

EVALUASI KINERJA IPAL DALAM PENGURANGAN PARAMETER PENCEMAR DI INDUSTRI FARMASI

Amanda Putri Imania dan Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
amandaputriimania@gmail.com ; khalimatus.s@polinema.ac.id

ABSTRAK

Industri farmasi menghasilkan limbah cair non-B3 yang mengandung berbagai parameter pencemar, seperti pH, amoniak, total coliform, minyak dan lemak, BOD, COD, serta TSS. Jika tidak dikelola secara tepat, limbah ini berisiko mencemari lingkungan. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan fasilitas yang dirancang untuk mengolah cairan sisa proses atau limbah sehingga dapat dibuang ke lingkungan dengan aman. Untuk menjaga kualitas lingkungan, kinerja IPAL perlu dipantau dan dievaluasi secara berkala agar penurunan parameter pencemar sesuai dengan standar baku mutu yang berlaku. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL milik salah satu industri farmasi di Jawa Timur dalam menurunkan parameter pencemar. Metode yang digunakan berupa deskriptif kuantitatif dengan menganalisis data sekunder dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel *influent* dan *effluent* IPAL selama periode Januari hingga Desember 2023. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan rerata nilai pencemar yang signifikan antara konsentrasi *influent* dan *effluent* pada semua parameter, kecuali pH. Berdasarkan uji *one-way* ANOVA (*p-value* 0,05), diperoleh nilai $F_{hitung} < F_{kritis}$ yang berarti hipotesis nol (H_0) ditolak, sehingga terdapat perbedaan rerata nilai pencemar yang signifikan antara konsentrasi *influent* dan *effluent* IPAL. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh *removal efficiency* amoniak sebesar 91,9%; total coliform 93,0%; BOD 90,1%; COD 90,1%; dan TSS 61,6%, sedangkan minyak dan lemak telah sesuai baku mutu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja IPAL masih mampu mempertahankan efisiensi pengolahan limbah hingga memenuhi standar kualitas limbah yang ditetapkan.

Kata kunci: *anova, efisiensi, IPAL, limbah*

ABSTRACT

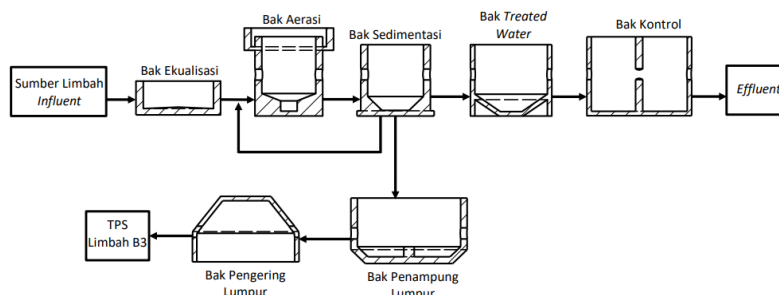
Pharmaceutical industry liquid waste is non-hazardous (non-B3) and contains a variety of contaminants, including pH, ammonia (NH₃), total coliform bacteria, oil and grease, BOD, COD, and TSS. To protect the environment, it is essential to manage waste correctly. This liquid waste must be treated by a wastewater treatment plant (WWTP) before it can be released into the environment. Performance monitoring and assessment are essential to ensure that pollutant reductions meet the set quality criteria and maintain environmental quality. The purpose of this study is to assess how well a large pharmaceutical firm in East Java's WWTP reduces pollution levels. Quantitative and descriptive methodologies are both used in the study. Data were collected from laboratory test results of *influent* and *effluent* samples from January to December 2023. A *one-way* ANOVA test (*p-value* 0.05) was used for the analysis. Our findings unequivocally demonstrated that *F* calculated was less than *F* critical, thereby rejecting the null hypothesis (H_0) and confirming a substantial discrepancy between the *influent* and *effluent* pollutant levels. The removal efficiencies observed were: ammonia (NH₃) at 91.9%, total coliform at 93.0%, BOD at 90.1%, COD at 90.1%, and TSS at 61.6%. It is clear that the oil and grease levels remained consistently below the regulatory limit. These findings confirm effective performance of the WWTP, ensuring treated *effluent* complies with environmental quality standards.

Keywords: *Anova, efficiency, waste water treatment plant, waste water*

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas dan Pengendalian Pencemaran air [1], sedangkan baku mutu air limbah domestik ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 [2]. Parameter yang diatur meliputi pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), minyak dan lemak, total coliform, serta debit, yang digunakan sebagai indikator keberhasilan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam menurunkan beban pencemaran. Kinerja IPAL dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan konsentrasi bahan pencemar, teknologi yang digunakan, serta pemeliharaan sistem pengolahan.

Industri farmasi merupakan salah satu sektor yang berpotensi menghasilkan limbah cair non-B3 dengan kandungan senyawa organik dan mikroorganisme dari proses produksi maupun aktivitas penunjang. Oleh karena itu, penggunaan IPAL menjadi komponen penting dalam pengelolaan limbah industri farmasi untuk memastikan pemenuhan baku mutu. Salah satu industri farmasi di Jawa Timur yang memproduksi cairan infus dan obat-obatan menggunakan IPAL berkapasitas 350 m³/hari. Sistem pengolahan yang digunakan yaitu secara fisika dan biologis dengan prinsip *aerob* menggunakan bakteri untuk menguraikan limbah yang berlangsung dengan adanya oksigen [3].



Gambar 1. *Process Flow Diagram* IPAL industri farmasi
 Sumber: IPAL milik salah satu industri farmasi di Jawa Timur

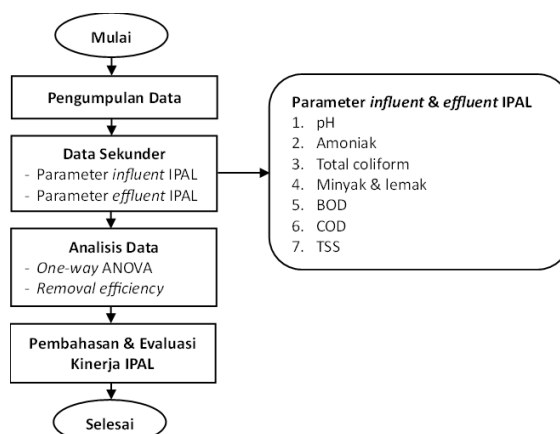
Berdasarkan Gambar 1, pengolahan air limbah diawali dengan unit operasi fisika berupa penyaringan dan flotasi untuk menghilangkan minyak dan lemak, dilanjutkan dengan bak ekualisasi guna menstabilkan debit dan konsentrasi limbah. Limbah kemudian diolah secara biologis pada bak aerasi melalui proses lumpur aktif dalam kondisi aerobik, di mana mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi senyawa sederhana sehingga menurunkan konsentrasi polutan [4],[5]. Selanjutnya, air limbah dialirkan ke bak sedimentasi untuk pemisahan lumpur aktif, sedangkan air hasil pengolahan ditampung pada bak *treated water* sebelum dibuang sebagai *effluent* yang memenuhi baku mutu lingkungan.

IPAL industri farmasi ini telah beroperasi secara kontinyu sejak tahun 1975, sehingga evaluasi kinerja secara berkala diperlukan untuk memastikan efektivitas pengolahan limbah tetap optimal seiring perubahan karakteristik limbah dan kondisi operasional. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis kualitas air limbah *influent* dan *effluent* berdasarkan parameter pH, amoniak, total coliform, minyak & lemak, BOD, COD, dan TSS, menggunakan analisis statistik *one-way ANOVA* untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan sebelum dan sesudah pengolahan [6]. Selain itu, efisiensi penurunan zat pencemar (*removal efficiency*) dihitung sebagai indikator kuantitatif kinerja IPAL.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kinerja IPAL dapat memberikan hasil pengolahan yang bervariasi tergantung pada karakteristik limbah dan kondisi operasional. Studi sebelumnya melaporkan nilai transparansi *effluent* rata-rata di atas 60 cm, COD 100 mg/L, DO rata-rata 1,748 mg/L, SS 690,909 mL/L, TSS 10,664 g/L, dan SVI 73,617 mL/g [7]. Penelitian lain pada industri pengolahan susu di Jawa Timur menunjukkan adanya perubahan yang signifikan. Nilai rata-rata konsentrasi *influent* seperti TSS; BOD; COD; dan minyak lemak sebesar 518; 454,5; 2.402; dan 3,93 mg/L. Setelah pengolahan, konsentrasi *effluent* turun menjadi 9; 10,41; 28,13; dan 2,08 mg/L dengan tingkat efisiensi penurunan kandungan untuk TSS; BOD; COD; serta minyak dan lemak masing-masing tercatat sebesar 95%; 95,3%; 95,9%; dan 46,7% [8].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL milik salah satu industri farmasi di Jawa Timur dalam menurunkan parameter pencemar menggunakan analisis statistik *one-way* ANOVA dan perhitungan efisiensi penurunan zat pencemar. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai efektivitas IPAL yang telah beroperasi dalam jangka panjang serta menjadi dasar rekomendasi peningkatan pengelolaan limbah cair industri farmasi secara berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis data kuantitatif yang telah dikumpulkan [9]. Metode ini digunakan untuk memberikan gambaran numerik terhadap kualitas air limbah pada *influent* dan *effluent* IPAL industri farmasi berdasarkan data dokumentasi laboratorium industri.

2.2. Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari laporan tahunan hasil pengujian kualitas air limbah *influent* dan *effluent* IPAL periode Januari-Desember 2023. Data tersebut mencakup hasil analisis laboratorium terhadap berbagai parameter, seperti pH, amoniak, total coliform, minyak lemak, COD, BOD, dan TSS.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui metode studi dokumentasi, yaitu pengumpulan data dari dokumen, arsip, atau bahan tertulis lainnya yang berkaitan dengan fenomena penelitian [10]. Dokumentasi dilakukan pada *hardfile* laporan tahunan kualitas air limbah tahun 2023 dari industri terkait.

2.4. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif, dengan menyajikan data parameter pencemar dalam bentuk tabel untuk menggambarkan kualitas air limbah pada *influent* dan *effluent* IPAL. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik *one-way* ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk mengevaluasi perbedaan signifikan antar kelompok parameter pencemar pada air limbah sebelum dan sesudah pengolahan di IPAL. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dengan tahapan yang terstruktur sebagai berikut:

1. Persiapan Data

Data hasil pengujian kualitas air limbah (pH, amoniak, minyak dan lemak, BOD, COD, serta TSS) disusun secara sistematis dalam format tabel berdasarkan kelompok pengamatan, yaitu *influent* dan *effluent*.

2. Proses Analisis Anova

Proses analisis statistik dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- a. buka tab "Data" pada menu utama Microsoft Excel.
- b. pilih opsi "Data Analysis" di bagian pojok kanan atas. Jika opsi ini belum tersedia, aktifkan melalui Add-Ins Excel Analysis ToolPak.
- c. pada daftar opsi yang muncul, pilih "ANOVA: Single Factor", kemudian klik "OK".
- d. pada bagian Input Range, masukkan rentang data yang akan dianalisis, mencakup kelompok *influent* dan *effluent*.
- e. klik "OK" untuk menghasilkan *output*.

3. Interpretasi Hasil

Hasil analisis ANOVA akan ditampilkan dalam bentuk tabel yang memuat informasi berikut:

- a. *Sum of Squares* (SS): mengukur variasi total antar kelompok.
- b. *Degrees of Freedom* (df): derajat kebebasan untuk setiap sumber variasi.
- c. *Mean Square* (MS): hasil pembagian SS dengan df.
- d. *F-value* (F-hitung): rasio variasi antar kelompok dan variasi dalam kelompok.
- e. *p-value*: menunjukkan signifikansi statistik dari perbedaan antar kelompok.

Interpretasi hasil dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- a. bandingkan *p-value* dengan tingkat signifikansi ($\alpha = 0,05$). Apabila *p-value* < 0,05, maka perbedaan antar kelompok dianggap signifikan secara statistik.
- b. konfirmasi hasil dengan membandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel} pada derajat kebebasan yang sesuai. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka perbedaan antar kelompok dinyatakan signifikan. Jika hasil signifikan, berarti terdapat pengaruh nyata dari proses pengolahan IPAL terhadap penurunan konsentrasi parameter pencemar.

Selain uji ANOVA, dilakukan perhitungan efisiensi penurunan konsentrasi parameter pencemar menggunakan rumus [11]:

$$Removal\ Efficiency\ (\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \tag{1}$$

Keterangan:

C_{in} : konsentrasi parameter pencemar di *influent* (mg/L)

C_{out} : konsentrasi parameter pencemar di *effluent* (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair mengandung berbagai zat pencemar yang dapat menurunkan kualitas air, membahayakan kesehatan manusia, dan ekosistem perairan. Identifikasi kualitas air limbah dilakukan sebelum limbah dibuang ke badan sungai untuk mengetahui beban polutan terhadap standar yang telah ditetapkan. Kualitas air limbah ditinjau dari karakteristik fisika, kimia, dan biologi [12]. Karakteristik fisika mencakup pengujian TSS, sedangkan karakteristik kimia meliputi pH, BOD, COD, minyak dan lemak, serta amoniak. Sementara itu, karakteristik biologi dianalisis melalui parameter total coliform [12].

Tabel 1. Karakteristik data sekunder limbah cair di industri farmasi tahun 2023

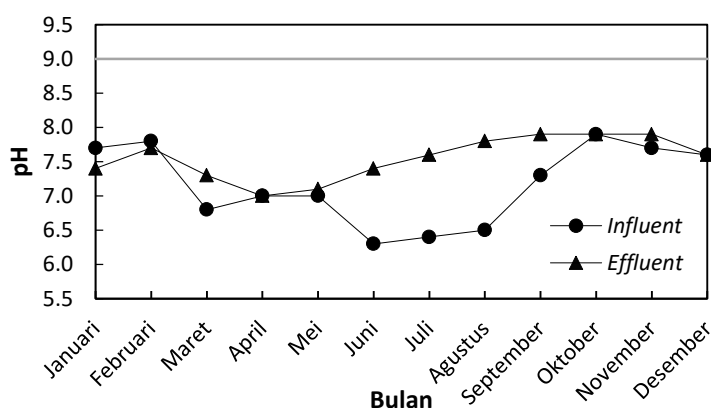
No	Bulan	Sampel	pH	NH ₃ (mg/L)	T. Coliform (MPN/100 mL)	Minyak Lemak (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
		Baku Mutu	6-9	10	3000	5	53	131	47
1	Januari	<i>in</i>	7,7	1,937	7360	4,5	215,6	711,7	37,5
		<i>out</i>	7,4	0,9343	1030	<1,280	12,75	45,07	5,1
		efisiensi	-	52%	86%	-	94%	94%	86%
2	Februari	<i>in</i>	7,8	9,644	2880	2,5	44,15	167,2	6
		<i>out</i>	7,7	0,3054	540	1,5	12,25	44,46	5,3
		efisiensi	-	97%	81%	-	72%	73%	12%
3	Maret	<i>in</i>	7,3	9,237	17000	7,5	218,9	860,1	16,5
		<i>out</i>	6,8	0,3339	540	<1,280	9,11	36,08	5
		efisiensi	-	96%	97%	-	96%	96%	70%
4	April	<i>in</i>	7	10,17	2400	3,5	44,29	160,3	6,8
		<i>out</i>	7	0,8562	540	1,5	10,29	32,84	5,6
		efisiensi	-	92%	78%	-	77%	80%	18%
5	Mei	<i>in</i>	7,1	7,726	3500	4	180,7	494,3	19,4
		<i>out</i>	7	0,1733	280	1,5	12,9	35,44	5,1
		efisiensi	-	98%	92%	-	93%	93%	74%
6	Juni	<i>in</i>	7,4	18,88	21000	4,5	189,2	549,5	25,9
		<i>out</i>	6,3	0,5776	490	<1,280	12,12	38,22	5,8
		efisiensi	-	97%	98%	-	94%	93%	78%
7	Juli	<i>in</i>	7,6	56,11	52000	5,5	515,8	1630	169,4
		<i>out</i>	6,4	0,3536	1250	1,5	11,17	40,13	5
		efisiensi	-	99%	98%	-	98%	98%	97%
8	Agustus	<i>in</i>	7,8	36,74	28000	9,5	744	2040	37,4
		<i>out</i>	6,5	0,5272	350	<1,280	7,06	26,85	5,2
		efisiensi	-	99%	99%	-	99%	99%	86%
9	September	<i>in</i>	7,9	6,963	24000	5,5	119,8	434,1	24,8

No	Bulan	Sampel	pH	NH ₃ (mg/L)	T. Coliform (MPN/100 mL)	Minyak Lemak (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)
Baku Mutu			6-9	10	3000	5	53	131	47
10	Oktober	<i>out</i>	7,3	0,6543	350	<1,280	12,43	38,94	12,2
		efisiensi	-	91%	99%	-	90%	91%	51%
		<i>in</i>	7,9	9,447	9200	4	126,9	373,2	19,4
		<i>out</i>	7,9	0,2256	540	<1,280	13,16	55,13	5,2
11	November	efisiensi	-	98%	94%	-	90%	85%	73%
		<i>in</i>	7,9	2,595	22000	5,5	121,7	578,6	106,2
		<i>out</i>	7,7	0,2437	540	<1,280	9,38	36,57	6,4
		efisiensi	-	91%	98%	-	92%	94%	94%
12	Desember	<i>in</i>	7,6	3,309	21000	3,5	81,4	239,3	25,2
		<i>out</i>	7,6	0,138	280	<1,280	10,06	33,18	5,3
		efisiensi	-	96%	100%	-	88%	86%	79%

*Nilai berwarna merah menunjukkan parameter yang melebihi ambang batas baku mutu

3.1. Analisis pH *Influent* & *Effluent* IPAL

Nilai pH mencerminkan kondisi keasaman atau kebasaan air limbah yang memengaruhi efektivitas pengolahan serta kualitas badan air penerima. Berdasarkan Gambar 3, pH *influent* IPAL selama tahun 2023 berada pada kisaran 6,3–7,9 dengan rata-rata 7,2, sedangkan pH *effluent* relatif stabil pada kisaran 7,0–7,9. Seluruh nilai pH masih berada dalam rentang baku mutu (6–9), menunjukkan bahwa proses pengolahan mampu mempertahankan kestabilan pH air limbah.

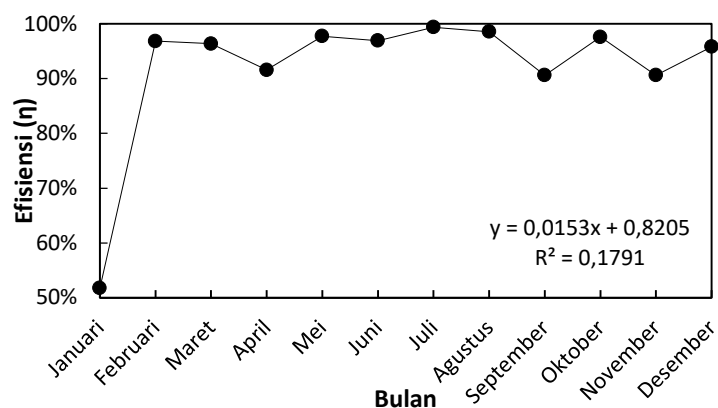


Gambar 3. Hasil pengujian pH *influent* dan *effluent* IPAL pada tahun 2023

Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan nilai $F_{hitung} 4,0778 < F_{kritis} 4,30095$, sehingga hipotesis nol (H_0) diterima artinya tidak ada perbedaan signifikan nilai rerata pH pada bagian *influent* dan *effluent* IPAL. Hal ini menandakan bahwa proses pengolahan air limbah tidak menyebabkan perubahan pH yang signifikan. Kondisi pH yang relatif netral tersebut mendukung keberlangsungan aktivitas mikroorganisme pada proses pengolahan biologis, khususnya nitrifikasi yang berlangsung optimal pada kisaran pH 7,5–8,5 [13], [14].

3.2. Analisis konsentrasi NH₃ pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

Amonia (NH₃) merupakan senyawa nitrogen yang dalam kondisi pH rendah akan terionisasi menjadi ion amonium (NH₄⁺) [15]. Adanya amonia dalam air yang teroksidasi menjadi nitrat juga dapat menyebabkan terbentuknya nitrit yang bersifat toksik dalam air. Selain itu, amonia juga dapat menimbulkan bau menyengat dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi NH₃ *influent* selama tahun 2023 bervariasi dengan nilai tertinggi pada bulan Juli sebesar 56,11 mg/L dan terendah pada bulan Januari sebesar 1,937 mg/L. Setelah pengolahan, konsentrasi NH₃ *effluent* menurun signifikan dengan kisaran 0,138–0,934 mg/L dan seluruhnya telah memenuhi baku mutu (<10 mg/L).

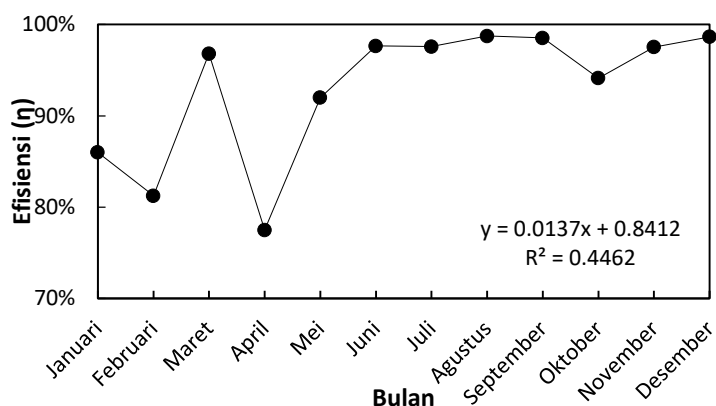


Gambar 4. Grafik efisiensi *removal* NH₃ pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Efisiensi *removal* NH₃ pada IPAL (Gambar 4) berada pada kisaran 50-99% dengan nilai rerata 91,99%. Efisiensi terendah terjadi pada bulan Januari akibat rendahnya konsentrasi NH₃ *influent*, sehingga selisih antara *influent* dan *effluent* relatif kecil. Penurunan konsentrasi NH₃ menunjukkan berlangsungnya proses nitrifikasi oleh mikroorganisme selama pengolahan biologis. Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan nilai F_{hitung} 8,96 > F_{tabel} 4,30, yang menandakan adanya perbedaan rerata yang signifikan antara konsentrasi NH₃ *influent* dan *effluent*. Hal ini mengindikasikan bahwa IPAL bekerja efektif dalam menurunkan konsentrasi amonia sesuai baku mutu lingkungan.

3.3. Analisis Total Coliform pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

Total coliform digunakan sebagai indikator pencemaran mikrobiologis yang mencerminkan potensi keberadaan bakteri patogen dalam air limbah [13], terutama berasal dari limbah domestik seperti toilet, dapur, dan *laundry* [16],[17]. Berdasarkan Gambar 5, konsentrasi total coliform *influent* selama tahun 2023 berada pada kisaran 2.400–52.000 MPN/100 mL dengan rerata 17.528 MPN/100 mL. Setelah pengolahan, konsentrasi *effluent* menurun menjadi 280–1.250 MPN/100 mL dengan rerata 561 MPN/100 mL dan seluruhnya memenuhi baku mutu (<3.000 MPN/100 mL). Efisiensi penurunan total coliform berkisar antara 78–99% dengan nilai rata-rata 93,04%, menunjukkan efektivitas IPAL dalam menurunkan beban pencemar biologis.

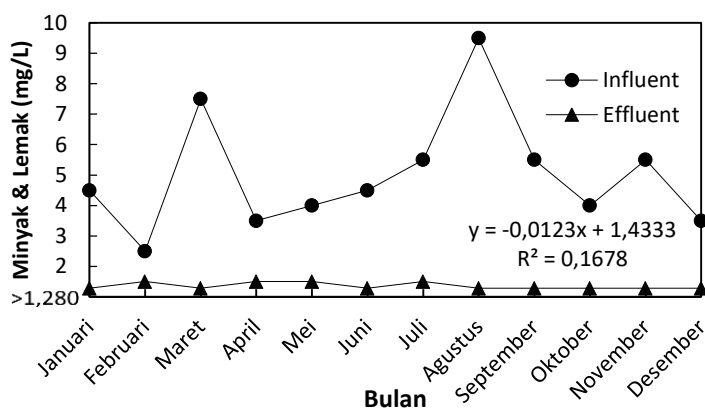


Gambar 5. Grafik efisiensi *removal* total coliform pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Selain itu, hasil analisis menggunakan *one-way* ANOVA menunjukkan bahwa nilai $F_{hitung} 17,29 > F_{tabel} 4,30$, yang berarti terdapat perbedaan rerata yang nyata secara statistik antara data total coliform inlet dan outlet. Hal ini mencerminkan bahwa kinerja IPAL efektif dalam menurunkan beban pencemar biologis.

3.4. Analisis Minyak dan Lemak pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

Analisis minyak dan lemak dilakukan untuk menilai kualitas air limbah serta mengevaluasi kinerja unit pengolahan awal (*pretreatment*) dalam sistem IPAL, mengingat keberadaan minyak dan lemak berpotensi menurunkan kualitas perairan dan mengganggu efektivitas proses pengolahan air limbah.



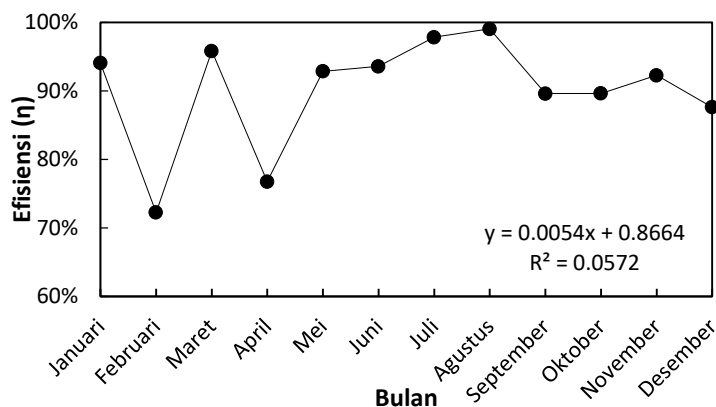
Gambar 6. Hasil pengujian minyak dan lemak pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Kandungan minyak dan lemak *influent* disajikan dalam Gambar 6, yaitu dengan rerata nilai 5,0 mg/L dan mengalami penurunan pada *effluent* menjadi rerata <1,280 mg/L, sehingga telah memenuhi baku mutu sebesar 5 mg/L. Keberadaan minyak dan lemak di perairan dapat membentuk lapisan tipis di permukaan air akibat perbedaan massa jenis dengan air, yang menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dan penetrasi cahaya matahari, sehingga berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan [13]. Pada sistem IPAL, minyak dan lemak diolah pada tahap *pretreatment* menggunakan *grease trap* yang bekerja berdasarkan gaya gravitasi dan perbedaan massa jenis antara minyak dan air dalam kecepatan aliran yang lambat [18]. Air limbah akan dialirkan menuju sekat-sekat atau kompartmen dengan dinding zig-zag, sehingga minyak dan lemak akan terangkat dan terjebak diatas permukaan dan air akan lewat melalui aliran bawah (outlet) [19]. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak sejalan dengan penelitian Wijayanti (2021),

yang menunjukkan bahwa penggunaan *grease trap* dengan waktu pengambilan sampel selama 9 jam mampu menurunkan kandungan minyak dengan % *removal* sebesar 84,62% [18].

3.5. Analisis BOD pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

BOD pada air mengacu pada jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi senyawa pencemar organik yang terkandung di dalamnya [13]. Konsentrasi BOD yang tinggi dalam perairan dapat mendorong pertumbuhan bakteri patogen beserta hasil metabolitnya, yang dapat menimbulkan aroma tidak sedap serta berpotensi membahayakan kesehatan manusia dan hewan dilingkungan sekitar [20]. Sumber BOD dalam limbah cair di industri ini berasal dari limbah domestik yang mengandung bahan organik mudah terurai seperti sisa makanan, lemak, dan deterjen. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi BOD pada *influent* berkisar antara 44,15 hingga 744 mg/L, dengan rerata konsentrasi sebesar 216,87 mg/L. Sementara itu, konsentrasi BOD *effluent* berada dalam rentang 7,06–13,16 mg/L, yang menunjukkan bahwa air limbah telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 53 mg/L.

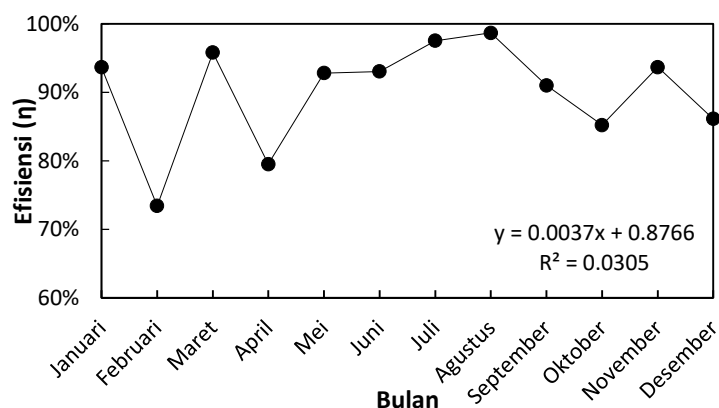


Gambar 7. Grafik efisiensi *removal* BOD pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Efisiensi penurunan BOD pada IPAL (Gambar 7) berada pada kisaran 72,25–99,05% dengan nilai rata-rata 90,12%. Variasi efisiensi dipengaruhi oleh fluktuasi beban organik *influent* dan kondisi operasi sistem pengolahan. Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan nilai $F_{hitung} 11,799 > F_{kritis} 4,30$, yang menandakan adanya perbedaan rerata BOD yang signifikan antara *influent* dan *effluent*. Penurunan BOD tersebut menunjukkan bahwa proses aerasi dan aktivitas mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif berjalan efektif dalam mendegradasi senyawa organik pada air limbah [21].

3.6. Analisis COD pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

Chemical Oxygen Demand (COD) menggambarkan kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah [22]. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi COD *influent* selama tahun 2023 berkisar 160,3–2.040 mg/L dan menurun signifikan pada *effluent* menjadi 26,85–55,13 mg/L. Nilai COD yang tinggi dapat menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan, sehingga berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik.

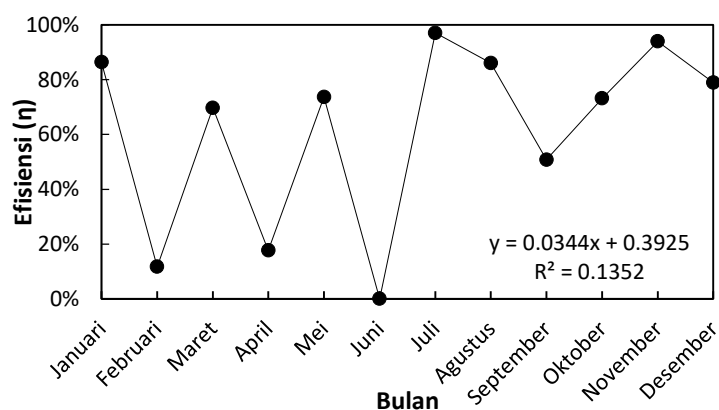


Gambar 8. Grafik efisiensi *removal* COD pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Berdasarkan Gambar 8, efisiensi IPAL dalam menurunkan COD berkisar antara 73,41% - 98,68% dengan rerata 90,05%. Nilai ini menunjukkan kinerja pengolahan yang baik, sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa standar efisiensi *removal* COD sebesar 80%-85% [23]. Selain itu, hasil analisis ANOVA satu arah menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada rerata COD *influent* dan *effluent* IPAL, dengan $F_{hitung} 11,799 > F_{kritis} 4,30$, yang mengindikasikan terdapat perbedaan rerata konsentrasi COD antara inlet dengan outlet, yang mencerminkan bahwa kinerja IPAL efektif dalam menurunkan COD.

3.7. Analisis TSS pada *Influent* dan *Effluent* IPAL

Total Suspended Solid (TSS) merupakan padatan tersuspensi yang tidak larut dalam air dan dipengaruhi oleh keberadaan zat organik serta anorganik dalam perairan [24]. Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi TSS *influent* berkisar 6–169 mg/L dan menurun pada *effluent* menjadi 5–25 mg/L, seluruhnya telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Penurunan ini menunjukkan berkurangnya kekeruhan air limbah.



Gambar 9. Grafik efisiensi *removal* TSS pada *influent* dan *effluent* IPAL tahun 2023

Berdasarkan Gambars 9, efisiensi penurunan TSS selama tahun 2023 berfluktuasi dengan nilai rata-rata 61,60%. Efisiensi yang relatif rendah pada beberapa bulan dipengaruhi oleh konsentrasi TSS *influent* yang telah mendekati baku mutu, sehingga selisih antara *influent* dan *effluent* menjadi kecil. Sementara itu, hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan $F_{hitung} 5,767 > F_{kritis} 4,30$, yang berarti ada perbedaan nilai rerata TSS pada bagian *influent* dan *effluent* IPAL, sehingga kinerja IPAL telah mampu menurunkan zat pencemar sesuai standar mutu yang ditetapkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan uraian hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa IPAL milik salah satu industri farmasi di Jawa Timur ini beroperasi secara efisien dan mampu mengolah limbah domestik hingga memenuhi baku mutu. Hasil uji *one-way* ANOVA menunjukkan adanya perbedaan rerata yang signifikan antara *influent* dan *effluent* pada parameter NH₃, total coliform, BOD, COD, dan TSS, sedangkan pada parameter pH tidak menunjukkan perbedaan signifikan karena nilai *influent* telah berada dalam kisaran baku mutu. Rata-rata persentase *removal efficiency* NH₃; total coliform; BOD; COD; dan TSS sebesar 91,9%; 93%; 90,1%; 90,1%; 61,60%, sementara konsentrasi minyak dan lemak juga telah memenuhi baku mutu dengan rerata <1,280 mg/L.

Untuk menjaga dan meningkatkan kinerja IPAL, disarankan dilakukan pemantauan dan evaluasi secara berkala serta mempertimbangkan penerapan pengolahan lanjutan, seperti sistem membran (MBR) atau biofilter aerob, guna meningkatkan efisiensi pengolahan senyawa organik terlarut dan menjamin kualitas *effluent* tetap memenuhi baku mutu secara berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup," 2021.
- [2] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/MenLHK-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik," 2016.
- [3] X. Bian, Y. Wu, J. Li, M. Yin, D. Li, H. Pei, S. Chang, dan W. Guo, "Effect of dissolved oxygen on high C/N wastewater treatment in moving bed biofilm reactors based on heterotrophic nitrification and aerobic denitrification: Nitrogen removal performance and potential mechanisms," *Bioresource Technology*, vol. 365, hal. 128147, 2022.
- [4] D. Daniswara dan A. Budiono, "Perhitungan F/M Ratio Pengolahan Limbah Lumpur Aktif WWTP-2 di Pabrik Farmasi," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, hal. 41–47, 2024.
- [5] A. Aditia, "Pengolahan Air Limbah Menggunakan Bioreaktor Membran (BRM)," *Jurnal Ilmiah Maksitek*, vol. 5, no. 4, hal. 162–168, 2020.
- [6] R. Palupi dan A. E. Prasetya, "Pengaruh Implementasi Content Management System Terhadap Kecepatan Kinerja Menggunakan One Way ANOVA," *Jurnal Ilmiah Informatika*, vol. 10, no. 1, hal. 74–79, 2022.
- [7] A. T. Pasetia, S. D. Nurkhasanah, dan H. P. Sudarminto, "Proses Pengolahan dan Analisa Air Limbah Industri di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 491–498, 2020.
- [8] S. A. Savira dan W. Zamrudy, "Analisis TSS, BOD, COD, dan Minyak Lemak Limbah Cair pada Industri Susu," *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, hal. 266–278, 2023.
- [9] Sudirman, dkk., *Metode Penelitian 1*. Bandung: Media Sains Indonesia, 2023.
- [10] Ardiansyah, Risnita, dan M. S. Jailani, "Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif," *IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, vol. 1, no. 2, hal. 1–9, 2023.

- [11] I. Apriliyani, M. Ainuri, dan A. Suyantohadi, "Analisis terhadap Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada Industri Gudang Kaleng di PT XYZ, Yogyakarta," *agriTECH*, vol. 43, no. 1, hal. 74–84, 2023.
- [12] F. Leonard, "Identifikasi Risiko Pencemaran Air Limbah Domestik," *Jurnal Media Teknik Sipil*, vol. 2, no. 1, hal. 33–42, 2024.
- [13] R. Ramadani, S. Samsunar, dan M. Utami, "Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik," *Indonesian Journal of Chemical Research*, hal. 12–22, 2021.
- [14] K. Pranoto, W. R. Pahilda, M. S. Abfertiawan, A. Elistyandari, dan A. Sutikno, "Teknologi Lumpur Aktif dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan dan Perkantoran PT Kaltim Prima Coal," *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, vol. 1, no. 1, hal. 697–704, 2019.
- [15] O. A. Widayanti, M. N. Inayah, E. Marwati, dan M. I. N. Pratiwi, "Deteksi Kadar Amonia (NH₃) pada Air Limbah Domestik di Rumah Makan Ajibarang Purwokerto," *Corona: Jurnal Ilmu Kesehatan*, vol. 1, no. 2, hal. 1–9, 2023.
- [16] D. P. Asih, C. Ain, dan N. Widyorini, "Analisis Total Bakteri Coliform di Sungai Banjir Kanal Barat dan Silandak, Semarang," *Management of Aquatic Resources Journal*, vol. 8, no. 4, hal. 309–315, 2020.
- [17] W. Widyaningsih, S. Supriharyono, dan N. Widyorini, "Analisis Total Bakteri Coliform di Perairan Muara Kali Wisu Jepara," *Management of Aquatic Resources Journal*, vol. 5, no. 3, hal. 157–164, 2016.
- [18] F. D. Wijayanti dan Y. S. Purnomo, "Pengolahan Limbah Cair Bengkel dengan Menggunakan Grease Trap dan Fitoremediasi," *Enviroous*, vol. 2, no. 1, hal. 115–123, 2021.
- [19] M. Y. Soobirumbassa dan T. A. Rachmanto, "Pengolahan Air Limbah untuk Pemanfaatan sebagai Flushing Toilet di Restoran, Bar, dan Klub Malam W Kota Surabaya," *Environmental Science and Engineering Conference*, vol. 4, no. 1, hal. 285–291, 2023.
- [20] D. S. Lestari dan A. Y. Rohaeni, "Evaluasi Kinerja IPAL Domestik Metode MBBR untuk Mengurangi Tingkat Pencemaran Air di Waduk 'X', Jakarta," *Jurnal Sumber Daya Air*, vol. 16, no. 2, hal. 91–102, 2020.
- [21] N. Afiah, M. Rapi, dan J. Jamilah, "Pengaruh Aklimatisasi Lumpur Aktif terhadap Limbah Cair dari Pabrik Pangan," *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, vol. 10, no. 2, hal. 1025–1035, 2022.
- [22] K. Sa'diyah, M. A. I. Iswara, L. C. Dewi, dan F. A. Putri, "Optimization of Domestic Wastewater Treatment with Biological Aerated Filter (BAF) Method Based on Bioball," *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 8, no. 9, hal. 82–88, 2024.
- [23] H. H. Shobriyah, R. D. Afrianisa, dan T. N. Pramestyawati, "Efisiensi Penurunan Nilai BOD, COD, dan TSS oleh Instalasi Pengolahan Air Limbah PT Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Tangerang Mill," *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 3, hal. 313–320, 2022.
- [24] D. A. Setyawati, N. I. Nuzula, O. W. Jayanthi, A. G. D. Kartika, dan E. P. Rahayu, "Pola Persebaran Vertikal dan Horizontal Total Suspended Solid di Perairan Padelegan, Pamekasan," *Buletin Oseanografi Marina*, vol. 12, no. 2, hal. 213–222, 2023.