

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Penurunan Kadar COD, BOD, dan NH₃ pada Air Limbah Domestik Selama Proses Seeding dan Aklimatisasi di PT IKPP.

Nama : Rebecca Nababan dan Dr. Wonny Ahmad Ridwan, S.E., M.M.

Diajukan oleh



Dr. Wonny Ahmad Ridwan, S.E., M.M.
NIP. 196003131980031002

Disetujui oleh,
Wakil Dekan Bidang Sumberdaya, Kerjasama dan Pengembangan



Dr. Ir. Anita Ristianingrum, M.Si.
NIP. 196710241993022001

Tanggal : 8 November 2024

Penurunan Kadar COD, BOD, dan NH₃ pada Air Limbah Domestik Selama Proses Seeding dan Aklimatisasi di PT IKPP

Rebecca Nababan^{1*}, Wonny Ahmad Ridwan²

^{1,2,3}Teknik dan Manajemen Lingkungan, Institut

Pertanian Bogor, Kota Bogor, Indonesia

e-mail: eccanbbnrebecca@apps.ipb.ac.id¹, wonny@apps.ipb.ac.id²

Abstract

The research was conducted to treat PT IKPP's domestic wastewater, which exceeds quality standards through seeding and acclimatization processes using microorganisms. The aim is to analyze the reduction in parameters listed in Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016 and the effectiveness of wastewater and create SOPs for carrying out the processing process at the sewage treatment plant. The method used is primary data obtained directly from the field through sampling at the sewage treatment plant and testing in the laboratory. The research showed a decrease in COD, BOD, and NH₃ levels at the outlet by 20.67, 11.87, and 7.29 mg/L, respectively. COD and BOD values are very effective at 86%, and NH₃ at 71%; the results show that wastewater meets quality standards, so it is safe to recycle. The research results that have been carried out are the creation of SOPs to reduce the risk of errors in management at the sewage treatment plant.

Keywords: acclimatization, water, domestic, processing waste, seeding

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk mengolah air limbah domestik PT IKPP yang melebihi baku mutu melalui proses *seeding* dan aklimatisasi menggunakan mikroorganisme. Tujuannya untuk menganalisis penurunan parameter yang tercantum pada Permen LHK No.68 Tahun 2016 dan efektivitas air limbah serta membuat SOP dalam menjalankan proses pengolahan di *sewage treatment plant*. Metode yang dilakukan adalah menggunakan data primer yang diperoleh langsung dari lapangan melalui sampling di *sewage treatment plant* serta pengujian di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar COD, BOD, dan NH₃ di *outlet* masing-masing sebesar 20.67, 11.87, dan 7.29 mg/L. Efektivitas nilai COD dan BOD sangat efektif sebesar 86% dan NH₃ efektif sebesar 71% yang hasilnya menunjukkan bahwa air limbah memenuhi baku mutu sehingga aman di *recycle*. Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah pembuatan SOP untuk mengurangi risiko kesalahan dalam pengelolaan di *sewage treatment plant*.

Kata kunci: aklimatisasi, air, domestik, limbah pengolahan, seeding

PENDAHULUAN

Di Indonesia, industri umumnya bertanggung jawab untuk penanganan air limbah, dimana sebagian besar pengolahan menggunakan metode secara kimia. Proses kimia biasanya digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel yang sulit mengendap, seperti koloid, logam berat, senyawa fosfor, dan senyawa organik berbahaya. Penggunaan bahan kimia, baik sebagai komponen utama maupun tambahan dalam proses pengolahan air limbah, perlu lebih diperhatikan karena dapat meningkatkan beban pencemaran lingkungan. Penggunaan bahan kimia dalam jumlah yang banyak dianjurkan terutama untuk pengolahan air limbah dengan jumlah kontaminan logam berat yang tinggi (Hernaningsih, 2016).

PT Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP) menerapkan penanganan yang lebih ramah lingkungan dalam mengelola air limbah di *Sewage Treatment Plant* (STP) yang tidak bergantung pada penggunaan bahan kimia. Pengolahan air limbah dengan aktivitas

mikroorganismenya dikenal sebagai proses biologi. Dalam prosesnya, mikroorganismenya digunakan untuk menurunkan konsentrasi parameter pencemar yang tinggi. Mikroorganismenya memanfaatkan air limbah sebagai sumber untuk menghasilkan senyawa organik yang lebih sederhana melalui proses dekomposisi, mengubahnya menjadi gas-gas seperti CO₂, CH₄, H₂, dan H₂S. Di dalam prosesnya juga melibatkan produksi H₂O dan energi yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan mikroorganismenya di dalam bioreaktor *tank* (Mustamin *et al.* 2020).

PT IKPP, sebuah industri *pulp* dan kertas di Tangerang Selatan, menghasilkan air limbah domestik berupa *grey water* yang berasal dari toilet, cuci tangan, dan air wudhu hasil kegiatan sehari-hari karyawan di kantor. Hasil uji karakteristik awal air limbah sebelum proses pengolahan menunjukkan bahwa beberapa parameter masih melampaui standar baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Parameter-parameter yang melewati batas tersebut mencakup COD, BOD, dan NH₃. Sebagai solusi untuk mengurangi tingkat pencemaran pada air limbah domestik, *Sewage Treatment Plant* (STP) dipilih dengan memanfaatkan mikroorganismenya melalui *seeding* dan aklimatisasi.

PT IKPP sebagai perusahaan yang ramah lingkungan tidak lagi membuang air limbah ke sungai khususnya air limbah domestik yang dihasilkan dari lingkungan pabriknya. Air limbah domestik yang dihasilkan dari lingkungan pabrik perusahaan harus melalui proses *treatment* terlebih dahulu sesuai dengan Peraturan Daerah Banten Nomor 3 Tahun 2019 tentang Pengembangan, Pengelolaan, dan Pengendalian Pencemaran Air Limbah Domestik Regional. Oleh karena itu, *sewage treatment plant* dibangun untuk mengatasi air limbah domestik yang melebihi standar kualitas dengan menggunakan proses *seeding* dan aklimatisasi oleh aktivitas mikroorganismenya sehingga air limbah yang sudah memenuhi standar baku mutu dapat di *recycle* kembali.

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut, adapun rumusan masalah, yaitu: 1. bagaimana proses *seeding* dan aklimatisasi di *sewage treatment plant* dalam penurunan kadar COD, BOD, dan NH₃? 2. bagaimana efektivitas air limbah di *sewage treatment plant* selama pengolahan *seeding* dan aklimatisasi? 3. bagaimana Standar Operasional Prosedur (SOP) yang sesuai dengan proses di *sewage treatment plant*? serta tujuan dari penelitian yang dilaksanakan adalah, sebagai berikut: 1. menganalisis proses *seeding* dan aklimatisasi di *sewage treatment plant* dalam menurunkan kadar COD, BOD, dan NH₃ pada air limbah domestik 2. menganalisis efektivitas air limbah di *sewage treatment plant* selama proses *seeding* dan aklimatisasi 3. membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) sebagai acuan perusahaan dalam menjalankan proses pengolahan di *sewage treatment plant*.

METODE PELAKSANAAN

1. Lokasi dan Waktu

Penelitian yang dilaksanakan meliputi kegiatan lapangan untuk mengumpulkan data di *sewage treatment plant*. Berlokasi di PT Indah Kiat Pulp & Paper- Tangerang *mills* yang terletak di Jalan Raya Serpong km. 08 Tangerang Banten, Indonesia. Data yang diperlukan dilaksanakan dalam waktu 5 (lima) bulan mulai bulan Agustus 2023 hingga Desember 2023.

2. Teknik pengumpulan data

Penelitian yang dilakukan menggunakan data primer yang diperoleh langsung dari lapangan. Data sekunder yang digunakan adalah standar baku mutu berdasarkan peraturan pemerintah, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Pengumpulan data pada tahap *seeding* dan aklimatisasi dilakukan dalam beberapa langkah, yaitu:

1. Data analisis awal

Pengujian air limbah dilakukan untuk mengetahui kondisi awal sebelum pengolahan. Data mencakup pH, suhu, TSS, COD, BOD, dan NH₃. Hal ini penting untuk mengetahui kadar air limbah setelah proses pengolahan dilakukan.

2. Data tahap *seeding* dan aklimatisasi

Tujuannya untuk mengetahui mikroorganisme setelah proses *seeding* dan aklimatisasi apakah sudah mampu menurunkan parameter dilihat pemantauan air limbah serta pengujian parameter pendamping yaitu, pH dan suhu.

3. Data tahap running

Tahapan yang dilakukan adalah sampling dan pengujian parameter yang dilakukan setiap hari untuk memastikan adanya penurunan dari *inlet* sebelum pengolahan dan *outlet* setelah pengolahan supaya memenuhi standar kualitas mutu air. Metode pengujian parameter dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) (Tabel 1).

Tabel 1 Metode pengujian parameter

No	Parameter	Metode	Sumber
1	pH	Elektroda potensiometri	SNI 06- 6989.11-2004
2	Suhu	Elektroda potensiometri	SNI 06- 6989.11-2004
3	COD	Refluks tertutup secara spektrofotometri	SNI 6989.73-2009
4	BOD	Metode iodometri (<i>winkler</i>)	SNI 6989.72-2009
5	NH ₃	Metode spektrometri (<i>nessler</i>)	SNI 06- 6989.30-2005

3. Analisis data penelitian

Analisis data penelitian difokuskan pada penurunan nilai COD, BOD, dan NH₃ sebelum (*inlet*) dan sesudah dilakukan pengolahan (*outlet*). Ketiga parameter ini dipilih karena melebihi standar baku mutu. Analisis data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penurunan COD, BOD, dan NH₃

Penentuan nilai penurunan COD, BOD, dan NH₃ diperoleh dengan menggunakan data hasil pengujian di laboratorium pada bak *inlet* dan *outlet*. Data akan dianalisis menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan rumus (Wiharti *et al.* 2014):

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{(co-ct)}{co} \times 100$$

Dimana: co = nilai kadar COD, BOD, dan NH₃ bak *inlet*, ct = nilai kadar COD, BOD, dan NH₃ bak *outlet*.

2. Efektivitas air limbah selama *seeding* dan aklimatisasi

Efektivitas air limbah selama *seeding* dan aklimatisasi adalah nilai yang dihitung berdasarkan nilai rata-rata persentase penurunan parameter pencemar. Nilai rata-rata efektivitas air limbah akan dibandingkan berdasarkan kriteria efektivitas (Tabel 2).

Tabel 2 Kriteria efektivitas

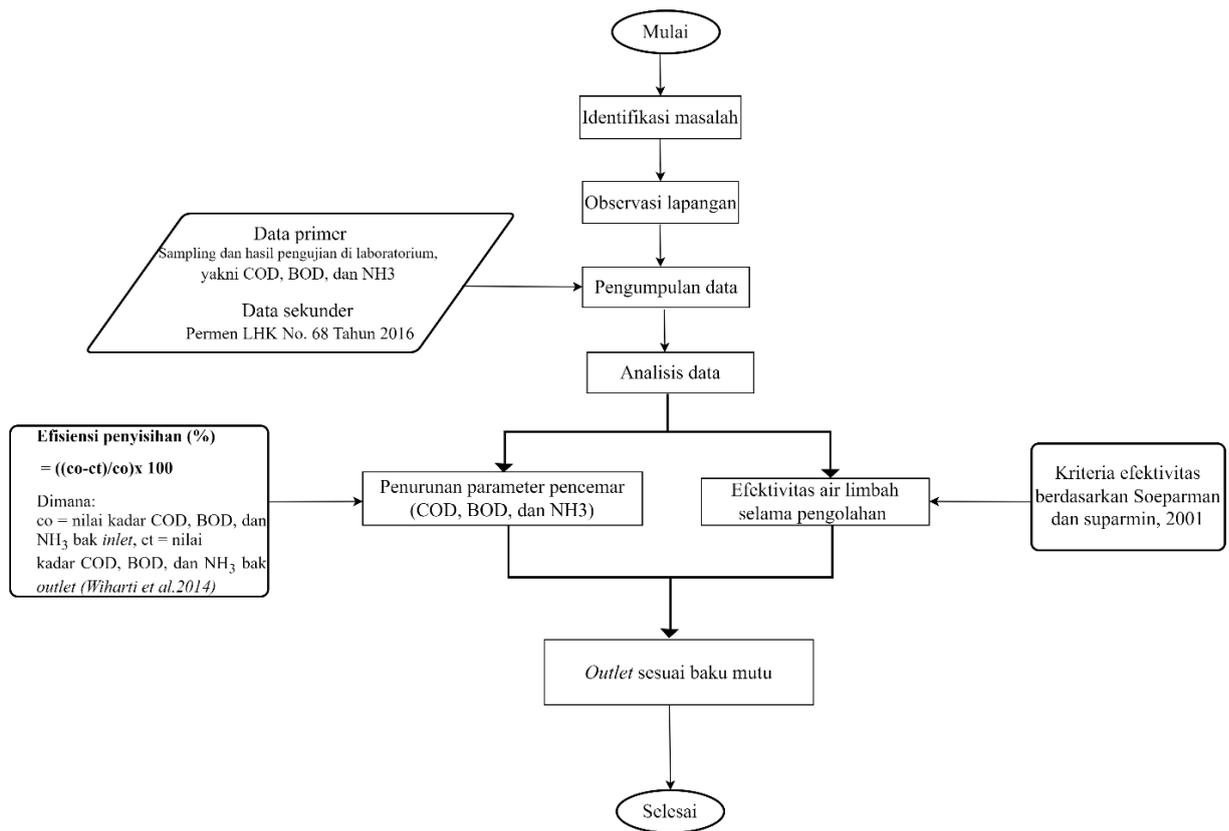
No.	Nilai Presentase Efektivitas	Keterangan
1.	$> 80\%$	Sangat efektif
2.	$60\% < X \leq 80\%$	Efektif
3.	$40\% < X \leq 60\%$	Cukup Efektif
4.	$20\% < X \leq 40\%$	Kurang efektif
5.	$\leq 20\%$	Tidak efektif

Sumber: Soeparman dan Suparmin, 2001

Air limbah selama *seeding* dan aklimatisasi akan dianalisis menggunakan nilai persentase efektivitas kemudian diidentifikasi melalui analisis deksriptif. Air limbah yang memenuhi standar baku mutu akan disalurkan ke seksi FWT (*Fresh Water Treatment*). PT IKPP memanfaatkannya sebagai bahan baku produksi kertas dan keperluan domestik (toilet, wastafel, dan penyiraman tanaman). Oleh karena itu, dengan adanya penelitian yang dilakukan, PT IKPP tidak membuang air limbah lagi ke sungai sehingga air hasil pengolahan dapat digunakan oleh perusahaan.

4. Prosedur kerja

Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mendapatkan pemahaman tentang proses *seeding* dan aklimatisasi serta masalah yang terkait dengan pengolahan air limbah. Setelah itu, masalah penelitian dirumuskan berdasarkan temuan dari studi literatur tersebut. Setelah itu, dilakukan observasi lapangan di *sewage treatment plant* untuk melakukan pengambilan sampel air limbah dan monitoring pada bioreaktor *tank*. Setelah pengambilan sampel dilakukan, dilanjutkan dengan tahap pengujian pada air limbah. Tahapan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme pada air limbah. Setelah itu, proses *running* dimulai untuk melihat penurunan dan efektivitas proses pengolahan air limbah. Setelah semua data terkumpul, dilakukan analisis data.

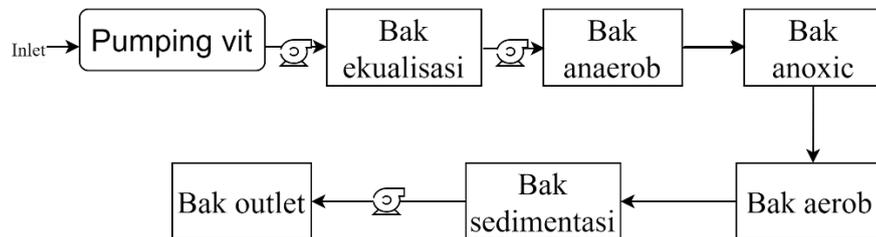


Gambar 1 Diagram alir penelitian

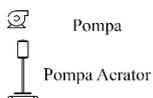
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Profil Perusahaan

PT Indah Kiat Pulp and Paper (IKPP), bagian dari Asia Pulp and Paper (APP) Sinar Mas, berperan sebagai pabrik penghasil *pulp*, kertas, dan kemasan. Dalam operasionalnya, perusahaan menghasilkan air limbah yang sebagian besar berasal dari sisa produksi *pulp* yang diproses di *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). Selain itu, terdapat juga air limbah domestik berupa *grey water* dari aktivitas harian karyawan, seperti sanitasi atau penggunaan toilet yang akan dilakukan pengelolaan di *Sewage Treatment Plant* (STP). Air limbah ini dikumpulkan dalam sebuah bak beton bawah tanah bernama *pumping vit* sebelum dialirkan ke *Sewage Treatment Plant* (STP) dengan kapasitas 50 m³.



Keterangan:



Gambar 2 Alur pengolahan air limbah domestik di *sewage treatment plant*

Penelitian yang dilakukan menggunakan proses biologis yaitu *seeding* dan aklimatisasi yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain: prosesnya relatif mudah dioperasikan, menghasilkan lumpur yang sedikit, dan dapat digunakan untuk air limbah dengan konsentrasi zat organik rendah maupun tinggi.

2. Penurunan kadar COD, BOD, dan NH₃ pada air limbah domestik

Penelitian air limbah domestik di *sewage treatment plant* dimulai dengan uji karakteristik sebelum pengolahan terlebih dahulu. Sampel air diambil dari bak *pumping vit*. Pengujian karakteristik awal meliputi parameter pH, suhu, TSS, COD, BOD dan NH₃ dilakukan di laboratorium PT IKPP (Tabel 3).

Tabel 3 Karakteristik awal air limbah domestik.

No	Parameter	Satuan	Hasil uji	Kadar maksimum
1	pH	-	7.71	6-9
2	suhu	-	29.4	-
3	TSS	mg/L	52	30
4	COD	mg/L	140	100
5	BOD	mg/L	98.5	30
6	NH ₃	mg/L	88.6	10

Air limbah domestik setelah dilakukan pengukuran awal untuk parameter TSS, COD, BOD, dan NH₃ masing-masing memiliki nilai sebesar 52, 140, 98.5, dan 88.6 mg/L. Keempat parameter ini melebihi kadar maksimum yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Konsentrasi COD dan BOD yang tinggi pada hasil uji apabila dibuang ke badan air tanpa pengolahan, maka bakteri dapat berkembang biak dengan cepat dan mengancam biota air (Aini 2017). Kadar NH₃ (Tabel 3) hasilnya tinggi yang diindikasikan oleh bau menyengat pada air limbah menandakan terjadinya proses pembusukan alami karena tingginya kandungan bahan organik dalam air limbah yaitu campuran nitrogen, sulfur, dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein di air limbah (Suarni *et al.* 2021).

Pada hasil uji, parameter pH dan suhu (Tabel 3) sudah sesuai dengan standar baku mutu. pH dan suhu menjadi variabel yang terus dikontrol selama penelitian berlangsung karena keduanya mempengaruhi proses fermentasi bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Kedua parameter ini adalah faktor kunci dalam keberhasilan pembentukan biogas dan gas metana dalam sistem anaerobik. Monitoring pH dan suhu dilakukan setiap kali sampel diambil untuk memastikan kondisi air limbah dalam bioraktor tetap optimal. pH dan suhu harus dijaga pada kisaran yang optimal, yaitu antara 6-8 untuk pH dan 27 °C- 30 °C untuk suhu. Penurunan pH dapat menghambat proses konversi substrat menjadi biogas. Di sisi lain, nilai pH yang terlalu tinggi juga perlu dihindari karena dapat mempengaruhi kualitas air limbah (Rusdiyono *et al.* 2017).

Hasil uji untuk parameter TSS (Tabel 3) melebihi baku mutu dengan nilai 52 mg/L, namun selama proses *seeding* dan aklimatisasi pada dua bulan pertama dilakukan, yaitu Agustus dan September, TSS pada bak *inlet* dan *outlet* sudah dibawah standar baku mutu. Parameter TSS selama penelitian masih terus dilakukan sampling dan pengujian tetapi parameter yang perlu dikaji lebih lanjut adalah COD, BOD dan NH₃ karena ketiga parameter tersebut pada bak *inlet* berada dibawah baku mutu.

1. Tahap *seeding* dan aklimatisasi

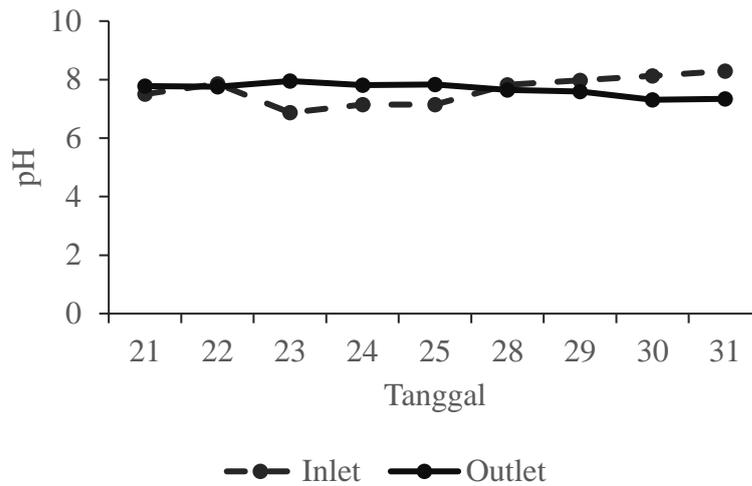
1.1 Tahap *seeding*

Tahap awal dilakukan *seeding*, yaitu pemberian bakteri *starter* untuk mendegradasi air limbah di *sewage treatment plant*. Proses *seeding* dilakukan menggunakan sistem *attached growth*, di mana bakteri dibiarkan hidup pada media reaktor dan air limbah itu sendiri dimanfaatkan sebagai pemicu pertumbuhan bakteri dalam reaktor, yang dikenal sebagai pembiakan alami. *Seeding* dilakukan untuk menumbuhkan mikroorganisme menggunakan *starter* bakteri jenis P-CHEM B-44 (*liquid concentrate microorganism*). Dosis yang digunakan adalah 1:1000, artinya *starter* bakteri yang digunakan sebanyak 1 L sebanyak 13 kali. *Starter* bakteri dimasukkan ke dalam air limbah di bak anoxic dan aerob (Gambar 5). Proses *seeding* berlangsung selama 121 hari, yaitu bulan Agustus hingga November untuk memastikan mikroorganisme pengurai mencapai kondisi stabil serta pemantauan berkala untuk mengamati pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut dipantau setiap hari menggunakan mikroskop di laboratorium.

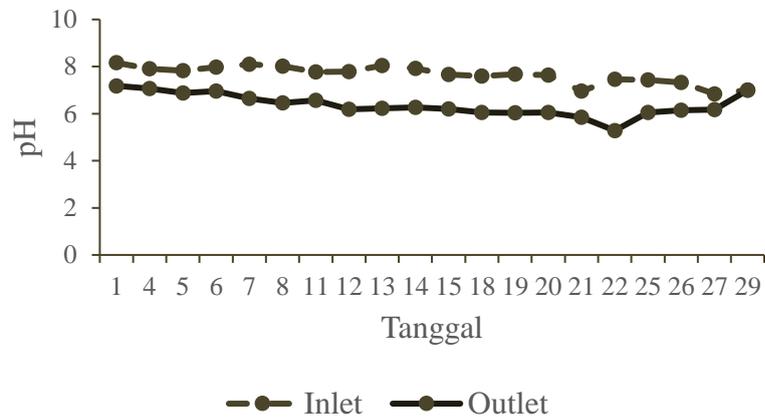


Gambar 2 Penuangan bakteri *starter* ke dalam bak

Proses aklimatisasi merupakan tahap dimana mikroorganisme beradaptasi dengan air limbah yang diolah. Pada tahap ini air limbah dialirkan secara kontinu ke dalam sistem pengolahan. Menurut Laksono dalam Saumi *et al.* (2016) aklimatisasi dianggap selesai ketika penurunan parameter pencemar sudah mencapai tingkat yang cukup tinggi dan stabil. Air limbah dari *pumping vit* dialirkan ke bioreaktor *tank* selama proses aklimatisasi. Pada tahap ini, dilakukan pengujian parameter pendamping, seperti pH dan suhu untuk menentukan kondisi yang optimal bagi pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Berikut grafik parameter pH dan suhu yang diambil pada bulan Agustus dan September (Gambar 3 dan 4).

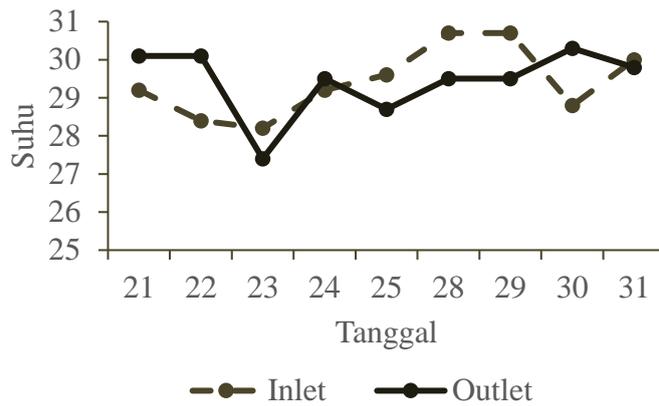


Gambar 3 Grafik pH selama proses *seeding* dan aklimatisasi pada bulan Agustus

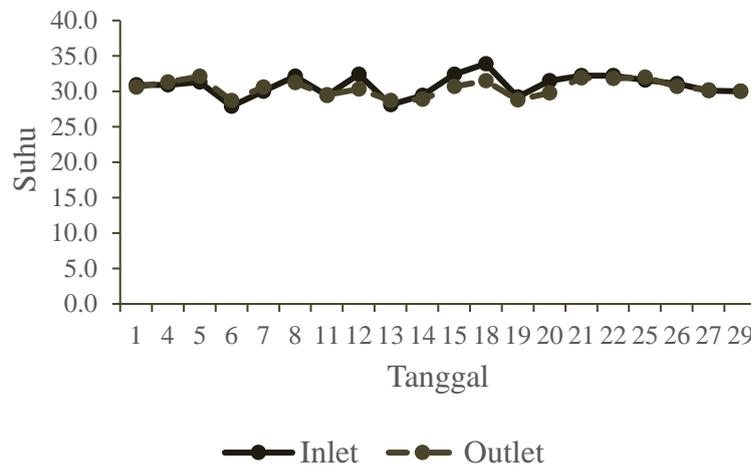


Gambar 4 Grafik pH selama proses *seeding* dan aklimatisasi pada bulan September

Hasil penelitian (Gambar 3 dan 4), pH bulan Agustus dan September masih konstan sesuai dengan rentang yang diinginkan, yaitu 6-8 hasilnya menunjukkan bahwa air limbah domestik yang dibuang ke badan air aman karena sudah sesuai dengan standar baku mutu. Pada tanggal 22 September terjadi penurunan pH *outlet* menjadi 5, menunjukkan bahwa selama tahap aklimatisasi terjadi proses hidrolisis dan asidogenesis. Perubahan pH yang terjadi menunjukkan bahwa mikroorganisme sedang beradaptasi dengan lingkungan baru. Idealnya, pH air seharusnya netral, tidak terlalu asam atau basa, karena nilai pH yang tidak sesuai dengan standar baku mutu dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Selain pH, parameter suhu juga dikontrol (Gambar 5 dan 6).



Gambar 5 Grafik suhu selama proses *seeding* dan aklimatisasi pada bulan Agustus



Gambar 6 Grafik suhu selama proses *seeding* dan aklimatisasi pada bulan September

Suhu air limbah domestik berada rentang 27°C-30°C (Gambar 5 dan 6) yang menunjukkan bahwa kondisi suhu ini optimal untuk mikroorganisme menguraikan bahan organik (Farahdiba *et al.* 2019). Hasil penelitian untuk pH dengan rentang 6- 8 serta suhu 27 °C- 30 °C, selanjutnya dilakukan proses *running* selama 14,42 hari untuk menganalisis penurunan COD, BOD, dan NH₃.

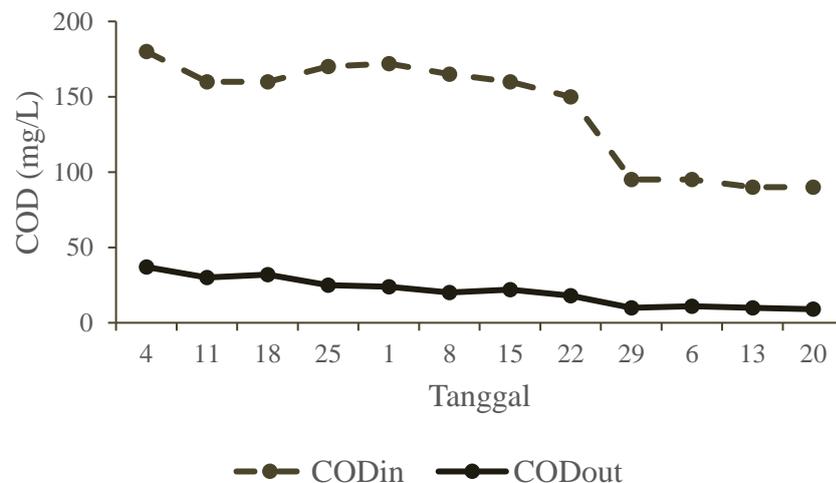
2. Analisis kualitas air limbah pada tahap *running*

Tahap selanjutnya adalah *running*, di mana karakteristik air limbah domestik dianalisis setelah penuangan *starter* bakteri dan tahap aklimatisasi dengan pergantian air limbah. Dalam penelitian ini, menggunakan kombinasi anaerob- aerob dalam bioreaktor *tank*. Air limbah awalnya diolah melalui proses anaerob, di mana bahan organiknya diuraikan oleh mikroorganisme menjadi biomassa, CH₄ dan CO₂ tanpa keberadaan oksigen. Setelah melalui proses anaerob, limbah kemudian diolah secara aerob dengan memasok oksigen ke dalam reaktor. Pada proses aerob, mikroorganisme menguraikan bahan organik dalam air limbah dengan bantuan oksigen, menghasilkan

biomassa, CO₂ dan H₂O. Analisis dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan parameter pencemar sebelum dilakukan pengolahan pada bak *inlet* dan sesudah dilakukan pengolahan bak *outlet* selama *seeding* dan aklimatisasi menggunakan aktivitas mikroorganisme.

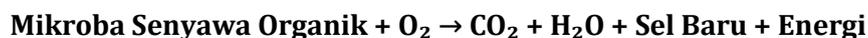
1. Penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran COD bertujuan untuk menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik menggunakan oksidator kuat seperti kalium dikromat dan H₂SO₄ pekat pada suhu 150°C dalam suasana asam. Pada penelitian ini, parameter COD dianalisis selama 3 bulan, dari Oktober hingga Desember. Pengujian COD dilakukan sekali seminggu, sehingga total pengujian COD dalam sebulan adalah 4 atau 5 kali (Gambar 7).



Gambar 7 Grafik penurunan COD selama bulan Oktober- Desember

Hasil pengujian COD (Gambar 10) menunjukkan terjadi penurunan yang signifikan dari COD *inlet* ke *outlet*. Nilai rata-rata COD sebesar 140.58 mg/L menurun menjadi 20.67 mg/L. Penurunan COD selama penelitian berlangsung terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam bioreaktor *tank* (Sulistia *et al.* 2019). Hasilnya membuktikan bahwa bahan kimia maupun organik dalam air limbah dapat dihilangkan bersama-sama dengan padatan yang ada. Secara umum proses penyisihan COD dapat dijelaskan oleh reaksi berikut:

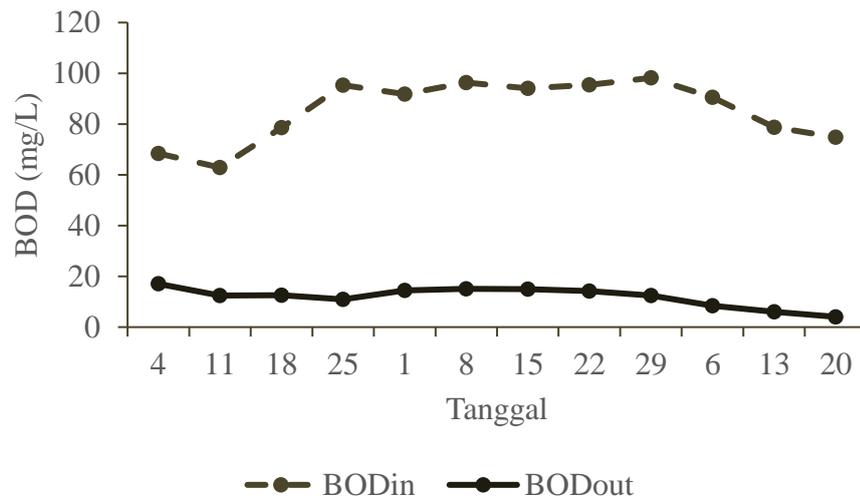


Pada reaksi tersebut menunjukkan bahwa senyawa organik maupun anorganik diurai di dalam reaktor, diinjeksikan dengan udara pada bak aerob, sehingga mikroorganisme dapat mereduksi zat organik maupun anorganik. Hasil dari reduksi tersebut adalah CO₂ dan H₂O yang membentuk biomassa serta energi yang dimanfaatkan untuk proses metabolisme mikroorganisme (Said 2017).

Metabolisme mikroorganisme terdiri dari dua proses utama: katabolisme dan anabolisme. Proses katabolisme melibatkan oksidasi dan respirasi, di mana zat organik yang diuraikan oleh mikroorganisme menghasilkan energi yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri. Sementara itu, Proses anabolisme memungkinkan bakteri untuk berkembang biak dengan menggunakan energi yang diperoleh dari oksidasi dan respirasi (Farahdiba *et al.* 2019).

2. Penurunan *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Zat organik di air limbah terdiri dari unsur C, H, O, S dan N, yang memiliki potensi untuk menyerap oksigen. Oksigen dalam air limbah digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik, yang mengakibatkan penurunan konsentrasi oksigen dalam air limbah seiring waktu dan meningkatkan nilai BOD. Pengujian BOD dilakukan untuk menilai jumlah oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam oksidasi bahan pencemar organik. Prosesnya melibatkan pengukuran oksigen terlarut pada hari pertama (DO_0) setelah pengambilan sampel, dan sampel diinkubasi hingga hari kelima (DO_5) pada kondisi gelap dengan suhu 20 °C. Selisih dari DO_0 dan DO_5 ini kemudian dihitung sebagai nilai BOD_5 dalam mg/ L (Gambar 7).

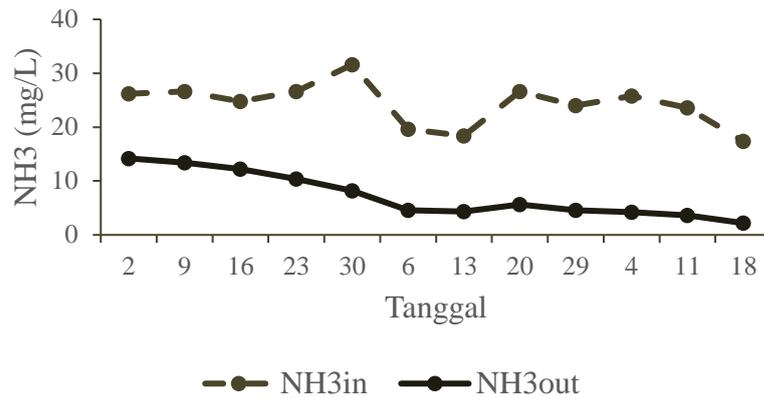


Gambar 7 Grafik penurunan BOD selama bulan Oktober - Desember

Hasil pengujian BOD (Gambar 11) menunjukkan penurunan nilai BOD yang cukup signifikan dari *inlet* ke *outlet*. Rata-rata BOD turun dari 85.41 mg/L menjadi 11.87 mg/L. Penurunan nilai BOD dalam air limbah selama penelitian dapat terurai secara biologis atau bersifat *biodegradable*.

3. Penurunan amonia (NH_3)

Amonia mengandung nitrogen dan ditemukan dalam bahan seperti tinja dan urin yang merupakan polutan yang sangat berbahaya dapat menyebabkan kematian organisme (Aka *et al.* 2017). Berikut grafik penurunan NH_3 selama penelitian (Gambar 8).



Gambar 8 Grafik penurunan NH₃ selama bulan Oktober - Desember

Hasil pengujian NH₃ (Gambar 12), menunjukkan penurunan nilai NH₃ yang signifikan dari *inlet* ke *outlet*. Nilai rata-rata NH₃ sebesar 24.27 mg/L menurun menjadi 7.29 mg/L. Sumber utama NH₃ di perairan berasal dari protein dan urea serta nitrogen anorganik yang ada dalam air, yang terjadi melalui dekomposisi bahan organik oleh mikroba. Proses penyisihan amonia dijelaskan pada persamaan reaksi berikut:



Dalam reaksi tersebut, nitrogen yang ada dalam air limbah, diinjeksikan dengan udara pada bak aerob akan terurai menjadi asam amino dan kemudian menjadi nitrit (HNO₂). Bakteri nitrifikasi akan mengoksidasi HNO₂ menjadi HNO₃ (nitrat). Kandungan amonia dalam air limbah domestik dapat turun setelah melalui pengolahan karena aktivitas mikroorganisme yang dapat menguraikan amonia menjadi nitrit atau nitrat melalui proses nitrifikasi.

3. Persentase penurunan parameter COD, BOD dan NH₃

Selama proses *seeding* dan aklimatisasi, penelitian ini menentukan penurunan kadar parameter pencemar pada air limbah untuk menentukan nilai persentase penurunan, dapat digunakan rumus berikut:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{(c_o - c_t)}{c_o} \times 100$$

Dimana: *c_o* = nilai COD, BOD, dan NH₃ bak *inlet*, *c_t* = nilai COD, BOD, dan NH₃ bak *outlet*.

Tabel 4 Persentase penurunan parameter COD, BOD, dan NH₃

COD in (mg/L)	COD out (mg/L)	Penyisihan pencemar (mg/L)	Efisiensi penyisihan (%)	BOD in (mg/L)	BOD out (mg/L)	Penyisihan pencemar (mg/L)	Efisiensi penyisihan (%)	NH ₃ in (mg/L)	NH ₃ out (mg/L)	Penyisihan pencemar (mg/L)	Efisiensi penyisihan (%)
180	37	143	79	68.4	17.05	51	75	26.2	14.2	12	46
160	30	130	81	62.9	12.46	50	80	26.6	13.4	13	50
160	32	128	80	78.6	12.59	66	84	24.8	12.2	13	51
170	25	145	85	95.3	10.94	84	89	26.6	10.4	16	61
172	24	148	86	91.8	14.51	77	84	31.6	8.2	23	74
165	20	145	88	96.3	15.05	81	84	19.6	4.6	15	77
160	22	138	86	94.1	14.91	79	84	18.4	4.32	14	77
150	18	132	88	95.4	14.14	81	85	26.6	5.62	21	79
95	10	85	89	98.2	12.49	86	87	24	4.6	19	81
95	11	84	88	90.5	8.405	82	91	25.8	4.2	22	84
90	10	80	89	78.7	5.975	73	92	23.6	3.6	20	85
90	9	81	90	74.8	4.06	71	95	17.4	2.2	15	87
		120	86	Rata - rata		74	86			17	71

Tabel 4 menunjukkan data hasil penelitian mengenai penurunan parameter, yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dan NH₃ (Amonia) pada proses pengolahan air limbah di *sewage treatment plant*. Setiap parameter memiliki nilai konsentrasi sebelum pengolahan (*inlet*) dan sesudah pengolahan (*outlet*), serta dihitung nilai penyisihan pencemar (mg/L) dan efisiensi penyisihan (%). Analisis penurunan parameter COD dengan rata-rata konsentrasi COD sebelum pengolahan: 140.6 mg/L; rata-rata konsentrasi COD setelah pengolahan: 20.67 mg/L, rata-rata penyisihan pencemar COD: 120 mg/L, dan rata-rata efisiensi penyisihan COD: 86%. Penurunan COD terjadi karena proses pengolahan air limbah efektif dalam menghilangkan atau mengoksidasi bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam air. Efisiensi penyisihan yang tinggi menunjukkan bahwa metode pengolahan yang diterapkan mampu mengurangi beban COD secara signifikan.

Penurunan parameter BOD dengan rata-rata konsentrasi BOD sebelum pengolahan: 85.42 mg/L, rata-rata konsentrasi BOD setelah pengolahan: 11.88 mg/L, rata-rata penyisihan pencemar BOD: 74 mg/L, dan rata-rata efisiensi penyisihan BOD: 86%. Penurunan BOD yang signifikan menunjukkan bahwa proses pengolahan air berhasil mengurangi bahan organik yang mudah terurai oleh mikroorganisme. Mikroorganisme dalam sistem ini memecah bahan organik menjadi bahan yang lebih sederhana, sehingga mengurangi kebutuhan oksigen biologis dalam air limbah.

Penurunan parameter NH₃ dengan rata-rata konsentrasi NH₃ sebelum pengolahan: 24.27 mg/L, rata-rata konsentrasi NH₃ setelah pengolahan: 7.295 mg/L, rata-rata penyisihan pencemar NH₃: 17 mg/L, dan rata-rata efisiensi penyisihan NH₃: 71%. Penurunan amonia biasanya dicapai melalui proses nitrifikasi-denitrifikasi dalam pengolahan air limbah. Nitrifikasi adalah proses biologis dimana bakteri nitrifikasi mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat. Selanjutnya, proses denitrifikasi oleh bakteri denitrifikasi mengubah nitrat menjadi nitrogen gas yang dilepaskan ke atmosfer. Penurunan amonia juga dapat terjadi melalui proses stripping atau pertukaran ion dalam sistem pengolahan tertentu.

Penurunan yang signifikan pada ketiga parameter ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penurunan kadar COD disebabkan adanya proses dekomposisi oleh

mikroorganisme yang ada di dalam bioreaktor, bekerja efektif dalam menguraikan bahan organik kompleks, yang secara langsung menurunkan nilai COD (Simarmata *et al.* 2020).

2. Penurunan nilai BOD berhasil karena mikroorganisme mampu menguraikan zat organik dalam air limbah. Penurunan BOD terjadi karena proses biologis yang efisien dalam menguraikan bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang membutuhkan oksigen. Proses pengadukan yang terjadi di tangki aerasi memastikan ketersediaan oksigen yang cukup bagi mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik dalam air limbah.
3. Penurunan NH₃ terjadi karena aktivitas mikroorganisme nitrifikasi yang menguraikan amonia dalam air limbah menjadi nitrit atau nitrat. Dalam proses ini, bakteri Nitrosomonas mengubah amonium (NH₄⁺) menjadi nitrit (NO₂⁻), yang kemudian diubah menjadi nitrat oleh bakteri nitrobacter.

3 Efektivitas air limbah setelah proses pengolahan

Efektivitas air limbah setelah proses *seeding* dan aklimatisasi dapat dilihat dari persentase penurunan rata-rata parameter pencemar (Tabel 5).

Tabel 5 Nilai persentase penurunan parameter

Parameter	Rata-rata <i>inlet</i> (mg/L)	Rata-rata <i>outlet</i> (mg/L)	Persentase penurunan (%)
COD	140.6	20.67	86
BOD	85.42	11.88	86
NH ₃	24.27	7.295	71

Hasil penelitian (Tabel 5) menunjukkan persentase penurunan yang signifikan pada parameter COD, BOD dan NH₃ selama bulan Oktober hingga Desember. Penurunan menghasilkan rata-rata sebesar 86% untuk COD dan BOD serta 71% untuk NH₃. Proses *seeding* dengan penambahan *starter* bakteri dilakukan sebanyak 13 kali dari bulan Agustus hingga Oktober, bersamaan dengan proses aklimatisasi yang melibatkan pergantian air limbah dari *pumping vit* menuju reaktor setiap hari. Hasilnya menunjukkan bahwa mikroorganisme yang terdapat pada air limbah berhasil mereduksi zat organik dan anorganik secara efektif sehingga menghasilkan air limbah yang memenuhi baku mutu.

Pada (Tabel 2) kriteria efektivitas air limbah oleh Soeparman dan Suparmin, 2001, persentase efektivitas untuk parameter COD dan BOD adalah sangat efektif dengan masing-masing persentase penurunan sebesar 86%, sementara untuk parameter NH₃, efektivitasnya adalah efektif dengan penurunan sebesar 71%. Proses *seeding* dan aklimatisasi dalam pengolahan air limbah domestik PT IKPP menunjukkan bahwa sangat efektif dalam menurunkan beban organik. Efektivitas terbaik terlihat pada parameter COD dan BOD karena nilai persentasenya diatas 80%.

Dalam proses pengolahan air limbah domestik selama penelitian, peran mikroorganisme sangat penting. Penurunan parameter COD, BOD, dan NH₃ dipengaruhi oleh kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan senyawa-senyawa organik dan mengubahnya menjadi bentuk yang lebih sederhana. Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas mikroorganisme dalam proses ini meliputi jenis dan kualitas mikroorganisme yang dipakai, kondisi lingkungan seperti suhu, pH yang sesuai dan proses aklimatisasi mikroorganisme terhadap kondisi baru di lingkungan pengolahan air limbah. Indikator efektivitas penggunaan mikroorganisme dalam proses *seeding* dan aklimatisasi mencakup peningkatan laju degradasi bahan organik, penurunan kadar amonia, serta stabilitas proses pengolahan secara keseluruhan.

Residu pengurangan dari *inlet* ke *outlet* untuk parameter COD, BOD, dan NH₃, serta efektivitas pengolahan air (Tabel 5).

1. *Chemical Oxygen Demand (COD)*
 - Rata-rata konsentrasi COD sebelum pengolahan (*inlet*): 140.6 mg/L
 - Rata-rata konsentrasi COD setelah pengolahan (*outlet*): 20.67 mg/L
 - Residu pengurangan COD: $140.6 \text{ mg/L} - 20.67 \text{ mg/L} = 119.93 \text{ mg/L}$
 - Efektivitas pengurangan COD: $(119.93)/(140.6) \times 100\% = 85.30\%$

2. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*
 - Rata-rata konsentrasi BOD sebelum pengolahan (*inlet*): 85.42 mg/L
 - Rata-rata konsentrasi BOD setelah pengolahan (*outlet*): 11.88 mg/L
 - Residu pengurangan BOD: $85.42 \text{ mg/L} - 11.88 \text{ mg/L} = 73.54 \text{ mg/L}$
 - Efektivitas pengurangan BOD: $(73.54)/(85.42) \times 100\% = 86.09\%$

3. *Amonia (NH₃)*
 - Rata-rata konsentrasi NH₃ sebelum pengolahan (*inlet*): 24.27 mg/L
 - Rata-rata konsentrasi NH₃ setelah pengolahan (*outlet*): 7.295 mg/L
 - Residu pengurangan NH₃: $24.27 \text{ mg/L} - 7.295 \text{ mg/L} = 16.975 \text{ mg/L}$
 - Efektivitas pengurangan NH₃: $(16.975)/(24.27) \times 100\% = 70\%$

Dari data di atas, proses pengolahan air limbah yang digunakan sangat efektif dalam menurunkan kadar COD, BOD, dan NH₃ dari *inlet* ke *outlet*. Proses pengolahan yang dilakukan menunjukkan bahwa teknologi atau metode yang diterapkan mampu mengurangi beban pencemar secara signifikan. Hasil penelitian menghasilkan air limbah domestik memenuhi baku mutu, sehingga air limbah yang telah diolah dapat di-*recycle* oleh perusahaan yang merupakan langkah baik dalam meningkatkan citra perusahaan.

Air limbah hasil pengolahan di *sewage treatment plant* disalurkan ke seksi *Fresh Water Treatment (FWT)* di PT IKPP. Seksi *Fresh Water Treatment* bertanggung jawab mengolah air menjadi *fresh water*, *treated water*, dan *drinking water*. Pengolahan di FWT dilakukan secara fisika, meliputi: *screening*, filtrasi, dan gravitasi dan secara kimia, yaitu: flokulasi, koagulasi, dan penambahan beberapa bahan kimia, serta menggunakan sinar UV untuk menghilangkan bakteri. Air yang diolah digunakan untuk berbagai keperluan, seperti produksi kertas, keperluan domestik (toilet, wastafel, dan penyiraman tanaman), dan digunakan untuk air minum. Air hasil olahan di *fresh water treatment* harus memenuhi standar *quality plan* FWT.

4. Membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) dalam menjalankan proses pengolahan di *sewage treatment plant*

Standar Operasional Prosedur (SOP) merupakan instruksi kerja yang terdokumentasi, spesifik, dan bersifat instruktif, berfungsi sebagai acuan bagi karyawan dalam melaksanakan suatu pekerjaan. SOP disusun untuk membantu karyawan menjalankan tugas atau proses kerja. SOP memastikan menghindari kegagalan operasional seperti *overloading* air limbah yang masuk ke *sewage treatment plant* (Alfarizi *et al.* 2024).

Adanya pembentukan SOP selama pengolahan di *sewage treatment plant* di PT IKPP adalah memberikan panduan/ langkah kerja terkait proses *seeding* dan aklimatisasi pada air limbah domestik secara terstruktur, meminimalisir terjadinya *human error* dalam pelaksanaannya serta memastikan setiap karyawan yang ditunjuk untuk dapat bertanggungjawab dan mengerti dalam pengaplikasiannya secara langsung ke *sewage treatment plant*.

Berikut adalah langkah-langkah untuk membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) dalam menjalankan proses pengolahan di *sewage treatment plant*:

1. Mengidentifikasi langkah proses dengan mengetahui tahapan-tahapan penting dalam proses pengolahan air limbah, mulai dari penerimaan sampel hingga tahap akhir pengolahan.

2. Menjelaskan setiap tahapan dengan lengkap untuk setiap tahapan proses, termasuk petunjuk operasional, peralatan yang digunakan, parameter yang dimonitor, dan standar kualitas yang harus dipenuhi.
3. Menentukan penanggung jawab setiap tahapan proses dan menjelaskan peran dan tanggung jawab masing-masing karyawan yang terlibat dalam menjalankan SOP.
4. Mengenali risiko dan potensi masalah yang mungkin terjadi selama proses pengolahan. menentukan tindakan pencegahan yang harus diambil untuk mengurangi risiko tersebut.
5. Menetapkan prosedur darurat yang harus diikuti jika terjadi keadaan darurat di *sewage treatment plant* dengan menyediakan informasi kontak penting dan langkah-langkah yang harus diambil dalam situasi darurat.
6. Sosialisasikan SOP kepada semua staff yang terlibat dalam operasi *sewage treatment plant*.
7. Evaluasi secara berkala terhadap SOP untuk memastikan keefektifan dan keefisienannya

PENUTUP

1. Simpulan

Adapun simpulan pada penelitian yang dilakukan, yaitu:

1. Hasil analisis uji karakteristik awal sebelum dilakukan penelitian, kadar COD, BOD dan NH₃ pada air limbah domestik di *pumping vit*, yaitu masing-masing sebesar 140, 98.5, dan 88.6 mg/L. Parameter tersebut melebihi baku mutu yang tercantum pada Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016. Hasil uji setelah dilakukan pengolahan melalui proses *seeding* dan aklimatisasi air limbah terjadi penurunan kadar BOD menjadi 85.41 mg/L dan NH₃ sebesar 24.27 mg/L. Namun kadar COD masih tetap pada angka 140.58 mg/L karena mikroorganisme belum bekerja maksimal pada *inlet*. Hasil uji pada bak *outlet* kadar COD sebesar 20.67 mg/L, BOD sebesar 11.87 mg/L dan NH₃ sebesar 7.29 mg/L mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan pada bak *inlet*.
2. Hasil analisis efektivitas, pengolahan air limbah domestik setelah dilakukan *treatment* di *sewage treatment plant* sangat efektif menurunkan parameter COD dan BOD sebesar 86% serta efektif untuk NH₃ sebesar 71%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air limbah yang diolah aman di *recycle* kembali.
3. Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk *sewage treatment plant* di PT IKPP dibuat untuk mengurangi risiko terjadinya kesalahan dalam pengolahan air limbah domestik.

2. Saran

Berdasarkan hasil serta pembahasan pada penelitian yang dilaksanakan tentang pengolahan air limbah domestik selama proses *seeding* dan aklimatisasi dapat diusulkan yaitu perlunya pemantauan dan pengecekan secara kontinu untuk parameter TSS (*total suspended solid*) untuk meningkatkan efektivitas pengolahan air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

Aini, Sriasih M, Kisworo D. 2017. Studi pendahuluan cemaran air limbah rumah potong hewan di kota Mataram. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 15(1): 42-48.

Aka HA, Suhendrayatna, Syaubari. 2017. Penurunan kadar amonia dalam limbah cair oleh tanaman air *typha latifolia* (tanaman obor). *Jurnal Ilmu Kebencanaan (JIKA) Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*. 4(3): 72-75.

Alfarizi MH, Fitriannah L. 2024. Inovasi teknologi dalam pengolahan lumpur tinja untuk peningkatan kesehatan lingkungan. *Jurnal Unusida*. 1(1): 26-35.

Ananda RA, Hartati E, Salafudin. 2017. *Seeding* dan aklimatisasi pada proses anaerob *two stage system* menggunakan *reaktor fixed bed*. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. 6(1): 2722-6077.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 6968. 57. 2008. Metoda pengambilan contoh air permukaan: Jakarta.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2004. SNI 66.6968. 11. 2004. Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter: Jakarta.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 69689. 72. 2009. Cara uji kebutuhan oksigen biokimia (Biochemical Oxygen Demand /BOD): Jakarta.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2009. SNI 6968. 73. 2009. Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand /COD*) dengan refluks tertutup secara titrimetri: Jakarta.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2005. SNI 6968. 30. 2005. Cara uji kadar amonia dengan spektrofotometer secara fenat: Jakarta.

Farahdiba AU, Latifah EJ, Mirwan M. 2019. Penurunan ammonia pada limbah cair rumah pemotongan hewan (RPH) dengan menggunakan *upflow anaerobic filter*. *Jurnal Envirotek*.11(1):31-38.

Farahdiba AU, Purnomo YS, Sakti SN, Kamal MF. 2019. Pengolahan limbah domestik rumah makan dengan proses *moving bed biofilm reactor* (MBBR). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 5(1): 65-74.

Fitriana L, Weliyadi E. 2016. Uji efektivitas pengolahan air limbah rumah sakit Pertamina menggunakan sistem biofilter aerob-anaerob. *Jurnal Harpodon Borneo*. 9(2): 2087-121.

Hernaningsih T. 2016. Tinjauan teknologi pengolahan air limbah industri dengan proses elektrokoagulasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 9(1): 31-46.

Mustamin HA, Larasati RP, Sumada K. 2020. Studi kesesuaian mikroorganisme pada pengolahan limbah cair industri. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 1(2): 45-52.

[Permen] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor.68/MENLHK-SETJEN/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. 2016.

[Permen] Peraturan Menteri Pendayagunaan Aparatur Negara Republik Indonesia No. 35 Tahun 2012 tentang Pedoman Penyusunan Standar Operasional Prosedur. 2012.

[Permen] Peraturan Daerah Provinsi Banten Nomor. 3 Tahun 2019 tentang Pengembangan Pengelolaan dan Pengendalian Pencemaran Air Limbah Domestik Regional. 2019.

Rusdiyono AP, Kirom MR, Qurthobi A. 2017. Perancangan alat ukur konsentrasi gas metana dari anaerobic baffled reactor (ABR) semi kontinyu dengan substrat susu basi. *Journal Proceeding Of Engineering*. 4(1): 2355-9365. 24

Said NI. 2017. Teknologi pengolahan air limbah, Jakarta, Erlangga.

Saumi AR, Purnomo YS. 2016. Penurunan BOD5 dan fenol limbah kawasan industri dengan

ketebalan media *trickling filter* bervariasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 8(2): 118-125.

Simarmata L, Harahap S, Purwanto E. 2020. Pengaruh pemberian EM4 pada biofilter untuk menurunkan BOD₅ dan COD limbah cair rumah makan. *Jurnal Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*. 1(2): 114-123.

Soeparman, Suparmin, 2001. Pembuangan Tinja dan Limbah Cair. Buku Kedokteran EGC. Jakarta.

Suarni S, Viena V, Yunita. 2021. *The application of anaerobic plastic media biofilter for removal of ammonia and oil and grease in slaughterhouse wastewater*. *Serambi Journal of Agricultural Technology (SJAT)*. 3(1): 37- 44.

Sulistia S, Septisya AC. 2019. Analisis kualitas air limbah domestik perkantoran. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 12(1): 2580-0442.

Wiharti, Riyanto, Fitri N. 2018. Aplikasi metode elektrolisis menggunakan elektroda platina (Pt), tembaga (Cu), dan karbon (C) untuk penurunan kadar Cr dalam limbah cair industri penyamakan kulit di desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research*. 1(1): 59-66.

