|  |  |
| --- | --- |
| **Envirous**Vol. 6, No.1, September, 2025, pp. 35 - 40Halaman Beranda Jurnal: http://envirous.upnjatim.ac.id/e-ISSN 2777-1032 p-ISSN 2777-1040 |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Evaluasi Kinerja *Primary clarifier* di IPAL PT.X dalam Pengolahan Limbah Cair Kertas : Analisis Masalah Sludge** |  |
|  |  |
| Fedora Talitha Octa Purnamasari1\*, Muhammad Abdus Salam Jawwad1 |  |
|  |  |
| 1 Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur |  |
| Email Korespondensi : muhammad.abdus.tl@upnjatim.ac.id  |  |
|  |  |
| **Diterima:** 10-06-2025**Disetujui:** 25-06-2025**Diterbitkan:** 26-09-2025**Kata Kunci:** instalansi pengolahan air limbah, primary clarifier, limbah cair industri kertas, *Total Suspended Solids* (TSS), efisiensi pengendapan  |  | **ABSTRAK** |
|  |
|  | *Primary clarifier* merupakan salah satu unit penting dalam sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang berfungsi untuk memisahkan padatan tersuspensi dari limbah cair sebelum memasuki tahap pengolahan lanjutan. Pada IPAL PT.X, yang bergerak di sektor industri kertas, ditemukan permasalahan berupa sludge yang tidak mengendap secara sempurna dan terbawa ke aliran overflow. Kondisi ini menyebabkan peningkatan beban pada unit berikutnya dan menurunkan efisiensi keseluruhan proses pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja *primary clarifier* dalam menurunkan kadar *Total Suspended Solids* (TSS) dalam air limbah. Metode yang digunakan yaitu menganalisis bangunan *primary clarifier*, kecepatan pengendapan, waktu tinggal dan persen reduksi TSS. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa efisiensi penurunan TSS di IPAL PT.X sudah sangat efisien dengan rata-rata persen reduksi TSS per harinya 84%. Tinggi rendahnya reduksi TSS dipengaruhi oleh beban pencemar, kecepatan aliran, dan efektifitas proses koagulasi – flokulasi. Rekomendasi perbaikan teknis dapat diberikan untuk meningkatkan performa *primary clarifier* dan mendukung sistem pengolahan limbah yang lebih efektif dan berkelanjutan*.* |
|  |
| ***Received:*** *10-06-2025****Accepted:*** *25-06-2025****Published:*** *26-09-2025****Keywords:****wastewater treatment plant***,** *primary clarifier , paper mill wastewater, Total Suspended Solids (*TSS*), sedimentation efficiency*  |  | ***ABSTRACT****The primary clarifier is an important unit in the Wastewater Treatment Plant (WWTP) system that separates suspended solids from liquid waste before entering the advanced treatment stage. In the WWTP of PT.X, which operates in the paper industry sector, a problem was found where sludge does not settle properly and is carried into the overflow stream. This condition leads to an increased load on the subsequent unit and decreases the overall efficiency of the treatment process. This research aims to evaluate the performance of the primary clarifier in reducing the Total Suspended Solids (TSS) concentration in the wastewater. The methods used involve analyzing the structure of the primary clarifier, sedimentation velocity, retention time, and percentage reduction of TSS. The evaluation results show that the TSS reduction efficiency at WWTP of PT.X is already very efficient, with an average daily percentage reduction of TSS at 84%. The extent of TSS reduction is influenced by pollutant load, flow rate, and the effectiveness of the coagulation-flocculation process. Recommendations for technical improvements can be provided to enhance the performance of the primary clarifier and support a more effective and sustainable wastewater treatment system.* |
|  |

# PENDAHULUAN

Industri kertas merupakan salah satu sektor penghasil limbah cair terbesar dengan kandungan pencemaran yang tinggi, seperti bahan organik, padatan tersuspensi (TSS), dan senyawa kimia. (Sutaryo et al., 2022). Untuk mencegah pencemaran lingkungan, air limbah harus diolah terlebih dahulu melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar air limbah yang dihasilkan memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air. (Wahyuni, 2018). **Limbah cair industri** berupa air buangan yang dihasilakan dari kegiatan atau proses produksi di industri yang mengandung berbagai zat pencemar seperti bahan kimia, logam berat, minyak, zat organik, maupun padatan tersuspensi, tergantung pada jenis industi dan bahan baku untuk produksinya. (Tchobanoglous et al., 2016).

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah sistem yang dirancang untuk mengolah air limbah agar kandungan polutan di dalamnya, seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan bahan berbahaya lainnya dapat dikurangi atau dihilangkan. (Qasyim, 2016). Tujuan utama dirancangnya sebuah IPAL adalah memastikan bahwa air limbah yang dihasilkan oleh kegiatan domestik maupun industri tidak mencemari lingkungan saat dibuang ke badan air atau tanah. (Bajpai, 2015).

Dengan pengolahan yang tepat, air limbah yang telah melalui proses IPAL akan memenuhi baku mutu air limbah yang telah ditetapkan oleh pemerintah. **(Nurhayati & Handayani, 2020). Baku mutu** adalah batas atau kadar maksimal suatu zat pencemar yang diperbolehkan berada dalam lingkungan (seperti air, udara, atau tanah) agar tidak membahayakan kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. (Pemerintah Republik Indonesia, 2021)

IPAL PT.X termasuk IPAL terintegrasi, yaitu sistem pengolahan air limbah dari berbagai sumber secara terpadu dan terpusat di satu tempat. (Sudarsono, 2016). Air limbah yang diolah di IPAL PT.X berasal dari limbah produksi kertas, limbah domestik (kamar mandi) dan limbah utility atau kegiatan penunjang yaitu *Power Plant* (PWP). Air limbah tersebut mengandung berbagai jenis kontaminan, seperti senyawa organik, logam berat, nutrien berlebih seperti nitrogen dan fosfat, serta mikroorganisme pathogen. (Sudarsono, 2016). Dengan memahami karakteristik air limbah yang diolah dapat menentukan metode pengolahan yang akan digunakan, sehingga terbentuklah sistem IPAL yang dapat mengolah limbah secara efisien dan mengurangi risiko pencemaran lingkungan. (Qasyim, 2016). Di IPAL PT.X terdapat beberapa unit pengolahan seperti bar screen, ekualisasi, reaktor aduk cepat lambat, primary clarifiier, bak produk, thickener, aerasi, secondary clarifier, bak effluent dan belt press. Dari beberapa unit tersebut *Primary clarifier* merupakan unit yang memiliki peran paling penting karena pengendapan awal dalam tahap awal pengolahan air limbah terjadi disini. (Nurhayati & Handayani, 2020)

Prinsip utama kerja *primary clarifier* adalah mengurangi beban pencemar dalam air limbah sehingga dapat memudahkan proses pengolahan di unit selanjutnya. *Primary clarifier* berfungsi untuk menghilangkan padatan tersuspensi (TSS) melalui proses sedimentasi gravitasi. (Wang et al., 2017). Maka dari itu kinerja *primary clarifier* harus maksimal agar hasil pengolahannya dapat memenuhi baku mutu. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja *primary clarifier* seperti debit aliran, waktu tinggal (detention time), dosis bahan kimia, serta kapasitas dan desain tangki. (Zhang et al., 2019).

Berdasarkan pengamatan di IPAL PT.X, ditemukan masalah pada unit *primary clarifier* yaitu sludge tidak mengendap dengan sempurna, sehingga sebagian terbawa ke saluran overflow yang menyebabkan penambahan beban kerja di unit berikutnya. Jika kondisi ini terus dibiarkan dapat menyebabkan efisiensi kinerja IPAL di PT.X secara keseluruhan menurun dan memperbesar risiko pencemaran lingkungan, karena air yang dihasilkan dari proses IPAL tidak memenuhi baku mutu. (International Energy Agency, 2021).

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *primary clarifier* terhadap efisiensi pengurangan TSS dengan menganalisis demensi bangunan, kecepatan pengendapan, waktu tinggal dan persen reduksi TSS. Diharapkan hasil dari evaluasi dapat dijadikan sebagai perbaikan untuk meningkatkan efektivitas sistem operasional pengolahan air limbah di PT.X.

1. **METODE**

Metode pengamatan dilakukan dengan cara mengevaluasi efektivitas kinerja unit *primary clarifier* pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT.X dalam menurunkan kadar *Total Suspended Solids* (TSS) dari air limbah yang diolah. Pengumpulan data pengamatan dilakukan dengan cara observasi lapangan, dokumentasi, dan tanya jawab dengan pedamping di tempat magang. Pengumpulan data yang dilakukan meliputi sumber dan karakteristik air limbah yang diolah, sistem kerja primary clarifier, dimensi bangunan, debit aliran air limbah, waktu tinggal, serta hasil analisis persen reduksi *Total Suspended Solids* (TSS). Pengumpulan data hasil persen reduksi TSS dilakukan selama satu bulan dengan pengambilan sampel dari bak ekualisasi sebagai inlet dan bak produk sebagai outlet dari *primary clarifier*. Alat pembantu lainnya yang digunakan untuk mengukur kadar TSS dalam air limbah adalah *Spektrofotometer*. Penelitian dilakukan dengan menganalisis data yang diperoleh, baik dari data yang tercatat maupun data operasional yang mencerminkan kondisi nyata lapangan, untuk mengetahui faktor utama penyebab masalah di *primary clraifier*.

1. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

*Primary clarifier* adalah unit proses pengendapan pertama dalam pengolahan air limbah yang menggabungkan proses kimia (flokulasi, koagulasi) dan proses fisika (sedimentasi gravitasi) pada satu unit bangunan. (Sudarsono, 2016). *Primary clarifier* berfungsi untuk mengurangi kandungan *Total Suspended Solids* (TSS) yang tinggi sehingga hasil dari pengolahannya sudah memiliki kadar TSS yang sesuai dengan baku mutu. (Hasanah & Sari, 2021).

Terdapat dua jenis bentuk bangunan *primary clarifier* yang digunakan dalam proses pengolahan air limbah, yaitu persegi panjang dan lingkaran yang setiap jenis bentuk bangunan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. *Primary clarifier* berbentuk lingkaran lebih sering digunakan daripada *primary clarifier* berbentuk persegi panjang, karena dapat membantu efisiensi aliran air, membutuhkan lahan yang sedikit, sistem pengikisan sedimennya sederhana, serta biaya konstruksi yang lebih murah daripada persegi panjang. (Hidayat & Sugiarto, 2017). Oleh sebab itu, IPAL PT.X memilihi bangunan *primay clarifier* berbentuk lingkaran karena lebih efektif dan efisien untuk mengolah besarnya debit air limbah setiap harinya.



Cara kerja *primay clarifier* di IPAL PT.X adalah air limbah dari unit reaktor aduk cepat lambat dialirkan ke *primary clarifier* untuk proses sedimetasi secara gravitasi. Pada unit reaktor aduk cepat lambat terjadi penambahan bahan kimia berjenis koagulan organik dan koagulan anorganik yang berfungsi untuk membantu proses flokulasi dan koagulasi. Hasil dari proses pengolahan di unit *primary clarifier* berupa air (*overflow*) yang dialirkan ke bak produk, sedangkan sludge (*underflow*) dialirkan ke thickener untuk proses pengolahan selanjutnya. Air yang masuk ke bak produk akan dialirkan ke bak aerasi, sedangkan sludge di thickener akan dipompa ke *secondary clarifier* untuk proses pengendapan ke selanjutnya.

**3.1 Dimensi Bangunan**

 Dimensi bangunan adalah karakteristik terukur atau desain dari suatu objek atau struktur bangunan, seperti panjang, lebar, tinggi, kedalaman, dan ketebalan. Dimensi bangunan IPAL bervariasi tergantung pada kapasitas pengolahan dan jenis teknologi yang digunakan. Setiap unit bangunan IPAL memiliki kriteria desain masing-masing, menurut (Tchobanoglous et al., 2016) dan juga didukung oleh (American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), 2017) kriteria desain yang sesuai untuk unit *primary clarifier* adalah sebagai berikurt :

**Tabel 1.** Desain Primary Clarifier

|  |  |
| --- | --- |
| **Parameter** | **Rekomendasi Umum** |
| Detention Time (Waktu tinggal) | 1,5 – 2,5 jam |
| Kecepatan Pengendapan | 7,2 – 32 m/hari |
| Surface Loading Rate (Laju permukaan) | 15 – 40 m³/m²/hari  |
| Average flow (Rata – rata laju aliran) | 30 – 50 m³/m²/hari |
| Peak flow (Laju aliran puncak) | 80 – 120 m³/m²/hari |
| Efficiency (TSS removal) | 50–70% |
| Efficiency (BOD removal) | 25–40% |
| Diameter  | 12 – 50 meter |
| Depth (Kedalaman) | 3 – 5 meter |
| Freeboard (Batas Permukaan Air) | 0,3 – 1,2 meter |
| Side Water Depth | Min. 3 meter |
| Sludge Storage Zone | Tambahan 0,9 – 1,5 meter |

Setelah dilakukan pengamatan, didapatkan desain bangunan *primary clarifier* di IPAL PT.X pada tabel berikut :

**Tabel 2.** Desain *Primary clarifier* IPAL PT.X

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Kriteria** | **Eksisting** | **Standar** | **Ket.** |
| Waktu tinggal  | 2,59 jam | 1,5 – 2,5 jam | Sesuai |
| Diameter | 17 meter | 3 – 60 meter | Sesuai |
| Depth  | 4,9 meter | 3 – 5 meter | Sesuai |
| Freeboard  | 0,9 meter | 0,3 – 1 meter | Sesuai |
| Side Water Depth | 4 meter | Min. 3 meter | Sesuai |
| Sludge Storage Zone | 0,9 meter | 0,9 – 1,5 meter | Sesuai |

Untuk memastikan jika desain bangunan *primary clarifier* di IPAL PT.X sudah sesuai atau belum dapat melakukan analisis lebih lanjut seperti berikut :

* Waktu tinggal = hari

1 hari = 24 jam

td = $\frac{2,59 jam}{24 \frac{jam}{hari}}$ = 0,1079 hari

* Volume Efektif = terealisasikan 756 m³

$V\_{efektif}$ = $ Q\_{in} $x waktu tinggal

$V\_{efektif}$ = 7000 m³/ hari x 0,1079 hari

$V\_{efektif}$ = 755,3 m³

* Volume Real (Operasional)

$V\_{real}$ = $Q\_{in} $x waktu tinggal

$V\_{real}$ = 3.287 m³/ hari x 0,1079 hari

$V\_{real}$ = 354,7 m³ = 355 m³

* Diameter Primary Clarifier

d = 17 m

r = $\frac{d}{2}$ = $\frac{17 m}{2}$ = 8,5 m

* Kedalaman Bangunan = terealisasikan 4,9 m

$h\_{bangunan}$ = $\frac{V}{πr^{2}}$

$h\_{bangunan} $= $\frac{960,3}{π(8,5)^{2}}$ $ $= $\frac{960,3}{227,1}$ = 4,23 m

* Kedalaman Efektif = terealisasikan 4 m

$h\_{efektif}$ = $\frac{V}{πr^{2}}$

$h\_{efektif} $= $\frac{756,1}{π(8,5)^{2}}$ = $\frac{756,1}{227,1}$ = 3,33 m

* Kedalaman *Primary clarifier* secara operasional

$h\_{real}$ = $\frac{V}{πr^{2}}$

$h\_{real} $= $\frac{354,7}{π(8,5)^{2}}$ = $\frac{354,7}{227,1}$ = 1,56 m = 2 m

Data 3287 m³/hari didapatkan dari rata-rata debit air limbah yang diolah IPAL PT.X selama satu bulan pemantauan. Volume real atau volume operasional adalah rata-rata kapasitas air limbah yang diolah sebenarnya setiap hari selama satu bulan pemantauan dan didapatkan hasil sebesar 355 m³. Sedangkan kedalaman real atau kedalaman operasional adalah kedalaman *primary clarifier* saat mengolah debit air limbah sebenarya yaitu kurang lebih 2 m.

Dari perhitungan tersebut dapat dilihat jika volume efektif dan kedalaman efektif sudah sesuai dengan standard desain yang ada, lalu untuk volume real dan kedalaman real kurang lebih separuh atau dua kali lipat dari volume efektif dan kedalaman efektif. Hal ini dilakukan karena IPAL PT.X mengolah air limbah dari power plant, domestik (karyawan) dan produksi yang kapasitasnya dapat berubah sewaktu waktu. Setengah dari kapasitas IPAL yang tidak digunakan untuk operasional sehari-hari disebut dengan safe capacity. Jika IPAL PT.X tidak memiliki safe capacity, dikhawatirkan saat *Paper Machine* (PM) mengalami troubel atau off mendadak, disaat itu juga *White Water* (WW) dalam siklus produksi akan terhenti dan semua *White Water* (WW) akan mengalir ke WWT (IPAL) dalam jumlah yang lebih besar sehingga menambah jumlah air limbah yang masuk ke WWT dari biasanya.

*White Water* (WW) dalam industri kertas adalah air proses yang mengandung serat halus, bahan kimia produksi dan zat tersuspensi lainnya yang dihasilkan dari kegiatan di produksi, biasanya digunakan kembali untuk menghemat air, serat, serta pengurangan limbah. Pada *Stock Preparation* (SP) PT.X, WW ini di proses secara fisika (pengendapan) dengan menggunakan Silo tank, overlow (filtrat) akan digunakan untuk penyemprotan wirepart, felt atau kampas PM dan sealing water untuk pompa vakun, sedangkan WW yang TSS nya tinggi di pakai untuk pembuburan di hidropulper dan apabila WW sudah jenuh akan dibuang atau dialirkan ke WWT. Dapat disimpulkan jika bangunan *primary clarifier* di IPAL PT.X sudah sangat sesuai dengan desain kriteria yang sudah di tentukan. Sehingga tidak perlu adanya perubahan atau penambahan unit lagi. Karena dari segi desain bangunan sudah memenuhi standar untuk mencari penyebab dari masalah pengendapan yang kurang optimal, maka bisa dilanjutkan dengan memastikan variabel lain seperti kecepatan pengendapan dan waktu tinggal.

**3.2 Kecepatan Pengendapan**

Kecepatan pengendapan adalah ukuran seberapa cepat proses sedimentasi (pengendapan) dapat terendapkan di dasar bangunan. Dalam proses pengolahan air limbah, kecepatan pengendapan sangat penting karena sebagai penentu seberapa efisien partikel tersuspensi dapat dipisahkan dari air limbah. Kecepatan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran dan berat partikel, perbedaan kerapatan (*densitas*) antara partikel dan cairan, kekentalan (*viskositas*) air, serta kondisi hidraulik di dalam tangki. (Chuang, 2022). Kecepatan aliran air limbah yang lebih tinggi daripada kecepatan pengendapan dapat menyebabkan partikel-partikel tersuspensi tidak sempat mengendap dan akan terbawa keluar bersama aliran (*overflow*) sehingga menyebabkan penurunan efisiensi kinerja dalam menghilangan atau menurunkan kadar TSS air limbah. (Tchobanoglous et al., 2016).

Pemahaman yang baik terhadap kecepatan pengendapan dapat membantu pengoperasian sistem pengolahan air limbah agar efisien. Dalam desain teknik, kecepatan pengendapan ideal *primary clarifier* adalah sekitar 10 – 20 m/h agar bisa mencapai efisiensi reduksi TSS antara 50% – 70% atau bahkan bisa lebih tinggi lagi, tergantung kualitas air limbah dan desain unit IPAL. (Araujo, 2020). Sistem IPAL PT.X bersifat kontinu maka perlu untuk menjaga kecepatan pengendapan dalam kisaran optimal sangat penting agar sistem pengolahan dapat bekerja secara efektif dan efisien. (Yong et al., 2020). Untuk mengetahui kecepatan pengendapan di unit *primary clarifier* menggunakan rumus berikut :

vs = $\frac{Q\_{in}}{A}$

Data Qin atau debit yang masuk ke IPAL diambil dari alat flow meter inlet yang letaknya setelah bak Equalisasi dihitung dengan cara, debit yang masuk ke thickener (underflow) ditambah debit yang ke effluent dan atau ke SP (overflow). Sehingga didapatkan Qin evektif nya 7000 m³/hari dan Qin operasionalnya 3287 m³/hari. Sedangkan A yang merupakan luas permukaan *primary clarifier* dengan diameter 17 m didapatkan hasil A sebesar 226,865 m2. Sehingga kecepatan pengendapan dari unit *primary clarifier* sebagai berikut :

* $vs\_{efektif}$ = $\frac{Q\_{in}}{A}$ = $\frac{7000 m^{3}}{226,865m^{2} }$ = 30,85 m/hari
* $vs\_{real}$ = $\frac{Q\_{in}}{A}$ = $\frac{3287 m^{3}}{226,865m^{2} }$ = 14,27 m/hari

Dari perhitungan diatas dapat dilihat jika debit efektif yang masuk 7000 m³/hari maka kecepatan pengendapan efektifnya 30,85 m/hari, sedangkan setiap harinya secara operasional debit air yang masuk hanya sebesar 3.287 m³/hari sehingga kecepatan pengendapannya menjadi 14,48 m/hari yang dimana lebih lambat daripada kecepatan pengendapan efektif. Menurut standar desain, kecepatan pengendapan unit *primary clarifier* masih memenuhi karena masih dalam rentan 7,2 – 32 m/hari.

Semakin kecil aliran air yang masuk ke *primary clarifier* maka waktu tinggal akan semakin lama. Hal ini terjadi karena debit air limbah yang masuk lebih sedikit, sehingga menyebabkan laju aliran keluar menjadi lebih lambat dan air limbah yang berada di dalam *primary clarifier* lebih lama. Semakin lama air limbah berada di *primary clarifier* maka proses pengendapan akan berlangsung lebih optimal sehingga kualitas air limbah yang dihasilkan cenderung lebih baik.

**3.3 Waktu Tinggal**

Waktu tinggal atau retention time di *primary clarifier* adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan air limbah untuk berada di dalam primary clarifier, agar proses pengendapan padatan tersuspensi dapat berlangsung secara optimal. Waktu tinggal sangat penting karena digunakan untuk menentukan efektivitas pengendapan. Menurut (Liu & Tay, 2017), desain sistem yang optimal harus mampu mengakomodasi variasi waktu tinggal tanpa mengorbankan efisiensi pengolahan. Untuk mengetahui waktu tinggal yang diperlukan *primary clarifier* saat proses pengolahan bisa menggunakan rumus berikut :

Waktu Tinggal (RT) = $\frac{Volume bak}{Aliran}$

* Waktu tinggal dengan debit efektif

RT = $\frac{Volume bak}{Debit}$ = $\frac{756 m^{3}}{4,86 m^{3}/ menit }$

RT = 155 menit = 2,59 jam

* Waktu tinggal dengan debit operasional

RT = $\frac{Volume bak}{Debit}$ = $\frac{756 m^{3}}{2,28 m^{3}/ menit }$

RT = 332 menit = 5,54 jam

Volume bangunan *primary clarifier* di IPAL PT.X adalah 756 $m^{3}$. Jadi waktu tinggal yang diperlukan *primary clarifier* untuk mengolah debit air limbah sebanyak 7.000 m³/hari atau 4,86 m3/menit adalah 2,59 jam yang setara dengan 155 menit. Sedangkan secara operasional, debit yang diolah hanya sekitar 3.287 m³/hari atau 2,28 $m^{3}$/menit sehingga waktu tinggal yang diperlukan sebesar 5,54 jam atau 332 menit. Dari sini dapat dilihat jika waktu tinggal untuk mengolah debit efektif sebesar 7.000 m³/hari masih berada dalam kisaran standar. Berbeda dengan waktu tinggal yang diperlukan untuk mengolah debit operasional sebesar 3.287 m³/hari yaitu lebih dari 5 jam yang berarti sudah melebihi standar waktu tinggal yang dianjurkan untuk primary clarifier. Hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi kinerja IPAL, serta penumpukan lumpur yang tinggi sehingga menyebabkan penyumbatan pada pipa atau kerusakan pada scarper.

Walaupun waktu tinggal operasional *primary clarifier* IPAL PT.X lebih dari 5 jam, selama proses pengolahan berlangsung tidak ada dampak yang sangat signifikan terhadap kualitas air di bak effluent. Waktu tinggal lama tetapi sistem pengolahan air limbah masih aman dapat terjadi karena, debit air limbah rendah sehingga *primary clarifier* tetap mampu mengendapkan padatan secara efisien, kadar pH air limbah stabil sehingga tidak terjadi pembusukan atau pembentukan gas saat proses pengolahan berlangsung, kondisi hidraulik stabil (alirannya lebih laminar) sehingga tidak banyak terjadi turbulensi yang dapat mengakibatkan terangkatnya partikel terendap, dan sludge management atau pengelolaan lumpur yang dibuang atau dialirkan ke unit proses pengolahan selanjutnya sudah efektif.

Hal ini menunjukan jika *primary clarifier* di IPAL PT.X memiliki desain bangunan yang baik dan sistem operasional yang terkelola dengan benar karena dapat mendistribusikan secara merata tanpa menimbulkan short-circuiting atau zona mati. Lama atau cepatnya waktu pengendapan tergantung pada debit air limbah yang di kelolah, kecepatan aliran yang masuk ke IPAL, kepadatan dan ukuran partikel air limbah, dan dosis penggunaan bahan kimia untuk proses pengolahan.

**3.4 Persen Reduksi TSS**

Air limbah industri kertas memiliki kandungan TSS yang tinggi sehingga dapat menyebabkan pencemaran ligkungan. Oleh sebab itu, persen reduksi TSS sangat penting agar air hasil pengolahan dapat memenuhi standar baku mutu dan meningkatkan kuliats air. (Yanti, 2019). Persen reduksi TSS adalah ukuran seberapa banyak kadar TSS dalam air limbah yang berkurang setelah dilakukan pengolahan. Reduksi TSS digunakan untuk mengindikasi efektivitas proses pengolahan air limbah. Pada umumnya rentan efektivitas IPAL sekitar 50% - 90%. (Chuang, 2022). Namun ada juga kisaran yang sudah ditetapkan sebagai acuan akan keberasilan proses pengolahan sebagai berikut :

* Sangat Efisien = > 80%
* Efisien = 60% - 80%
* Cukup = 40% - ≤ 60%
* Kurang = 20% - ≤ 40 %
* Tidak Efisien = ≤ 20%

(Tchobanoglous et al., 2016)

 Pengamatan terhadap persen reduksi TSS lebih sering digunakan daripada removal TSS karena dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang efektivitas pengolahan. (Kulkarni et al., 2017). Persen reduksi TSS menunjukan persentase penurunan penurunan TSS dari konsentrasi awal hingga akhir dan memberi informasi seberapa banyak TSS yang berhasil dihilangkan. Sedangkan removal TSS hanya menunjukan jumlah TSS yang dihilangkan tanpa memperhatikan konsentrasi awal. Jumlah removal TSS yang tinggi atau besar belum tentu merupakan hasil pengolahan yang terbaik.

**Gambar 1.** Data Persen Reduksi TSS

Grafik diatas merupakan grafik dari data persen reduksi TSS selama 1 bulan pengamatan. Persen reduksi TSS didapatkan dari :

Persen Reduksi TSS = $\frac{(TSS\_{in} - TSS\_{out})}{TSS\_{in }}$ x 100 %

 TSS *in* adalah kadar TSS air limbah sebelum proses pengolahan yang diambil dari bak ekualisasi, sedangkan TSS *out* adalah kadar TSS air limbah sesudah proses pengolahan yang diambil dari bak produk. Dari pengamatan yang dilakukan selama 1 bulan pemantauan, didapatkan rata-rata persen reduksi TSS yaitu 84% yang termasuk dalam kategori sangat efisien. Namun selama satu bulan pengamatan juga sempat terjadi penurunan yang disebabkan karena debit air limbah yang masuk atau kadar polutannya berbeda dari biasanya, sedangan dosis bahan kimia yang dipakai untuknpengolahan tetap karena diambil dari rata-rata debit harian yang masuk.

 Tinggi rendahnya persen reduksi TSS dipengaruhi oleh besar atau kecilnya TSS *in*, semakin besar TSS *in* maka semakin besar juga target persen reduksi TSS yang harus dilakukan agar air hasil pengolahan dapat memenuhi standar baku mutu. (Yanti, 2019). Untuk meningkatan persen reduksi TSS dapat dilakukan dengan cara penambahan dosis bahan kimia jika TSS *in* nya tinggi agar proses koagulasi – flokulasi dan sedimentasi berjalan secara optimal. (Nurhayati & Handayani, 2020). Sitem IPAL yang bekerja 24 jam penuh, menyebabkan persen reduksi TSS wajib dipantau secara berkala agar tidak terjadi kendala saat proses pengolahan berlangsung.

1. **KESIMPULAN**

Dari berbagai data yang sudah di analisis dapat dilihat adanya keterkaitan antara data-data tersebut. Dari segi bangunan *primary clarifier* IPAL PT.X sudah sesuai dengan acuan yang berlaku. Lalu dari segi kecepatan pengendapan dan waktu tinggal juga sudah sesuai kriteria. Walaupun waktu tinggal *primary clarifier* IPAL PT.X lebih dari 5 jam, selama sistem operasional berlangsung tidak pernah terjadi masalah yang berkelanjutan dan jika ada masalah yang terjadi tetap dapat diatasi dengan baik. Permasalah pengendepan sludge yang kurang sempurna di *primary clarifier* sehingga terbawa ke aliran over flow dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti debit dan beban polutan air limbah yang masuk, waktu tinggal yang kurang efisien karena kecepatan aliran berubah-ubah, dosis bahan kimia yang digunakan pada proses pengolahan.

Berdasarkan hasil analisis, untuk di IPAL PT.X penyebab utama dari permasalahan yang terjadi adalah debit air limbah yang masuk ke IPAL berbeda-beda di setiap waktunya, sedangkan dosis bahan kimia yang digunakan untuk proses pengolahan tetap karena mengikuti rata-rata dosis pemakaian harian, sehingga hal ini sangat mempengaruhi hasil kinerja *primary clarifier* dalam menurunkan kadar TSS nya. Serta letak IPAL PT.X yang berada di area terbuka juga menyebabkan faktor cuaca seperti panas dan hujan menjadi salah satu penyebab lain dari penambahan beban kadar air limbah. Oleh karena itu pemantauan secara berkala setiap harinya sangat diperlukan untuk memastikan jika proses pengolahan sudah berjalan secara optimal agar kualitas air yang dihasilkan tetap memenuhi standar baku mutu yang berlaku di IPAL PT.X.

D**AFTAR PUSTAKA**

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & W. E. F. (WEF). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *American Public Health Association*.

Araujo, M. F. (2020). Efficiency of primary treatment in pulp and paper industry effluent. *Environmental Technology*, *41*(4), 510–518.

Bajpai, P. (2015). Pulp and Paper Industry: Waste Management Practices. *Elsevier*.

Chuang, Y.-H. (2022). Removal of TSS in wastewater using natural coagulants. *Environmental Science and Pollution Research*, 16875–16885.

Hasanah, N., & Sari, F. (2021). Studi Efisiensi Penurunan TSS pada Sistem Pengolahan Limbah Domestik. *Jurnal Teknik ITS*, *10*(2), A71–A75.

Hidayat, R., & Sugiarto, B. (2017). Perbandingan Efektivitas Clarifier Bundar dan Persegi. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, *13*(2), 67–75.

International Energy Agency. (2021). Energy Efficiency in Wastewater Treatment Plants. *IEA*.

Kulkarni, P., Olson, N. D., Raspanti, G. A., Rosenberg Goldstein, R. E., Gibbs, S. G., Sapkota, A., & Sapkota, A. R. (2017). Antibiotic concentrations decrease during wastewater treatment but persist at low levels in reclaimed water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(6), 668.

Liu, Y., & Tay, J.-H. (2017). The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granules. *Biotechnology Advances*, *35*(2), 365–372.

Nurhayati, N., & Handayani, S. (2020). Kajian Efektivitas Proses Koagulasi-Flokulasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *9*(1), 55–62.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22. *PPRI*.

Qasyim, H. (2016). Teknologi Pengolahan Air Limbah. *Yogyakarta: Graha Ilmu*.

Sudarsono, S. (2016). Pemanfaatan Sludge Clarifier sebagai Bahan Baku Kompos. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *14*(3), 155–162.

Sutaryo, S., Prabowo, D., & Wahyuni, A. (2022). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri. *Jurnal Teknik Lingkungan,* *28*(1), 14–22.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2016). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. *McGraw-Hill Education*, *5*.

Wahyuni, S. (2018). Karakteristik dan Pengolahan Limbah Cair Industri Pulp dan Kertas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 45–52.

Wang, Q., Wei, W., Gong, Y., Yu, Q., Li, Q., Sun, J., & Yuan, Z. (2017). Technologies for reducing sludge production in wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment*, *595*, 200–212.

Yanti, D. R. (2019). Analisis Efisiensi Pengolahan Limbah Cair dengan Parameter TSS. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *25*(2), 123–130.

Yong, S. H., Show, P. L., Chai, W. S., Chang, J. S., & Ling, T. C. (2020). Energy consumption analysis in industrial wastewater treatment processes. *Journal of Cleaner Production*, *260*, 121024.

Zhang, L., Gao, W., & Li, X. (2019). A review on sludge dewatering technologies. *Water Research*, *157*, 38–55.