

# Efisiensi Penyisihan Polutan Air Limbah dari Kegiatan Pewarnaan di Industri Tekstil Studi Kasus PT ABC

Nendia Nurisni<sup>1\*</sup>, Etty Riani<sup>2</sup>, dan Syaiful Anwar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Program Pascasarjana, IPB University, Bogor, Indonesia; e-mail: [nendia56@gmail.com](mailto:nendia56@gmail.com), [nendiaisni@apps.ipb.ac.id](mailto:nendiaisni@apps.ipb.ac.id)

<sup>2</sup>Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University, Bogor, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB University, Bogor, Indonesia

## ABSTRAK

PT ABC tergolong pada sektor tekstil dan produk tekstil (TPT) khususnya pada kelompok produk tekstil lainya yang memproduksi produk ritsleting dan komponennya. PT ABC telah memproduksi ±153 juta meter produk ritsleting pada tahun 2022, dengan menggunakan ± 250 jenis bahan kimia dan rata-rata 500 L air bersih per harinya dalam proses memproduksi barang jadi. Proses utama PT ABC adalah pewarnaan, dengan air limbah yang dihasilkan memiliki karakteristik warna yang kuat, alkalinitas, konsentrasi COD, BOD, TDS dan TSS yang tinggi serta warna yang kuat. PT ABC saat ini berhadapan dengan persoalan lingkungan yang mendorong diterapkannya ekonomi sirkular melalui konsep *sustainable textile and fashion* dengan sistem pengolahan air limbah yang berkelanjutan. Salah satu upaya yang dilakukan agar proses pengolahan air limbah dapat berkelanjutan adalah dengan memastikan air limbah yang dibuang ke badan air penerima sudah sesuai baku mutu yang dipersyaratkan, sehingga perlu adanya evaluasi terhadap kinerja sistem pengolahan air limbah di PT ABC. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai penyisihan polutan pada air limbah, sehingga dapat digunakan sebagai evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah dan hasil analisis digunakan sebagai salah satu acuan dalam menilai kesiapan PT ABC dalam mencapai target jangka panjang aspek keberlanjutan lingkungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat penyisihan polutan parameter TDS tergolong tidak efektif, parameter fenol, TSS dan ammonia tergolong kurang efektif, parameter MBAS tergolong cukup efektif serta parameter BOD dan COD tergolong efektif. Parameter TDS tergolong pada kategori tidak efektif salah satu faktornya karena PT ABC belum mengimplementasikan metode khusus yang dianggap efektif untuk menurunkan konsentrasi TDS.

**Kata kunci:** Industri Tekstil, Proses Pewarnaan, Air Limbah, Kegiatan Tekstil yang Berkelanjutan, Penyisihan Polutan

## ABSTRACT

PT ABC is categorized as the textile and textile products (TPT) sector and is included as other textile product group which produces zipper products and their components. PT ABC has produced ±153 million meters of zipper products in 2022, using ±250 types of chemicals and approximately 500 L in average of clean water per day in the process of producing finished goods. The main process of PT ABC is dyeing which affect wastewater characteristics such as strong color, high alkalinity, COD, BOD, TDS and TSS and strong colour. PT ABC is currently dealing with environmental issues that encourage the implementation of a circular economy through sustainable textile and fashion concept by implementing sustainable wastewater treatment system. One of the efforts implemented to ensure the wastewater treatment process is sustained through an evaluation of the wastewater treatment system performance at PT ABC, to ensure that the wastewater discharged into the receiving water body meets the required quality standard. This research aims to analyze the value of pollutant removal in wastewater, hence the analysis can be used as an evaluation of the performance of WWTP Dyeing and the analysis are used as a reference in assessing the readiness of PT ABC in achieving long-term targets for environment sustainability aspects. The level of removal efficiency parameter TDS is classified as ineffective, parameter phenol, TSS and ammonia are classified as less effective, parameter MBAS is classified quite effective and parameter BOD and COD are classified as effective. The TDS parameter is classified as ineffective since PT ABC has not implemented a specific method that is considered effective to reduce TDS concentrations.

**Keywords:** Textile Industry, Dyeing Process, Wastewater, Sustainable Textile and Fashion, Removal Pollutant

**Citation:** Nurisni, N., Riani, E., dan Anwar, S. (2024). Efisiensi Penyisihan Polutan Air Limbah dari Kegiatan Pewarnaan di Industri Tekstil Studi Kasus PT ABC. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1615-1625, doi:10.14710/jil.22.6.1615-1625

## 1. PENDAHULUAN

Sektor industri adalah penyumbang PDB nasional terbesar di Indonesia, yaitu sebesar 26,38% terhadap PDB (ADB, 2016) dan salah satu dari 6 sektor utama dan berpengaruh adalah sektor tekstil dan garmen. Berdasarkan Siaran Pers Kementerian Koordinator Perekonomian menunjukkan bahwa tahun 2021, Industri tekstil dan produk tekstil (TPT) mampu menyerap tenaga kerja sebanyak 3,65 juta orang atau 18,79% dari total pekerja di sektor industri manufaktur, namun kegiatan tersebut berpengaruh pada kualitas air permukaan, ada 12.000 industri menengah dan besar yang berpotensi mencemari air permukaan. Salah satu sektor yang relevan yaitu industri tekstil (ADB, 2016). PT ABC adalah salah satu perusahaan pada sektor tekstil dan produk tekstil (TPT) serta tergolong kelompok *others textile* (produk tekstil lainnya), yang memproduksi produk ritsleting dan komponennya. PT ABC telah berdiri sejak 1972 dan pada 2022 memproduksi  $\pm 153$  juta meter produk ritsleting,  $\pm 197$  juta komponen ritsleting dan  $\pm 41$  juta set kancing logam. PT ABC memakai  $\pm 250$  bahan kimia dengan 5 kategori yaitu *dye stuff*, *pigment*, *cat*, *thinner* dan *solvent* dalam proses memproduksi barang jadi. Salah satu proses utama PT ABC yaitu pewarnaan atau *dyeing*.

Proses pewarnaan pada industri tekstil bertujuan untuk memperhalus warna suatu permukaan, diantaranya pada kain dan pita. Proses *dyeing* memakai warna yang bervariasi, bahan pencelupan dan metode yang berbeda (Pei, 2016). Zat warna yang berbeda membutuhkan jenis bahan kimia dan bahan pembantu yang berbeda untuk diplikasikan ke dalam kain atau produk tekstil. Bahan yang digunakan dalam proses *dyeing* tergolong mudah larut dalam air sehingga kelarutan dalam air yang tinggi berpotensi menimbulkan masalah pada instalasi pengolahan air limbah. Air limbah dari industri tekstil, khususnya proses pewarnaan umumnya mengandung warna yang kuat, alkalinitas dan senyawa teroksidasi yang tinggi, memiliki konsentrasi kimia organik dan non organik yang tinggi dengan dicirikan dengan kandungan COD, BOD, TDS dan TSS yang tinggi serta pH yang berfluktuasi. Karakteristik air limbah tekstil sangat bervariasi dan memerlukan berbagai jenis teknik untuk mengolahnya. (Anand dan Horrockss, 2016; Morshed *et al.*, 2018; Yaseen dan Scholz, 2018).

Industri tekstil menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, terutama selama proses pewarnaan dengan konsumsi sekitar 100 – 200 liter air untuk tiap kilogram produk jadi yang memiliki warna mencolok. Limbah cair yang dibuang dari pabrik tekstil yaitu campuran pewarna, logam dan polutan lain. Pewarna tersebut terbagi menjadi pewarna alami dan sintetis, sehingga harus diolah sebelum bisa digunakan lagi atau dibuang karena sifat pewarna organik yang memiliki sifat *non biodegradable* (Khatiri *et al.*, 2015; Yaseen dan Scholz, 2018). Air limbah tekstil berwarna yang terakumulasi di badan air merusak penampilan estetika air dan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air. Penetrasi cahaya dan konsentrasi oksigen

terlarut yang menurun menjadi salah satu faktor punahnya biota akuatik, maka sangat penting untuk memantau dan membandingkan parameter tersebut dengan konsentrasi standar sebelum membuang air limbah ke badan air penerima (Chandansive *et al.*, 2016; (Yaseen dan Scholz, 2018; Mani *et al.*, 2019).

Industri TPT termasuk salah satunya PT ABC saat ini berhadapan dengan persoalan lingkungan yang mendorong diterapkannya ekonomi sirkular melalui konsep *sustainable textile and fashion*. Tujuan yang ingin dicapai yaitu bagaimana proses manufaktur dari hulu sampai hilir dapat berdampak baik bagi semua pihak yaitu produsen, supplier, *brand* dan lingkungan (ILO, 2021). Hal ini diterapkan dengan pendekatan inovatif untuk sistem pengelolaan air limbah sebagai sumber daya atau *resource* karena adanya perubahan paradigma baru dalam pengelolaan air, namun potensi tersebut belum sepenuhnya tereksplorasi dan masih terdapat potensi yang signifikan (Villaria dan Merel, 2020; Smol, 2023). Target utama SDGs untuk mengurangi setengah jumlah air limbah yang tidak diolah dan meningkatkan daur ulang serta penggunaan kembali agar menghasilkan sumber air bersih 'baru', maka air limbah yang dibuang ke badan air berkualitas lebih baik dan dapat berkontribusi pada perbaikan lingkungan perairan (Tortadja, 2020). PT ABC berupaya menerapkan konsep *sustainable textile and fashion* melalui sistem pengolahan air limbah yang berkelanjutan. Salah satu upaya yang dilakukan agar proses pengolahan air limbah dapat berkelanjutan yaitu memastikan air limbah yang dibuang ke badan air penerima sudah sesuai baku mutu yang disyaratkan, sehingga perlu ada evaluasi terhadap kinerja sistem pengolahan air limbah di PT ABC. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis nilai penyisihan polutan pada air limbah atau *pollutant removal efficiency*, sehingga hasil evaluasi tersebut dapat digunakan sebagai salah satu acuan dalam menilai kesiapan PT ABC dalam mencapai target jangka panjang aspek keberlanjutan lingkungan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada *wastewater treatment plant* (WWTP) di salah satu manufaktur yang bergerak pada sektor tekstil dan produk tekstil (TPT) yaitu PT ABC, dengan kurun waktu data penelitian yang digunakan dari tahun 2020 - 2022.

### 2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop yang dilengkapi dengan *software* Microsoft Office. Bahan yang digunakan dalam penelitian diantaranya adalah data kualitas air limbah dari *inlet* dan *outlet* WWTP pada tahun 2020, 2021 dan 2022.

### 2.3. Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, analisis data sekunder yang berupa data kualitas air limbah pada *inlet* dan *outlet* WWTP di PT ABC dan perhitungan efisiensi penyisihan polutan pada air

limbah. Data sekunder yang digunakan merupakan data internal perusahaan berupa hasil uji air limbah yang telah dilakukan oleh pihak ke-3 yang bekerja sama dengan PT ABC yang ada di **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Data Sekunder Hasil Uji Air Limbah

No.	Tahun	Bulan
1	2020	Januari, April, Oktober dan Desember
2	2021	Januari, April, Oktober dan Desember
3	2022	Januari, April, Agustus dan Oktober

Sumber: Data internal perusahaan PT ABC

Pemilihan parameter air limbah yang dianalisis berdasarkan komponen air limbah yang wajib dikelola dan dipantau pada dokumen RKL RPL PT ABC dan dibandingkan dengan Baku Mutu Lingkungan (BML) atau standar yang dipersyaratkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri. Parameter yang dianalisis ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2.** Parameter Air Limbah

No	Parameter	Unit	Baku Mutu Lingkungan
1	BOD <sub>5</sub>	mg/L	50
2	COD	mg/L	100
3	TSS	mg/l	200
4	TDS	mg/L	2000
5	Amonia	mg/l	5
6	Fenol	mg/L	0,5
7	pH	pH units	06-Sep
8	MBAS	mg/L	5

Perhitungan *pollutant removal efficiency* untuk mengetahui besarnya polutan yang dapat dihilangkan dalam proses pengolahan air limbah. Efisiensi kinerja WWTP ditentukan dengan memantau sampel air dari saluran masuk (*inlet*) dan saluran keluar (*outlet*) pada tiap proses pengolahan (fisik, kimia dan biologi) (Fitriana, 2016; Sperling 2020; Tam Le *et al.*, 2023). *Removal efficiency* dihitung dengan:

$$Removal\ efficiency = \frac{(AA - BB)}{AA} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

A = Konsentrasi Awal (mg/ℓ)

B = Konsentrasi Akhir (mg/ℓ)

Hasil perhitungan terhadap *removal efficiency* tiap parameter kemudian diklasifikasikan berdasarkan empat kategori *removal efficiency* pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Kriteria Efektifitas

No.	Nilai Presentase Efektifitas	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

Sumber: Fitriana (2016)

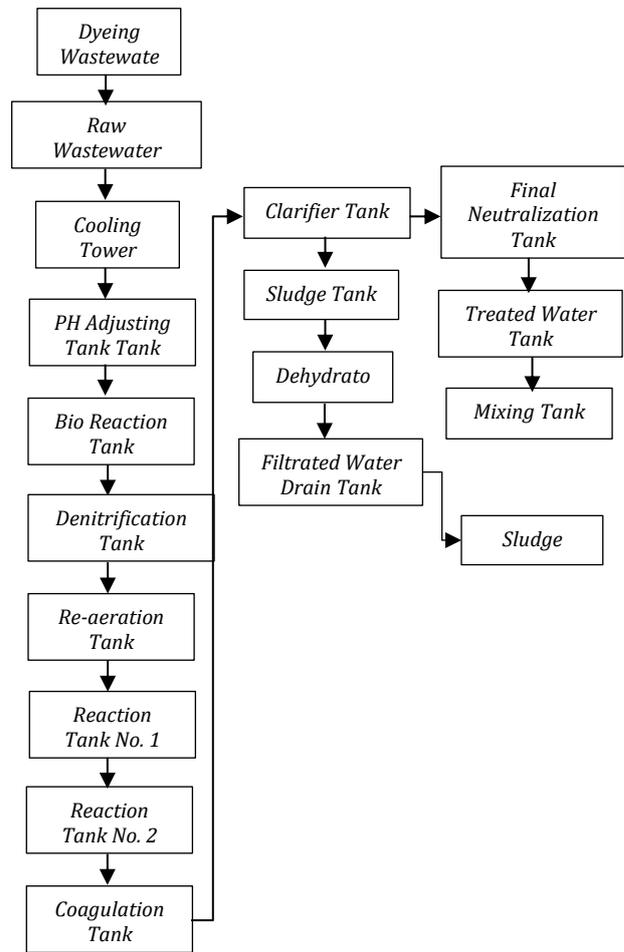
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Proses Pengolahan Air Limbah di PT ABC

Proses pengolahan air limbah dari proses pewarnaan umumnya dibagi menjadi metode fisika, oksidasi biokimia, proses oksidasi lanjutan dan

metode pengolahan yang dikombinasikan (Pei, 2016). Proses pengolahan air limbah pada WWTP *Dyeing* di PT ABC melalui serangkaian proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, dengan detail penjelasan:

1. **Cooling Tower:** Proses penurunan suhu limbah dari 70 °C menjadi 40 °C, untuk menyesuaikan kondisi optimum pertumbuhan bakteri pada proses *bio reaction* yaitu pada suhu 25°C - 35°C.
2. **pH Adjustment Tank:** Proses penyesuaian air limbah dengan menambahkan asam dan basa kuat yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH, untuk menyesuaikan kondisi optimum pertumbuhan bakteri pada proses *bio reaction* yaitu pada pH 6,5 - 7,5.
3. **Cooling Tower:** Proses penurunan suhu limbah dari 70 °C menjadi 40 °C, untuk menyesuaikan kondisi optimum pertumbuhan bakteri pada proses *bio reaction* yaitu pada suhu 25°C - 35°C.
4. **pH Adjusting Tank:** Proses penyesuaian air limbah dengan menambah asam dan basa kuat yaitu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH, untuk menyesuaikan kondisi optimum pertumbuhan bakteri pada proses *bio reaction* yaitu pada pH 6,5 - 7,5.



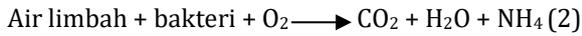
**Gambar 1.** Proses Pengolahan Air Limbah pada WWTP *Dyeing* di PT. ABC

Sumber: Dokumen Instruksi Kerja Pengolahan Air Limbah WWTP *Dyeing* PT ABC

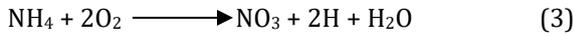
5. **Bio Reaction Tank:** Proses penguraian material organik oleh bakteri aerob dalam lumpur aktif yang terkandung dalam air limbah menjadi CO<sub>2</sub>

dan H<sub>2</sub>O dengan oksigen yang disuplai oleh *blower*. Terdapat bakteri nitrifikasi bereaksi dengan senyawa organik dalam air mengkonversi amonia (NH<sub>3</sub> dalam air atau NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) menjadi NO<sub>3</sub>.

Dekomposisi organik dalam air limbah terjadi reaksi:



Dekomposisi Ammonium dengan bantuan bakteri nitrifikasi

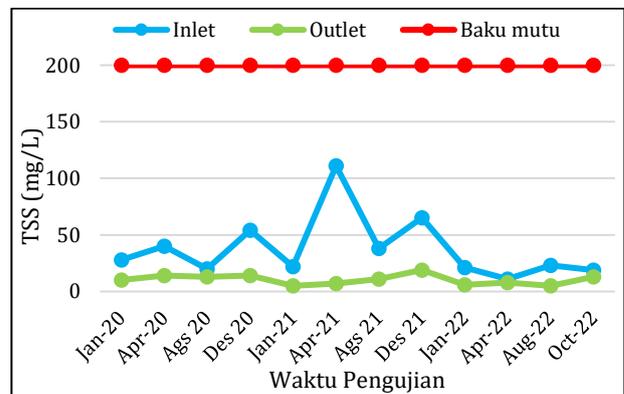


6. **Denitrification Tank:** Bakteri denitrifikasi (bakteri anaerob) mengubah NO<sub>3</sub> menjadi gas N<sub>2</sub> dan melepaskannya ke udara. Proses nitrifikasi dan denitrifikasi bertujuan untuk mengurangi kandungan amonia dalam air limbah dengan bantuan bakteri denitrifikasi. Bahan kimia H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH dan metanol ditambahkan pada proses ini.  $6\text{NO}_3 + 5\text{CH}_3\text{OH} \longrightarrow 3\text{N}_2 + 5\text{CO}_2 + 6\text{OH} + 7\text{H}_2\text{O}$  (4)
7. **Re Aeration Tank:** Proses metabolisme bakteri anaerob secara alami yang menghasilkan metanol. Bakteri aerob dalam lumpur aktif bereaksi dengan residu metanol dari proses *Denitrification Tank* dan terurai menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan oksigen yang disuplai oleh *aeration blower*.
8. **Reaction Tank No. 1:** Proses netralisasi dengan penambahan bahan kimia H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH, sebelum masuk proses reaksi dengan penambahan koagulan pada *Reaction Tank No.2*.
9. **Reaction Tank No. 2:** Tahap ini terjadi proses pembuatan flok hidroksida dari logam berat membesar dengan penambahan polimer anion. Polimer anion bertindak sebagai koagulan yang mengikat material material anorganik dalam air limbah.
10. **Coagulation Tank:** Proses pengendapan flok hidroksida dari logam berat dan memisahkannya dari *supernatant* dengan adanya penambahan kuriflok PA-322 dan natrium hipoklorit, kemudian lumpur berlebih yang dihasilkan dialirkan ke *sludge tank*.
11. **Final Neutralization Tank:** Proses menetralkan pH air hasil pengolahan dan proses disinfeksi melalui penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH dan natrium hipoklorit. Proses ini bertujuan agar pH air limbah memiliki pH berkisar 6-8 dengan adanya penambahan.
12. **Sludge Tank:** Tanki penampungan lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah.
13. **Dehydrator:** Proses pemadatan lumpur menjadi bentuk *cake* dengan menggunakan *screw press*. Proses ini dapat mengurangi kadar air dalam lumpur sebesar 80 % - 90 %. *Cake* dikumpulkan dalam 1 bak penyimpanan, kemudian pengolahannya akan diserahkan pada pihak ketiga.

### 3.2. Hasil Analisis Setiap Parameter

#### 3.2.1. Total Padatan Tersuspensi (TSS)

Hasil uji pada sampel air limbah yang diujikan menunjukkan bahwa parameter TSS memiliki konsentrasi di bawah standar yang dipersyaratkan, baik pada *inlet* maupun outlet WWTP seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Proses pengolahan untuk menurunkan TSS pada WWTP *Dyeing* PT ABC dilakukan melalui proses koagulasi dan flokulasi yaitu melalui penambahan polimer anion pada proses *Reaction Tank No. 2*. Hal tersebut sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Irfan *et al.* (2017), bahwa kombinasi PAC dan polimer anion sangat baik dalam menurunkan konsentrasi TSS sampai 95%. Penentuan dosis optimum koagulan perlu memperhatikan aspek ekonomi sehingga pembelian dan penggunaan koagulan yang digunakan dapat efisien dan tidak menimbulkan biaya operasional yang tinggi (Zakaria *et al.*, 2022). Nilai padatan tersuspensi (TSS) pada air limbah hasil proses pewarnaan berhubungan dengan penggunaan berbagai jenis pewarna sintetis yang menggunakan air dengan jumlah banyak pada prosesnya. Proses penghilangan warna tersebut dalam industri tekstil menimbulkan masalah bagi lingkungan dan bahan padat yang mengapung dalam jumlah besar. Hal tersebut berkaitan dengan jumlah partikel yang dapat membatasi sinar matahari yang masuk ke badan air dengan menghambat proses masuknya sinar matahari untuk fotosintesis, sehingga kandungan dan oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh tanaman menurun dan ekosistem dalam air menjadi terganggu (Kheireddine *et al.*, 2018; Nuraini *et al.*, 2019).



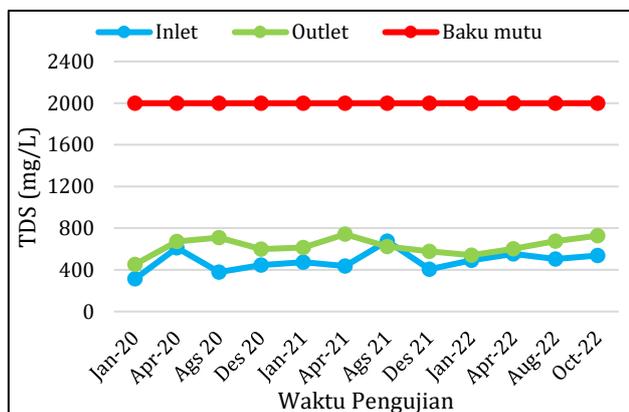
**Gambar 2.** Grafik Konsentrasi Parameter TSS pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

Pemantauan pH diperlukan karena memainkan peran dalam penurunan terhadap hampir seluruh parameter diantaranya COD, TSS dan warna saat pemberian dosis koagulan ini. (Irfan *et al.*, 2017). Salah satu tujuan dalam mengontrol pH adalah untuk mendapatkan efisiensi koagulan yang optimal pada proses pengolahan selanjutnya (Sun *et al.*, 2019). pH merupakan parameter utama dalam proses pengolahan air limbah karena selain dapat mengubah karakteristik padatan air limbah, adanya penyesuaian pH menyebabkan pengaruh terhadap sejumlah

interaksi dengan parameter lainnya (Rashid *et al.*, 2020). PT ABC menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride (PAC)* dengan ketentuan koagulan PAC lebih aktif pada kisaran pH asam untuk menghilangkan warna pada air limbah (Islam dan Mostafa 2020) dan nilai pH yang terlalu tinggi cenderung tidak bekerja dengan baik pada PAC, umumnya nilai pH 5-7 adalah kisaran pH terbaik.

### 3.2.2. Total Padatan Terlarut (TDS)

Hasil analisis terhadap parameter TDS menunjukkan bahwa *inlet* dan *outlet* pada seluruh sampel memiliki konsentrasi di bawah standar yaitu 2000 mg/L (**Gambar 3**). Hasil pengolahan pada 11 dari 12 sampel air limbah memiliki konsentrasi TDS yang lebih tinggi dibandingkan sebelum melalui proses pengolahan, kecuali 1 sampel air limbah Bulan Agustus 2021. Beberapa metode terbukti efektif untuk menurunkan konsentrasi TDS diantaranya *membrane filter*, *micro filter*, *nanofilter* dan *reverse osmosis*, karena TDS tidak dapat dihilangkan dengan sistem pengolahan biologis (Prasanthrajan, 2019). Proses pengolahan air limbah yang dilakukan pada WWTP *Dyeing* PT ABC belum menerapkan pengolahan yang secara khusus untuk menurunkan konsentrasi TDS, namun di sisi lain parameter TDS merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dalam air limbah hasil kegiatan tekstil karena adanya penggunaan garam biasa dan garam glauber pada proses produksi yang dapat meningkatkan konsentrasi TDS dalam air limbah tekstil. Konsentrasi TDS dalam air dapat mempengaruhi keseimbangan osmotik, menyebabkan pembengkakan atau dehidrasi pada organisme akuatik (Kumar dan Saravan, 2017).

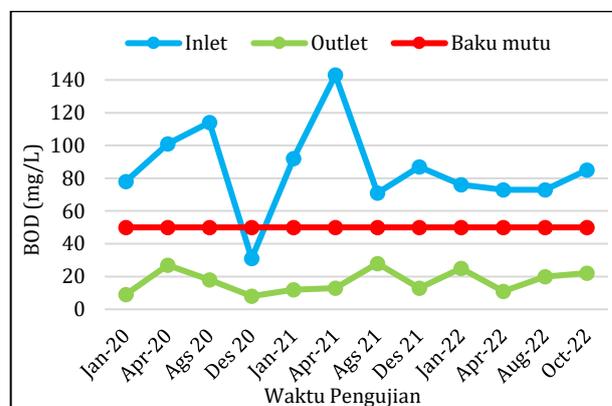


**Gambar 3.** Grafik Konsentrasi Parameter TDS pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

### 3.2.3. Biological Oxygen Demand (BOD)

Hasil analisis parameter BOD pada *inlet* WWTP hampir seluruh sampel uji menunjukkan nilai yang melebihi standar yang dipersyaratkan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Pengolahan bahan tekstil melibatkan penggunaan air dan pewarna dalam jumlah besar, sejumlah bahan kimia anorganik dan organik, deterjen, sabun, dan bahan kimia finishing untuk membantu proses pewarnaan guna memberikan sifat yang diinginkan pada produk tekstil

yang diwarnai. Bahan kimia sisa sering kali tertinggal dalam limbah dari proses ini. Kondisi tersebut menghasilkan limbah dengan kualitas buruk yang memiliki kandungan BOD dan COD yang tinggi. Konsentrasi BOD pada air limbah tekstil dapat mencapai 1400 mg/L tergantung dari bahan dan proses yang dilakukan (Morshed *et al.* 2018; Tapsoba, 2020).



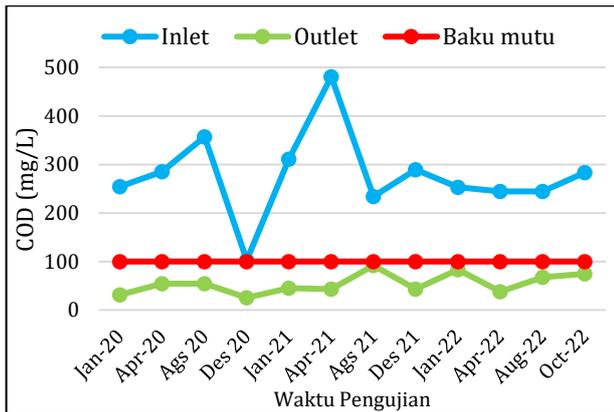
**Gambar 4.** Grafik Konsentrasi Parameter BOD pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

Upaya penurunan konsentrasi BOD pada WWTP *Dyeing* PT ABC dilakukan dengan metode lumpur aktif atau *activated sludge*, dimana efisiensi penurunan BOD dapat mencapai 80-95% dengan lumpur aktif (Subramani, 2021). Teori tersebut mendukung hasil pengolahan pada outlet yang menunjukkan konsentrasi di bawah standar yang dipersyaratkan. Mekanisme biologis mempunyai peran penting dalam pengolahan sekunder, terutama terkait dengan penurunan warna, BOD, COD, minyak, lemak dan kandungan fenol dalam limbah. Bahan organik terlarut umumnya dioksidasi oleh bakteri aerob, yang menggunakan bahan organik tersebut sebagai sumber energi dan nutrisi (Suravanan, 2017). Kondisi pH dan ketersediaan oksigen dalam air limbah perlu diperhatikan karena berkaitan dengan kinerja bakteri pada lumpur aktif, sehingga pada proses WWTP *Dyeing* dilakukan penambahan bahan kimia berupa asam kuat  $H_2SO_4$  dan NaOH pada tahap *pH Adjustment Tank* dan *Neutralization Tank*, dengan tujuan untuk memastikan pH air limbah yang dibuang telah memenuhi kisaran konsentrasi pH yang diperbolehkan.

### 3.2.4. Chemical Oxygen Demand (COD)

Hasil uji *inlet* parameter COD pada seluruh sampel air limbah memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan standar, dengan konsentrasi tertinggi sebesar 481 mg/L dan konsentrasi terendah 102,6 mg/L, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Konsentrasi tersebut sesuai dengan hasil studi oleh Mani *et al.* (2019), dimana konsentrasi COD pada air limbah industri tekstil bisa mencapai 100 - 12.000 mg/L, tergantung dari jenis bahan kimia yang digunakan. *Chemical Oxygen Demand (COD)* merupakan jumlah total oksigen yang dibutuhkan

suatu senyawa kimia dalam suatu reaksi untuk mampu mengoksidasi seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Rahmat dan Mallongi, 2018). Air limbah tekstil umumnya menunjukkan warna yang pekat dan ditandai dengan nilai COD yang tinggi dan kandungan garam yang tinggi (Holkar *et al.*, 2016). Proses *dyeing* di PT ABC menggunakan beberapa jenis bahan kimia diantaranya *dyestuff*, *pigment*, *cat*, *thinner* dan *solvent*. *Dyestuff* atau bahan dasar pewarna yang digunakan tergolong pada zat yang sangat larut dalam air dan merupakan struktur pewarna yang kompleks sehingga menjadi sulit untuk didegradasi (Holkar *et al.* 2016; Perez 2017).



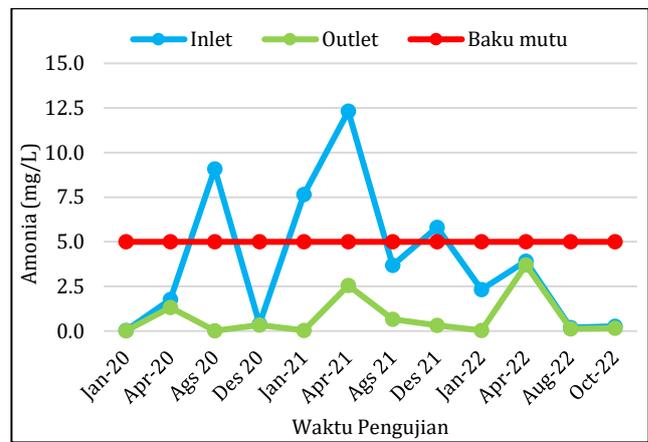
Gambar 5. Grafik Konsentrasi Parameter COD pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

Proses pengolahan air limbah dari proses *dyeing* merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi PT ABC, faktornya adalah peningkatan permintaan *customer* terhadap produk dengan variasi warna yang lebih beragam dengan struktur yang lebih kompleks, sehingga berdampak pada jenis bahan dasar warna yang digunakan dan dampaknya pada warna dan konsentrasi COD yang dihasilkan. Upaya penurunan konsentrasi COD pada WWTP *Dyeing* dilakukan melalui proses flokulasi - koagulasi, kombinasi penambahan PAC, natrium hipoklorit dan polimer anion, dimana kombinasi tersebut sangat umum digunakan untuk mengolah limbah dan air industri, dianggap efektif dalam menurunkan konsentrasi COD sampai 80% dan dapat menghilangkan dan mencegah penyebaran bakteri dan lumpur (Irfan *et al.*, 2017; Kesar dan Bhatti, 2022). Sejumlah metode diterapkan dalam menghilangkan warna dan COD air limbah tekstil, termasuk kombinasi pengolahan kimia-fisik dengan langkah biologis, serta beberapa teknik baru seperti sonokimia atau oksidasi lanjutan. Proses flokulasi dan koagulasi merupakan metode yang efektif karena layak secara ekonomi dan kapasitas penyisihan warna yang tinggi apabila dibandingkan dengan metode yang lain (Islam dan Mostafa 2020).

### 3.2.5. Amonia

Parameter amonia menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan standar yang dipersyaratkan pada *inlet* WWTP, yaitu sampel pada 1620

Bulan Agustus 2020, Januari 2021, April 2021 dan Desember 2021, namun parameter amonia pada air limbah hasil proses pengolahan seluruhnya telah memenuhi standar (Gambar 6). Nitrogen amonia pada air limbah terkandung dalam bentuk ion amonium ( $NH_4^+$ ). Air limbah yang mempunyai konsentrasi amonium yang tinggi dapat menimbulkan efek toksik pada organisme akuatik di perairan sekitar (Takeda, 2016). Peningkatan pH mendukung pembentukan amonia yang lebih beracun yaitu dalam bentuk  $NH_3$ . Parameter pH dan amonia saling berkaitan, karena apabila konsentrasi  $NH_4^+ - N$  dalam *outlet* WWTP lebih rendah dibandingkan *inlet*, konsentrasi amonia terionisasi dalam limbah akhir menjadi lebih tinggi dibandingkan influen karena terjadi peningkatan pH (Takeda, 2016).



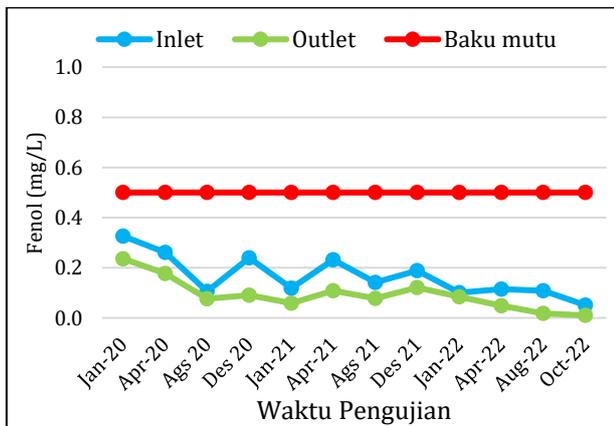
Gambar 6. Grafik Konsentrasi Parameter Amonia pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

Penyisihan senyawa nitrogen pada air limbah dapat dilakukan melalui sistem biologis. Hal ini sejalan dengan proses pengolahan air limbah pada WWTP *Dyeing* yang menggunakan bakteri dan penambahan oksigen untuk memecah senyawa pada air limbah menjadi amonium, kemudian terjadi dekomposisi amonium dengan bakteri nitrifikasi. Bakteri nitrifikasi mempunyai peranan dalam mengkonsumsi amonia melalui proses oksidasi, sehingga pada tahap akhir menghasilkan senyawa nitrat (Burnashova *et al.*, 2018). Proses penyisihan amonia pada WWTP *Dyeing* didukung dengan adanya penambahan metanol pada proses *reaeration tank*, dimana metanol memainkan peran penting pada proses denitrifikasi yaitu dengan menurunkan konsentrasi nitroten tinggi pada air limbah. Metanol adalah molekul alami yang dapat terbiodegradasi dan umum digunakan dalam proses pengolahan air limbah karena sifat kimianya yang menguntungkan karena paling umum digunakan dalam denitrifikasi, mempercepat aktivitas bakteri anaerob yang memecah nitrat berbahaya (Yin dan Guo 2022).

### 3.2.6. Fenol

Konsentrasi fenol pada *inlet* dan *outlet* WWTP *Dyeing* memiliki konsentrasi di bawah standar yang dipersyaratkan pada seluruh sampel hasil uji

(**Gambar 7**). Parameter fenol merupakan salah satu parameter yang wajib dikelola dan dipantau pada dokumen RKL RPL PT ABC, karena dalam proses produksi, senyawa kelompok fenol menjadi komponen yang terkandung dalam bahan kimia Quintolubric 888 68 (2,6-Di-tert-butylphenol) yang digunakan dalam proses produksi PT ABC. Fenol merupakan salah satu kontaminan paling umum yang terkandung dalam air limbah dari kegiatan industri pabrik pulp dan kertas, unit sintesis pewarna, produksi resin, plastik, benang, unit operasi gasifikasi batubara, serta kilang dan industri minyak bumi dan mempunyai dampak yang beracun melalui paparannya pada lingkungan, sehingga EPA (*Environment Protection Agency*) membuat standar batasan kandungan fenol pada badan air penerima yaitu di bawah 1 ppb (*part per billion*) (Abbas *et al.*, 2019; Mohd, 2022). Fenol atau secara spesifik senyawa *chlorinated phenols* mempunyai karakteristik struktur yang serupa dengan pestisida, sehingga proses pengolahan secara biologis tergolong sulit dalam mendegradasi karena faktor *biodegradation resistance*, sehingga penurunan konsentrasi fenol dapat dilakukan melalui proses pengolahan kombinasi biologis dan kimiawi. Mikroorganisme menyerap limbah sebagai nutrient melalui proses biologi dan merubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana (Mohd, 2022).

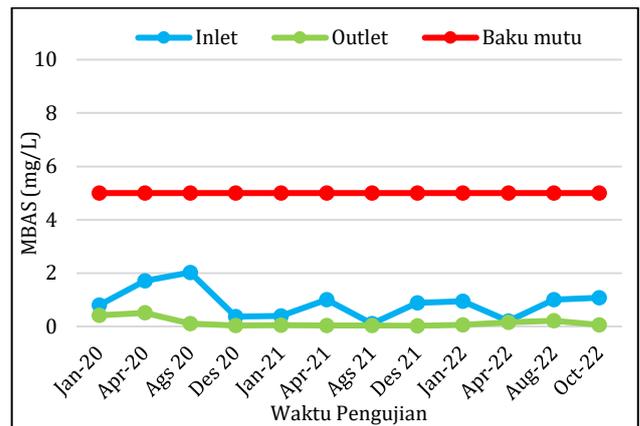


**Gambar 7.** Grafik Konsentrasi Parameter Fenol pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

### 3.2.7. MBAS

Hasil analisis terhadap parameter MBAS menunjukkan bahwa seluruh sampel air limbah yang diujikan memiliki konsentrasi di bawah standar yang dipersyaratkan baik pada *inlet* maupun *outlet* WWTP *Dyeing*. MBAS adalah *Methylen Blue Active Surfactant*, yaitu kandungan surfaktan anionik berikatan dengan metilen biru membentuk senyawa kompleks berwarna biru. Surfaktan digunakan untuk tiga proses utama dalam industri tekstil, diantaranya pada proses *dyeing* dan *finishing*. Limbah tekstil mengandung sejumlah besar surfaktan yang berasal dari proses *dyeing*. Surfaktan bertindak sebagai bahan pembasah, bahan penetrasi, sebagai deterjen serta bahan pembentuk dan pengemulsi. Penggunaan surfaktan

sebagai bahan pembasah mengurangi sifat hidrofobik bahan sehingga memudahkan penetrasi air dan bahan kimia, kemudian mengurangi tegangan permukaan serat dan penyisihan minyak pada permukaan serat saat *pre treatment* proses *dyeing* (Pérez *et al.*, 2017; Rashid *et al.*, 2020). MBAS pada konsentrasi tertentu dengan adanya akumulasi pada badan air penerima dapat berdampak buruk terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Wahid *et al.*, 2021). Hal tersebut yang menyebabkan proses penyisihan kontaminan surfaktan merupakan salah satu tantangan besar karena surfaktan digunakan pada berbagai macam kegiatan dan memiliki dampak negatif terhadap kesehatan (Palmer dan Hatley, 2018).



**Gambar 8.** Grafik Konsentrasi Parameter MBAS pada Sampel Air Limbah *Dyeing*

### 3.3. Nilai Removal Efficiency WWTP *Dyeing*

Hasil analisis terhadap seluruh parameter menunjukkan bahwa konsentrasi *outlet* WWTP telah memenuhi standar yang dipersyaratkan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, setelah melalui beberapa jenis metode pengolahan air limbah. Hal ini merupakan kewajiban PT ABC dalam melakukan upaya pengelolaan dan pemantauan terhadap air limbah yang dihasilkan agar tidak memberikan dampak negatif pada badan air penerima, sehingga penting untuk mengetahui kinerja WWTP *Dyeing* PT ABC dalam memastikan proses pengolahan dapat berkelanjutan. Sistem pengolahan konvensional seperti pengolahan fisik, kimia dan fisika-kimia yang dikombinasikan dengan sistem pengolahan biologis telah diterapkan pada sebagian besar industri tekstil (Prasanthrajan, 2019), namun di sisi lain terdapat faktor lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas *outlet* WWTP *Dyeing*. Nilai negatif pada hasil perhitungan merupakan hal yang umum terjadi pada instalasi pengolahan air limbah dan dapat disimpulkan kinerja instalasi yang tidak efektif, namun perlu ada analisis rinci mengenai data pemantauan diantaranya kemungkinan kehilangan kandungan padatan pada *final clarifier* yang dapat menyebabkan peningkatan parameter tertentu pada *outlet* (Sperling, 2020).

Hasil analisis terhadap sampel air limbah (lihat **Tabel 4**) pada tujuh parameter menunjukkan nilai

removal efficiency terendah dan tertinggi secara berturut-turut yaitu parameter TSS 10% dan 93,69%, parameter TDS -86,32% dan 7,69%, parameter BOD 60,56% dan 90,91%, parameter COD 60,8% dan 91,06%, parameter amonia 5,46% dan 99,8%, parameter fenol 16,83% dan 83,33%, serta parameter MBAS 25,37% dan 96,5%. Penentuan kategori efektifitas mengacu pada nilai terendah dari seluruh sampel air limbah yang diujikan pada setiap parameter (Sperling, 2020). Hasil analisis menunjukkan parameter BOD dan COD tergolong pada kategori efektif, parameter MBAS tergolong cukup efektif, parameter TSS, ammonia dan fenol tergolong pada kategori kurang efektif serta parameter TDS tergolong pada kategori tidak efektif. Data hasil analisis ditunjukkan pada Tabel dan Gambar xx.

**3.3.1. Parameter TDS**

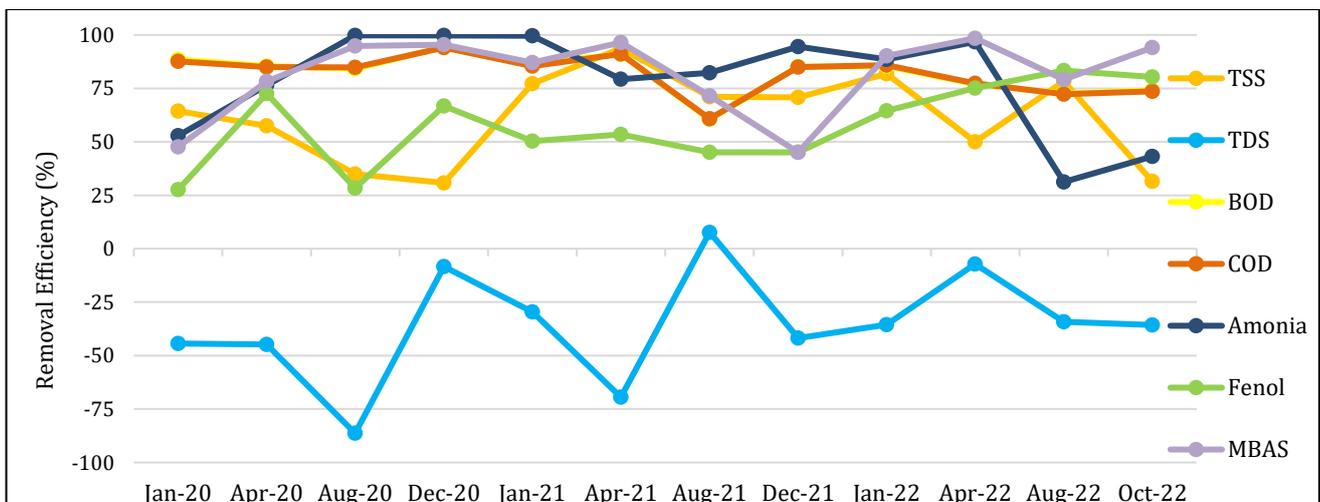
Hasil perhitungan removal efficiency parameter TDS tergolong kategori tidak efektif dengan seluruh hasil uji menunjukkan nilai kisaran -86,32% sampai 7,69%. Hal tersebut dapat terjadi diantaranya karena WWTP Dyeing belum mengimplementasikan metode

pengolahan secara khusus untuk menurunkan konsentrasi TDS yang telah terbukti efektif. Metode biologis dengan menggunakan mikroorganisme tergolong tidak efektif dalam pengurangan konsentrasi TDS. Metode kimia untuk mengolah limbah air yang menggunakan PAC menghasilkan lebih banyak lumpur dan meningkatkan TDS, sehingga metode kimia tergolong tidak efektif dalam menurunkan konsentrasi TDS. Metode fisik seperti *membrane filter*, *micro filter*, *ultra filter*, *nano filter* dan *reverse osmosis* berhasil dalam menurunkan konsentrasi TDS tetapi membutuhkan perhatian khusus dalam melakukan penggantian filter tersebut. Kombinasi dua metode yaitu biologis dan fisik dianggap menjadi proses terbaik dalam menurunkan TDS. Metode biologis melalui adanya pengurangan beban organik yang dapat mempertahankan kadar air yang tinggi, sehingga campuran padatan tersuspensi pada tangki pengolahan biologis dapat membantu meningkatkan umur filter fisik dan sistem *reverse osmosis*. Hal tersebut mendukung metode fisik dalam menurunkan konsentrasi TDS dan mengurangi biaya operasional WWTP (Prasanthrajan, 2019).

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Removal Efficiency WWTP Dyeing di PT ABC

Waktu Pengujian	Removal Efficiency (%)						
	TSS	TDS	BOD	COD	Amonia	Fenol	MBAS
Jan-20	64,3	-44,4	88,5	87,7	52,8	27,6	47,6
Apr-20	57,5	-44,8	85,4	84,98	76,5	72,6	78,3
Ags 2020	35	-86,32	84,21	84,8	99,8	28,3	94,9
Des 2020	30,8	-8,3	94,3	94,1	99,7	66,8	95,5
Jan-21	77,27	-29,54	86,96	85,39	99,6	50,4	87
Apr-21	93,69	-69,41	90,91	91,06	79,3	53,4	96,5
Ags 2021	71,05	7,69	60,56	60,8	82,3	45,1	71,6
Des 2021	70,77	-41,77	85,06	85,01	94,5	45,1	45,1
Jan-22	81,8	-35,6	85,4	85,8	88,53	64,46	90,16
Apr-22	50	-7,1	77,1	77,3	96,84	75,11	98,48
Ags 2022	78,26	-34,19	72,60	72,33	31,25	83,33	79,18
Okt 2022	31,58	-35,75	74,12	73,55	43,17	80,39	94,06
Min.	30,8	-86,32	60,56	60,8	31,25	27,66	45,1
Maks.	93,69	7,69	90,91	91,06	99,8	83,33	96,5

Sumber: Hasil pengolahan data internal Perusahaan



**Gambar 9.**

### 3.3.2. Parameter Amonia

Parameter amonia tergolong pada kategori kurang efektif pada satu dari dua belas sampel air limbah yang diujikan yaitu sampel Bulan Agustus 2022. Konsentrasi amonia pada sampel air limbah yang belum diolah tersebut menunjukkan nilai 0,19 mg/L dan konsentrasi hasil pengolahan adalah 0,13 mg/L, sehingga efektifitas menunjukkan hasil yang rendah dengan angka 31,25%, sedangkan pada hasil uji air limbah lainnya tergolong cukup efektif sampai efektif.

WWTP *Dyeing* telah menerapkan proses air limbah dengan bantuan bakteri untuk mendukung terjadi proses nitrifikasi namun kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi suhu. Suhu merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses oksidasi oleh bakteri. Kondisi suhu rendah berpengaruh terhadap proses oksidasi oleh bakteri menjadi berkurang sehingga mempengaruhi transpor aktif penyerapan nutrisi dan mempengaruhi proses konversi perubahan amonia menjadi nitrit, sedangkan pada suhu tinggi struktur bakteri oksidasi amonia dapat terjadi degenerasi sehingga suhu optimal adalah 38 °C untuk mencapai tingkat konversi maksimum (Ke dan Tian 2018). Proses pengolahan limbah amonia secara biologis melibatkan rangkaian proses pengolahan gabungan antara aerob dan anaerob. Proses aerob merupakan proses oksidasi senyawa amonia menjadi senyawa transisi nitrit, selanjutnya diikuti proses oksidasi nitrit menjadi senyawa nitrat atau disebut proses denitrifikasi, kemudian terjadi proses anaerob pada dasar tangki yang dipengaruhi oleh waktu tinggal sehingga proses pengolahan mempengaruhi penyisihan amonia, analisis konsentrasi amonia dengan waktu tinggal yang berbeda dapat mempengaruhi konsentrasi (Ramdhani *et al.*, 2018).

### 3.3.3. Parameter Fenol

Hasil uji pada tiga dari dua belas sampel air limbah menunjukkan konsentrasi polutan yang tergolong kurang efektif dalam menyisihkan polutan dengan nilai konsentrasi terkecil 27,6 mg/L pada sampel bulan Januari 2020. PT ABC telah melakukan upaya dalam menurunkan fenol diantaranya melalui media lumpur aktif yang bertujuan untuk menurunkan logam organik pada air limbah, namun dalam proses pengolahan pada WWTP *Dyeing* belum melakukan proses penurunan fenol secara khusus, karena berdasarkan konsentrasi dari seluruh hasil uji menunjukkan konsentrasi fenol pada air limbah yang belum diolah tergolong lebih rendah dari batas maksimum yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan yaitu 0,5 mg/L, namun perusahaan dapat melakukan upaya penurunan diantaranya dengan menerapkan proses rangkaian. Karbon aktif dapat digunakan untuk menyerap fenol dan bahan organik lainnya dalam air limbah industri. Metode penyerapan tersebut dapat menghilangkan warna dan bau air limbah sambil menghilangkan polutan fenol, selain itu kehadiran bakteri denitrifikasi yang menggunakan senyawa fenol sebagai sumber karbon utama untuk

memenuhi kebutuhan pertumbuhannya sendiri di sisi lain melakukan degradasi polutan fenol. Kemampuan bakteri denitrifikasi untuk mendegradasi senyawa fenol ditingkatkan dengan meningkatkan kandungan nitrat (Yuting *et al.*, 2021).

### 3.3.4. Parameter TSS

Parameter TSS tergolong kurang efektif dalam menyisihkan polutan pada air limbah diantaranya pada dua dari dua belas sampel air limbah yang diujikan, dengan angka efisiensi 35% pada sampel Bulan Agustus 2020 dan 30,8% pada sampel bulan Desember 2020. Sepuluh hasil uji lainnya tergolong cukup efektif sampai sangat efektif dalam menurunkan konsentrasi parameter TSS pada air limbah. PT ABC telah menerapkan proses khusus untuk menurunkan TSS dengan proses koagulasi dan flokulasi, namun kondisi penurunan konsentrasi TSS yang tergolong kurang efektif dapat terjadi. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh tingginya koagulan pada air limbah yang dipengaruhi oleh dosis optimum sehingga air menjadi jenuh. Hal lainnya yang dapat berpengaruh adalah kondisi pH air limbah sehingga koagulan tidak bekerja secara maksimal (Oktiawan *et al.*, 2023). Faktor lainnya yang dapat berpengaruh adalah pada proses koagulasi flokulasi untuk menurunkan padatan tersuspensi dimana proses yang paling efektif adalah pada pH 7. Semakin banyak muatan positif yang dihasilkan maka semakin banyak flok yang terbentuk karena semakin banyaknya kation yang dihasilkan oleh koagulan. Hal ini menunjukkan bahwa pH juga mempengaruhi efektivitas koagulan dalam menurunkan kekeruhan dan COD air limbah. Kekeruhan disebabkan oleh zat-zat organik yang terkandung dalam air limbah (Aditya *et al.*, 2018).

## 4. KESIMPULAN

Hasil uji air limbah pada tujuh parameter dari WWTP *Dyeing* PT. ABC menunjukkan bahwa air limbah hasil pengolahan telah memenuhi standar yang dipersyaratkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. Hasil analisis menunjukkan parameter BOD dan COD tergolong pada kategori efektif, parameter MBAS tergolong cukup efektif, parameter TSS, ammonia dan fenol tergolong pada kategori kurang efektif serta parameter TDS tergolong pada kategori tidak efektif. Parameter TDS tergolong tidak efektif salah satu faktornya karena WWTP *Dyeing* belum mengimplementasikan metode pengolahan penurunan TDS yang telah terbukti efektif seperti seperti *membrane filter*, *micro filter*, *ultra filter*, *nano filter* dan *reverse osmosis*. Proses pengolahan air limbah telah dilakukan secara khusus untuk menurunkan polutan parameter TSS, fenol dan amonia namun terdapat faktor lainnya yang menyebabkan penyisihan polutan menjadi kurang efektif diantaranya pengaruh kondisi pH, dosis koagulan, suhu air limbah, kinerja bakteri dan waktu tinggal saat proses pengolahan air limbah. Proses degradasi air limbah hasil proses pewarnaan cenderung sulit apabila hanya mengandalkan satu unit pengolahan

sehingga disarankan untuk menggunakan kombinasi metode agar mencapai degradasi limbah yang lebih baik dan melakukan perusahaan perlu melakukan pemeriksaan lanjut saat nilai efisiensi terhadap hasil uji air limbah menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan kecenderungan nilai seluruh hasil uji sampel.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abbas M.N., Al-Madhhachi A.T. & Esmael S. 2019. Quantifying Soil Erodibility Parameters Due To Wastewater Chemicals. *International Journal of Hydrology Science and Technology* 9 (5): 550– 568. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2019.10016884>
- Aditya I & Kartohardjono S. 2018. Effect of pH of Coagulant on the Treatment of Wastewater from Tofu Industry. *Environmental Research*, 67 (04006). doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186704006>
- Asian Development Bank. 2016. Indonesia Country Water Assessment Report.
- Burnashova S., Semyonov Y., Sibataev A.K. 2018. Controlled Nitrification in Wastewater Treatment. *Earth and Environmental Science*, 201 (012002). doi :10.1088/1755-1315/201/1/01200
- Chandanshive V.V., Niraj R.R., Gholave A.R., Patil S.M., HunJeon B. & Govindwar S.P. 2016. Efficient Decolorization and Detoxification of Textile Industry Effluent by *Salvinia Molesta* in Lagoon Treatment. *Environmental Research* (150): 88–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.047>
- Fitriana L. & Weliyadi E. 2016. Uji Efektifitas Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Pertamedika Menggunakan Sistem Biofilter Aerob-Anaerob. *Jurnal Harpodon Borneo*, (9) 2. ISSN 2087-121X
- Horrocks AR, Anand S. 2016. Handbook of Technical (Second Edition). Cambridge. Woodhead Publishing
- Holkar Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. 2016. A Critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches. *Journal of Environmental Management* 182: 351–366. doi:10.1016/j.jenvman.2016.07.090
- Huang J, Wang X, Jin Q & Wang Y. 2007. Removal of Phenol from Aqueous Solution by Adsorption onto Otmac-Modified Attapulгите. *Journal of Environmental Management* 84 (2): 229–236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.05.007>
- International Labor Organization. 2021. Greener Clothes? Environmental Initiatives and Tools in the Garment Sector in Asia - Asia Pacific Report.
- Irfan M., Butt T., Imtiaz N., Abbas N., Khan R.A. & Shafiq A. 2017. The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation-flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 2307-2318
- Islam M.I. & Mostafa M.G. 2020. Characterization of Textile Dyeing Effluent and Its Treatment Using Polyaluminum Chloride. *Applied Water Science* (10): 119. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01204-4>
- Kesar S. & Bhatti M.S. 2022. Chlorination of secondary treated wastewater with sodium hypochlorite (NaOCl): An effective single alternate to other disinfectants. *Heliyon*, (e11162). doi: [doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11162](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11162)
- Ke F & Tian X. 2018. Analysis and Research on Influence Factors of Anaerobic Ammonia Oxidizing Bacterial Activity. *Material, Energy and Environment Engineering*
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. 2023. Siaran Pers No. HM.4.6/113/SET.M.EKON.3/03/2023 tentang Upaya Dorong Integrasi Supply Chain pada Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) dan Alas Kaki.
- Kheireddine, Ouhssain M., Organelli M., Bricaud E. & Jones BH. 2018. Light Absorption by Suspended Particles in the Red Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 123: 902–921. <https://doi.org/10.1002/2017JC013279>
- Mani S., Chowdhary P. & Bharagava R. 2018. Textile Wastewater Dyes: Toxicity Profile and Treatment Approaches. *Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management*. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8669-4_11)
- Mohd A. 2020. Presence of Phenol in Wastewater Effluent and Its Removal: An Overview. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. DOI: 10.1080/03067319.2020.1738412
- Morshed M.N., Azad S., Alam M.A. & Ar Guha A.K. 2018. Characterization and Analytical Analysis of Textile Wastewater for Physico-Chemical and Organic Pollution Indicators *American Journal of Environmental Science & Technology*, 1: 11-21
- Nuraini e., Fauziah T. & Lestari F. 2019. Penentuan Nilai BOD dan COD Limbah Cair Inlet Laboratorium Pengujian Fisis Politeknik ATK Yogyakarta. *Integrated Lab Journal*, 7 (2). doi: 10.5281/zenodo.3490306
- Oktiawan W., Junaidi & Raziani F. 2023. Physical and Chemical Treatability Assessment for Food Industry Wastewater in Wastewater Treatment Plant Design. *Journal Presipitasi*, 20 (2): 229-237
- Palmer M. & Hatley H. 2018. The Role of Surfactants in Wastewater Treatment: Impact, Removal and Future Techniques: A Critical Review. *Water Research*. DOI: 10.1016/j.watres.2018.09.039
- Pei G.F. & Zhang Y.L. 2016. Comparative Analysis of Dyeing Wastewater Treatment Technology. *International Conference on Civil, Transportation and Environment (ICCTE 2016)*. Atlantis Press
- Pérez J.B., González A. & Encinas H. 2017. Manufacturing Processes In The Textile Industry: Expert Systems for fabrics production. *Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal* 6(4):17-23. doi: [dx.doi.org/10.14201/ADCAIJ20176417](https://doi.org/10.14201/ADCAIJ20176417)
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri
- Prasanthrajan M. 2019. Reducing the Total Dissolved Solids in Textile Effluent: An Integrated Approach. *International Journal of Chemical Studies*, 7(6): 2433-2435.
- Rahmat B. & Mallongi A. 2018. Studi Karakteristik dan Kualitas BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Lanto Dg. Pasewang Kabupaten Jeneponto. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan (JNIK)*, Vol. 1. ISSN: 2621-6507
- Ramdhani R., Sutrisno & Wardhana I. W. 2018. Penurunan Konsentrasi Amonia Limbah Cair Tahu Menggunakan Teknologi Biofilm Pond dengan Media Pipa PVC Sarang Tawon dan Bata Ringan disertai Penambahan Lumpur Aktif. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4): 868-877. doi:10.14710/jil.22.4.868-877 2018

- Nurisni, N., Riani, E., dan Anwar, S. (2024). Efisiensi Penyisihan Polutan Air Limbah dari Kegiatan Pewarnaan di Industri Tekstil Studi Kasus PT ABC. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1615-1625, doi:10.14710/jil.22.6. 1615-1625
- Rashid T.U., Kabir S.M., Biswas M.C. & Bhuiyan A.R. 2020. Sustainable Wastewater Treatment via Dye-Surfactant Interaction: A Critical Review. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 59: 9719-9745
- Smol M. 2023. Circular Economy in Wastewater Treatment Plant - Water, Energy and Raw Materials Recovery. *Energies* (16): 3911. doi:Org/10.3390/En16093911
- Sperling M.V. & Chernicharo C.A. De Lemos. 2005. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. London. IWA Publishing. ISBN: 1 84339 0027
- Sperling M.V., Verbyla M.A. & Oliveira S. 2020. Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners. doi: 10.2166/9781780409320\_0181
- Subramani T. 2021. Evaluation of the Efficiency of Surface Aerator in the Activated Sludge Process Treatment of Food Processing Effluent. *International Journal of Modern Engineering Research*. 2 (4): 1518-1528.
- Sun Y., Zhou S., Chiang P. & Shah K. 2019. Evaluation and Optimization of Enhanced Coagulation Process. *Water and Energy Nexus*, (2): 25-36.
- Takeda F., Komori K., Minamiyama M. & Okamoto S. 2016. Toxicity of Wastewater With Regard To Ammonia Evaluated By Algal Growth Inhibition Test: A Case Study Using Wastewater Treatment Pilot Plant. *Japanese Journal of Water Treatment Biology*, 52 (4): 93-104
- Tam Le T.M., Truong T.N., Nguyen P.D., Thanh Le Q.D., Tran Q.V., Nguyen Q.H. & Strady E. 2023. Evaluation of Microplastic Removal Efficiency of Wastewater-Treatment Plants in a Developing Country. *Environmental Technology & Innovation*, 29: 102994.
- Tapsoba J. G., Hans C.K. & Ouma J. 2020. Potential Of Anaerobic Co-Digestion in Improving The Environmental Quality of Agro-Textile Wastewater Sludge. *Water Science & Technology*. doi: 10.2166/wst.2020.360
- Tortadja, Cecilla. 2020. Contributions of Recycled Wastewater to Clean Water and Sanitation Sustainable Development Goals. *Clean Water* (3): 22. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0069-3>.
- Villarin MC, Merel S. 2020. Paradigm Shifts and Current Challenges in Wastewater Management. *Journal of Hazardous Materials* (390): 122139. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122139>.
- Wahid N.B., Razak H.A., Isa I.I., Latif M.T. 2021. Methylene Blue Active Substances (MBAS) and Linear Alkylbenzene Sulphonates (LAS) In Urban and Suburban Atmospheric Aerosol. *Environment and Ecology Research* 9(4): 159-165. DOI: 10.13189/Eer.2021.090403
- Yaseen D.A. & Scholz M. 2018. Textile Dye Wastewater Characteristics and Constituents of Synthetic Effluents: A Critical Review. *International Journal of Environmental Science and Technology* (16): 1193-1226. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z>.
- Yin F. F. & Gui H.F. Influence of Additional Methanol on Both Pre and Post Denitrification Processes in Treating Municipal Wastewater. *Water Science & Technology* 85 (5): 1434. doi: 10.2166/wst.2022.
- Yuting F., Changbo L., Guozheng Z., Hui L. & Shuo. 2021. Progress in Treatment Technology of Phenol-Containing Industrial Wastewater. *Earth and Environmental Science*, 787 (012054). doi:10.1088/1755-1315/787/1/012054
- Zakaria A., Dian Mira Fadela D.M., Djasmasari W., Fachrurrazie & Razak R.S. 2022. Optimasi Koagulan Polialuminium Klorida pada Percobaan Jar Test Berdasarkan Penurunan Konsentrasi Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) Air Limbah menggunakan Metode Respon Permukaan. *WARTA AKAB*. 46 (1): 45-49