|  |  |
| --- | --- |
| **Envirous**Vol. 5, No. 1, September, 2025, pp. 28-34Halaman Beranda Jurnal: http://envirous.upnjatim.ac.id/e-ISSN 2777-1032 p-ISSN 2777-1040 |  |
|  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Evaluasi Pengolahan Air Limbah Berdasarkan Kualitas Effluent pada IPAL Industri AMDK dan Minuman Isotonik di Jawa Timur**

|  |  |
| --- | --- |
| Muhammad Gilang Firmansyah1, R. Mohammad Alghaf Dienullah1\* |  |
| 1Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa TimurEmail Korespondensi: alghaf.ft@upnjatim.ac.id |

 |  |
| **Diterima:** 15-06-2025**Disetujui:** 25-06-2025**Diterbitkan:** 26-09-2025**Kata Kunci:** Instalasi Pengolahan Air Limbah, Industri AMDK, Limbah Cair, Efisiensi Penyisihan, Kualitas Effluent |  | **ABSTRAK** |
|  |
|  | Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dan minuman isotonik di Jawa Timur menghasilkan limbah cair yang mengandung senyawa organik, padatan tersuspensi, serta nutrien seperti nitrogen dan fosfor. Jika tidak diolah dengan baik, limbah ini dapat mencemari badan air penerima, menyebabkan eutrofikasi, menurunkan kadar oksigen, serta berpotensi membahayakan ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat di sekitar industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri tersebut melalui analisis kualitas efluen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif deskriptif dengan data primer yang diperoleh dari observasi langsung dan pengujian laboratorium terhadap parameter COD, TSS, Total N, Total P, dan pH. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem IPAL memiliki efektivitas pengolahan yang tinggi terhadap sebagian besar parameter. Rata-rata efisiensi penyisihan COD mencapai 94,88%, TSS 99,88%, dan Total N 83,25%, sedangkan Total P menunjukkan efisiensi yang rendah sebesar 17,02%. Nilai pH effluent stabil pada rentang 7,94 hingga 8,19, dan seluruh parameter effluent berada dalam ambang baku mutu sesuai Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem IPAL telah bekerja efektif, sehingga, air limbah tersebut aman apabila dibuang ke badan air. Namun, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap pengendalian fosfat, termasuk kemungkinan penambahan tahapan khusus pengolahan nutrien, guna memastikan efisiensi yang lebih merata pada seluruh parameter.  |
|  |
| ***Received:*** 15-06-2025***Accepted:*** *25-06-2025****Published:*** *26-09-2025****Keywords:****Wastewater Treatment Plant, The Bottled Drinking Water Industry, Liquid Waste, Removal Efficiency, Effluent Quality*  |  | ***ABSTRACT****The Bottled Drinking Water (AMDK) and isotonic beverage industry in East Java produces wastewater containing organic compounds, suspended solids, and nutrients such as nitrogen and phosphorus. If not properly treated, this wastewater can contaminate receiving water bodies, cause eutrophication, reduce dissolved oxygen levels, and potentially harm aquatic ecosystems and public health in surrounding industrial areas. This study aims to evaluate the effectiveness of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) system in the industry by analyzing effluent quality. The research employed a descriptive quantitative method, with primary data obtained through direct observation and laboratory testing of parameters including COD, TSS, Total Nitrogen, Total Phosphorus, and pH. The results indicate that the WWTP system shows high treatment efficiency for most parameters. The average removal efficiency reached 94.88% for COD, 99.88% for TSS, and 83.25% for Total Nitrogen, while Total Phosphorus showed a relatively low efficiency of 17.02%. The effluent pH remained stable within the range of 7.94 to 8.19, and all parameters complied with the quality standards set by East Java Governor Regulation No. 72 of 2013 This study demonstrates that the WWTP system has been operating effectively, therefore the treated wastewater is safe to be discharged into receiving water bodies. However, further evaluation is required for phosphorus control, including the potential addition of specific nutrient removal stages to ensure more consistent treatment efficiency across all parameters.* |
|  |

# PENDAHULUAN

Pertumbuhan sektor industri turut mendorong peningkatan timbulan air limbah dari berbagai aktivitas operasional. Air limbah industri yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menjadi sumber pencemar lingkungan yang serius dan berdampak negatif terhadap ekosistem serta kesehatan manusia (Rosadi et al., 2021). Salah satu contohnya adalah limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dan minuman isotonik. Industri AMDK dan minuman isotonik menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan organik dan parameter pencemar lain yang berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair tersebut umumnya dihasilkan dari proses produksi serta aktivitas domestik di area industri dan memerlukan pengolahan melalui instalasi pengolahan air limbah agar memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku (Zevhiana & Rosariawari, 2023).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) atau *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) merupakan sarana utama dalam menurunkan kadar parameter pencemar pada limbah cair industri. Proses pengolahan dilakukan melalui tahapan fisik, kimia, dan biologis untuk memastikan limbah yang dibuang telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan (Ekoputri et al., 2023). Analisis efektivitas IPAL diperlukan untuk memastikan sistem berjalan optimal. Evaluasi efektivitas kinerja instalasi pengolahan air limbah penting dilaksanakan guna memperbaiki sistem IPAL agar dapat meminimalisir pencemaran air (Anggraini & Aussie, 2024).

Sistem IPAL yang digunakan pada industri ini bersifat aerobik, yang terdiri atas unit *Equalization Tank*, *Cyclic Sequencing Activated Sludge* (CSAS), *Effluent Tank*, dan *Sludge Tank*, yang masing-masing memiliki peran dalam mengurangi beban pencemar secara bertahap. Sistem IPAL yang menggunakan metode lumpur aktif dalam proses aerasi terbukti efektif dalam mendegradasi senyawa organik seperti COD dan TSS (Andika et al., 2020).

Penelitian ini difokuskan pada analisis peninjauan efektivitas penurunan beban pencemar utama seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Potential of Hydrogen* (pH), *Total Amonia* dan *Phosphorus*. Tingkat COD yang tinggi dapat menyebabkan pengurangan oksigen di perairan yang menerima, dan berdampak buruk pada kehidupan akuatik (Muhaimin et al., 2022), berbanding lurus dengan nilai TSS yang tinggi dapat meningkatkan kekeruhan, mengurangi penetrasi cahaya (Muliyadi, 2020). *Total Amonia* dan *Phosphorus* dalam kadar yang tinggi keduanya dapat menyebabkan eutrofikasi dan toksisitas bagi kehidupan akuatik (Hakim et al., 2025).

Hasil dari evaluasi diharapkan dapat memberikan gambaran faktual tentang efektivitas sistem IPAL dalam pengolahan limbah industri dan kontribusinya terhadap pengelolaan lingkungan air secara berkelanjutan. Pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan harus mempertimbangkan aspek kualitas dan kuantitas air, serta mengintegrasikan teknologi dan partisipasi masyarakat untuk menjaga keseimbangan ekosistem air (Wardani & Putra, 2022).

# METODE

Penelitian ini menerapkan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL pada salah satu industri air minum dalam kemasan dan minuman isotonik. Pengumpulan data dilakukan pada periode Maret 2025 dengan fokus analisis selama 10 Hari yang dianggap representatif terhadap kondisi operasional IPAL secara umum. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini sejalan dengan studi Sappewali et al. (2024), yang mengevaluasi efektivitas IPAL industri dengan mengukur parameter COD, TSS, dan pH dari inlet dan outlet secara deskriptif, tanpa memerlukan data jangka panjang untuk menilai performa sistem.

Sumber data yang digunakan meliputi data primer yang didapat dari wawancara dan pengujian laboratorium, serta data sekunder yang didapat dari literatur jurnal terpublikasi. Pengambilan data dilakukan secara harian melalui pengujian laboratorium. Parameter yang diuji meliputi:

1. pH

Pengujian pH dilakukan dengan metode analisis berupa pengukuran langsung menggunakan pH meter digital sesuai dengan (SNI 6989.11-2019) tentang Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Menggunakan pH Meter. Prosedur pengujian dilakukan dengan mencelupkan elektroda ke contoh uji dan dilakukan pembacaan ketika pH meter menunjukkan angka yang stabil.

1. COD

Pengujian COD dilakukan dengan metode spektrofotometri sesuai dengan (SNI 6989.2-2019) tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen demand*/COD) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. Prosedur pengujian dilakukan dengan mencampurkan contoh uji dengan dengan pereaksi asam sulfat dalam ampul, lalu dipanaskan pada suhu 150 ℃ selama 2 jam dan dilakukan pembacaan dengan Spektrofotometri.

1. TSS

Pengujian TSS dilakukan dengan metode gravimetri sesuai dengan (SNI 6989.3-2019) tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (*Total Suspended Solids*, TSS) Secara Gravimetri. Prosedur pengujian dilakukan dengan mengeringkan media penyaring pada oven selama 1 jam dengan suhu 105 ℃, kemudian membandingan berat kosong awal dan berat setelah diberi sampel.

1. Total P

Pengujian *Total Phosphorus* dalam bentuk Ortofosfat dilakukan dengan metode spektrofotometri sesuai dengan (SNI 6989.31-2021) tentang Cara Uji Kadar Ortofosfat Dan Total Fosfor Menggunakan Spektrofotometer Dengan Reduksi Asam Askorbat. Prosedur pengujian dilakukan dengan analisa contoh uji yang sudah ditambahkan dengan reagen pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 880 nm.

1. Total N

Pengujian Total Nitrogen dalam bentuk Amonia dilakukan dengan metode spektrofotometri sesuai dengan (SNI 6989.30-2005) tentang Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat.. Prosedur pengujian dilakukan dengan analisa contoh uji yang sudah ditambah reagen, dan dilakukan pembacaan pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 640 nm.

Pengujian dilakukan pada tiga titik utama yakni *Equalization Tank*, CSAS *Tank*, serta *Effluent Tank.* Hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk menghitung efisiensi penyisihan menggunakan rumus efisiensi pengolahan. (H.M. Soeparman; Suparmin., 2001) mengemukakan formula umum yang dipergunakan dalam mengkalkulasikan efektivitas pengolahan antara lain:



Keterangan:

E = Efektivitas pengolahan air limbah (%)

S0 = Konsentrasi parameter yang diukur di Inlet (mg/L)

S = Konsentrasi parameter yang diukur di Outlet (mg/L)

Efektivitas pengolahan air limbah mengacu pada kriteria Soeparman dan Suparmin (2001), dapat diamati pada tabel 1 di bawah ini

**Tabel 1.** Kriteria Efektivitas Pengolahan Air Limbah

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No.** | **Nilai Persentase Efektivitas** | **Keterangan** |
| 1 | X > 80% | Sangat Efektif |
| 2 | 60% < X ≤ 80% | Efektif |
| 3 | 40% X ≤ 60% | Cukup Efektif |
| 4 | 20% < X ≤ 40% | Kurang Efektif |
| 5 | X ≤ 20% | Tidak Efektif |

*\*Soeparman dan Suparmin (2001)*

Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data hasil uji laboratorium dari beberapa titik dalam sistem WWTP dan membandingkannya dengan baku mutu air limbah industri sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

**3.1 Sistem Pengolahan Limbah Cair Industri**

Sistem pengolahan air limbah (IPAL) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sistem aerobik penuh dengan pendekatan CSAS. Proses pengolahan terdiri atas beberapa unit utama yang berfungsi secara berurutan untuk menurunkan beban pencemar dari limbah cair hasil produksi air minum dalam kemasan dan minuman isotonik. Unit-unit utama tersebut meliputi *Pump Pit*, *Equalization Tank*, CSAS *Tank*, *Effluent Tank*, serta *Sludge Tank*. Alur sistem pengolahan sebagai berikut:



**Gambar 1.** Diagram Alur Proses Pengolahan Limbah

1. *Pump* *Pit* *Area*

*Pump Pit Area* merupakan unit penampungan awal air limbah yang bersifat pasif atau tidak ada proses pengolahan signifikan yang berlangsung. Air limbah dari berbagai sumber produksi dan pengolahan bahan baku dikumpulkan sementara di unit ini sebelum dialirkan ke unit pengolahan selanjutnya. Fungsi utamanya semata sebagai *buffer zone* untuk menstabilkan debit masuk ke *Equalization Tank*.

1. *Equalization* *Tank*

*Equalization Tank* (bak penyeimbang) berfungsi menghomogenkan beban pencemar dari limbah, baik dari segi konsentrasi maupun debit aliran. Aerasi digunakan untuk menjaga kestabilan limbah dan mencegah proses anaerob yang dapat menyebabkan bau. Limbah dari *Equalization Tank* dialirkan menuju CSAS *Tank* menggunakan pompa dosing yang bekerja berdasarkan pengaturan panel waktu.

1. CSAS *Tank*

CSAS *Tank* merupakan inti dari proses pengolahan biologis yang menggunakan sistem lumpur aktif. Proses aerasi dilakukan secara terus-menerus menggunakan *diffuser* dengan suplai udara dari kompresor. Proses ini memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme aerobik yang berperan dalam mendegradasi senyawa organik. Pada waktu tertentu, proses *settling* dan *decanting* dilakukan untuk memisahkan air limbah yang telah diolah dari bagian lumpur aktif di dasar bak.

1. *Effluent* *Tank*

Air hasil decant dari CSAS *Tank* dialirkan menuju *Effluent Tank*, yang berfungsi sebagai unit penampungan akhir. Air dari bak ini kemudian dibuang ke bak kontrol dan badan air penerima setelah dilakukan pengujian parameter kualitas.

1. *Sludge* *Tank*

Lumpur aktif pada CSAS *Tank* akan dipompa secara berkala menuju *Sludge Tank* berdasarkan pemantauan efektivitas penurunan COD *effluent*, dan batas rentang TSS agar tidak mengganggu kinerja *blowing* aerasi, sisa lumpur yang diambil dibuang sebagai *excess sludge*.

**3.2 Baku Mutu Air LImbah**

Evaluasi kualitas air limbah pada penelitian ini mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya, yang menetapkan baku mutu air limbah untuk kegiatan industri lain dengan penerima badan air golongan 1 atau air limbah yang dibuang ke badan air penerima kelas I, II, III, dan Air Laut. Parameter yang dianalisis meliputi pH, suhu, COD, TSS, Total Nitrogen (Total N) dalam bentuk Amonia, dan Total Phosphorus (Total P) dalam bentuk Ortofosfat.

**Tabel 2.** Baku Mutu Pergub Jatim No. 72/2013

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Parameter | Satuan | Baku Mutu (Pergub Jatim No. 72/2013) |
| pH | – | 6–9 |
| COD | mg/L | 100 |
| TSS | mg/L | 30 |
| Total N | mg/L | 1 |
| Total P | Mg/L | – |

**3.3 Hasil Pengujian Parameter Kualitas Limbah**

Pengamatan terhadap kualitas air limbah dilakukan selama sepuluh hari pengambilan sampel pada tiga titik utama di sistem IPAL, yaitu *Equalization Tank*, CSAS *Tank*, dan *Effluent Tank*. Data pengujian disajikan dalam bentuk tabel per parameter untuk menunjukkan variasi konsentrasi harian pada masing-masing unit pengolahan. Nilai-nilai tersebut menjadi dasar dalam menilai efektivitas pengolahan dalam menurunkan beban pencemar, serta digunakan untuk menghitung efisiensi penyisihan berdasarkan perbandingan konsentrasi inlet dan outlet.

Parameter yang dianalisis meliputi pH, merupakan derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan dengan rentang pH dari 0 yang merupakan asam kuat sampai 14 yang termasuk basa kuat (Darmawan et al., 2023). COD yaitu jumlah oksigen kimiawi yang diperlukan untuk mengoksidasi zat organik dalam air limbah (Harahap et al., 2022). TSS merupakan zat padat yang tidak larut dalam limbah cair (Hermansyah et al., 2024). *Total Nitrogen* yaitu kandungan nitrogen yang umumnya berasal dari amonia (NH3) dan urea (NH2)2CO, yang dapat diubah menjadi amonia melalui proses enzimatik. dan *Total Phosphorus* dalam bentuk fosfat (PO43-) sebagai bentuk dominan yang berkontribusi pada eutrofikasi badan air jika tidak diolah dengan baik (Zulfikar Luthfi et al., 2023).

**Tabel 3.** Hasil Pengujian pH

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Hari | Equalization Tank (mg/L) | CSAS (mg/L) | Effluent (mg/L) |
| 1 | 11,76 | 7,7 | 8,02 |
| 2 | 10,66 | 7,55 | 8,1 |
| 3 | 9,29 | 7,41 | 8,05 |
| 4 | 5,07 | 7,82 | 8,19 |
| 5 | 5,46 | 7,46 | 8,17 |
| 6 | 4,52 | 7,28 | 8,11 |
| 7 | 4,27 | 6,87 | 7,94 |
| 8 | 11,32 | 7,44 | 8,1 |
| 9 | 9,79 | 7,62 | 8,1 |
| 10 | 6,52 | 7,27 | 8,12 |

**Tabel 4.** Hasil Pengujian COD

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Hari | Equalization Tank (mg/L) | CSAS (mg/L) | Effluent (mg/L) |
| 1 | 170 | 53 | 58 |
| 2 | 510 | 44 | 30 |
| 3 | 570 | 55 | 24 |
| 4 | 4750 | 46 | 24 |
| 5 | 6030 | 55 | 23 |
| 6 | 6090 | 58 | 28 |
| 7 | 14070 | 191 | 95 |
| 8 | 750 | 53 | 13 |
| 9 | 940 | 40 | 23 |
| 10 | 5220 | 60 | 42 |

**Tabel 5.** Hasil Pengujian TSS

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Hari | CSAS (mg/L) | Effluent (mg/L) |
| 1 | 8780 | 9 |
| 2 | 9200 | 10 |
| 3 | 8140 | 20 |
| 4 | 7840 | 9 |
| 5 | 8450 | 3 |
| 6 | 9440 | 7 |
| 7 | 8500 | 9 |
| 8 | 11380 | 35 |
| 9 | 11820 | 7 |
| 10 | 11330 | 6 |

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Total N

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Hari | CSAS (mg/L) | Effluent (mg/L) |
| 1 | 0,07 | 0,05 |
| 2 | 0,24 | 0 |
| 3 | 0,2 | 0,02 |
| 4 | 0,03 | 0 |
| 5 | 0,08 | 0 |
| 6 | 0,03 | 0,1 |
| 7 | 0,03 | 0 |
| 8 | 0,27 | 0,05 |
| 9 | 0,15 | 0,03 |
| 10 | 0,07 | 0,01 |

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Total P

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Hari | CSAS (mg/L) | Effluent (mg/L) |
| 1 | 0,61 | 0,54 |
| 2 | 0,4 | 0,37 |
| 3 | 0,57 | 0,48 |
| 4 | 0,86 | 0,35 |
| 5 | 0,63 | 0,59 |
| 6 | 0,59 | 0,57 |
| 7 | 0,32 | 0,24 |
| 8 | 0,91 | 0,81 |
| 9 | 0,73 | 0,5 |
| 10 | 0,59 | 0,56 |

**3.4 Analisis Efisiensi Penyisihan Parameter**

Setiap instalasi pengolahan air limbah (IPAL) memiliki efektivitas yang berbeda dalam menghilangkan parameter pencemar dari limbah cair industri. Persentase efisiensi penghilangan ini digunakan untuk mengukur kemampuan suatu unit atau IPAL dalam mengurangi kadar polutan dalam air limbah (Quraini et al., 2022).

Berdasarkan hasil pengujian parameter utama selama sepuluh hari pengamatan. Evaluasi efisiensi penyisihan dilakukan berdasarkan penurunan konsentrasi parameter utama dari CSAS *Tank* ke *Effluent Tank*, mengingat pengujian pada unit *Equalization Tank* untuk beberapa parameter tidak dilakukan secara rutin oleh industri.

Berikut merupakan tren efisiensi dan analisa hasil pengolahan limbah selama 10 hari pada masing-masing parameter limbah:



**Gambar 2.** Tren Efisiensi Pengolahan Limbah

1. COD

Efisiensi pengolahan COD selama sepuluh hari pengamatan menunjukkan performa yang sangat baik. Nilai COD awal di *Equalization Tank* berkisar antara 170 hingga 14.070 mg/L, sementara nilai di *effluent* berhasil ditekan hingga 13–95 mg/L. Rata-rata efisiensi penyisihan COD mencapai 94,88%, dengan sebagian besar hari mencatat efisiensi di atas 98%. Nilai *effluent* juga secara umum telah memenuhi baku mutu (≤100 mg/L). Hasil ini menunjukkan bahwa proses biologis pada sistem WWTP bekerja sangat efektif dalam mereduksi beban bahan organik dari air limbah menurut kriteria Soeparman dan Suparmin.

1. TSS

TSS merupakan parameter yang dipantau mulai dari CSAS *Tank* karena air limbah yang masuk ke sistem umumnya berasal dari proses produksi cair, sehingga konsentrasi TSS di *Equalization* rendah dan tidak diuji. Konsentrasi TSS di CSAS sangat tinggi akibat bercampurnya air limbah dengan lumpur aktif, mencapai 7.840–11.820 mg/L. Setelah proses penyisihan, nilai TSS pada *effluent* turun drastis menjadi 3–35 mg/L. Rata-rata efisiensi penyisihan mencapai 99,88%, dengan hasil *effluent* sebagian besar berada di bawah baku mutu 30 mg/L. Hal ini menandakan bahwa proses pemisahan padatan akhir bekerja sangat efektif menurut kriteria Soeparman dan Suparmin.

1. Total Nitrogen

Konsentrasi Total N dalam bentuk Amonia pada CSAS berkisar 0,03–0,27 mg/L, sementara pada *effluent* menurun menjadi 0–0,1 mg/L. Rata-rata efisiensi penyisihan sebesar 83,25%, dengan sebagian besar penurunan per-hari terjadi secara konsisten di atas 80%, dan nilai *effluent* selalu jauh di bawah baku mutu 1 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa proses nitrifikasi dan denitrifikasi berlangsung sangat efektif menurut kriteria Soeparman dan Suparmin. Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dalam limbah berhasil ditangani dengan baik oleh proses biologis.

1. Total Phosphorus

Berbeda dengan parameter lainnya, efisiensi pengolahan Total P dalam bentuk Ortofosfat pada *Effluent* berkisar 0,24–0,81 mg/L dengan nilai rata-rata efisiensi penyisihan berada di angka 17,64% menunjukkan tren yang kurang stabil dan cenderung rendah pada sebagian besar hari. Angka tersebut berada dalam kriteria pengolahan yang tidak efektif menurut Soeparman dan Suparmin. Penghilangan fosfat dengan proses biologis pada limbah industri sering kali tidak stabil dengan efisiensi yang berfluktuasi (Azalia & Hendrasarie, 2022), Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh senyawa fosfat yang ada dalam air limbah dan fosfor yang dikeluarkan oleh biomassa mikroorganisme diserap kembali oleh biomassa dalam fase reaksi aerobik (Said, 2017). Meskipun secara absolut kandungan fosfor tidak diatur spesifik pada baku mutu Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013, fluktuasi ini menandakan perlunya kajian lebih lanjut terhadap kontrol kondisi biologis.

1. pH dan Kestabilan Proses

Nilai pH pada *Equalization Tank* awalnya sangat bervariasi antara 4,27 hingga 11,76, namun setelah melalui proses pengolahan, nilai pH *effluent* berhasil distabilkan dalam rentang 7,94 hingga 8,19. Semua hasil pengujian *effluent* berada dalam baku mutu pH (6–9). Stabilitas pH ini sangat penting untuk menjaga efektivitas proses biologis dan mencegah gangguan aktivitas mikroorganisme pengurai, pH yang optimal dikaitkan dengan aktivitas mikroorganisme yang maksimal dalam proses lumpur aktif (Hutabarat et al., 2023).

**4. SIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengamatan selama sepuluh hari terhadap sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri air minum dalam kemasan dan minuman isotonik di Jawa Timur, hasil pengolahan menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan tergolong sangat efektif dengan rata-rata efisiensi tertinggi dicapai pada parameter TSS dan COD, masing-masing dengan rata-rata efisiensi sebesar 99,88% dan 94,88%. Parameter Total Nitrogen (Total N) juga menunjukkan performa yang baik dengan rata-rata efisiensi 83,25%, sedangkan Total Phosphorus (Total P) memperlihatkan tren yang tidak stabil dengan rata-rata efisiensi yang cukup rendah sebesar 17,64%, menandakan kemungkinan pelepasan kembali fosfat dari biomassa. Nilai pH *effluent* berada dalam rentang 7,94–8,19 menunjukkan kestabilan kondisi proses biologis. Secara keseluruhan, sistem IPAL yang digunakan telah menunjukkan kinerja yang efektif dan stabil dalam mengolah air limbah dengan hasil akhir *effluent* yang sebagian besar telah memenuhi baku mutu berdasarkan Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Meskipun demikian, perlunya evaluasi lebih lanjut pada pengendalian fosfat untuk meningkatkan kualitas *effluent* secara menyeluruh seperti optimalisasi proses biologis atau penambahan tahapan khusus pengolahan nutrien.

**DAFTAR PUSTAKA**

Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan Nilai BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, *2*(1), 14–22. https://ejurnalunsam.id/index.php/JQ

Anggraini, E. R., & Aussie, A. (2024). Evaluasi Efektivitas Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Terhadap Effluent Limbah Cair Industri PT X. *Jurnal Serambi Engineering*, *9*(2), 9132–9137.

Azalia, A. T., & Hendrasarie, N. (2022). Wastewater Treatment of Npk Fertilizer Industry Using. *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology.*, *09*(02), 83–90.

Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 6989.30-2005, Air dan air limbah Bagian 30: Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat*. Scribd. https://www.scribd.com/document/245704665/SNI-06-6989-30-2005

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 6989.11-2019, Air Dan Air Limbah Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (PH) Dengan Menggunakan PH Meter*. Scribd. https://www.scribd.com/document/742124466/2-SNI-6989-11-2019-tentang-Air-dan-Air-Limbah-Bagian-11-Cara-uji-derajat-keasaman-pH-dengan-menggunakan-pH-meter?\_gl=1\*1lx35za\*\_gcl\_au\*MTQ5MzQyNDUwMS4xNzQ3NDkxMDg5LjY0OTQzMDQ2NS4xNzQ3ODg1MzYyLjE3NDc4ODUzNjE.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 6989.2-2019, Air Dan Air Limbah Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen demand/COD) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri*. Scribd. https://www.scribd.com/document/743671139/10-SNI-6989-2-2019-tentang-Air-dan-Air-Limbah-Bagian-2-Cara-uji-kebutuhan-oksigen-kimiawi-chemical-oxygen-demandCOD-dengan-refluks-tertutup-secar

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 6989.3-2019, Air Dan Air Limbah Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids, TSS) Secara Gravimetri*. Scribd. https://www.scribd.com/document/743666941/7-SNI-6989-3-2019-tentang-Air-dan-Air-Limbah-Bagian-3-Cara-uji-padatan-tersuspensi-total-total-suspended-solids-TSS-secara-gravimetri?\_gl=1\*1i44ahq\*\_gcl\_au\*MTQ5MzQyNDUwMS4xNzQ3NDkxMDg5LjY0OTQzMDQ2NS4xNzQ3ODg1MzYyL

Badan Standardisasi Nasional. (2021). *SNI 6989.31-2021, Air dan air limbah Bagian 31: Cara uji kadar ortofosfat dan total fosfor menggunakan spektrofotometer dengan reduksi asam askorbat*. Scribd. https://www.scribd.com/document/558055418/SNI-6989-31-2021-Cara-Uji-Ortofosfat-Dan-Total-Fosfor-Menggunakan-Spektrofotometer-Dgn-Reduksi-Asam-Askorbat

Darmawan, A., Siagian, R. A., Riyadi, S., & Wakidah, R. N. (2023). Simulasi Software PLC Dan HMI SIEMENS TIA Portal Pada Proses Netralisasi pH Air Limbah. *Jurnal Tecnoscienza*, *8*(1), 145–156.

Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). PengEkoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. Jurnal Serambi Engineering, 9(1), 7781–7787. https://doi.org/10.32672/jse. *Jurnal Serambi Engineering*, *9*(1), 7781–7787.

H.M. Soeparman; Suparmin. (2001). *Pembuangan tinja dan limbah cair: suatu pengantar - Soeparman - Google Books*. Buku Kedokteran EGC. https://books.google.co.id/books?id=UuHyLv3yn\_UC&printsec=frontcover&source=gbs\_ge\_summary\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Hakim, L., Rahayu, A., Jamilatun, S., Sisca, V., & Fajri, J. A. (2025). Integrating ammonium-based polymer with phytoremediation for phosphate and chemical oxygen demand reduction in palm oil mill effluent. *Journal of Ecological Engineering*, *26*(1), 46–58. https://doi.org/10.12911/22998993/195213

Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2022). Analisis Kadar Cod (Chemical Oxygen Demand) Dan Tss (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Dengan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Amina*, *2*(2), 79–83. https://doi.org/10.22373/amina.v2i2.772

Hermansyah, M. H., Panca Putri, Y., Arif Setiawan, A., Eddy, S., Jumingin, J., & Saputra, W. (2024). Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) Pada Sampel Air Limbah Sawit Secara Gravimetri. *Environmental Science Journal (Esjo) : Jurnal Ilmu Lingkungan*, *05*, 27–33. https://doi.org/10.31851/esjo.v2i2.15828

Hutabarat, D. M., Witasari, W. S., & Baskoro, R. (2023). Pengaruh Jenis Koagulan Dan Variasi Ph Terhadap Kualitas Limbah Cair Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pt Kawasan Industri Intiland. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, *8*(3), 588–594. https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.464

Muhaimin, M., Prayoga, R. A., & Eniati, E. (2022). Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) Concentration in Domestic Wastewater Using UV-Vis Spectrophotometry Method Based On The Effect Of Reflux Time And Preservation Time. *Stannum : Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, *4*(1), 13–18. https://doi.org/10.33019/jstk.v4i1.2866

Muliyadi, M. (2020). The Effectiveness Comparison of Type of Treatments in Decreasing of Total Dissolved Solid (TDS) and Total Suspended Solid (TSS) in Household Wastewater. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, *11*(3), 2164. https://doi.org/10.37506/IJPHRD.V11I3.2572

Quraini, N., Busyairi, M., & Adnan, F. (2022). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Komunal Berbasis Masyarakat Kelurahan Masjid Samarinda Seberang. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, *6*(1), 1. https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v6i1.7231

Rosadi, S. N. S., Mutiari, D., Yuliarahma, T., & Madania, A. A. (2021). Pemanfaatan Air Bekas Cuci Piring Sebagai Pengganti Air Bersih Untuk Penyiraman Tanaman Di Edupark Gemolong. *Simposium Nasional RAPI*, *1*, 263–267. https://proceedings.ums.ac.id/index.php/rapi/article/view/170

Said, I. (2017). *Said: Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi - Google Scholar*. Erlangga. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as\_sdt=0,5&cluster=14365799029016621358

Sappewali; Sukmawati; C. Selry; Sitti Aminah. (2024). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah ( IPAL ) Industri Berdasarkan Parameter Chemical Oxygen Demand , Total Solid Suspended dan Derajat*. *15*(1), 58–64.

Wardani, A. M. C., & Putra, C. (2022). INOVASI MANAJEMEN AIR BERKELANJUTAN PADA PENGEMBANGAN KAWASAN DI INDONESIA. *Widya Teknik*, *17*(01), 35–42. https://doi.org/10.32795/WIDYATEKNIK.V17I01.2974

Zevhiana, A. A., & Rosariawari, F. (2023). Upaya Pengolahan Dan Pemanfaatan Air Limbah Domestik Pada Industri AMDK Dan Beverages Efforts To Treatment And Utilize Domestic Wastewater In The AMDK And Beverages Industry. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia Dan Ilmu Lingkungan*, *1*(2), 36–46.

Zulfikar Luthfi, M., Setiadi, T., & Nurry, D. F. (2023). Removal of Ammonium and Phosphate from Synthetic Wastewater of Complex Fertilizer Industry Through Struvite Crystallization Process. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, *14*(2), 23–32. https://doi.org/10.21771/jrtppi.2023.v14.no2.p23-32