

Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah di PT. X Menggunakan Pendekatan Efisiensi Relatif Matematis

Eka Wardhani^{1,2}, Muhammad Ghafa Irawan Djajus¹, Kancitra Pharmawati^{1,2}
Athaya Zahrani Irmansyah^{3*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

²Pusat Kolaborasi Riset Daya Dukung Lingkungan Berkelanjutan BRIN- Institut Teknologi Nasional, Bandung

³Program Studi Matematika, Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung

*Koresponden email: zahrani170899@gmail.com

Diterima: 14 April 2026

Disetujui: 30 April 2026

Abstract

PT. X is an integrated textile industry located in Sumedang Regency that generates wastewater from various production processes, including dyeing, printing, and domestic activities. This study aims to identify wastewater sources, describe the treatment process flow, and evaluate the performance of three Wastewater Treatment Plants (WWTP/IPAL) in accordance with the Minister of Environment and Forestry Regulation No. 16 of 2019. The evaluation was conducted using wastewater quality data from January to June 2022, focusing on Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), and Chemical Oxygen Demand (COD). Performance analysis was carried out using removal efficiency and a relative efficiency approach to assess the consistency of treatment performance over time. The results indicate that all WWTP units, with capacities ranging from 3,000 to 28,000 m³/day, apply a combination of physical, chemical, and biological processes. The removal efficiency values demonstrate excellent performance, with TSS ranging from 81.88% to 97.83%, BOD from 81.70% to 97.83%, and COD from 80.43% to 97.55%. Relative efficiency analysis shows that the system performance is consistently categorized as good to very good, with peak performance observed in March. All outlet parameters meet the required quality standards. Regular maintenance is recommended to ensure operational safety and sustained performance.

Keywords: *wastewater, wwtp efficiency, textile industry, relative efficiency*

Abstrak

PT. X merupakan industri tekstil terintegrasi di Kabupaten Sumedang yang menghasilkan air limbah dari berbagai proses produksi seperti pencelupan, printing, dan domestik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber air limbah, mendeskripsikan alur proses pengolahan, serta mengevaluasi kinerja tiga Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019. Evaluasi dilakukan menggunakan data kualitas air limbah periode Januari hingga Juni 2022 pada parameter Total Suspended Solids (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), dan Chemical Oxygen Demand (COD). Analisis kinerja dilakukan menggunakan perhitungan efisiensi serta pendekatan efisiensi relatif untuk menilai konsistensi kinerja pengolahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh IPAL dengan kapasitas 3.000 hingga 28.000 m³/hari menerapkan kombinasi proses fisika, kimia, dan biologi. Nilai efisiensi menunjukkan kinerja yang sangat baik, dengan TSS sebesar 81,88%–97,83%, BOD 81,70%–97,83%, dan COD 80,43%–97,55%. Analisis efisiensi relatif menunjukkan kinerja berada pada kategori baik hingga sangat baik, dengan kinerja optimum terjadi pada bulan Maret. Seluruh parameter outlet telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Pemeliharaan rutin disarankan untuk menjaga keselamatan operasional dan kinerja pengolahan tetap optimal.

Kata Kunci: *air limbah, efisiensi ipal, industri tekstil, efisiensi relatif*

1. Pendahuluan

PT. X adalah industri tekstil di Kabupaten Sumedang yang bergerak dibidang produksi *chip polyester*, benang, kain, pakaian, kaos kaki, serat *polyester*, selimut, pewarna kain, dan produk tekstil lainnya. Kegiatan yang beroperasi telah menimbulkan dampak positif berupa terjadinya serapan tenaga kerja di wilayah sekitar dan terjadinya pertumbuhan perekonomian masyarakat lokal. Dampak peningkatan kegiatan produksi yaitu limbah yang dihasilkan bertambah. Pemerintah mengeluarkan aturan baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.16 Tahun 2019 Tentang Baku Mutu Air Limbah [1]. PT. X yang termasuk dalam industri Tekstil dan menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan

Kehutanan, bahwa air limbah yang bersumber dari usaha dan/atau kegiatan industri tekstil berpotensi mencemari media air sehingga perlu diterapkan baku mutu air limbah sebelum dibuang ke media air.

PT. X memiliki tiga Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Evaluasi IPAL PT. X diperlukan untuk mengkaji kesesuaian dengan peraturan yang berlaku. Badan air terdekat dengan lokasi penelitian yaitu Sungai Cikijing. Kualitas air sungai tersebut telah tercemar oleh limbah cair dari aktivitas domestik, pertanian dan industri sehingga daya tampung beban pencemarannya telah terlampaui [2,3]. Berdasarkan kondisi tersebut diperlukan pengolahan air limbah yang baik di PT. X supaya pencemaran air Sungai Cikijing tidak semakin berat. Pengolahan air limbah dilakukan dengan berbagai metode seperti kombinasi proses presipitasi dan adsorpsi karbon aktif dalam pengolahan air limbah industri penyamakan kulit [4], proses biologi dengan menggunakan lumpur aktif untuk perumahan, mall dan apartemen [5,6]. Khusus untuk limbah domestik dan sejenisnya, pengolahan dengan memisahkan *grey water* dan *black water* menjadi alternatif yang baik untuk mengurangi beban pencemaran air di IPAL [7]. Lumpur IPAL yang dihasilkan harus dikelola dengan baik supaya tidak menjadi sumber pencemar baru. Khusus untuk lumpur IPAL yang termasuk katagori limbah bahan beracun dan berbahaya (LB3) harus dikelola sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 20221 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup [8].

Hasil akhir penelitian diharapkan dapat mengetahui sumber air limbah yang diolah, proses pengolahan air limbah, dan melakukan evaluasi pengolahan air limbah di IPAL PT. X. Evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tidak hanya menilai tingkat efisiensi pengolahan, tetapi juga konsistensi kinerjanya dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja IPAL di PT. X menggunakan pendekatan efisiensi dan efisiensi relatif berdasarkan data kualitas air limbah periode Januari hingga Juni 2022. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja IPAL serta menjadi dasar dalam upaya peningkatan efektivitas pengolahan air limbah secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Data kualitas air limbah dikumpulkan dari Bulan Januari- Juni 2022. Baku mutu mengacu pada PerMenLHK No. 16 Tahun 2019 Tentang Baku Mutu Air Limbah [1]. Berdasarkan hasil observasi dan dokumentasi unit IPAL yang ada di PT. X meliputi unit pengolahan *pre-treatment* dan unit pengolahan utama. Unit pengolahan *pre-treatment* terdiri dari bak penampung, bak sedimentasi tipe *lamella*, bak oksidasi, bak sedimentasi biologi, dan bak sedimentasi kimia (*recycle*). Unit pengolahan utama terdiri dari bak ekualisasi, bak netralisasi, *cooling tower*, bak aerasi, bak sedimentasi, bak effluent proses biologis, bak koagulasi, bak flokulasi, bak sedimentasi, dan bak effluent proses kimiawi.

Pengumpulan data dilakukan terhadap dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer bersumber dari hasil observasi langsung ke lapangan mengenai pengelolaan IPAL, wawancara, dan melakukan pengambilan dokumentasi terkait kondisi eksisting IPAL yang ada di lapangan. Data Sekunder merupakan informasi/data yang diperoleh langsung dari pihak-pihak terkait yang telah memiliki data tersebut. Data ini dapat berupa profil perusahaan, proses kegiatan produksi, sumber air limbah yang dihasilkan oleh kegiatan produksi, alur IPAL, data kualitas air limbah dan air sungai. Efisiensi IPAL ditentukan dengan menggunakan Persamaan 1 [9].

$$E = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: E = Efisiensi (%), C_0 = Konsentrasi parameter pencemar sebelum diolah (mg/L), C_1 = Konsentrasi parameter pencemar setelah diolah (mg/L). Berdasarkan hasil perhitungan maka IPAL dikategorikan sangat efisien jika $E > 80\%$, efisien jika $60\% < E \leq 80\%$, cukup efisien jika $40\% < E \leq 60\%$, kurang efisien jika $20\% < E \leq 40\%$, dan tidak efisien jika $E \leq 20\%$ [9].

Selanjutnya, untuk menilai konsistensi kinerja IPAL dari waktu ke waktu, digunakan pendekatan efisiensi relatif, yaitu dengan membandingkan nilai efisiensi pada setiap periode terhadap nilai efisiensi maksimum yang diperoleh selama periode pengamatan. Hasil perhitungan efisiensi relatif kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori kinerja, yaitu sangat baik, baik, dan cukup, untuk memberikan gambaran tingkat performa IPAL secara lebih komprehensif. Selain itu, analisis dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil pengolahan terhadap baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019 [1]. Perhitungan efisiensi relatif dapat dilihat pada Persamaan 2 dimana E_i adalah efisiensi pada periode ke- i dan E_{max} adalah efisiensi maksimum.

Pendekatan efisiensi relatif dalam penelitian ini mengacu pada konsep normalisasi dan perbandingan kinerja yang umum digunakan dalam evaluasi kualitas air dan kinerja sistem pengolahan limbah [10,11].

$$E_{relatif} = \frac{E_i}{E_{max}} \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Perusahaan

PT. X merupakan suatu industri tekstil yang didirikan pada tahun 1979. PT. X adalah salah satu perusahaan yang memiliki keahlian lengkap dalam proses produksi tekstil, mulai dari pembuatan serat hingga pembuatan pakaian jadi. PT. X kini menjadi salah satu pemasok terbesar di sektor tekstil dan memberikan kontribusi yang signifikan dalam ekspor. Sebanyak 35% dari hasil produksi diekspor langsung ke berbagai negara, sedangkan 45% diekspor melalui pihak ketiga, dan 20% digunakan untuk memenuhi permintaan pasar dalam negeri [12].

Kegiatan proses produksi yang saat ini sedang berjalan di PT. X terbagi dalam 15 kegiatan proses produksi yaitu Departemen *Spinning 1 s/d Spinning 18*, Departemen Interlok 1 s/d 11, Departemen AJL 1 s/d 98, Departemen *Finishing*, Departemen *Polyester* dan *Polyester Chip*, Departemen Selimut dan Selimut Konveksi, Departemen Kain Bulu, Departemen Kincir dan Celup *Hank*, Departemen Kelos Warna dan Kelos Putih, Departemen Celup *Cones* dan Celup *Acrily*, Departemen *Tricot*, Departemen Sel Konveksi, Kegiatan Pergudangan (Gudang Kapas, Gudang Mesin Bekas, Gudang Obat, dan lainnya), Kegiatan PLTU, serta sarana penunjang berupa klinik, masjid, dan *mess* karyawan [12].

Adapun jenis produk yang dihasilkan terdiri dari 10 jenis produksi yang dibagi menjadi 2 kategori yaitu: (1) produksi utama: jenis produk yang masuk dalam kategori produksi utama antara lain *acrylic fiber*, benang, kain rajut *tricot*, kain tenun, kain *denim*, kain *cotton*, dan *recycled polyester fiber*, (2) produksi lainnya: jenis produk yang masuk dalam kategori produksi lainnya antara lain celup *cones*, *non-woven*, dan selimut *rassel* [12].

PT. X memiliki tiga unit IPAL. Sistem pengolahan yang terjadi di IPAL 1 terdiri dari sistem pengolahan fisika, kimia, dan biologi dengan kapasitas pengolahan sampai dengan 3.000 m³/hari. *Influent* (air limbah yang masuk) ke IPAL 1 ini berasal dari proses pencelupan *hank* dengan bahan baku benang *acrylic* dan air limbah domestik yang disalurkan melalui pipa terpisah kemudian masuk ke Bak Ekualisasi dimana sebelumnya melalui proses fisik terlebih dahulu yaitu melalui saringan. Unit-unit pengolahan air limbah di IPAL 1 terdiri dari Bak Ekualisasi, Bak Netralisasi, *Cooling Tower*, Bak Aerasi, Bak Sedimentasi, Bak *Effluent* Proses Biologis, Bak Koagulasi, Bak Flokulasi, Bak Sedimentasi, dan Bak *Effluent* Proses Kimiawi. Bak Ekualisasi dan Netralisasi, Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pencelupan *hank* [12].

Sistem pengolahan yang terjadi di IPAL 2 terdiri dari sistem pengolahan fisika, kimia, dan biologi dengan kapasitas pengolahan sampai dengan 6.000 m³/hari. Sumber air limbah yang masuk ke IPAL 2 berasal dari kegiatan pencelupan *cones* dan juga air limbah domestik. Limbah padat yang dihasilkan berupa *sludge* dari IPAL 2 dikelola di lokasi IPAL 3 pada *Screw Press* sedangkan air limbah hasil proses *backwash* dan *reject* UF/RO dimasukkan ke IPAL 3. Unit-unit pengolahan air limbah di IPAL 2 terdiri dari Bak Ekualisasi, Bak Netralisasi (H₂SO₄), *Cooling Tower*, Bak Aerasi, Bak Sedimentasi, Bak *Effluent* Proses Biologis, Bak Koagulasi, Bak Flokulasi, Bak Sedimentasi dan Bak *Effluent* Proses Kimiawi.

IPAL 3 merupakan IPAL yang memiliki kapasitas terbesar mencapai 28.000 m³/hari. Sumber air limbah yang diolah berasal dari IPAL 1, IPAL 2, kegiatan AJL, *Polyester*, dan *Printing*. Terdapat perbedaan pada sistem pengolahan yang terjadi di IPAL 3 yaitu dengan adanya sistem *pre-treatment* sebelum masuk ke pengolahan utama berupa pengolahan fisika, kimia, dan biologis. Unit pengolahan *pre-treatment* yang telah dibangun terdiri dari DAF (*Dissolved Air Flotation*), bak penampung, Bak Sedimentasi tipe *lamella*, Bak Oksidasi, Bak Sedimentasi Biologi, dan Bak Sedimentasi Kimia (untuk *recycle*). Unit-unit pengolahan utama di IPAL 3 terdiri dari Bak Ekualisasi, Bak Netralisasi, *Cooling Tower*, Bak Aerasi, Bak Sedimentasi, Bak *Effluent* Proses Biologis, Bak Koagulasi, Bak Flokulasi, Bak Sedimentasi, dan Bak *Effluent* Proses Kimiawi. Sebelum dibuang ke Sungai Cikijing, air limbah yang telah diolah akan memasuki kolam ikan terlebih dahulu sebagai indikator keberhasilan pengolahan yang dilakukan.

Analisis Kualitas Air

Air limbah yang masuk ke IPAL PT. X setelah diolah akan dibuang ke badan air penerima. Sebelum air limbah dibuang ke badan air penerima, air limbah yang diolah harus untuk memenuhi baku mutu yang berlaku yaitu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 16 Tahun 2019

Tentang Baku Mutu Air Limbah. Baku mutu tersebut berlaku karena PT. X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang tekstil.

Air limbah perlu di analisis untuk mengidentifikasi apakah terdapat zat pencemar yang dapat mencemari lingkungan khususnya air sungai. Analisis dilakukan menggunakan metode perhitungan Indeks Pencemaran (IP). Berdasarkan Kepmen LH Nomor 27 Tahun 2021 metode Indeks Pencemaran (IP) memiliki kegunaan sebagai suatu peruntukan maupun tujuan tertentu, kemudian dikembangkan untuk beberapa peruntukannya bagi seluruh badan air atau suatu sungai.

Kualitas Air Limbah di Inlet IPAL

Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi seperti kegiatan pencelupan, domestik, *printing*, dan lainnya akan masuk ke unit IPAL 1, IPAL 2, dan IPAL 3 untuk diolah. *Inlet* perlu diukur agar dapat mengetahui efisiensi dari setiap unit IPAL dan mengetahui perbandingan antara air yang masuk (*inlet*) dan air yang keluar (*outlet*). Data hasil pengukuran yang dilakukan oleh Laboratorium Sucofindo dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berdasarkan pencatatan dari Bulan Januari-Juni 2022, debit harian air limbah PT. X pada IPAL 1, IPAL 2 dan IPAL 3 berkisar 816 m³/hari sampai dengan 15.688 m³/hari.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah *Inlet*

Parameter	Baku Mutu	Satuan	Hasil Uji Rata-rata Januari-Juni 2022					
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
TSS	30	mg/L	210	42	68	160	92	86
BOD	35		31,85	83,6	92,31	221	192	129
COD	115		106	185	204	552	304,2	287

Sumber: [12], debit air limbah ≥ 1.000 m³/hari

Kualitas Air Limbah di Outlet IPAL

Air limbah yang masuk ke IPAL PT. X setelah diolah akan dibuang ke badan air penerima. Sebelum air limbah dibuang ke badan air penerima, air limbah yang diolah harus memenuhi baku mutu yang berlaku terlebih dahulu yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 16 Tahun 2019 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Pengujian pada *outlet* IPAL diperlukan untuk mengetahui apakah air limbah yang dihasilkan oleh PT. X setelah diolah di IPAL 1, IPAL 2, dan IPAL 3 telah memenuhi baku mutu. Berikut data hasil pengukuran yang dilakukan oleh Laboratorium Sucofindo dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kualitas Air Limbah *Outlet*

Parameter	Baku Mutu	Satuan	Hasil Uji Bulan Januari-Juni 2022					
			Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
TSS	30	mg/L	16	14	22	29	2	12
BOD	35		16,1	15,3	<2	12,2	14,7	16,72
COD	115		40,16	36,2	5	30,4	35	39,68

Sumber: [12], debit air limbah ≥ 1.000 m³/hari

Upaya untuk meninjau seberapa besar pengaruh Instalasi Pengolahan Air Limbah di PT. X dalam mengolah air limbah hasil produksi, maka dilakukan perhitungan efisiensi IPAL pada parameter yang di uji sesuai baku mutu yang ditetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 16 Tahun 2019 Tentang Baku Mutu Air Limbah Tekstil. Berikut perhitungan efisiensi unit IPAL PT. X. Perhitungan efisiensi IPAL dilakukan terhadap 3 parameter yaitu TSS, BOD, dan COD.

Efisiensi IPAL terhadap Penurunan Parameter TSS

Perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter TSS dilakukan berdasarkan hasil pengukuran kualitas air limbah *inlet* dan *outlet* pada bulan Januari-Juni 2022. Berikut hasil perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter TSS disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi IPAL Berdasarkan Penurunan Parameter TSS

Bulan (Tahun 2022)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)	Kategori
Januari	210	16	92,38	Sangat Efisien
Februari	42	14	66,67	Efisien
Maret	68	22	67,65	Efisien
April	160	29	81,88	Sangat Efisien
Mei	92	2	97,83	Sangat Efisien
Juni	86	12	86,05	Sangat Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022 Baku Mutu 30 mg/L

Berdasarkan **Tabel 3**, hasil perhitungan efisiensi menunjukkan 2 kategori yang berbeda, yaitu pada Bulan Januari, April, Mei, dan Juni termasuk dalam kategori sangat efisien dengan persentase efisiensi berturut-turut 92,38%, 81,88%, 97,83%, dan 86,05%. Sedangkan pada Bulan Februari dan Maret termasuk dalam kategori efisien dengan persentase efisiensi berturut-turut 66,67% dan 67,65%. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai *inlet* dan *outlet* yang dapat mempengaruhi hasil persentase efisiensi. Semakin besar nilai konsentrasi *inlet* dan semakin kecil konsentrasi *outlet* yang dihasilkan maka akan semakin besar nilai persentase efisiensi. Nilai persentase efisiensi pada Bulan Januari memiliki konsentrasi TSS *inlet* sebesar 210 mg/L, sehingga perlu disisihkan konsentrasi TSS sebesar 180 mg/L untuk memenuhi baku mutu. Namun hasil dari pengolahan IPAL PT. X menunjukkan nilai konsentrasi parameter TSS sebesar 16 mg/L artinya kurang dari baku mutu yang ditetapkan PerMenLHK No. 16 Tahun 2019.

Efisiensi IPAL terhadap Penurunan Parameter BOD

Perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter BOD dilakukan berdasarkan hasil pengukuran kualitas air limbah *inlet* dan *outlet* pada bulan Januari-Juni 2022. Berikut hasil perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter BOD disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Efisiensi IPAL Berdasarkan Penurunan Parameter BOD

Bulan (Tahun 2022)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)	Kategori
Januari	31,85	16,1	49,45	Cukup Efisien
Februari	83,6	15,3	81,70	Sangat Efisien
Maret	92,31	2	97,83	Sangat Efisien
April	221	12,2	94,48	Sangat Efisien
Mei	192	14,7	92,34	Sangat Efisien
Juni	129	16,72	87,04	Sangat Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan, Baku Mutu 35 mg/L

Berdasarkan **Tabel 4**, hasil perhitungan efisiensi menunjukkan 2 kategori yang berbeda, yaitu pada Bulan Februari, Maret, April, Mei, dan Juni termasuk dalam kategori sangat efisien dengan persentase efisiensi berturut-turut 81,70%, 97,83%, 94,48%, 92,34%, dan 87,04%. Sedangkan pada Bulan Januari termasuk dalam kategori cukup efisien dengan persentase efisiensi 49,45%. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai *inlet* dan *outlet* yang dapat mempengaruhi hasil persentase efisiensi. Semakin besar nilai konsentrasi *inlet* dan semakin kecil konsentrasi *outlet* yang dihasilkan maka akan semakin besar nilai persentase efisiensi. Nilai persentase efisiensi pada Bulan Februari memiliki konsentrasi BOD *inlet* sebesar 83,6 mg/L, sehingga perlu disisihkan konsentrasi BOD sebesar 48,6 mg/L untuk memenuhi baku mutu. Namun hasil dari pengolahan IPAL PT. X menunjukkan nilai konsentrasi parameter TSS sebesar 15,3 mg/L artinya kurang dari baku mutu yang ditetapkan PerMenLHK No. 16 Tahun 2019.

Efisiensi IPAL terhadap Penurunan Parameter COD

Perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter COD dilakukan berdasarkan hasil pengukuran kualitas air limbah *inlet* dan *outlet* pada Bulan Januari-Juni 2022. Hasil perhitungan efisiensi IPAL terhadap parameter COD disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Efisiensi IPAL Berdasarkan Penurunan Parameter COD

Bulan (Tahun 2022)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)	Kategori
Januari	106	40,16	62,11	Efisien
Februari	185	36,2	80,43	Sangat Efisien
Maret	204	5	97,55	Sangat Efisien
April	552	30,4	94,49	Sangat Efisien
Mei	304,2	35	88,49	Sangat Efisien
Juni	287	39,68	86,17	Sangat Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan, Baku Mutu 115 mg/L

Berdasarkan **Tabel 5**, hasil perhitungan efisiensi menunjukkan 2 kategori yang berbeda, yaitu pada Bulan Februari, Maret, April, Mei, dan Juni termasuk dalam kategori sangat efisien dengan persentase efisiensi berturut-turut 80,43%, 97,55%, 94,49%, 88,49%, dan 86,17%. Sedangkan pada Bulan Januari termasuk dalam kategori efisien dengan persentase efisiensi 62,11%. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai *inlet* dan *outlet* yang dapat mempengaruhi hasil persentase efisiensi. Semakin besar nilai konsentrasi *inlet* dan semakin kecil konsentrasi *outlet* yang dihasilkan maka akan semakin besar nilai persentase efisiensi. Nilai persentase efisiensi pada Bulan Maret memiliki konsentrasi BOD *inlet* sebesar 204 mg/L, sehingga perlu disisihkan konsentrasi BOD sebesar 89 mg/L untuk memenuhi baku mutu. Namun hasil dari pengolahan IPAL PT. X menunjukkan nilai konsentrasi parameter TSS sebesar 36,2 mg/L artinya kurang dari baku mutu yang ditetapkan PerMenLHK No. 16 Tahun 2019.

Penelitian ini hanya menghitung efisiensi untuk tiga parameter utama yaitu BOD, COD, dan TSS karena tiga parameter tersebut yang penting dan menunjukkan kinerja IPAL [12]. Hal tersebut mengacu pada penelitian pengolahan air limbah industri tekstil di Salatiga [12] dan evaluasi IPAL limbah klinik kecantikan [13]. Pengolahan air yang baik di industri akan menghasilkan kondisi lingkungan yang baik [14] dan terjaganya sumber air baik permukaan dan tanah [15]. Industri yang ramah lingkungan akan menjamin kondisi lingkungan di sekitarnya tetap baik dan terjaga [15].

Perhitungan Efisiensi Relatif Matematis IPAL terhadap Penurunan Parameter COD

Perhitungan efisiensi relatif dilakukan untuk mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) secara komparatif terhadap kondisi optimum selama periode pengamatan. Nilai efisiensi relatif diperoleh dengan membandingkan efisiensi pada setiap bulan terhadap nilai efisiensi maksimum, yaitu sebesar 97,55% yang terjadi pada bulan Maret. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai efisiensi relatif berada pada rentang 0,64 hingga 1,00.

Secara rinci, nilai efisiensi relatif pada bulan Januari sebesar 0,64 termasuk dalam kategori cukup, yang menunjukkan bahwa kinerja IPAL pada periode tersebut belum optimal. Pada bulan Februari, nilai efisiensi relatif sebesar 0,82 termasuk dalam kategori baik. Nilai maksimum sebesar 1,00 pada bulan Maret menunjukkan kondisi kinerja optimum. Selanjutnya, nilai efisiensi relatif pada bulan April dan Mei masing-masing sebesar 0,97 dan 0,91 termasuk dalam kategori sangat baik, sedangkan pada bulan Juni sebesar 0,88 termasuk dalam kategori baik.

Hasil tersebut yang disajikan pada **Tabel 6** menunjukkan bahwa kinerja IPAL mengalami peningkatan signifikan dari bulan Januari hingga mencapai kondisi optimum pada bulan Maret, kemudian cenderung stabil pada kategori baik hingga sangat baik pada periode berikutnya. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pengolahan telah beroperasi secara konsisten setelah mencapai kondisi optimal. Dengan demikian, analisis efisiensi relatif memberikan gambaran yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi kinerja IPAL, tidak hanya berdasarkan tingkat efisiensi, tetapi juga berdasarkan kestabilan kinerja dari waktu ke waktu. Kriteria penilaian efisiensi relatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: nilai 0,90–1,00 dikategorikan sangat baik, 0,75–0,89 dikategorikan baik, dan nilai kurang dari 0,75 dikategorikan cukup.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Efisiensi Relatif IPAL Berdasarkan Penurunan Parameter COD

Bulan (2022)	Efisiensi (%)	Efisiensi Relatif	Kategori
Januari	62,11	0,64	Cukup
Februari	80,43	0,82	Baik
Maret	97,55	1,00	Sangat Baik
April	94,49	0,97	Sangat Baik
Mei	88,49	0,91	Sangat Baik
Juni	86,17	0,88	Baik

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sumber air limbah yang diolah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. X berasal dari berbagai kegiatan produksi, baik produksi utama maupun produksi pendukung, seperti acrylic fiber, AJL, polyester, printing, serta pencelupan. PT. X memiliki tiga unit IPAL dengan kapasitas masing-masing sebesar 3.000 m³/hari, 6.000 m³/hari, dan 28.000 m³/hari yang menerapkan kombinasi pengolahan fisika, kimia, dan biologi sesuai dengan karakteristik air limbah yang diolah. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kinerja IPAL dalam menurunkan parameter pencemar, khususnya COD, berada pada kategori baik hingga sangat baik dengan nilai efisiensi berkisar antara 62,11% hingga 97,55%. Analisis efisiensi relatif menunjukkan bahwa kinerja IPAL cenderung stabil dan konsisten, dengan kondisi optimum terjadi pada bulan Maret. Selain itu, seluruh parameter outlet telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 16 Tahun 2019. Berdasarkan hasil tersebut, disarankan agar PT. X melakukan pemeliharaan dan pengecekan secara berkala terhadap akses menuju unit IPAL guna mendukung kelancaran operasional serta meningkatkan aspek keselamatan kerja.

5. Daftar Pustaka

- [1] T. de S. Pereira and G. Fernandino, "Evaluation of solid waste management sustainability of a coastal municipality from northeastern Brazil," *Ocean Coast. Manag.*, vol. 179, p. 104839, 2019.
- [2] P. Joshi and C. Visvanathan, "Sustainable management practices of food waste in Asia: Technological and policy drivers," *J. Environ. Manage.*, vol. 247, pp. 538–550, 2019.
- [3] S. Das, S.-H. Lee, P. Kumar, K.-H. Kim, S. S. Lee, and S. S. Bhattacharya, "Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 658–678, 2019.
- [4] A. U. Zaman, "A comprehensive review of the development of zero waste management: lessons learned and guidelines," *J. Clean. Prod.*, pp. 1–14, 2014.
- [5] A. A. Babaei, N. Alavi, G. Goudarzi, P. Teymouri, K. Ahmadi, and M. Rafiee, "Household recycling knowledge, attitudes and practices towards solid waste management," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 102, pp. 94–100, 2015.
- [6] K.-G. Tiew, N. E. A. Basri, H. Deng, K. Watanabe, S. M. Zain, and S. Wang, "Comparative study on recycling behaviours between regular recyclers and non regular recyclers in Malaysia," *J. Environ. Manage.*, vol. 237, pp. 255–263, 2019.
- [7] A. Mesjasz-Lech, "Reverse logistics of municipal solid waste – towards zero waste cities," *Transp. Res. Procedia*, vol. 39, pp. 320–332, 2019.
- [8] S. M. H. Erfani, S. Danesh, S. M. Karrabi, M. Gheibi, and S. Nemati, "Statistical analysis of effective variables on the performance of waste storage service using geographical information system and response surface methodology," *J. Environ. Manage.*, vol. 235, pp. 453–462, 2019.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum, *Materi Bidang Sampah I, Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikian Bidang PLP*. Jakarta, Indonesia: Ditjen Cipta Karya, 2013.
- [10] S. F. Pesce and D. A. Wunderlin, "Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River," *Water Res.*, vol. 34, no. 11, pp. 2915–2926, 2000.
- [11] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2014.
- [12] Bappeda Banda Aceh, *Statistik Banda Aceh 2017*. Banda Aceh, Indonesia, 2018.
- [13] DLHK3 Banda Aceh, *Profil DLHK3*. Banda Aceh, Indonesia, 2016.
- [14] G. A. Rahmawati, E. Wardhani, and L. Apriyanti, "Perencanaan instalasi pengolahan air limbah mal X Kota Bandung," *Serambi Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 522–531, 2019.
- [15] R. A. Suhandi and E. Wardhani, "Penghematan Air di Hotel X Kota Batam Provinsi Kepulauan Riau dengan Menerapkan Daur Ulang Air Limbah," *Serambi Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 2051–2058, 2021.