111–115.
- Soetopo, R. S., Purwati, S., Setiawan, Y., & Wardhana, K. A. (2011). Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik. *Jurnal Riset Industri*, 5(2), 131–142.
- Susmanto, P., Yandriani, Y., Dila, A. P., & Pratiwi, D. R. (2020). Pengolahan Zat Warna Direk Limbah Cair Industri Jumputan Menggunakan Karbon Aktif Limbah Tempurung Kelapa pada Kolom Adsorpsi. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 4(2), 77. <https://doi.org/10.30595/jrst.v4i2.7309>
- Utami, A. R. (2018). Penurunan Kadar Fosfat Dalam Limbah Rumah Sakit Dengan Menggunakan Reaktor Fitobiofilm. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 3(1). <https://doi.org/10.36048/jtpi.v3i1.4185>