

## Evaluasi Kinerja Sewage Treatment Plant di Bandar Udara Internasional Juanda

Natasya Yulia Rahayu

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Restu Hikmah Ayu Murti

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jalan Rungkut Madya No. 1 Gn. Anyar, Kec. Gunung Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur

Korespondensi penulis: [natasyayuliar@email.com](mailto:natasyayuliar@email.com)

**Abstract:** Juanda International Airport is an airport located in Sidoarjo, East Java Province and is one of 14 airports managed by PT. Angkasa Pura I. The operational activities of Juanda International Airport produce 1.120 m<sup>3</sup>/day wastewater. This study aims to determine the quality of wastewater after the treatment process and evaluate the performance of the STP (Sewage Treatment Plant). Evaluation of STP (Sewage Treatment Plant) performance is based on the existence of one unit that is not operating so that the wastewater produced can potentially not meet the predetermined quality standards. The evaluation is carried out by analyzing wastewater sample at the inlet and outlet, discharge and comparing parameter results with predetermined standards. The parameters used as a reference are BOS, COD, TSS, Ammonia, and Total Coliform. The wastewater outlet produced by Juanda International Airport is in accordance with the Minister of Environment and Forestry Regulation Number 68 of 2016 concerning Domestic Wastewater Quality Standards.

**Keywords:** Wastewater, Evaluation performance, STP, Airport

**Abstrak:** Bandar Udara Internasional Juanda merupakan bandar udara yang terletak di Kecamatan Sedati, Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur dan merupakan salah satu dari 15 bandar udara yang dikelola oleh PT. Angkasa Pura I. Kegiatan operasional Bandar Udara Internasional Juanda menghasilkan limbah cair sebanyak 1.120 m<sup>3</sup> per hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air limbah setelah proses pengolahan serta mengevaluasi kinerja STP (Sewage Treatment Plant) sehingga dapat memberikan rekomendasi STP. Evaluasi kinerja STP didasarkan pada adanya salah satu unit yang tidak beroperasi sehingga air limbah yang dihasilkan dapat berpotensi tidak memenuhi standar baku mutu yang telah ditentukan. Evaluasi dilakukan dengan menganalisa sampel air limbah pada inlet dan outlet, debit air buangan serta membandingkan hasil uji parameter dengan standar yang telah ditentukan. Parameter yang dijadikan acuan adalah BOD, COD, TSS, Amonia, dan Total Coliform. Outlet air limbah yang dihasilkan oleh Bandar Udara Internasional Juanda telah sesuai dengan PERMEN LHK Nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

**Kata kunci:** Air Limbah, Evaluasi kinerja, STP, Bandara

### LATAR BELAKANG

Bandar Udara Internasional Juanda merupakan bandar udara yang terletak di Kecamatan Sedati, Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur dan merupakan salah satu dari 14 bandar udara yang dikelola oleh PT. Angkasa Pura I dengan luas wilayah seluas ± 605,42 Ha. Bandar Udara Juanda telah dilengkapi dengan dua (2) unit Bangunan Terminal yaitu Terminal 1 dengan luas wilayah 6,27 Ha yang melayani penerbangan domestik dan Terminal 2 dengan luas wilayah 4,51 Ha yang melayani penerbangan internasional. Kegiatan operasional bandara Internasional Juanda menghasilkan limbah cair sebanyak 1.120 m<sup>3</sup>/hari yang dihasilkan dari operasional terminal, cargo, serta kantor AOB milik PT. Angkasa Pura I. Air limbah yang dihasilkan oleh Bandara Juanda akan diolah dengan STP (Sewage Treatment Plant). Terminal

1 dan terminal 2 memiliki sistem STP yang berbeda. STP di Terminal menggunakan pond dalam mengolah air limbah dengan sistem aerobik dengan unit *aerated lagoon*. Sedangkan pada area terminal 2 yang melayani penerbangan internasional menggunakan *closed system* dengan *Biofiltration*. STP pada terminal 2 terdiri dari 4 unit dengan kapasitas masing-masing sebesar  $45 \text{ m}^3/\text{hari}$  dengan total debit sebanyak  $180 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Setiap limbah cair yang dihasilkan oleh masing masing area pekerja di terminal 1 akan dibawa oleh unit SLS (*Sewage Lifting System*) sebelum memasuki *Aerated Lagoon 1*. Sewage Treatment pada terminal 1 terdiri atas *pre treatment unit*, *Aerated lagoon*, *Maturation pond*, dan *Sterilization basin*.

Dalam proses pengolahannya masih terdapat fungsi dari beberapa fasilitas yang belum berjalan secara optimal. Hal tersebut dapat berpotensi mengakibatkan hasil pengolahan air limbah tidak sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditentukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja IPAL pada terminal 1 Bandara Internasional Juanda sehingga dapat memberikan saran perbaikan agar IPAL dapat berfungsi secara optimal. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis parameter yaitu BOD, COD, TSS, Amonia dan Total Coliform pada outlet IPAL dan dilakukan perbandingan dengan baku mutu yang telah ditentukan.

## KAJIAN TEORITIS

Kadar pencemar dalam air limbah domestik telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68/menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang baku mutu air buangan domestik. Baku mutu air limbah merupakan batas unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah sebelum memasuki badan air (Sofiana, Utomo, and Sudarto 2017).

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* sesuai dengan panduan SNI 8990:2021 untuk parameter kimia dan fisika dan SNI 9063:2022 untuk parameter mikrobiologi. Pengambilan sampel air limbah dilakukan dengan mengambil sampel pada inlet, outlet STP, dan outlet IPAL. Berdasarkan SNI 6989.59:2008, sampel diambil pada lokasi sebelum dan setelah STP.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Data yang didapatkan berupa data primer dan sekunder yang berasal dari data RKL-RPL mengenai kualitas air limbah, pengamatan secara langsung terkait kondisi eksisting, dan studi literatur. Penelitian akan dilakukan dengan menghitung efisiensi rangkaian STP dalam mereduksi parameter pencemar sebelum dialirkan ke badan air. Nilai efisiensi dihitung dengan persamaan:

$$\% \text{removal} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Dengan keterangan:

A = Kadar parameter pada inlet

B = Kadar parameter pada outlet

Hasil pengukuran kemudian akan disajikan secara deskriptif dan dilakukan perbandingan dengan literatur dan baku mutu yang digunakan untuk kualitas air limbah domestik untuk mengetahui kinerja STP sehingga dapat memberikan saran agar kinerja tiap unit dapat berjalan optimal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Bandar Udara Internasional Juanda yang berlokasi di Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Penelitian berfokus pada sistem pengolahan air limbah domestik pada Terminal 1 dengan letak koordinat  $7^{\circ}22'25.99''$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}46'43.28''$  Bujur Timur. Bandara Juanda terletak pada ketinggian 2,9 m (9ft) di atas permukaan laut. Topografi pada kawasan ini adalah sawah dan rawa dimana lokasi berdekatan dengan muara sungai. Air limbah domestik yang dihasilkan dikelola oleh *Sewage Treatment Plant* (STP) dengan rincian 1 *pre treatment unit*, 2 *aerated lagoon*, 1 buah *maturation pond*, dan 1 *sterilization basin*. Penelitian dilakukan pada bulan Juni hingga Juli 2023.



Gambar 1. Lokasi STP Terminal 1

### Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kondisi eksisting yang meliputi kondisi bangunan dan kinerja STP dalam meremoval bahan pencemar
2. Karakteristik air limbah yang meliputi TSS, BOD, COD, Amonia, dan Total Coliform.

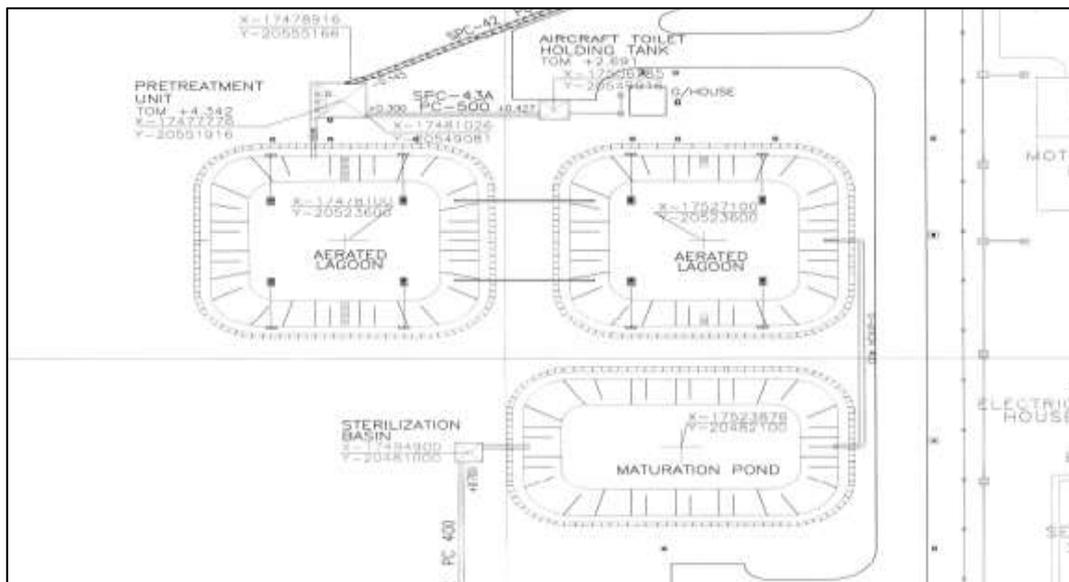
Data pendukung atau sekunder merujuk pada data yang dikumpulkan secara tidak langsung atau yang berasal dari pihak ke 3 yang berfungsi sebagai penunjang dalam penelitian.

Data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Laporan pelaksanaan RKL dan RPL Bandara Internasional Juanda
2. Efisiensi acuan pada masing masing unit pengolahan

## Instalasi Pengelolaan Air Limbah

*Sewage Treatment Plant* (STP) pada Terminal 1 Bandara Juanda bertujuan untuk mengelola air limbah domestik dari operasional penumpang dan pegawai. Pengelolaan air limbah tersebut menggunakan unit pengolahan fisik dan kimia. Pengolahan fisik yang digunakan berupa pengolahan aerob dengan unit aerated lagoon dan maturation pond. Pengolahan kimia yang digunakan yaitu dengan sterilization basin. Evaluasi kinerja STP akan dilakukan dengan menganalisis efektivitas removal tiap parameter serta membandingkan design eksisting dengan literatur.



Gambar 2. Lay Out STP Terminal 1

Tabel 1. Unit Pengolahan di STP Terminal 1

Parameter	Literatur	STP Eksisting	Keterangan	
<i>Pre Treatment</i>	<i>Bar Screen</i>	Pre treatment unit	Design Bar screen tergabung bersama pretreatment unit (SLS 0)	
	<i>Grit Removal Unit</i>			
	<i>Oils, Greases &amp; Fats Removal Unit</i>			
<i>Secondary Treatment</i>	Sedimentasi Tipe I	Aerated Lagoon	Disertai dengan 4 unit aerator di tiap lagoon	
	Aerasi			
	<i>Sedimentasi Tipe II</i>			-
	<i>Trickling Filter</i>			-
<i>Tertiary Treatment</i>	Proses Kimia	Sterilization Basin	Chlorination unit	
	Proses Fisika	-	-	
	Proses Biologi	Maturation Pond	-	

Penjelasan secara detail mengenai masing-masing unit pada STP terminal 1 Bandara Juanda yaitu:

### 1. Sewage Lift-Up System (SLS)

Sewage Lift-Up System (SLS) merupakan bak kontrol dengan dilengkapi pompa submersible yang akan mendorong air limbah dari terminal dan perkantoran secara bertahap menuju STP. Bandara Juanda memiliki 7 unit SLS dari terminal 1 hingga SLS 0 yang berada tepat sebelum memasuki unit Aerated Lagoon 1. Pada SLS 1 – 7 tidak terjadi

pengolahan khusus, air limbah hanya akan dialirkan untuk menuju ke proses pengolahan di STP. SLS 0 berfungsi sebagai unit pre-treatment yang dilengkapi dengan bar screen untuk menyaring sampah-sampah yang terbawa sebelum memasuki unit pengolahan selanjutnya.

## 2. Aerated Lagoon

Aerated Lagoon merupakan pengolahan air limbah yang menggunakan kolam atau waduk dengan mesin aerator untuk membantu proses oksidasi. Aerator mekanik akan membantu dalam menyuplai oksigen untuk proses pengolahan secara biologis dan untuk memnjaga padatan biologis dalam suspensi. Aerator akan membantu menghasilkan gelembung udara atau oksigen dan membiarkannya naik melalui air. Bandara Juanda memiliki 2 unit Aerated Lagoon dengan 4 aerator pada masing masing Lagoon.

## 3. Maturation Pond

Maturation pond merupakan bak terbuka untuk penampungan hasil pengolahan air limbah. Kolam ini berfungsi sebagai wadah untuk menghilangkan mikroba patogen pada limbah dengan proses degradasi secara aerobik melalui kerjasama antara sinar matahari, mikroba dan algae (Tanner et al. 2005). Maturation pond termasuk dalam tertiary treatment untuk mengurangi pathogen (El-Deeb Ghazy et al. 2008). Air limbah akan didiamkan pada kedalaman 2,6 m untuk mengoptimalkan hasil removal parameter biologi hasil pengolahan aerasi dan selanjutnya dilakukan chlorinasi pada unit sterilization basin.

## 4. Sterilization Basin

Sterilization Basin merupakan unit chlorinasi yang terletak diantara unit maturation pond dengan Pond 1 sebelum air limbah dibuang ke badan air. Sterilisasi dilakukan dengan menggunakan chlorin batang.

Tabel 2 Design Eksisting STP Terminal 1

PARAMETER	STANDAR	HASIL	SATUAN	KETERANGAN	REFERENSI
<b>BAR SCREEN</b>					
Ukuran bar					(Metcalf&Eddy 2003)
- Lebar	5 - 15	10	mm	Sesuai	
Jarak antar kisi	15-75	65	mm	Sesuai	(Metcalf&Eddy 2003)
Luas area	>0,25	0,6	m <sup>2</sup>	Sesuai	(U.S. EPA 2009)
Kedalaman	>0,75	1,5	m	Sesuai	(U.S. EPA 2009)
<b>AERATED LAGOON</b>					
Luas area	-	624	m <sup>2</sup>		
Kedalaman	2 - 5	2,6	m	Sesuai	(Metcalf&Eddy 2003)
HRT	3 - 6	1,4	hari	Tidak Sesuai	(Metcalf&Eddy 2003)
<b>MATURATION POND</b>					
Luas area	-	0,055	ha		
Kedalaman	0,9 – 1,5	2,6	meter	Tidak Sesuai	(Metcalf&Eddy 2003)
HRT	5 – 20	0,8	hari	Tidak Sesuai	(Metcalf&Eddy 2003)

Sumber: Pengolahan data 2024

Design Sewage Treatment Plant Bandara Juanda menunjukkan bahwa sebagian besar design pada tiap unit pengolahan telah sesuai dengan literatur yang ada. Kedalaman pada unit pengolahan akan mengurangi waktu retensi meskipun hal tersebut tidak berdampak secara signifikan pada kualitas effluen. Namun, kolam maturasi dengan kedalaman yang dangkal akan

lebih efisien dalam desinfeksi secara alami daripada kolam yang lebih dalam. Hal tersebut akan membantu pertumbuhan algae dan mikroorganisme dalam mendegradasi parameter pencemar biologis (Pearson\*, Mara\*\*, and Arridge\* 1995). Luas area pada kolam disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan dan debit air limbah yang masuk (U.S. EPA 2009).

### Analisis Kapasitas Debit Maksimum

Perhitungan debit maksimum dapat diketahui dengan cara membagi volume pada masing-masing unit dengan nilai HRT minimal.

Tabel 3. Kapasitas Debit Maksimum

<i>Unit Pengolahan</i>	<i>Jumlah Unit</i>	<i>HRT Minimal (jam)</i>	<i>Volume Unit (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Kapasitas Debit Maksimal</i>
Aerated Lagoon	2	72	1.622,4	22,53
Maturation Pond	1	120	939,25	7,8

Source: Hasil pengolahan data

Berdasarkan perhitungan kapasitas debit maksimum pada masing-masing unit didapatkan nilai kapasitas debit maksimal. Perhitungan tersebut menunjukkan bahwa aerated lagoon akan mencapai kapasitas debit jika debit per jamnya telah mencapai 22,5 m<sup>3</sup>/jam. Pada maturation pond didapatkan hasil kapasitas debit maksimal yaitu 7,8 m<sup>3</sup>/jam. Hal tersebut menjelaskan bahwa maturation pond akan lebih dulu mencapai kapasitas maksimal debit jika debit yang masuk sebesar 7,8 m<sup>3</sup>/jam.

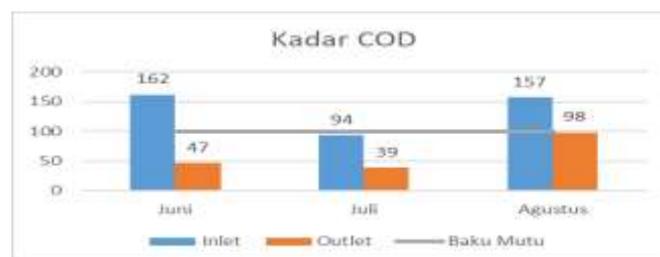
### Kualitas Air Limbah pada Inlet dan outlet STP Terminal 1

Tabel 4. Kualitas Air Limbah bulan Agustus 2023

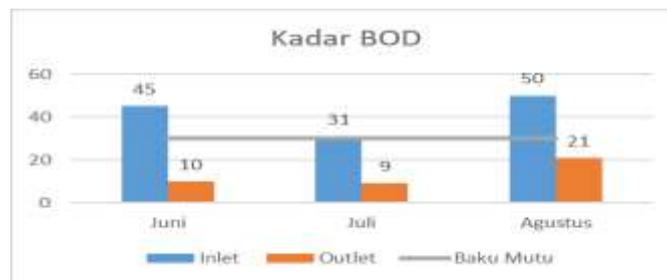
PARAMETER	SATUAN	HASIL UJI		BAKU MUTU
		INLET	OUTLET	
<i>Fisika</i>				
TSS	mg/L	134	16	30
<i>Kimia</i>				
COD	mg/L	157	98	100
Amonia	mg/L	50	21	30
	mg/L	98	43	10
<i>Biologi</i>				
TOTAL COLIFORM	MPN/100 ML	94.000	1.500	3.000

Source: Hasil Uji Kualitas Air Limbah Bulan Agustus 2023

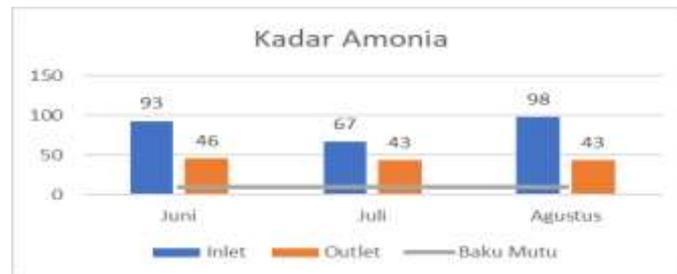
Pengujian kualitas air buangan dilakukan untuk menentukan beban pencemar sebelum memasuki unit pengolahan sehingga dapat diketahui proses pengolahan yang sesuai kebutuhan. Pengujian pada outlet dilakukan untuk mengetahui hasil pengolahan sebelum di buang ke badan air. Hasil pengukuran parameter kimia untuk kadar BOD dan COD disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Kualitas BOD



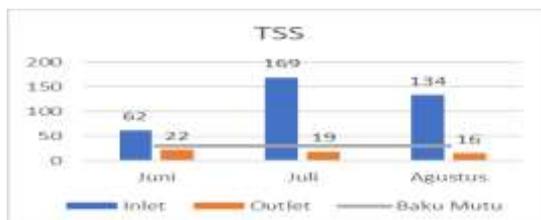
Gambar 4. Kualitas COD



Gambar 5. Kualitas Ammonia

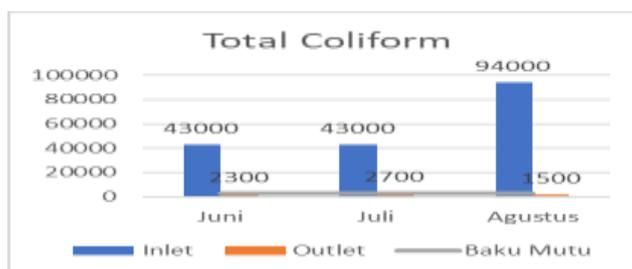
Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4, Kualitas air limbah dengan parameter BOD dan COD (*chemical oxygen demand*) di outlet STP pada bulan Juni hingga Agustus telah memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu 30 mg/l untuk parameter BOD dan 100 mg/l untuk parameter COD. Konsentrasi BOD tertinggi di inlet tercatat pada bulan Agustus 2023 yaitu 50 mg/l dan 21 mg/l pada outlet (Gambar 1). Konsentrasi COD tertinggi di inlet tercatat pada bulan Juni 2023 dengan nilai 162 mg/l. Namun, konsentrasi COD di outlet STP pada bulan Agustus 2023 menunjukkan hasil yang mendekati baku mutu yaitu 98 mg/l. Gambar 5 menunjukkan konsentrasi Amonia pada bulan Juni hingga Agustus 2023. Data menunjukkan bahwa konsentrasi Amonia pada inlet maupun outlet STP Terminal 1 telah melebihi baku mutu yaitu 10 mg/l.

Berdasarkan Gambar 5, hasil pengukuran terhadap parameter kimia  $NH_3$  (amonia) menunjukkan bahwa konsentrasi pada bulan Juni hingga Agustus dengan rata-rata 44 mg/l telah melebihi baku mutu yaitu 10 mg/l. Tingginya kadar amonia diakibatkan oleh proses pengolahan yang tidak maksimal. Berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat salah satu unit pengolahan yaitu sterilization basin yang tidak beroperasi secara efisien. Penambahan chlorin yang tidak sesuai dengan kebutuhan secara rutin juga menjadi penyebab hasil efisiensi removal amonia yang rendah (Tabel 5). Keberadaan senyawa ammonia juga akan mempengaruhi efektifitas khlorin dalam proses desinfeksi. Asam hipoklorid dapat bereaksi dengan ammonia membentuk khloramin (Said and Rizki 2014).



Gambar 3. Konsentrasi TSS

Hasil pengukuran zat padat tersuspensi (TSS) menunjukkan bahwa kadar tertinggi di inlet tercatat pada bulan Juli yaitu 169 mg/l. Kadar TSS terendah setelah proses pengolahan di outlet tercatat pada bulan Agustus 2023 yaitu 16 mg/l. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa kadar TSS pada bulan Juni hingga Agustus dengan rata-rata 19 mg/l telah memenuhi baku mutu yaitu 30 mg/l (KemenLHK 2016).



Gambar 4. Konsentrasi Total Coliform

Hasil pengujian untuk parameter biologi Total Coliform menunjukkan bahwa kadar total Coliform yang memasuki inlet pada bulan Agustus naik signifikan dari 43.000 MPN/100 mL pada bulan Juni dan Juli menjadi 94.000 MPN/100 mL. Baku mutu untuk total coliform berdasarkan PermenLHK nomor 68 tahun 2016 yaitu 3000 MPN/100 mL sehingga hasil pengukuran pada outlet yang didapatkan pada bulan Juni hingga Agustus masih menunjukkan di bawah baku mutu.

Dari data hasil pengujian Inlet dan Outlet STP Terminal 1 diperoleh hasil perhitungan efisiensi removal pada masing-masing parameter (Tabel 5). Persentase removal tertinggi tercatat pada proses penurunan Total coliform dengan rata-rata efisiensi sebesar 97%. Sedangkan, persentase removal terendah tercatat pada hasil proses pengolahan untuk parameter ammonia dengan efisiensi terendah pada bulan Juli yaitu 36%. Persentase efisiensi dengan range hasil di bawah 50% menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah pada STP Terminal 1 tidak berjalan baik.

Tabel 5. Efisiensi Removal (%)

Bulan	BOD	COD	TSS	Amonia	T.Coliform
Juni	77	71	64	51	99
Juli	71	58	89	36	93
Agustus	58	37,6	88	56,1	98

Source: Hasil pengolahan data

Kadar pH, temperatur, dan cuaca sangat berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah terutama dalam menurunkan parameter pencemar biologis. Rendahnya efisiensi

removal ammonia menunjukkan bahwa sistem pengolahan air limbah di STP masih belum optimal sehingga menyebabkan kadar ammonia pada outlet masih berada di atas baku mutu. Senyawa ammonia dapat diolah secara mikrobiologis dengan aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat. Proses nitrifikasi melalui 2 tahap yaitu tahap nitritasi yang merupakan tahap oksidasi ion ammonium ( $NH_4^+$ ) menjadi ion nitrit ( $NO_2^-$ ) dengan bantuan bakteri *nitrosomonas* dan tahap nitrasi yang merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat ( $NO_3^-$ ) dengan bantuan bakteri *nitrobacter* (Said and Rizki 2014). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses nitrifikasi dalam proses penghilangan ammonia yaitu konsentrasi oksigen terlarut (DO), temperatur, pH, dan Rasio organik (Said and Rizki 2014).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengolahan data di bulan Juni hingga Juli dengan konsentrasi terbesar di outlet STP rata-rata pada Bulan Juni 2023 dengan rincian yaitu BOD 21 mg/L di Bulan Agustus, COD 47 mg/L di Bulan Juni, TSS 22 mg/L di Bulan Juni, Amonia 46 mg/L di Bulan Juni, dan Total Coliform 2.700 MPN/100 mL di Bulan Juli.

Konsentrasi bahan pencemar yang dihasilkan pada outlet STP menunjukkan bahwa telah memenuhi baku mutu untuk parameter TSS,  $BOD_5$ , COD, dan Total coliform berdasarkan PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Sedangkan, untuk parameter pencemar Ammonia masih melebihi baku mutu yang telah ditentukan yaitu 30 mg/L.

Nilai efisiensi % removal hasil dari perhitungan didapatkan nilai tertinggi pada removal Total Coliform 99% dan nilai terendah pada removal amonia 36%. Rendahnya tingkat efisiensi dalam meremoval ammonia menjadi penyebab kadar ammonia pada outlet tidak memenuhi baku mutu.

## DAFTAR REFERENSI

- El-Deeb Ghazy, M. M., El-Senousy, W. M., Abdel-Aatty, A. M., & Kamel, M. (2008). Performance evaluation of a waste stabilization pond in a rural area in Egypt. *American Journal of Environmental Sciences*, 4(4), 316–326. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.316.325>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KemenLHK). (2016). KemenLHK.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering* (4th ed., Vol. 179).
- Pearson, H. W., Mara, D. D., & Arridge, H. A. (1995). The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilisation pond performance and efficiency. *Water Science and Technology*, 31(12), 129–139. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00500-M](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00500-M)

- Said, N., & Rizki, M. (2014). Penghilangan amoniak di dalam air limbah domestik dengan proses moving bed biofilm reactor (MBBR). *Media Neliti*, 7(1), 46.
- Sofiana, A. I., Utomo, B., & Sudarto. (2017). Evaluasi pengolahan air limbah (IPAL) Universitas Sebelas Maret Surakarta. XX(X), 17–25. <https://doi.org/10.16383/j.aas.2018.cxxxxxx>
- Tanner, C. C., Craggs, R. J., Sukias, J. P. S., & Park, J. B. K. (2005). Comparison of maturation ponds and constructed wetlands as the final stage of an advanced pond system. *Water Science and Technology*, 51(12), 307–314. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0489>
- U.S. EPA. (2009). Principles of design and operations of wastewater treatment pond systems for plant operators, engineers, and managers. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 12(3), 289–293.