

Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Pada Unit Pengolahan Biologis Terhadap Parameter BOD Di Industri Pakan Ternak Surabaya

Sekar Huwaidah Qatrunada ¹, Mohamad Mirwan ^{*2}, Muhammad Firdaus Kamal ³,
Andrea Thrisiawan Pradhana ⁴

^{1,2} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

^{3,4} PT Japfa Comfeed Indonesia, Tbk.

Korespondensi Penulis : mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

Abstract Domestic wastewater can be sourced from industrial activities, one of which is the Feedmill Industry. The Surabaya Feedmill Industry has been treating domestic wastewater using a WWTP. The management of domestic wastewater is based on the Technical Approval (PERTEK) of Wastewater Utilization for Application to Land. Based on the results, there are parameters that do not fulfill the quality standards. The parameter is Biological Oxygen Demand (BOD), an evaluation is needed to enhanced WWTP performance. The purpose of this research is calculating the percent removal of BOD, COD and TSS parameters in the biological treatment unit and identifying factors that can affect the removal of BOD parameters in the existing conditions of the biological treatment unit in the Surabaya Feedmill Industry. The method used is a literature study using the Ludwig Sasse equation. In the calculation of the average water discharge of 5.93 m³/day, only 29.6% of the planned discharge. The results of the calculation of HRT in biological unit processing have not met the design criteria, except for the aerobic biofilter. The BOD/COD ratio is 0.33. According to the existing calculation, the final result for the BOD parameter is 5.11 mg/L, COD is 24.38 mg/L and TSS is 37.33 mg/L. The design air requirement is 27.64 m³/day. Other factors that affect BOD removal are Dissolved Oxygen (DO) levels in the Aerobic Biofilter, nutrient requirements, and Food to Microorganism (F/M).

Keywords: Wastewater Treatment Plant, Domestic Liquid Waste, Biological Treatment, BOD

Abstrak Limbah cair domestik dapat bersumber pada kegiatan industri, salah satunya adalah Industri Pakan Ternak. Industri Pakan Ternak Surabaya telah melakukan pengolahan limbah cair domestik menggunakan IPAL. Pengelolaan limbah cair domestik tersebut berdasarkan Persetujuan Teknis (PERTEK) Pemanfaatan Air Limbah untuk Aplikasi ke Tanah. Berdasarkan hasil pengamatan terdapat parameter yang belum memenuhi baku mutu yaitu Biological Oxygen Demand (BOD), sehingga diperlukan evaluasi untuk memaksimalkan kinerja IPAL. Tujuan dari kajian ini adalah menghitung persen removal parameter BOD, COD dan TSS pada unit pengolahan biologis dan mengidentifikasi faktor yang dapat memengaruhi hasil removal parameter BOD pada kondisi eksisting unit pengolahan biologis di Industri Pakan Ternak Surabaya. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan persamaan Ludwig Sasse. Pada perhitungan rata-rata debit air 5,93 m³/hari, hanya 29,6% dari debit rencana. Hasil perhitungan HRT pada pengolahan unit biologis belum memenuhi kriteria desain, kecuali pada biofilter aerobik. Rasio BOD/COD sebesar 0,33. Sesuai perhitungan eksisting didapatkan hasil akhir untuk parameter BOD 5,11 mg/L, COD 24,38 mg/L dan TSS sebesar 37,33 mg/L. Kebutuhan udara desain sebanyak 27,64 m³/hari. Faktor yang memengaruhi penyisihan BOD adalah Kadar Dissolved Oxygen (DO) pada Biofilter Aerob, kebutuhan nutrisi, dan Food to Microorganism (F/M).

Kata Kunci: Instalasi Pengolahan Air Limbah, Limbah Cair Domestik, Pengolahan Biologis, BOD

PENDAHULUAN

Limbah cair domestik tidak hanya dihasilkan dari kegiatan aktivitas masyarakat, kegiatan industri juga dapat menghasilkan limbah domestik. Salah satu industri penghasil limbah domestik adalah Industri Pakan Ternak Surabaya. Air limbah domestik yang telah diolah dapat dimanfaatkan kembali sebagai air untuk menyirami tanaman yang ada di lingkungan industri. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, menyatakan bahwa aspek perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang relevan terdiri atas pengolahan dan pembuangan air limbah, salah satunya dapat dilakukan dengan pemanfaatan air limbah untuk

Received: November 22, 2023; Accepted: Desember 29, 2023; Published: Maret 31, 2024

* Sekar Huwaidah Qatrunada, mmirwan.tl@upnjatim.ac.id

aplikasi ke tanah. Bentuk upaya dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan, Industri Pakan Ternak Surabaya telah melakukan pengolahan limbah cair domestik menggunakan sistem IPAL. Pengelolaan limbah cair domestik tersebut berdasarkan Persetujuan Teknis (PERTEK) Pemanfaatan Air Limbah untuk Aplikasi ke Tanah yang dikeluarkan oleh Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPTSP) setelah mendapatkan rekomendasi dari Dinas Lingkungan Hidup Jawa Timur.

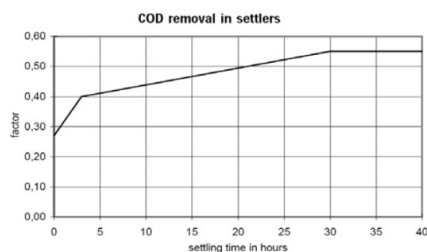
IPAL domestik pada Industri Pakan Ternak Surabaya diharapkan dapat mengurangi kadar beban pencemar dengan pemenuhan baku mutu sehingga air aman untuk dimanfaatkan kembali. Industri Pakan Ternak Surabaya membangun IPAL domestik pada awal tahun 2022 dan mulai beroperasi pada akhir tahun 2022. Pengoperasian IPAL domestik tersebut terbilang baru dan jumlah debit rata-rata kurang dari 50% dibandingkan dengan debit perencanaan, tentunya terdapat penyesuaian dari unit pengolahan untuk mengolah limbah cair. Proses penyesuaian tersebut dapat mempengaruhi hasil *removal* pada parameter pencemar. Berdasarkan hasil pengamatan terdapat parameter yang belum memenuhi baku mutu yaitu Biological Oxygen Demand (BOD), sehingga diperlukan evaluasi untuk memaksimalkan kinerja IPAL. BOD merupakan karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik (Yulis *et al.*, 2018).

Menurut Suparno *et al.* (2021), berdasarkan hasil perhitungan pengolahan air limbah domestik kegiatan karyawan industri dengan unit biofilter media sarang tawon, didapatkan hasil *removal* COD sebesar 85,09%, BOD sebesar 87,21%, dan TSS sebesar 60,27%. Perhitungan perencanaan tersebut telah memenuhi baku mutu air limbah domestik sesuai dengan PERMEN LHK RI No. 68 tahun 2016. Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penulis dalam kajian ini adalah melakukan perhitungan persen *removal* parameter BOD, COD dan TSS pada unit pengolahan biologis dengan kondisi eksisting di Industri Pakan Ternak Surabaya dan mengidentifikasi faktor yang dapat memengaruhi hasil *removal* parameter BOD pada kondisi eksisting unit pengolahan biologis di Industri Pakan Ternak Surabaya.

METODE

Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan cara menganalisis jurnal, kajian dan buku untuk memperoleh faktor yang dapat memengaruhi penurunan BOD pada limbah domestik dan mengaplikasikan perhitungan Ludwig Sasse dkk (2009), perhitungan pengolahan biologis berdasarkan pada kurva hubungan seperti berikut:

- a. Hubungan *Hydraulic Retention Time (HRT)* dan Penyisihan COD

Bak Pengendap**Gambar 1.** Hubungan *HRT* dan Penyisihan COD*Sumber: Sasse (2009)*

Kurva pada Gambar 1 dapat dimodelkan dengan

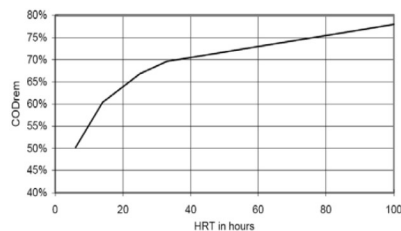
beberapa persamaan.

- $HRT < 3$ jam

$$COD_{rem} = (HRT-1) \times 0,1 / 2 + 0,3 \quad (2.1.a)$$

- $HRT < 30$ jam

$$COD_{rem} = (HRT-3) \times 0,15 / 27 + 0,4 \quad (2.1.b)$$

Biofilter**Gambar 2.** Hubungan *HRT* dan Penyisihan COD Pada Biofilter*Sumber: Sasse (2009)*

Kurva pada Gambar 2 dapat dimodelkan dengan

beberapa persamaan.

- $HRT < 12$ jam

$$COD_{rem} = HRT \times 0,16 / 12 + 0,44 \quad (2.2.a)$$

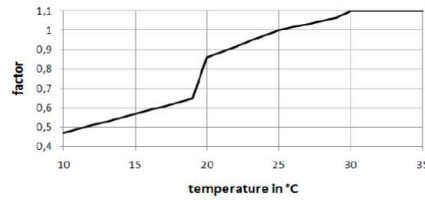
- $HRT < 24$ jam

$$COD_{rem} = (HRT-12) \times 0,07 / 12 + 0,6 \quad (2.2.b)$$

- $HRT < 33$ jam

$$COD_{rem} = (HRT-24) \times 0,03 / 9 + 0,67 \quad (2.2.c)$$

b. Hubungan suhu dan penyisihan COD



Gambar 3. Hubungan suhu dan penyisihan COD

Sumber: Sasse (2009)

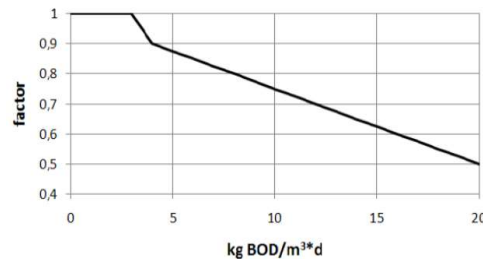
Kurva pada Gambar 3 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

$$\text{Temp} < 20^{\circ}\text{C} = (\text{temp} - 10) \times 0,39 / 20 + 0,47 \quad (2.3.a)$$

$$\text{Temp} < 25^{\circ}\text{C} = (\text{temp} - 20) \times 0,14 / 5 + 0,86 \quad (2.3.b)$$

$$\text{Temp} < 30^{\circ}\text{C} = (\text{temp} - 25) \times 0,08 / 5 + 1 \quad (2.3.c)$$

c. Hubungan Removal BOD Terhadap Organic Load



Gambar 4. Hubungan Removal BOD Terhadap Organic Load

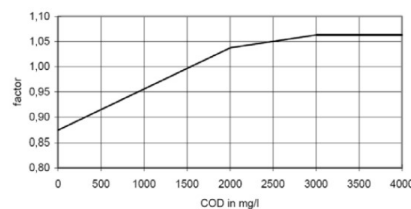
Sumber: Sasse (2009)

Kurva pada Gambar 4 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

$$\text{Load} < 4\text{kg/m}^3.\text{d} \\ \text{Factor} = 1.00 \quad (2.4.a)$$

$$\text{Load} > 4\text{kg/m}^3.\text{d} \\ \text{Factor} = 1 - (\text{load}) \times 0,4/16 \quad (2.4.b)$$

d. Hubungan konsentrasi COD masuk dengan penyisihan COD



Gambar 5. Hubungan konsentrasi COD masuk dengan penyisihan COD

Sumber: Sasse (2009)

Kurva pada Gambar 5 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

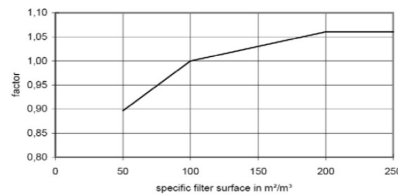
- COD in < 2.000 mg/L

$$Factor = COD\ in \times 0,17 / 2.000 + 0,87 \quad (2.5.a)$$

- COD in < 3.000 mg/L

$$Factor = (COD\ in - 2.000) \times 0,02 / 1.000 + 1,04 \quad (2.5.b)$$

e. Hubungan luas permukaan spesifik media dengan penyisihan COD



Gambar 6. Hubungan luas permukaan spesifik media dengan penyisihan COD

Sumber: Sasse (2009)

Kurva pada Gambar 6 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- Surface < 200 m² / m³

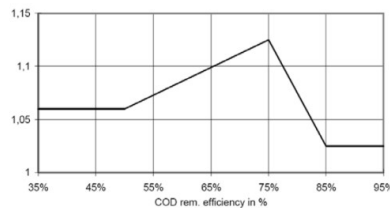
$$Factor = (Surface - 100) \times 0,06 / 100 + 1 \quad (2.6.a)$$

- Surface ≥ 200 m² / m³

$$Factor = 1,06 \quad (2.6.b)$$

Setelah mendapatkan efisiensi penyisihan COD berdasarkan faktor-faktor tersebut, efisiensi penyisihan BOD dapat ditentukan melalui kurva pada gambar berikut

f. Rasio efisiensi penyisihan BOD terhadap penyisihan COD



Gambar 7. Rasio efisiensi penyisihan BOD terhadap penyisihan COD

Sumber: Sasse (2009)

Kurva pada Gambar 7 dapat dimodelkan dengan beberapa persamaan.

- COD rem < 0,5

$$Factor = 1,06 \quad (2.7.a)$$

- COD rem < 0,75

$$Factor = (COD\ rem - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \quad (2.7.b)$$

- COD rem < 0,85

$$Factor = 1,125 - (COD\ rem - 0,75) \times 0,1 / 0,1 \quad (2.7.c)$$

- COD rem $\geq 0,85$

Factor = 1,025

(2.7.d)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengolahan Limbah Cair Domestik Industri Pakan Ternak Surabaya

Limbah cair yang dihasilkan lalu dikumpulkan pada bak ekualisasi untuk selanjutnya dilakukan pengolahan limbah cair. Pengolahan tersebut dibagi menjadi 3 proses yaitu, *primary treatment*, *secondary treatment* dan *tertiary treatment*. Pada pengolahan *primary treatment* terdapat pengolahan fisika dengan proses gravitasi pada bak ekualisasi dan tangki prasedimentasi. Pada pengolahan *secondary treatment* dilakukan pengolahan biologi dan fisika. Pengolahan biologi dilakukan dengan biofilter anaerobik dan aerobik. Jenis biofilter yang digunakan adalah media sarang tawon. Pengolahan fisika dilakukan dengan proses gravitasi pada tangki antara. Pada pengolahan *tertiary treatment* dilakukan pengolahan fisika dan kimia. Pengolahan fisika dilakukan dengan proses filtrasi menggunakan karbon aktif dan pasir silika, sedangkan pengolahan kimia dilakukan dengan proses penambahan klorin pada klorinasi. Setiap unit tangki memiliki ruang untuk *sludge*, pada waktu tertentu sebanyak 50% *sludge* dapat di resirkulasi kembali ke bak equalisasi. Hasil dari proses pengolahan limbah cair domestik lalu dilakukan pemantauan dan pengujian kualitas. Pemantauan harian mencakup catatan debit dan pH harian air limbah domestik, sedangkan pengujian bulanan dilakukan oleh pihak ketiga berdasarkan 6 parameter (pH, COD, BOD, TSS, Fecal coli, Residu Klorin). Data tersebut dibandingkan dengan baku mutu. Jika sesuai dengan baku mutu maka limbah cair tersebut dapat dipergunakan kembali untuk pemanfaatan, sebaliknya jika tidak memenuhi, dilakukan *resampling* ulang atau regenerasi pada IPAL.

Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah menggunakan data hasil uji laboratorium sampel pada *inlet* dan *outlet* IPAL Domestik Industri Pakan Ternak Surabaya. Sampel diambil pada bulan Agustus 2023 oleh pihak ketiga.

Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium IPAL Domestik Industri Pakan Ternak Surabaya

No	Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Baku Mutu
1	pH	pH Unit	7.57	6.53	6-9
2	COD	mg/L	249	59	80
3	BOD	mg/L	81	19	12
4	TSS	mg/L	242	12	30
5	Fecal Coli	MPN/100 mL	900	200	200
6	Residu Klorin	mg/L	0,05	<0.04	0,2-1

Sumber: Uji Laboratorium

Debit Rata-Rata Air Limbah Domestik Industri Pakan Ternak Surabaya pada Bulan Juli-Agustus 2023

Setelah dilakukan perhitungan, dapat diketahui total debit pada bulan Juli-Agustus 2023 sebesar 160,07 m³/hari, dan rata-rata debit air 5,93 m³/hari $\approx$ 0,247 m³/jam $\approx$ 0,0000686m³/detik. Hasil tersebut didapatkan dengan perhitungan selama 27 hari karena terdapat 4 hari pada setiap hari minggu yang mana tidak dilakukan pemantauan debit pada IPAL. Debit yang dihasilkan pada bulan Juli-Agustus 2023 tentunya sangat sedikit, hanya 29,6% dari debit rencana yang mana debit perencanaan sebesar 20 m³/hari.

Perhitungan *Hydraulic Retention Time* (HRT) Eksisting

Hydraulic Retention Time (HRT) adalah interval waktu yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan polutan dalam air limbah. HRT secara sederhana memberikan gambaran tentang berapa lama air atau air limbah berada dalam suatu fasilitas pengolahan, memberikan cukup waktu bagi proses fisik, kimia, dan biologi untuk terjadi. *Hydraulic Retention Time* (HRT) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

HRT = Hydraulic Retention Time

V = Volume (m³)

Q = Debit air limbah (m³/jam)

Tabel 2. Perhitungan *Hydraulic Retention Time* (HRT) eksisting

Unit	Debit (m ³ /hari) *)	Volume (m ³) **)	HRT (jam) *)	Kriteria Desain (jam) ***)	Keterangan
Prased	0,25	2,27	9	2-5	Belum Memenuhi
Anaerob		1,2	5	24-48	Memenuhi
Aerob		5,28	21	10-40	Memenuhi

Sumber : *) Hasil Perhitungan (2023)
 **) Data Industri Pakan Ternak Surabaya
 ***) Sasse (2009)

Pada perancangan unit pengolahan, kriteria desain memiliki peran penting untuk memastikan bahwa unit pengolahan dapat berfungsi dengan baik dan efektif. Hasil perbandingan dapat dilihat bahwa pengolahan unit biologis belum memenuhi kriteria desain, kecuali pada biofilter aerobik. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, yaitu sedikitnya debit yang masuk, volume reaktor, dan volume media yang tidak sesuai dengan debit pada kondisi eksisting.

Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Perhitungan Rasio BOD/COD

Rasio BOD/COD dapat memberikan petunjuk tentang sejauh mana bahan-bahan organik di dalam air limbah dapat diuraikan oleh proses biologis dibandingkan dengan

penguraian kimia. Rasio BOD/COD yang umum untuk air limbah domestik yang belum diolah adalah 0,3 hingga 0,8.

$$\begin{aligned}\text{Rasio BOD/COD} &= [\text{BOD}]_{\text{in}} / [\text{COD}]_{\text{in}} \\ &= 81 \text{ mg/L} / 249 \text{ mg/L} \\ &= 0,33 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

Apabila rasio BOD/COD kurang dari 0,3, menunjukkan bahwa air limbah mungkin mengandung komponen toksik atau memerlukan aklimatisasi mikroorganisme untuk stabilisasi sebelum diolah (Tchobanoglous et al., 2014).

Neraca Massa Efisiensi Penyisihan

Pada perhitungan unit pengolahan biologis, pada limbah cair domestik direncanakan Rasio Settleable SS/COD sebesar 0,40 (Sasse, 2009)

Bak Pengendap Awal

1. $F\text{-HRT} < 30$ $= (\text{HRT} - 3) \times 0,15 / 27 + 0,4$ **(2.1.b)**
 $= (9 \text{ jam} - 3) \times 0,15 / 27 + 0,4$
 $= 0,43$
2. $\text{COD}_{\text{removal}}$ $= \text{Rasio Settleable SS/COD} / 0,6 \times F\text{-HRT}$
 $= 0,40 / 0,6 \times 0,43$
 $= 28,89 \%$
3. $[\text{COD}]_{\text{out}}$ $= [\text{COD}]_{\text{in}} \times (1 - \text{Removal COD})$
 $= 249 \text{ mg/L} \times (1 - 28,89 \%)$
 $= 177,07 \text{ mg/L}$
4. $\text{BOD/COD}_{\text{removal}} = 1,06$ **(2.7.a)**
5. $\text{BOD}_{\text{removal}}$ $= \text{Removal COD} \times \text{Removal BOD/COD}$
 $= 28,89 \% \times 1,06$
 $= 30,62 \%$
6. $[\text{BOD}]_{\text{out}}$ $= [\text{BOD}]_{\text{in}} \times (1 - \text{Removal BOD})$
 $= 81 \text{ mg/L} \times (1 - 30,62 \%)$
 $= 56,20 \text{ mg/L}$
7. $[\text{TSS}]_{\text{tersisihkan}}$ $= \text{Rasio Settleable SS/COD} \times [\text{COD}]_{\text{in}}$
 $= 0,40 \times 249 \text{ mg/L}$
 $= 99,6 \text{ mg/L}$
8. $[\text{TSS}]_{\text{out}}$ $= [\text{TSS}]_{\text{in}} - [\text{TSS}]_{\text{tersisihkan}}$
 $= 242 \text{ mg/L} - 99 \text{ mg/L}$
 $= 142 \text{ mg/L}$

$$\begin{aligned}
 9. \text{ Removal TSS} &= [\text{TSS}] \text{ tersisihkan} / [\text{TSS}] \text{ in} \times 100\% \\
 &= 99,6 \text{ mg/L} / 242 \text{ mg/L} \times 100\% \\
 &= 41,16\%
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Neraca massa penyisihan bak pengendap awal

No	Parameter	In (mg/L)	% Penyisihan	Out (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	BOD	81	30,62%	56,20	12
2	COD	249	28,89%	177,07	80
3	TSS	242	41,16%	142,40	30

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Biofilter Anaerobik

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Organic Load} &= Q \text{ in} \times [\text{COD}] \text{ in} / \text{Volume} \\
 &= 5,93 \text{ m}^3/\text{hari} \times 177 \text{ mg/L} / 1,2 \text{ m}^3 \\
 &= 0,87 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari} \\
 2. \text{ HRT} < 12 &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \quad (2.2.a) \\
 &= 5 \text{ jam} \times 0,16/12 + 0,44 \\
 &= 0,51 \\
 3. \text{ F- temp} &= ((\text{temp} - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \quad (2.3.c) \\
 &= ((28 - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \\
 &= 1,05 \\
 4. \text{ F-load} &= 1,00 \quad (2.4.a) \\
 5. \text{ F-strength} &= \text{COD in} \times 0,17/2000 + 0,87 \quad (2.5.a) \\
 &= 177 \text{ mg/L} \times 0,17/2000 + 0,87 \\
 &= 0,89 \\
 6. \text{ F-surface} &= 1,06 \quad (2.6.a)
 \end{aligned}$$

Kondisi eksisting pada pengolahan biologis di IPAL Domestik, Bak Anaerob memiliki 1 kompartemen sehingga, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 7. \text{ F-chamber} &= 1 + (n \times 0,04) \\
 &= 1 + (1 \times 0,04) \\
 &= 1,04 \\
 8. \text{ COD}_{\text{removal}} &= \text{f-temp} \times \text{f-load} \times \text{f-strength} \times \text{f-surface} \times \text{f-HRT} \times \text{f-Chamber} \\
 &= 1,05 \times 1,00 \times 0,89 \times 1,06 \times 0,51 \times 0,51 \times 1,04 \\
 &= 51,65\% \\
 9. [\text{COD out}] &= [\text{COD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal COD}) \\
 &= 177 \text{ mg/L} \times (1 - 51,65\%)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 85,62 \text{ mg/L} \\
 10. \text{ BOD/COD}_{\text{rem}} &= (\text{COD}_{\text{rem}} - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \quad (2.7.b) \\
 &= (51,62\% - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06 \\
 &= 1,06 \\
 11. \text{ BOD}_{\text{removal}} &= \text{Removal COD} \times \text{Removal BOD/COD} \\
 &= 51,62\% \times 1,06 \\
 &= 54,97\% \\
 12. [\text{BOD}]_{\text{out}} &= [\text{BOD}]_{\text{in}} \times (1 - \text{Removal BOD}) \\
 &= 56 \text{ mg/L} \times (1 - 54,97\%) \\
 &= 25,31 \text{ mg/L} \\
 13. [\text{TSS}]_{\text{tersisihkan}} &= \text{Rasio Settleable SS/COD} \times [\text{COD}]_{\text{in}} \\
 &= 0,40 \times 177 \text{ mg/L} \\
 &= 70,83 \text{ mg/L} \\
 14. [\text{TSS}]_{\text{out}} &= [\text{TSS}]_{\text{in}} - [\text{TSS}]_{\text{tersisihkan}} \\
 &= 142,40 \text{ mg/L} - 70,83 \text{ mg/L} \\
 &= 71,57 \text{ mg/L} \\
 15. \text{ Removal TSS} &= [\text{TSS}]_{\text{tersisihkan}} / [\text{TSS}]_{\text{in}} \times 100\% \\
 &= 70,83 \text{ mg/L} / 142,40 \text{ mg/L} \times 100\% \\
 &= 49,74\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Neraca massa penyisihan biofilter anaerobik

No	Parameter	In (mg/L)	% Penyisihan	Out (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	BOD	56,20	54,97%	25,31	12
2	COD	177,07	51,65%	85,62	80
3	TSS	142,40	49,74%	71,57	30

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Biofilter Aerobik

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Organic Load} &= Q_{\text{in}} \times [\text{COD}]_{\text{in}} / \text{Volume} / 1.000 \text{ g/kg} \\
 &= 5,93 \text{ m}^3/\text{hari} \times 85,62 \text{ mg/L} / 1,76 \text{ m}^3 \\
 &= 0,1 \text{ kg COD/m}^3.\text{hari} \\
 2. \text{ F-HRT} &= (\text{HRT}-12) \times 0,07/12+0,6 \quad (2.2.b) \\
 &= 21 \text{ jam} \times 0,07/12+0,6 \\
 &= 0,66 \\
 3. \text{ F-temp} &= ((\text{temp} - 25) \times 0,08 / 5) + 1 \quad (2.3.c) \\
 &= ((28 - 25) \times 0,08 / 5) + 1
 \end{aligned}$$

- $= 1,05$
4. F-load $= 1,00$ **(2.4.a)**
5. F-strength $= \text{COD in} \times 0,17/2000 + 0,87$ **(2.5.a)**
 $= 85,62 \text{ mg/L} \times 0,17/2000 + 0,87$
 $= 0,88$
6. F-surface $= 1,06$ **(2.6.b)**

Kondisi eksisting pada pengolahan biologis di IPAL Domestik, Bak Aerob memiliki 3 kompartemen sehingga, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

7. F-chamber $= 1 + (n \times 0,04)$
 $= 1 + (3 \times 0,04)$
 $= 1,12$
8. COD_{removal} $= f\text{-temp} \times f\text{-load} \times f\text{-strength} \times f\text{-surface} \times f\text{-HRT} \times f\text{-Chamber}$
 $= 1,05 \times 1,00 \times 0,88 \times 1,06 \times 0,66 \times 1,12$
 $= 71,52\%$
9. [COD out] $= [\text{COD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal COD})$
 $= 85,62 \text{ mg/L} \times (1 - 71,52\%)$
 $= 24,38 \text{ mg/L}$
10. BOD/COD_{rem} $= (\text{COD rem} - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06$ **(2.7.b)**
 $= (71,52\% - 0,5) \times 0,065 / 0,25 + 1,06$
 $= 1,12$
11. BOD removal $= \text{Removal COD} \times \text{Removal BOD/COD}$
 $= 71,52\% \times 1,12$
 $= 79,82\%$
12. [BOD]out $= [\text{BOD}] \text{ in} \times (1 - \text{Removal BOD})$
 $= 25,31 \text{ mg/L} \times (1 - 79,82\%)$
 $= 5,11 \text{ mg/L}$
13. [TSS] tersisihkan $= \text{Rasio Settleable SS/COD} \times [\text{COD}] \text{ in}$
 $= 0,40 \times 85,33 \text{ mg/L}$
 $= 34,25 \text{ mg/L}$
14. [TSS out] $= [\text{TSS}] \text{ in} - [\text{TSS}] \text{ tersisihkan}$
 $= 71,57 \text{ mg/L} - 34,25 \text{ mg/L}$
 $= 37,33 \text{ mg/L}$
15. Removal TSS $= [\text{TSS}] \text{ tersisihkan} / [\text{TSS}] \text{ in} \times 100\%$

$$= 34,13 \text{ mg/L} / 37,44 \text{ mg/L} \times 100\%$$

$$= 47,85\%$$

Tabel 5. Neraca massa penyisihan biofilter aerobik

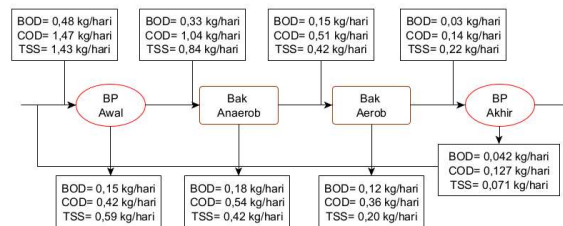
No	Parameter	In (mg/L)	% Penyisihan	Out (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
1	BOD	25,31	79,82%	5,11	12
2	COD	85,62	71,52%	24,38	80
3	TSS	71,57	47,85%	37,33	30

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Neraca massa didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan. Sesuai perhitungan secara sistematis didapatkan hasil akhir pada biofilter aerobik untuk parameter BOD 5,11 mg/L, COD 24,38 mg/L dan TSS sebesar 37,33 mg/L. Apabila dibandingkan dengan baku mutu, hanya parameter TSS yang belum memenuhi baku mutu. Guna menurunkan parameter TSS dapat dilakukan dengan pengolahan lanjutan seperti sedimentasi dan filtrasi.

Kesetimbangan Massa

Kesetimbangan massa digunakan untuk menggambarkan perubahan massa yang terjadi dalam proses pengolahan air limbah. Prinsip kesetimbangan yaitu influen yang masuk ke proses pengolahan akan sama dengan total efluennya. Terdapat resirkulasi lumpur yang dihasilkan dari bak aerob ke bak pengendap awal. Kesetimbangan massa pada proses pengolahan biofilter anaerob aerob dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 8. Kesetimbangan Massa

Sumber: Hasil Perhitungan (2023)

Perhitungan Cek Volume Media

Diketahui :

$$V \text{ media biofilter Anaerob} = 1,80 \text{ m}^3$$

$$V \text{ media biofilter Aerob} = 3,52 \text{ m}^3$$

Biofilter Anaerob

$$\text{BOD per volume} = \text{Beban BOD in} / V \text{ media}$$

$$= 0,33 \text{ kg/hari} / 1,8 \text{ m}^3$$

$$= 0,18 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Cek Volume media = Beban BOD air/Beban BOD per volume media
 = $0,33 \text{ kg/hari} / 0,18 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari}$
 = $1,80 \text{ m}^3$ (**Sesuai Kondisi Eksisting**)

Biofilter Aerob

BOD per volume = Beban BOD in / V media
 = $0,15 \text{ kg/hari} / 3,52 \text{ m}^3$
 = $0,12 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari}$

Cek Volume media = Beban BOD air/Beban BOD per volume media
 = $0,15 \text{ kg/hari} / 0,12 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari}$
 = $1,20 \text{ m}^3$ (**Tidak Sesuai Kondisi Eksisting**)

Perhitungan Kebutuhan Udara Pada Biofilter Aerobik

Perhitungan Kebutuhan Oksigen dengan Kondisi Eksisting

Massa COD tersisihkan = $0,36 \text{ kg/hari}$ (**Gambar 8**)

Massa COD resirkulasi = $0,127 \text{ kg/hari}$ (**Gambar 8**)

Massa COD teroksidasi = Massa COD tersisihkan – Massa COD resirkulasi
 = $0,36 \text{ kg/hari} - 0,127 \text{ kg/hari}$
 = $0,23 \text{ kg/hari}$

Factor safety = 1,6 untuk *packing* plastik *crossflow* (media sarang tawon)
 (Metcalf & Eddy, 2003)

Kebutuhan oksigen = Faktor safety x Massa COD teroksidasi
 = $1,6 \times 0,23 \text{ kg/hari}$
 = $0,37 \text{ kg/hari}$

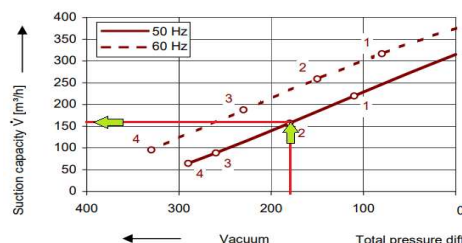
Dilakukan perhitungan kebutuhan udara teoritis untuk menentukan kapasitas blower udara :

Keb. udara teoritis = Kebutuhan oksigen / ($\rho \times \text{O}_2$ dalam udara kering)
 = $0,37 \text{ kg/hari} / (1,1725 \text{ kg/m}^3 \times 23,18\%)$
 = $1,38 \text{ m}^3/\text{hari}$

Keb. udara aktual = Kebutuhan udara teoritis / O_2 terlarut
 = $1,38 \text{ m}^3/\text{hari} / 5\%$
 = $27,64 \text{ m}^3/\text{hari}$

Spesifikasi Aerator yang digunakan

Aerator merupakan perangkat yang digunakan untuk mengintroduksi udara atau oksigen ke dalam air atau medium lainnya. IPAL Domestik Industri Pakan Ternak Surabaya dalam pengIndustriolahan bak aerobik menggunakan aerator jenis blower.



Gambar 9. grafik *air flow rate* blower

Sumber: Katalog Mapcato Type 2BH1 600-7AH16

Blower yang digunakan memiliki spesifikasi frekuensi tegangan sebesar 50 Hz dengan tekanan 190 mbar, grafik menunjukkan bahwa *air flow rate* pada blower sekitar 155 m³/jam. Hasil perhitungan perencanaan yang telah disesuaikan dengan kondisi eksisting di Industri Pakan Ternak Surabaya didapatkan hasil kebutuhan udara desain sebanyak 27,64 m³/hari. Pada kondisi eksisting di IPAL domestik Industri Pakan Ternak Surabaya, menggunakan blower dengan spesifikasi sebesar 155 m³/jam $\approx$ 3.720 m³/hari. Dapat disimpulkan bahwa blower yang digunakan telah memenuhi kebutuhan udara desain.

Evaluasi IPAL domestik Industri Pakan Ternak Surabaya

Pada perhitungan eksisting IPAL secara sistematis didapatkan hasil parameter telah dibawah baku mutu. Terdapat perbedaan hasil parameter antara kondisi eksisting dan hasil perhitungan sistematis. Hal tersebut dapat dimungkinkan adanya faktor-faktor yang tidak terpenuhi pada kondisi eksisting yang tidak terukur, diantaranya ialah:

Kadar *Dissolved Oxygen* (DO) pada Biofilter Aerob

Dissolved Oxygen (DO) merujuk pada jumlah oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut sangat penting bagi organisme perairan karena jika konsentrasi DO dalam air rendah, menunjukkan adanya bahan pencemar organik yang tinggi. Pada pengolahan biologis, DO dibutuhkan untuk proses respirasi mikroorganisme. Konsentrasi DO minimum harus mencapai 2 mg/L dikarenakan pada proses pengolahan air limbah, DO dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk bernafas, proses metabolisme, hingga pertukaran zat yang akhirnya menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan (Metcalf&Eddy, 2003)

Kebutuhan Nutrien

Pada pengolahan anaerobik, peran rasio COD:N:P adalah menjaga keseimbangan nutrisi mikroba yang digunakan dalam proses pengolahan limbah. Pada influen, rasio COD:N:P selama operasi jangka panjang adalah 300:5:1.

Rasio COD:N:P = 300:5:1

COD in = 177,07 mg/L

$$\begin{aligned}
 \text{COD out} &= 85,62 \text{ mg/L} \\
 \text{COD tersisihkan} &= [\text{COD in}] - [\text{COD out}] \\
 &= 177,07 \text{ mg/L} - 86 \text{ mg/L} \\
 &= 91,45 \text{ mg/L} \\
 \text{Kebutuhan N} &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
 &= (5/300) \times 91,45 \text{ mg/L} \\
 &= 1,52 \text{ mg/L} \\
 \text{Kebutuhan P} &= (1/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
 &= (1/300) \times 91,45 \text{ mg/L} \\
 &= 0,30 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan, dapat diketahui bahwa untuk N sebesar 1,52 mg/L dan P sebesar 0,30 mg/L. Apabila rasio COD:N:P tidak seimbang dalam proses pengolahan anaerobik, dapat berdampak secara signifikan. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan pertumbuhan mikroba yang tidak optimal, yang pada waktu tertentu dapat mengakibatkan penurunan efisiensi pengolahan limbah. Selain itu, ketidakseimbangan ini juga dapat menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca seperti metana dan karbon dioksida, yang dihasilkan selama proses pengolahan limbah. (Budiyono, 2014).

Food to Microorganism (F/M) Rasio

Rasio *Food to Microorganism* (F/M) dalam pengolahan limbah cair adalah perbandingan antara jumlah makanan yang tersedia untuk mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah cair dengan jumlah mikroorganisme yang ada. Rasio ini penting dalam kontrol proses pengolahan limbah cair, karena dapat membantu menentukan jumlah mikroorganisme yang tepat untuk sistem tertentu. (Said & Utomo, 2018). Salah satu cara untuk menghitung rasio F/M adalah dengan menggunakan rumus berikut:

$$F/M \text{ ratio} = \frac{Q (S_0 - S_i)}{MLSS \times V}$$

dimana :

Q = Laju alir limbah m³ per hari.

S₀ = Konsentrasi BOD di dalam air limbah yang masuk ke bak aerasi (reaktor) (kg/m³).

S = Konsentrasi BOD di dalam effluent (kg/m³).

MLSS = *Mixed liquor suspended solids* (kg/m³).

V = Volume reaktor atau bak aerasi (m³).

Rasio F/M yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi dalam pengolahan limbah cair, sementara rasio yang tidak sesuai dapat mengurangi efisiensi tersebut dan mempengaruhi

kinerja proses pengolahan limbah cair. Rasio F/M ini berkisar antara 0,2 hingga 0,5 kg BOD₅ per kg MLSS per hari, namun bisa lebih tinggi hingga 1,5 jika oksigen murni digunakan (Hammer, 1986).

Pada pengolahan limbah cair, F/M rasio yang rendah dapat menciptakan kondisi suboptimal bagi mikroorganisme yang terlibat dalam proses tersebut. Hal ini bisa menghambat pertumbuhan mikroorganisme serta aktivitas biologis yang diperlukan untuk pengolahan limbah cair. Akibatnya, kinerja proses pengolahan biologis menurun, dan efisiensi penyisihan COD, BOD, nitrogen total, dan parameter lainnya pada limbah cair pun terpengaruh (Fatmawati, 2016). Cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi F/M rasio rendah dapat dengan penambahan nutrisi dan penyesuaian kondisi pH, Suhu dan kecepatan aliran. Apabila F/M rasio tinggi ini dapat mengindikasikan bahwa jumlah makanan yang tersedia untuk mikroorganisme dalam proses pengolahan limbah cair lebih banyak dibandingkan dengan jumlah mikroorganisme yang ada. F/M rasio yang tidak tepat dapat mengurangi efisiensi pengolahan limbah cair dan memengaruhi kinerja proses pengolahan limbah cair. Cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi tingginya F/M rasio adalah dengan optimasi waktu detensi dan peningkatan populasi mikroorganisme. (Fatmawati, 2016)

SIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan hasil akhir pada biofilter aerobik untuk parameter BOD 5,11 mg/L, COD 24,38 mg/L dan TSS sebesar 37,33 mg/L. Apabila dibandingkan dengan baku mutu, hanya parameter TSS yang belum memenuhi baku mutu. Parameter TSS dapat diturunkan dengan pengolahan lanjutan seperti sedimentasi dan filtrasi.. Terdapat perbedaan kondisi eksisting parameter kualitas air dengan hasil perhitungan. Hal tersebut dapat dimungkinkan adanya faktor-faktor yang tidak terpenuhi pada kondisi eksisting yang tidak terukur, diantaranya ialah Kadar DO Pada Biofilter Aerob, Kebutuhan Nutrien, *Food to Microorganism* (F/M) Rasio.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyono, B. (2014) Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse), *Eksergi*, 11(1), p. 1. doi: 10.31315/e.v11i1.324.
- Fatmawati, N. S. (2016) Optimasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Magetan, *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), pp. 37-43. doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16974.

- Gutterer B., Sasse L., Panzerbieter T. dan Reckerzugel, (2009). *Decentralised Wastewater Treatment System (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries*. Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA), Germany
- Hammer, M. J. (1986). *Water and Wastewater Technology*. New Jersey: PrenticeHall Int. Inc.
- Metcalf, & Eddy, 2003, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, 41 Edition, McGraw-Hill, New York.
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Said, N. I. and Utomo, K. (2018) Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Proses Lumpur Aktif yang Diisi dengan Media Bioball, *Jurnal Air Indonesia*, 3(2), pp. 160–174. doi: 10.29122/jai.v3i2.2337.
- Suparno, N., Pangesti, F. S. P. and Ariesmayana, A. (2021) Pengolahan Limbah Domestik Kegiatan Karyawan di Pt X Tangerang dengan Sistem Biofilter, *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 4(1), pp. 89–103. doi: 10.47080/jls.v4i1.1217.
- Tchobanoglous, G., et al., (2014). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*. 5 th Edition. New York: McGraw-Hill Education
- Yulis, P. R. Y., Desti and Febliza, A. (2018) Analisa kadar DO, BOD dan COD Air Sungai Kuantan Terdampak Penambangan Emas Tanpa Izin', *Jurnal Bioterdidik*, 6 (3), pp. 64–75.