

	<p><b>JURNAL CHEMURGY</b></p> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at <a href="http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK">http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</a></p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	--	---

## ANALISIS EFISIENSI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KERTAS DI *WASTEWATER TREATMENT* (WWT) PT X

### *ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL PAPER WASTEWATER TREATMENT AT PT X'S WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWT)*

**Siti Azahro Firliana Hawa\*, Sulistiya Nengse, Nadinda Aisyah Kamilia**

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Science and Technology Faculty, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel  
Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 682, Surabaya 60294, Indonesia

\*email : [sitiazahro673@gmail.com](mailto:sitiazahro673@gmail.com)

(Received: 2026 05, 23; Reviewed: 2026 06, 24; Accepted: 2026 06, 25)

#### **Abstrak**

Industri kertas menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar dengan kandungan bahan organik, padatan tersuspensi, dan polutan lain yang berpotensi mencemari lingkungan perairan apabila tidak diolah dengan baik. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair yang efektif sangat penting untuk memenuhi baku mutu serta meminimalkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi pengolahan air limbah di PT X dalam menurunkan kadar *Total Suspended Solids* (TSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Sampel limbah cair diambil dari *inlet influent tank*, *inlet balance tank*, dan *outlet* pengolahan biologis. Parameter yang diuji meliputi pH, TSS, kekeruhan, dan COD menggunakan metode standar (SNI). Efisiensi pengolahan dihitung berdasarkan persentase penurunan konsentrasi dibandingkan dengan baku mutu yang diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai pH (7.43), TSS (36.5 mg/L), COD (116.25 mg/L), dan kekeruhan (15 NTU) telah memenuhi baku mutu. Unit pengolahan fisik-kimia mampu menurunkan TSS dengan efisiensi 94.5%. Pengolahan biologis menunjukkan efisiensi lebih tinggi pada WWT 1 (COD 91.4%; TSS 89.8%) dibandingkan dengan WWT 2 (COD 85.6%; TSS 71.1%).

**Kata Kunci:** limbah cair, efisiensi pengolahan, industri kertas, TSS, COD

#### **Abstract**

*The paper industry generates large volumes of wastewater containing high levels of organic matter, suspended solids, and other pollutants that may threaten aquatic ecosystems if not properly treated. Effective wastewater treatment is therefore essential to meet regulatory standards and minimize environmental impacts. This study aimed to analysis the efficiency of wastewater treatment processes at PT X in reducing Total Suspended Solids (TSS) and Chemical Oxygen Demand (COD). Wastewater samples were collected from the influent tank inlet, balance tank inlet, and biological treatment outlet. Parameters measured included pH, TSS, turbidity, and COD using standardized methods (SNI). The treatment efficiency was calculated based on pollutant reduction percentages compared with effluent quality standards stipulated in East Java Governor Regulation No. 72/2013. The results showed that the average effluent values of pH (7.43), TSS (36.5 mg/L), COD (116.25 mg/L), and turbidity (15 NTU) complied with the regulatory standards. The physical-chemical treatment achieved an efficiency of 94% in TSS removal, while biological treatment efficiencies were higher in WWT 1 (COD 91.4%, TSS 89.8%) compared to WWT 2 (COD 85.6%, TSS 71.1%).*

	<h1>JURNAL CHEMURGY</h1> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at <a href="http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK">http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</a></p>	 <p>SINTA Accreditation No. 152/E/KPT/2023</p>
---	---	---

*Keywords: wastewater, treatment efficiency, paper industry, TSS, COD*

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Kementerian Perindustrian Tahun 2016, Indonesia berada di peringkat ke-6 dalam produksi kertas dan peringkat ke-9 dalam industri *pulp* global. Hal tersebut tentunya memberikan dampak positif terhadap perekonomian dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Namun, di sisi lain hal tersebut dapat menimbulkan dampak yang kurang baik bagi lingkungan, yaitu adanya limbah yang dihasilkan. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan oleh sektor industri kertas adalah limbah cair.

Limbah cair merupakan air bekas hasil berbagai proses pengolahan yang mengandung bahan pencemar berupa senyawa organik dan anorganik. Limbah cair industri pada umumnya dapat diartikan sebagai komponen sisa yang berasal dari pengolahan bahan-bahan produksi industri (Samsudin, Selomo dan Natsir, 2018). Air limbah industri kertas mengandung berbagai pengotor organik dan anorganik, seperti tanin, lignin, resin, dan senyawa klorin. Selain itu, komposisi bahan organik pada limbah industri kertas antara lain *Total Suspended Solids* (TSS), fosfor, nitrogen, dan *Adsorbable Organic Halides* (AOH) (Sharma, Tripathi dan Chandra, 2021).

Pembuangan limbah cair industri secara langsung ke sungai dapat menimbulkan kerugian dan rusaknya lingkungan sungai. Berdasarkan temuan Basyaiban & Wartiningsih pada tahun 2021, adanya cemaran yang berasal dari industri kertas memberikan kerugian pada para petani ikan karena hasil budidayanya banyak yang mati (Maulufinah dan Junaedi, 2023). Kandungan COD yang tinggi pada limbah industri kertas dapat berdampak serius pada ekosistem perairan yang sensitif, sedangkan padatan tersuspensi dalam air dapat merusak ekosistem perairan. Selain itu, kekeruhan yang tinggi dapat mengganggu proses fotosintesis tumbuhan air dan merugikan organisme perairan (Sahoo dan Anandhi, 2023).

Mengacu pada QS. Al-Maidah ayat 32, maka setiap industri harus memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL) untuk mengolah air limbahnya sebelum dibuang ke sungai atau badan air sehingga air limbah tersebut tidak mencemari dan merusak ekosistem di badan air. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan fasilitas infrastruktur yang mendukung program pencegahan pencemaran dan pengolahan air limbah. Pada sistem pengolahan air limbah IPAL, limbah cair dikumpulkan sebelum akhirnya dimasukkan ke dalam IPAL dan dibuang ke sungai (Putri dan Hardiansyah, 2022).

PT X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi kertas. PT X memproduksi kertas koran dan pencetakan kertas untuk memenuhi kertas dari perusahaan induknya. Dalam pengolahan air limbahnya, PT X menggunakan *Waste Water Treatment* (WWT) sebagai unit pengolahan air limbah yang bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan pencemar dalam air limbah pada seluruh produksi kertas untuk siap dibuang ke sungai sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik limbah cair industri kertas PT X dan menganalisis efisiensi pengolahan limbah cair di PT X dalam menurunkan kandungan TSS dan COD.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk mengukur karakteristik air limbah adalah turbidimeter, TSS meter, dan COD *Thermoreactor*. Sampel air limbah diambil dari *inlet influent tank*, *inlet balance tank*, dan *outlet* pengolahan biologis *Waste Water Treatment* (WWT) PT X. Pengambilan sampel air limbah dengan

menggunakan *water sampler* sebanyak 200 mL. Bahan kimia yang digunakan adalah  $K_2Cr_2O_7$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HgSO_4$ , indikator Ferroin, dan larutan Fas.

## 2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui tahap preparasi, pengujian, dan pengolahan data. Preparasi dilakukan dengan menyiapkan sampel air limbah yang akan diuji dengan cara memasukkannya ke gelas sampel sesuai sumbernya. Pengujian parameter pH, TSS, *turbidity*, dan COD berturut-turut dilakukan berdasarkan SNI 6989.11-2019; SNI 06-6989.25-2005; dan SNI 06 6989.15-2004. Hasil uji parameter pH, TSS, dan COD dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya. Nilai efisiensi pengolahan air limbah dihitung menggunakan Persamaan (1) berikut (Zakaria *dkk.*, 2021):

$$\% \text{Efisiensi} = \frac{(\text{Awal} - \text{Akhir})}{\text{Awal}} \times 100\% \quad (1)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Jenis dan Sumber Limbah Cair Industri Kertas

PT X memproduksi berbagai macam jenis kertas diantaranya yaitu kertas putih dengan 45, 70, dan 80 GSM (*Superprima*), kertas pembungkus makanan siap saji (*brown recycle*), kertas bagian tengah kardus yang bergelombang (*Kraft Superprima*), kertas LKS dan buku gambar (*H-bright*), kertas putih 86 GSM (*kertas Ninja*), kertas bungkus makanan (*wrapping paper*), dan kertas koran (*news paper*). Bahan baku yang digunakan dalam membuat buburan kertas yaitu kertas daur ulang,  $H_2O_2$ ,  $Na_2SiO_3$ , Cartan, dan NaOH. Berdasarkan resume LPVI 2024, PT X memproduksi kertas koran sebesar 161.750 ton/tahun dan kertas tulis cetak sebesar 60.000 ton/tahun. Hasil produksi kertas tersebut secara tidak langsung mempengaruhi karakteristik air limbah yang dihasilkan. Tergantung dari jenis kertas yang diproduksi di setiap bagian *Paper Machine* (PM).

Air limbah yang dihasilkan di bagian *Paper Machine 1* (PM 1) secara fisik memiliki karakteristik warna coklat. Hal ini terjadi karena PM 1 lebih banyak memproduksi kertas *brown recycle* yang digunakan untuk bungkus makanan siap saji. Warna coklat yang dihasilkan berasal dari pewarna yang digunakan saat proses pembuatan buburan kertas. Sehingga saat proses pengepresan buburan kertas, air hasil pres yang masuk ke unit pengolahan air limbah cenderung berwarna coklat.

Di bagian *Paper Machine 2* (PM 2), air limbah yang dihasilkan secara fisik memiliki karakteristik warna coklat keabuan. Karena jenis kertas yang diproduksi yaitu *medium linier* yang digunakan sebagai lapisan tengah dalam pembuatan karton bergelombang dan kertas putih.

Sedangkan di *Paper Machine 3* (PM 3), air limbah yang dihasilkan memiliki karakter fisik berwarna putih keabuan. Ini disebabkan karena PM 3 lebih banyak memproduksi kertas putih yang digunakan untuk kertas tulis dan kertas cetak. Air limbah dari produksi kertas putih lebih sulit pengolahannya dari pada air limbah *brown recycle*. Karena dalam pembuatan kertas putih terdapat proses *bleaching* yang menggunakan tambahan bahan kimia untuk memutihkan buburan kertas.

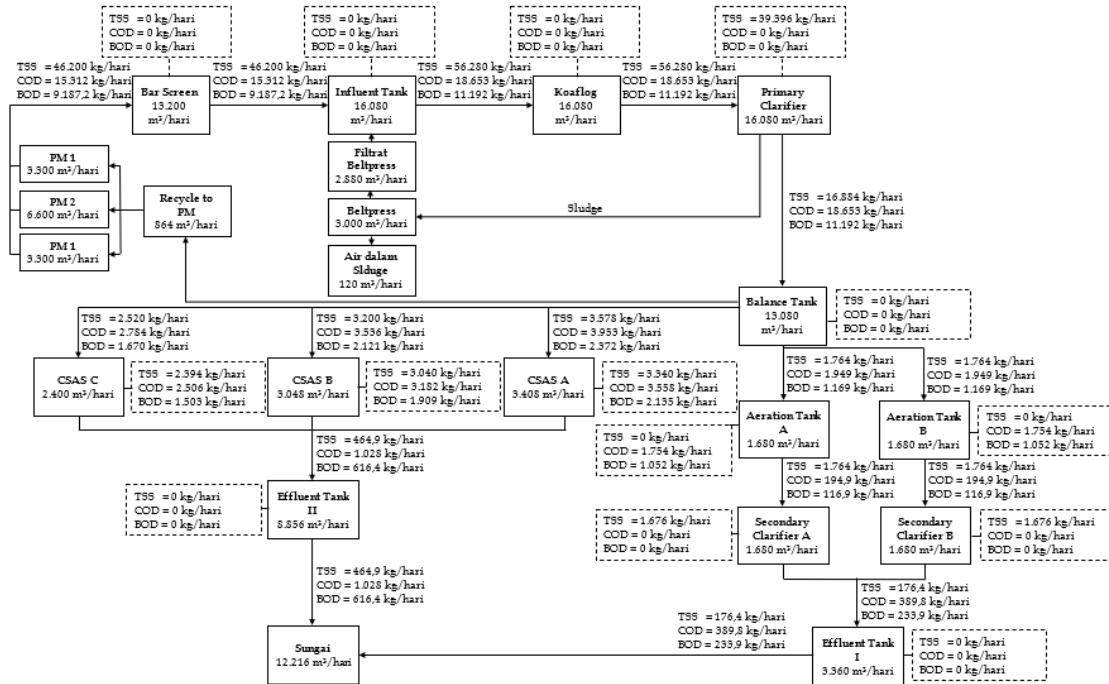
Secara keseluruhan, air limbah yang diolah di *Waste Water Treatment* (WWT) PT X berasal dari proses pembuatan buburan kertas dan lembaran kertas. Terdapat 3 (tiga) proses produksi yang menghasilkan air limbah dimana air limbah tersebut dialirkan melalui saluran pembuangan air limbah. PM 1 dan PM 2 melalui saluran air limbah yang sama karena karakteristik air limbahnya memiliki kesamaan. Sedangkan PM 3 melalui saluran air limbah yang berbeda dan ketiganya akan tercampur di unit *bar screen*. Berikut merupakan Tabel 1 yang menunjukkan jenis dan sumber air limbah di industri kertas PT X.

**Tabel 1.** Jenis dan sumber limbah cair di industri kertas

Jenis Limbah Cair	Sumber Air Limbah	Karakteristik Limbah
Filtrat penyaringan buburan	<i>Secondary coarse screen</i>	Berwarna coklat keabuan
Filtrat penyaringan serat	<i>Tertiary screen</i>	Berwarna coklat keabuan
Air jatuhan <i>shower</i>	Proses <i>shower</i>	Berwarna keabuan
Air filtrat <i>beltpress</i>	<i>Backwash beltpress</i>	Berwarna keabuan

Normalnya, air limbah yang dihasilkan dari ketiga PM berwarna coklat keabuan. Namun, pada pertengahan bulan Maret 2025, air limbah yang diolah di *Waste Water Treatment (WWT)* cenderung berwarna kuning kecoklatan. Ini terjadi karena di bagian *Paper Machine (PM)* sedang memproduksi kertas amplop lamaran kerja. Dari hal itu menunjukkan bahwa jenis kertas yang dibuat di bagian produksi dapat mempengaruhi karakter fisik air limbah.

Jumlah rata-rata limbah cair yang dihasilkan setiap PM (*Paper Machine*) berbeda-beda tergantung kapasitas produksi perhari. Jumlah timbulan air limbah paling besar dihasilkan oleh PM 2 karena kapasitas produksinya yang paling besar. Rata-rata air limbah yang dihasilkan di PM 1, PM 2, dan PM 3 masing-masing sebesar 3.300 m<sup>3</sup>/hari, 6.600 m<sup>3</sup>/hari, dan 3.300 m<sup>3</sup>/hari. Sehingga rata-rata air limbah yang diolah di *Waste Water Treatment (WWT)* sebesar 13.200 m<sup>3</sup>/hari.



Gambar 1. Neraca air limbah

### 3.2 Karakteristik Air Limbah *Inlet Influent Tank*

*Influent tank* merupakan suatu bak yang menampung air limbah hasil *screening* atau penyaringan unit *bar screen* dan *rotary screen*. Selain menerima air limbah dari produksi, *influent tank* juga menampung *sludge wasting* dari pengolahan biologis saat kandungan lumpur aktif di pengolahan biologis melebihi standar. Sebelum masuk ke pengolahan kimia, limbah cair harus diukur karakteristiknya meliputi parameter pH dan TSS. Pengukuran ini hanya dilakukan untuk dua parameter karena pengolahan selanjutnya akan fokus untuk menurunkan padatan tersuspensi dalam air limbah. Berikut ini merupakan Tabel 2 yang menunjukkan karakteristik air limbah di *influent tank* pada Bulan April 2025.

Tabel 2. Karakteristik air limbah *influent tank*

Parameter	Baku Mutu*	Satuan	Nilai Rata-Rata
pH	6 – 9		6.86
TSS	70	mg/L	3.426

Keterangan: \*Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya

Berdasarkan Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa karakteristik air limbah di *influent tank* PT X memiliki nilai rata-rata pH sebesar 6.86 yang artinya nilai pH normal atau telah memenuhi baku mutu yang berlaku yaitu antara 6 sampai 9. Sedangkan nilai rata-rata TSS air limbah sebesar 3.426 mg/L dimana angka tersebut melebihi baku mutu air limbah yang ditetapkan oleh Gubernur Jawa

Timur. Menurut penelitian Rosidi dan Razif (2017) menunjukkan bahwa nilai TSS indsutri kertas halus di PT X Kabupaten Sidoarjo mencapai 41.000 mg/L (Rosidi dan Razif, 2017), dimana angka tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan nilai TSS air limbah di PT X .

Tingginya nilai TSS dalam air limbah industri kertas PT X dipengaruhi oleh kapasitas produksi di bagian *Paper Machine* (PM). Semakin besar kapasitas produksi, maka semakin tinggi filtrat penyaringan buburan dan serat kertas yang dihasilkan. Filtrat penyaringan buburan mengandung kotoran dan padatan yang dapat meningkatkan kandungan TSS dalam air limbah. Banyaknya lumpur aktif yang dibuang ke *influent tank* juga dapat menambah nilai TSS.

Pengukuran pH dan TSS pada *influent tank* dimaksudkan untuk mengetahui dosis optimum koagulan dan flokulan yang harus ditambahkan di pengolahan Koagulasi-Flokulasi. Agar saat pengolahan kimia, koagulan dan flokulan dapat bereaksi secara optimal sehingga dapat menurunkan kandungan TSS dalam air limbah secara maksimal.

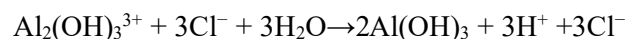
### 3.3 Karakteristik Air Limbah *Outlet Balance Tank*

*Balance Tank* merupakan bak penampungan filtrat air limbah setelah proses pengendapan di *Primary Clarifier*. Sebelum didistribusikan ke pengolahan biologis, air limbah harus diukur karakteristiknya pada bagian *outlet Balance Tank*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi pengaruh penambahan dosis kogulan-flokulan dalam menurunkan kadar TSS di pengolahan fisik-kimia air limbah. Serta untuk mengetahui COD *load* yang harus diolah pada proses biologis. Karakteristik limbah cair di *outlet Balance Tank* pada Bulan April tahun 2025 ditunjukkan pada Tabel 3 di bawah ini.

**Tabel 3.** Karakteristik air limbah *Balance Tank*

Parameter	Satuan	Nilai Rata-Rata
pH		6.85
TSS	mg/L	187
<i>Turbidity</i>	NTU	73.8
COD	mg/L	1.013

Berdasarkan Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa nilai rata-rata pH, TSS, *turbidity*, dan COD pada *outlet Balance Tank* tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Tidak ada perubahan nilai yang signifikan antara pH di *Influent Tank* dan *outlet Balance Tank*, hanya mengalami penurunan 0.01. Penurunan pH dipengaruhi oleh penggunaan koagulan yang menyebabkan pelepasan ion Hidrogen. Hal ini dapat dilihat dari reaksi berikut ini:



Pada reaksi hidrolisis tersebut, koagulan PAC melepaskan tiga ion H<sup>+</sup> yang menyebabkan pH air berubah menjadi lebih asam dari pH sebelumnya (Zakaria *dkk.*, 2021).

Sedangkan untuk parameter TSS mengalami penurunan yang signifikan. Yang sebelumnya di *Influent Tank* nilai rata-rata TSS sebesar 3.426 mg/L menjadi 187 mg/L di *outlet Balance Tank*. Hal ini menunjukkan bahwa pengolahan fisik-kimia air limbah dalam menurunkan kadar TSS di *Waste Water Treatment* (WWT) PT X memiliki kinerja yang baik. Perusahaan menetapkan standar TSS di *outlet Balance Tank* kurang dari 200 mg/L untuk meringankan beban mikroorganisme pada pengolahan biologis. Karena nilai TSS yang tinggi dapat mempengaruhi kekeruhan dan mengganggu aktivitas yang ada di air (Harahap, Amanda dan Matondang, 2022).

Nilai rata-rata COD di *outlet Balance Tank* sebesar 1.013 mg/L artinya tidak melebihi standar yang ditentukan Perusahaan, namun bukan berarti nilai COD tersebut telah baik. Jika dibandingkan dengan Peraturan Gubernur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah industri kertas, nilai tersebut melebihi baku mutu. Sehingga diperlukan pengolahan biologis untuk mendegradasi senyawa organik yang ada dalam air limbah.

Tingginya nilai COD di industri kertas disebabkan karena banyaknya senyawa organik yang dihasilkan saat proses pengolahan kertas. Industri kertas menggunakan air untuk menghilangkan zat

kimia dan senyawa yang tidak diinginkan dari buburan kertas yang menyebabkan nilai COD dan TSS dalam air limbah industri kertas relatif tinggi (Isyuniarto, Usada dan Purwadi, 2007).

### 3.4 Karakteristik Air Limbah *Outlet* Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis merupakan pengolahan air limbah yang memanfaatkan aktivitas biologis untuk menghilangkan polutan dan zat organik *biodegradable* yang terlarut dalam air limbah (Romadhon, Noerhayati dan Rahmawati, 2024). PT X memiliki 2 jenis pengolahan biologis yaitu *Aeration Tank* dan *Cyclic Sequencing Activated Sludge (CSAS)*. Secara prinsip, kedua pengolahan tersebut memiliki proses yang sama yaitu proses aerasi dan pengendapan. Namun karakteristik air limbah yang dihasilkan dari kedua unit tersebut berbeda. Berikut merupakan karakteristik air limbah *outlet* pengolahan biologis yang ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini.

**Tabel 4.** Karakteristik air limbah *outlet* pengolahan biologis

Parameter	Baku Mutu*	Satuan	Nilai Rata-Rata	
			<i>Effluent Tank 1</i>	<i>Effluent Tank 2</i>
pH	6 – 9		7.83	7.03
TSS	<70	mg/L	19	54
<i>Turbidity</i>		NTU	4	26
COD	<150	mg/L	87.5	145

Keterangan: \*Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/Atau Kegiatan Usaha Lainnya

Berdasarkan Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa nilai rata-rata TSS dan COD dari pengolahan *Aeration Tank* sebesar 19 mg/L dan 87.5 mg/L. Sedangkan nilai rata-rata TSS dan COD dari pengolahan CSAS sebesar 54 mg/L dan 145 mg/L. Artinya, nilai TSS, COD, dan pH dari kedua pengolahan memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang baku mutu air limbah industri dan atau kegiatan lainnya.

Nilai pH dari pengolahan biologis relatif meningkat dibandingkan dengan nilai pH di *outlet Balance Tank*. Pada *Effluent Tank 1* nilai pH meningkat menjadi 114.3% dan pada *Effluent Tank 2* meningkat menjadi 102.6%. Ini terjadi karena adanya proses pendegradasian senyawa protein organik menjadi ammonium oleh mikroorganisme yang menyebabkan kenaikan pH (Wibowo dan Yogisutanti, 2023).

Nilai TSS menunjukkan jumlah padatan tersuspensi yang berpengaruh terhadap tingkat kekeruhan dan transparansi serta intensitas cahaya yang masuk dalam air limbah. Nilai TSS bergantung pada jumlah dan bahan organik dan anorganik dalam bentuk partikel terendapkan, koloid, dan melayang (Rhofita dan Russo, 2019). Nilai TSS *Effluent Tank 1* lebih rendah dari *Effluent Tank 2*. Ini selaras dengan nilai kekeruhan atau *turbidity* dari masing-masing *Effluent Tank* dimana nilai *turbidity* dari *Effluent Tank 1* juga lebih rendah dari *Effluent Tank 2*. Nilai TSS memiliki korelasi dengan kekeruhan karena TSS berupa padatan tersuspensi seperti lumpur dan pasir yang dapat menyebabkan kekeruhan. Kekeruhan sendiri diakibatkan oleh adanya padatan terlarut atau tidak terlarut yang dapat mengubah warna air menjadi tampak kotor dan keruh. Oleh karena itu, jika TSS menurun maka *turbidity* akan ikut menurun (Zahra, 2021).

Nilai *Chemical Oxygen Demand (COD)* merupakan parameter yang mengindikasikan terjadinya pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi secara alamiah oleh mikrobiologis dan menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen terlarut dalam air (Ramadani, Samsunar dan Utami, 2021). Nilai COD pada *Effluent Tank 2* lebih tinggi dari *Effluent Tank 1* yaitu memiliki selisih 40%. Ini menunjukkan bahwa beban bahan organik yang diolah di pengolahan biologis 2 lebih besar serta kinerja pengolahan biologis di WWT 2 belum optimal sehingga perlu dilakukan pengujian berkala untuk melihat performanya.

### 3.5 Efisiensi Pengolahan Fisik-Kimia

Pengolahan fisik-kimia air limbah di WWT PT X mulai dari unit *Bar Screen*, *Influent Tank*, Koagulasi-Flokulasi, dan *Primary Clarifier*. Pengolahan fisik-kimia berfungsi untuk menurunkan padatan tersuspensi dalam air limbah dengan menggunakan bantuan bahan kimia seperti koagulan

dan flokulan. Jenis koagulan yang digunakan dalam pengoahan air limbah yaitu *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan polimer anionik.

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, menunjukkan bahwa efisiensi pengolahan fisik-kimia air limbah dalam menurunkan TSS di WWT PT X sebesar 94.5%. Menurut (Metcalf, Eddy dan Tchobanoglous, 1991), unit sedimentasi atau pengendapan dapat meremoval parameter TSS 50% hingga 70%. Ini berarti efisiensi pengolahan air limbah secara fisik-kimia di WWT telah optimal. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingginya removal TSS di pengolahan fisik-kimia antara lain dosis koagulan-flokulan, pH, waktu kontak, waktu tinggal, dan karakteristik partikel padat tersuspensi.

Dosis koagulan yang digunakan tergantung pada kandungan padatan tersuspensi atau koloid dalam fluida. Jika kadar yang digunakan telah sesuai maka pembentukan flok dapat berjalan cepat (Ekoputri dkk., 2023). Koagulan yang digunakan di unit Koagulasi WWT adalah alum cair dan PAC. Dalam sehari, dibutuhkan 4.500 kg alum cair dan 7.500 kg PAC cair. WWT menggunakan dua jenis koagulan tersebut untuk mengoptimalkan pengikatan partikel padatan atau kotoran dalam air limbah. Serta menggunakan flokulan (polimer anionik) untuk membentuk flok-flok yang lebih besar dan lebih kuat sehingga mudah diendapkan. Kebutuhan polimer yang digunakan yaitu sebesar 36 kg/hari.

Dalam pengolahan fisik dan kimia seperti Koagulasi, Desinfeksi, *Dewatering*, *Softening*, atau oksidasi berbagai senyawa, nilai pH harus diperhatikan dan ditur dalam rentang tertentu (Sawyer, McCarty dan Parkin, 2003). Proses koagulasi akan berjalan dengan baik jika pH berada pada kondisi yang optimum. Berdasarkan penelitian (Sururi, 2023), PAC memiliki pH optimal 6 hingga 7.6. pH air limbah pada *inlet* WWT berdasarkan Tabel 2 sebesar 6.86 yang berarti pH tersebut optimal untuk proses koagulasi.

Waktu kontak dan waktu tinggal penting dalam pengolahan fisik-kimia air limbah. Waktu kontak berkaitan dengan proses Koagulasi-Flokulasi yang memberikan waktu optimal untuk koagulan, flokulan, dan partikel koloid bereaksi. Waktu optimal untuk proses koagulasi selama 1 menit dan proses flokulasi selama 20 menit (Utari dan Mirwan, 2023). Sedangkan waktu tinggal berkaitan dengan proses pengendapan flok-flok yang terbentuk. Semakin lama waktu tinggal maka filtrat air limbah yang dihasilkan semakin baik. Namun, waktu tinggal harus disesuaikan dengan desain pengolahan air limbah agar tidak melebihi kapasitas pengolahan.

Karakteristik padatan yang tersuspensi juga mempengaruhi pengolahan fisik-kimia air limbah. Karakteristik padatan meliputi ukuran, bentuk, dan berat jenis padatan tersuspensi. Padatan tersuspensi yang memiliki ukuran besar dan berat jenis lebih besar dari berat jenis air akan mudah mengendap. Sedangkan padatan tersuspensi dengan berat jenis lebih kecil dari berat jenis air sulit untuk mengendap.

### 3.6 Efisiensi Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis di PT X dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu pengolahan biologis WWT 1 terdiri dari kolam *Activated Sludge* A & B dan *Secondary Clarifier* A & B, serta pengolahan biologis WWT 2 terdiri dari CSAS A, B, dan C. Pengolahan biologis bertujuan untuk menghilangkan kandungan bahan organik dalam air limbah dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Berikut ini merupakan Tabel 5 yang menunjukkan efisiensi pengolahan biologis air limbah di PT X.

Tabel 5. Efisiensi pengolahan biologis air limbah

Parameter	Satuan	WWT 1	WWT 2
TSS	%	89.8	71.1
<i>Turbidity</i>	%	94.6	64.7
COD	%	91.4	85.6

Berdasarkan Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa efisiensi pengolahan biologis WWT 1 dalam menurunkan kadar TSS, *turbidity*, dan COD berturut-turut sebesar 89.8%, 94.6%, dan 91.4% sedangkan WWT 2 berturut-turut sebesar 71.1%, 64.7%, dan 85.6%. Efisiensi pengolahan biologis WWT 1 lebih tinggi dari WWT 2. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi COD, TSS, dan *turbidity* di WWT 1 berlangsung dengan baik dan sesuai dengan perencanaan alternatif pengolahan air limbahnya. Sedangkan efisiensi *removal* WWT 2 belum sesuai dengan desain

perencanaan dan saat ini masih dalam proses pengoptimalan pengolahan air limbahnya. Perbedaan efisiensi pengolahan air limbah antara WWT 1 dan WWT 2 dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain nilai TSS *input*, MLSS, MLVSS, DO, dan SV.

TSS *input* merupakan jumlah padatan tersuspensi yang masuk ke pengolahan biologis. Nilai TSS *input* diukur di *outlet Balance Tank*. TSS yang masuk ke pengolahan biologis harus kurang dari 200 mg/L. Ini bertujuan agar beban pencemar yang diolah mikroorganisme di pengolahan biologis tidak berat. Jika nilai TSS input lebih dari 200 mg/L maka mikroorganisme tidak dapat bekerja secara optimal. Akibatnya, pengolahan air limbah tidak bekerja secara efektif dan *effluent* air limbah yang dihasilkan memiliki kualitas yang buruk.

Jumlah mikroorganisme yang hidup di kolam lumpur aktif ditentukan berdasarkan kandungan MLSS di kolam lumpur aktif. MLSS atau *Mixed Liquor Suspended Solid* merupakan jumlah padatan organik dan anorganik termasuk biomassa mikroba di kolam lumpur aktif. Nilai MLSS yang optimal di pengolahan biologis WWT PT X sebesar 2.500 mg/L sampai 2.800 mg/L. Nilai MLSS tinggi membuat oksigen sukar larut dalam lumpur aktif dan menyebabkan aktifitas mikroorganisme menjadi lambat. Selain itu, nilai MLSS tinggi dapat menyebabkan terbentuknya padatan/agregat yang berukuran besar yang tidak mengendap dan ikut keluar dengan *effluent* air limbah. Sedangkan nilai MLSS rendah menandakan bahwa jumlah mikroorganisme dalam lumpur aktif sedikit sehingga bahan pencemar dalam air limbah yang belum terurai masih banyak. Jika bahan pencemar lebih banyak dari jumlah mikroorganisme maka dapat menyebabkan mikroorganisme mati dan terjadi proses anaerob. Saat terjadi proses anaerob, nilai COD pada *effluent* air limbah cenderung tinggi yang menandakan tidak efektifnya pengolahan biologis air limbah.

Nilai MLSS digunakan untuk menentukan nilai MLVSS dalam lumpur aktif. MLVSS atau *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* merupakan jumlah bahan organik yang hilang saat dipanaskan pada suhu tinggi. MLVSS menunjukkan populasi mikroorganisme yang aktif dalam pengolahan air limbah yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence, 1980). Nilai MLVSS di WWT PT X sebesar 60% dari nilai MLSS. Untuk menjaga nilai tersebut, nutrisi ditambahkan ke dalam pengolahan lumpur aktif berupa Nitrogen dan *Phosporic Acid*. Perbandingan COD:N:P dalam lumpur aktif sebesar 100:5:1 dan F/M ratio yang optimal dalam pengolahan biologis WWT PT X berada pada rentang nilai 0.35 sampai 0.45. Semakin rendah ratio F/M pengolahan limbah semakin efisien.

Selain itu, DO merupakan parameter penting yang harus dijaga pada kolam lumpur aktif karena mikroba aerob membutuhkan oksigen untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah. DO merupakan kadar oksigen terlarut dalam air limbah yang diperoleh dari proses aerasi. Di WWT 1, tipe aerasi yang digunakan yaitu *surface aerator* yang dimana oksigen didapat dari udara bebas melalui perputaran aerator. Sedangkan di WWT 2 menggunakan tipe aerasi *tube diffuser* untuk CSAS A dan *membrane diffuser* untuk CSAS B & C dengan suplai udara dari blower. Nilai DO yang optimal dalam pengolahan biologis sebesar 2 mg/L sampai 4 mg/L. Nilai DO yang tinggi akibat aerasi berlebih mengakibatkan terbentuknya *pin floc* yang tidak bisa mengendap dengan baik. Nilai DO rendah menyebabkan bakteri mati karena kekurangan oksigen sehingga terjadi proses anaerob dan timbul bau tidak sedap dalam pengolahan air limbah. Nilai DO yang rendah juga menyebabkan tumbuhnya bakteri berfilamen yang membuat lumpur aktif berubah menjadi warna keputihan dan sulit mengendap. Sehingga *effluent* air limbah memiliki nilai TSS dan kekeruhan yang tinggi.

*Sludge Volume* (SV) merupakan parameter penting dalam proses pengendapan lumpur aktif di *Secondary Clarifier*. Nilai SV menyatakan volume lumpur aktif setelah diendapkan dalam satuan waktu. SV 30 menunjukkan volume lumpur aktif setelah mengendap selama 30 menit sedangkan SV 60 menunjukkan volume lumpur aktif setelah mengendap selama 60 menit. *Sludge Volume* memiliki indeks sebesar 200 mL/mg sampai 300 mL/mg. Nilai SVI lebih dari 300 mL/mg menandakan umur lumpur terlalu tua yang dapat menyebabkan *bulking* dimana lumpur kurang padat dan sulit mengendap. Nilai SVI kurang dari 200 mL/mg menandakan umur lumpur terlalu muda yang menyebabkan terjadinya *pin floc* dimana terbentuk floc berukuran kecil-kecil dan sulit mengendap. Lumpur yang sulit mengendap mengakibatkan nilai TSS dan kekeruhan pada *effluent* air limbah tinggi sehingga pengolahan biologis tidak berjalan efektif.

#### 4. KESIMPULAN

Nilai rata-rata parameter pH, COD, TSS, dan *turbidity* effluent limbah cair industri kertas PT X berturut-turut sebesar 7.43; 116.25 mg/L; 36.5 mg/L; dan 15 NTU sehingga telah memenuhi standar baku mutu yang diatur dalam Peraturan Gubernur Nomor 72 Tahun 2013. Efisiensi pengolahan limbah cair industri kertas secara fisik-kimia di PT X sebesar 94.5%. Sedangkan efisiensi pengolahan air limbah secara biologis di WWT 1 nilainya lebih tinggi dibandingkan WWT 2. Oleh karena itu, efisiensi pengolahan air limbah di WWT 1 perlu dipertahankan sedangkan di WWT 2 perlu ditingkatkan dengan menjaga faktor-faktor yang mempengaruhi proses aerob.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ekoputri, S.F. *dkk.* (2023) "Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia," *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), hlm. 7781–7787. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.715>.
- Harahap, M.R., Amanda, L.D. dan 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), hlm. 79–83. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22373/amina.v2i2.772>.
- Isyuniarto, Usada, W. dan Purwadi, A. (2007) "Degradasi Limbah Cair Industri Kertas Menggunakan Oksidan Ozon dan kapur," *Pustek Akselerator dan Proses Bahan - BATAN*, hlm. 55–60.
- Maulufinah, D. dan Junaedi, A.S. (2023) "Dampak Limbah Pabrik Kertas Terhadap Kualitas Air Kanal Mangetan Kabupaten Sidoarjo," *Environmental Pollution Journal*, 3, hlm. 857–870. Tersedia pada: <https://doi.org/10.58954/epj.v3i3.163>.
- Metcalf, L., Eddy, H.P. dan Tchobanoglous, G. (1991) *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Nelson, P.O. dan Lawrence, A.W.M. (1980) "Microbial Viability Measurements And Activated Sludge Kinetics," *Water Research*, 14(3), hlm. 217–225.
- Putri, N.M. dan Hardiansyah, F. (2022) "Efektivitas Penerapan Teknologi Pada IPAL Komunal Ditinjau Dari Parameter BOD, COD, dan TSS," *Jurnal Teknik Pengairan*, 13(2), hlm. 183–194. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.05>.
- Ramadani, R., Samsunar, S. dan Utami, M. (2021) "Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biological Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo," *Indonesian Journal Of Chemical Research*, hlm. 12–22. Tersedia pada: <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>.
- Rhofita, E.I. dan Russo, A.E. (2019) "Efektifitas Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Gula di Kabupaten Kediri dan Kabupaten Sidoarjo," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), hlm. 235. Tersedia pada: <https://doi.org/10.29122/jtl.v20i2.3469>.
- Romadhon, H., Noerhayati, E. dan Rahmawati, A. (2024) "Studi perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Pasar Tradisional Srimangunan Kabupaten Sampang," *Spatial Review for Sustainable Development*, 1(2), hlm. 91–105. Tersedia pada: <https://doi.org/10.61511/srsd.v1i2.2024.1316>.
- Rosidi, M. dan Razif, M. (2017) "Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Kertas Halus," *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), hlm. 40–43. Tersedia pada: <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21802>.
- Sahoo, D. dan Anandhi, A. (2023) "Conceptualizing turbidity for aquatic ecosystems in the context of sustainable development goals," *Environmental Science: Advances*, 2(9), hlm. 1220–1234. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1039/D2VA00327A>.
- Samsudin, W., Selomo, M. dan Natsir, Muh.F. (2018) "Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menjadi Pupuk Organik Cair Dengan Penambahan Effektive Mikroorganisme-4 (Em-4)," *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan (JNIK) LP2M Unhas*, 1(2).
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L. dan Parkin, G.F. (2003) *Chemistry for environmental engineering and science*. New York: McGraw-Hill (587590).
- Sharma, P., Tripathi, S. dan Chandra, R. (2021) "Metagenomic analysis for profiling of microbial communities and tolerance in metal-polluted pulp and paper industry wastewater,"

- Bioresource Technology*, 324(124681). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124681>.
- Sururi, M.R. (2023) “Penyisihan Kekeruhan Menggunakan Unit Koagulasi-Flokulasi Instalasi Pengolahan Air Minum : Review.”
- Utari, K.M.I. dan Mirwan, M. (2023) “Pengaruh Bentuk Impeller pada Proses Koagulasi Flokulasi Terhadap Pola Aliran dan Penyisihan TSS,” *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(4), hlm. 824–833. Tersedia pada: <https://doi.org/10.55123/insologi.v2i4.2483>.
- Wibowo, A. dan Yogisutanti, G. (2023) “Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah Secara Biologis Aerobik Terhadap Penurunan Kadar COD, BOD, PH, TSS dan MPN Coliform di Rumah Sakit Paru DR. HA Rotinsulu,” *Jurnal Ilmu Kesehatan Immanuel*, 17(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.36051/jiki.v17i1.208>.
- Zahra, R.N. (2021) *Pemanfaatan Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Sebagai Koagulan Alami Dalam Menurunkan Kadar TSS Dan Kekeruhan*. Skripsi Sarjana. Universitas Islam Indoensia.
- Zakaria, A. dkk. (2021) “Efisiensi Penurunan Kadar COD, TS, TSS, Kekeruhan, dan TDS pada Air Limbah Industri Pangan menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride dengan metode Jar Test,” *Warta Akab*, 45(2). Tersedia pada: <https://doi.org/10.55075/wa.v45i2.60>.