

Evaluasi Penerapan Media Biofilter Anaerob dan Mikroorganisme di Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Industri Cat PT.X

Della Rahmah Dayanti*, Rachmawati S. Dj

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional, Bandung

*Koresponden email: dellarahmahd@gmail.com

Diterima: 23 Februari 2025

Disetujui: 8 Maret 2025

Abstract

Water pollution is a type of environmental pollution. Water pollution can be caused by wastewater containing pollutants that is discharged directly into water bodies or the environment. Domestic wastewater containing toxic substances can endanger the environment, human health, and the survival of other organisms. Therefore, domestic wastewater must first be treated before being discharged into water bodies. PT.X Paint Industry has a domestic wastewater treatment plant consisting of equalization, sedimentation and disinfection units. This study aims to identify an anaerobic biofilter treatment that is effective in reducing BOD and ammonia concentrations in domestic wastewater. Bioball media and *Bacillus subtilis* bacterial microorganisms were selected in this study as the proper components for use in anaerobic biofilter treatment in the PT. X paint industry. Bioball media has advantages such as a relatively large specific area and easy installation, while *Bacillus subtilis* microorganisms can reduce ammonia levels by 81.8% and BOD by 67.4%.

Keywords: *Domestic wastewater, anaerobic biofilter, bioball, bacillus subtilis*

Abstrak

Pencemaran air merupakan degradasi lingkungan yang terjadi ketika substansi pencemar masuk dan mencemari sumber daya air. Faktor utama penyebab pencemaran air adalah pembuangan limbah yang mengandung berbagai zat berbahaya secara langsung ke badan air atau lingkungan sekitar, yang mengakibatkan terganggunya kualitas air tersebut. Air limbah domestik yang mengandung berbagai macam zat beracun dapat mengakibatkan kerusakan pada lingkungan, kesehatan pada manusia, dan kelangsungan hidup organisme lain. Sehingga sebelum dibuang ke badan air, air limbah domestik harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Industri cat PT.X mempunyai instalasi pengolahan air limbah domestik yang terdiri dari unit ekualisasi, sedimentasi dan desinfeksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengolahan biofilter anaerob yang efektif dalam menurunkan konsentrasi BOD dan amonia pada air limbah domestik. Media bioball dan mikroorganisme bakteri *Bacillus subtilis* dalam penelitian ini terpilih sebagai komponen yang tepat digunakan dalam pengolahan biofilter anaerob di industri cat PT. X. Media *bioball* memiliki beberapa keunggulan, di antaranya adalah luas permukaan spesifik yang relatif besar dan kemudahan dalam proses pemasangannya, sementara itu untuk mikroorganisme *Bacillus subtilis* yaitu dapat menurunkan kadar amonia sebesar 81,8%, dan BOD sebesar 67,4%.

Kata Kunci: *Air limbah domestik, biofilter anaerob, bioball, bacillus subtilis*

1. Pendahuluan

Pencemaran air termasuk dalam kategori pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan air limbah yang mengandung zat pencemar langsung ke badan air atau lingkungan. Air limbah yang mengandung zat berbahaya dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan, manusia, serta kelangsungan hidup organisme lain [1]. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 mengenai Standar Kualitas Air Limbah Domestik mendefinisikan “Air limbah domestik merupakan air limbah yang dihasilkan dari aktivitas berasal kegiatan manusia yang berkaitan dengan penggunaan air” [2]. Air limbah domestik merujuk pada limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, seperti air sisa cucian, mandi, sisa makanan, dan aktivitas domestik lainnya. Limbah cair ini kemudian mengalir ke badan air, yang dapat mempengaruhi kualitas lingkungan perairan. [3].

Parameter yang terkandung dalam air limbah domestik yaitu *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS), amonia, minyak dan lemak. Berdasarkan data hasil pengujian *effluent* limbah cair domestik dilakukan oleh industri cat PT.X pada tahun 2022, dihasilkan konsentrasi BOD sebesar 31,8 mg/l dan amonia sebesar 10,15 mg/l [4]. Konsentrasi BOD dan

amonia terdeteksi melebihi batas standar kualitas yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016. PT.X ini merupakan industri cat memiliki IPAL domestik yang sederhana, yang terdiri dari unit pengolahan ekualisasi, unit pengolahan sedimentasi dan desinfeksi yang masih menggunakan toren dan IBC tank.

Salah satu upaya mengolah air limbah rumah tangga menggunakan pengolahan biofilter anaerob [5]. Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan proses biofilter anaerob adalah biaya pengoperasian dan perawatan yang murah, efektif untuk menurunkan senyawa BOD, dan amonia, penurunan kadar pencemar yang cukup signifikan serta ramah bagi lingkungan [6]. Selain itu, penerapan biofilter anaerob dapat mencegah terjadinya fenomena “*bulking*” dalam proses pengolahan, serta media yang digunakan tidak membutuhkan proses regenerasi [7].

Mengingat ada sebagian parameter limbah cair domestik yang melebihi standar kualitas air limbah, maka penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi pengolahan biofilter anaerob; identifikasi media; dan mikroorganisme yang akan digunakan di pengolahan biofilter anaerob. Media Biofilter yang terpilih yaitu media *bioball*. Media *bioball* memiliki beberapa keunggulan, di antaranya adalah luas permukaan spesifik yang relatif besar serta kemudahan dalam pemasangan [5]. Berdasarkan pertimbangan tersebut, peneliti memilih *bioball* yang digunakan dalam proses adsorpsi amonia pada pengolahan air limbah. Dan mikroorganisme yang digunakan yaitu bakteri *bacillus subtilis*.

2. Metode Penelitian

Lokasi studi dilakukan di PT.X yang termasuk dalam sektor industri produksi cat dan material konstruksi. PT.X melakukan pengujian di BinaLab, yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik yang ada pada air limbah domestik. Konsentrasi *inlet* dan *outlet* untuk setiap parameter air limbah akan dianalisis berdasarkan standar kualitas efluen (PerMenLHK Nomor 68 Tahun 2016).

Sehingga dalam penelitian ini identifikasi media biofilter anaerob akan dilakukan dengan memakai data sekunder dengan melakukan studi literatur, membandingkan berbagai jenis media biofilter berdasarkan kelebihan dan kekurangannya. Jenis media biofilter tersebut, yaitu media batu dan kerikil, *fiber mesh pad*, *brilio pads*, *structured packing*, *random* atau *dumped packing*, *bioball*, dan *kaldness*. Dan melakukan evaluasi terhadap karakteristik mikroorganisme yang sesuai untuk pengolahan biofilter anaerob dengan memakai data sekunder, serta membandingkan efektivitas masing-masing mikroorganisme, pH, suhu, dan efisiensi tingkat penurunan parameter BOD dan amonia. Mikroorganisme tersebut yaitu bakteri anaerob fakultatif dan bakteri anaerob obligat. Bakteri anaerob fakultatif, yaitu bakteri *bacillus subtilis*, *paenibacillus amylolyticus*, dan *nitrosomonas*. Sedangkan, bakteri anaerob obligat, yaitu bakteri *prevotella melaninogenica*, *Methanobacterium*, dan *Clostridium*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengelolaan Limbah Cair Domestik

Sumber dan Pengolahan Air Limbah Domestik

Air limbah yang dihasilkan oleh PT. X salah satunya air limbah domestik (rumah tangga). Air limbah domestik berasal dari air buangan *greywater*, yang dihasilkan dari kegiatan dapur, toilet, dan wastafel. Menurut penelitian [8], sumber utama penghasil limbah cair domestik adalah air buangan *greywater*. PT. X akan memasang biofilter di IPAL domestik. Sehingga, sesuai dengan rencana tersebut, diusulkan pemasangan biofilter. Unit pengolahan tersebut terdiri dari unit pengolahan ekualisasi, unit pengolahan sedimentasi dan unit pengolahan desinfeksi. Informasi tentang proses pengolahan dari masing-masing unit dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah

Unit	Jumlah	Proses yang terjadi	Dimensi	Kapasitas
Ekualisasi	1	Proses penampungan air yang berasal dari kegiatan rumah tangga, yang dihasilkan dari <i>inlet</i> bertujuan untuk menghomogenkan air limbah.	Tinggi 156,4 cm; Diameter 144 cm	2.000 L
Pengendapan	1	Proses sedimentasi dilakukan untuk memisahkan partikel lumpur, pasir, dan kotoran organik yang terlarut dalam air	Panjang 93 cm; Lebar 111 cm; Tinggi 97 cm	1.000 L

Unit	Jumlah	Proses yang terjadi	Dimensi	Kapasitas
Desinfeksi	1	Proses desinfeksi dilakukan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme patogen ada dalam air limbah rumah tangga.	Panjang 93 cm; Lebar 111 cm; Tinggi 97 cm	1.000 L

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Kualitas Air Limbah Domestik

Pengujian dilakukan oleh pihak ketiga di laboratorium. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui kualitas air limbah *influent* dan *effluent*. Karakteristik limbah cair domestik terdiri dari parameter pH, BOD, COD, TSS, dan ammonia. Hasil pengujian kualitas air limbah domestik disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas Air Limbah *Influent* dan *Effluent* di PT. X

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian		Baku Mutu[9]	Keterangan
		<i>Influent</i>	<i>Effluent</i>		
pH	-	7,40	7,28	6-9	Memenuhi
BOD5	mg/L	40,83	31,80	30	Tidak Memenuhi
COD	mg/L	82,76	62,79	100	Memenuhi
TSS	mg/L	28,37	24,00	30	Memenuhi
Amonia (NH3)	mg/L	12,30	10,15	10	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian, 2022

Berdasarkan Tabel 2., kualitas air limbah *influent* dan *effluent* menunjukkan beberapa parameter yang melebihi baku mutu, yakni parameter BOD dan amonia. Namun untuk parameter COD, dan TSS memenuhi baku mutu. Sehingga efisiensi IPAL belum optimal. Oleh karena itu, dalam evaluasi ini akan dilakukan penambahan pengolahan dengan biofilter anaerob.

3.2 Pengolahan Biofilter Aerob dan Biofilter Anaerob

Berdasarkan hasil data lapangan bahwa IPAL domestik di PT. X akan ada penambahan pengolahan unit IPAL yaitu dengan menambahkan unit biofilter, karena salah satu kemampuan pengolahan biofilter ini yaitu merubah amonia menjadi nitrit dan menghilangkan polutan organik (BOD, COD) [10]. Oleh karena itu, akan dilakukan evaluasi pengolahan biofilter yang cocok untuk digunakan, baik itu biofilter aerob maupun anaerob. Perbandingan hasil evaluasi pengolahan biofilter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Biofilter Aerob dan Biofilter Anaerob

Pengertian	Kelebihan [11]	Kelemahan [11]
Biofilter Aerob		
Biofilter aerob adalah suatu sistem pengolahan air limbah yang bekerja menggunakan mikroorganisme aerob untuk menguraikan zat-zat organik dan polutan lainnya dengan bantuan oksigen dan media filter [12]	Tidak membutuhkan lahan yang luas karena waktu tinggal yang dibutuhkan hanya 6 – 24 jam	Memerlukan energi yang lebih besar akibat penambahan oksigen melalui aerasi
	Mampu menerima fluktuasi beban organik	Menghasilkan jumlah lumpur yang signifikan, dikarenakan fase pertumbuhan biomassa yang cukup besar
	Pengoperasiannya mudah	Pengolahan lumpur sangat diperlukan, karena lumpur yang dihasilkan cenderung tidak stabil

Pengertian	Kelebihan [11]	Kelemahan [11]
	Tingkat efisiensi pengolahan cukup tinggi	Perlu adanya pembangunan fasilitas tambahan untuk memisahkan lumpur dari hasil pengolahan
	Tidak menimbulkan bau	Tidak tahan terhadap <i>shock loading</i>
Biofilter Anaerob		
Biofilter anaerob adalah sistem pengolahan air limbah yang menggunakan mikroorganisme anaerob untuk menguraikan zat-zat organik dalam kondisi tanpa oksigen, dengan bantuan media filter [12]	Lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan relatif sedikit dan stabil	Membutuhkan waktu tinggal yang lama, yaitu 30-40 hari
	Tidak membutuhkan pengolahan lumpur lagi	pH harus dalam <i>range</i> 6.6 -7.6 agar tidak terdapat oksigen terlarut dalam reaktor
	Dapat menghasilkan energi berupa gas metan	Perlu mengatur dan menjaga suhu reaktor pada rentang suhu minimal mesofilik (30-38°C) agar bakteri dapat berfungsi dengan optimal
	Tahan terhadap fluktuasi beban limbah yang besar	
	Konsep desain <i>free maintenance</i> dan <i>low energy cost</i>	

Sumber: Analisis, 2023

Dari perbandingan **Tabel 3.** bahwa pengolahan terpilih yaitu menggunakan pengolahan biofilter anaerob, dikarenakan memiliki kelebihan dalam segi ekonomi dan energi, sehingga memudahkan dalam pembangunan untuk skala IPAL kecil.

3.3 Identifikasi Media Pengolahan Biofilter Anaerob

Pengolahan biofilter anaerob dianggap efektif dalam mengolah air limbah yang pekat sehingga biasanya menjadi tahapan awal dalam pengurangan bahan-bahan organik [13]. Dalam pengolahan biofilter anaerob terdapat media yang harus digunakan. Berdasarkan penelitian [5] identifikasi media dalam pengolahan biofilter anaerob dapat dilihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Identifikasi Media Pengolahan Biofilter Anaerob

Jenis Media Biofilter	Keunggulan	Kelemahan
Batu dan Kerikil	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki sifat <i>inert</i> dan tidak mudah rusak - Memiliki kekuatan mekanik yang baik - Memiliki sifat basah yang optimal - Mudah diperoleh dan terjangkau dalam segi biaya - Luas permukaan spesifik 100-200 m²/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki fraksi volume rongga rendah, berat, dan mudah tersumbat - Media filter cenderung permanen, karena memiliki berat dan sulit untuk dipindahkan
<i>Fiber Mesh pad</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki berat yang relatif ringan - Memiliki luas permukaan per unit volume yang luas 	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki pori yang kecil - Cepat tersumbat - Proses pembersihan dan regenerasi media sangat sulit - Kesulitan memasang dalam jumlah besar - Membutuhkan penyangga

Jenis Media Biofilter	Keunggulan	Kelemahan
<i>Brillio Pads</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ringan dan memiliki luas - Memiliki permukaan relatif besar dengan harga terjangkau. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ketahanan fisik rendah - Sulit digunakan pada skala besar dan kurang ekonomis
<i>Structured packing</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki ketahanan mekanik yang relatif tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Cenderung lebih mahal
<i>Dumped packing</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki fraksi rongga yang optimal - Tahan terhadap terjadinya penyumbatan 	<ul style="list-style-type: none"> - Kekuatan mekanik cenderung rendah - Sulit untuk dipindahkan dari tangki yang besar - Sulit dalam pemasangan - Sulit untuk dilihat oleh operator - Harga cenderung mahal
<i>Bioball</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mempunyai luas spesifik sebesar 200-240 m²/m³ - Pemasangannya mudah (<i>random</i>) - Ringan - Mudah dicuci kembali - Lebih optimal dalam menghilangkan kadar BOD 	<ul style="list-style-type: none"> - Cara pemasangan <i>bioball</i> harus dipasang dengan kerangkeng khusus agar tidak terhisap pompa
<i>Kaldness</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lebih optimal dalam menghilangkan kadar COD dan TSS - Memiliki <i>surface</i> area yang cukup luas, yaitu 800 m²/liter - Meningkatkan proses nitrifikasi bakteri dan menciptakan lingkungan yang kaya oksigen - Media ini sangat baik untuk pertumbuhan bakteri <i>Nitrosomonas</i> dan <i>Nitrobacter</i> yang berperan dalam proses siklus nitrogen - Dapat digunakan untuk media filter atau biologis - Minim perawatan, karena dapat membersihkan dirinya sendiri 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Kaldness</i> tidak dapat membersihkan secara otomatis saat air tidak bergerak - Bakteri tidak dapat diurai dan air pun tetap akan keruh

Sumber: Analisis, 2023

Dari hasil identifikasi pada **Tabel 4** media *bioball* merupakan media yang terpilih dan akan digunakan pada pengolahan biofilter anaerob, karena media tersebut memiliki keunggulan dalam perawatan dan pemasangannya, serta lebih optimal dalam menghilangkan parameter BOD.

3.1 Identifikasi Mikroorganisme

Mikroorganisme yang digunakan untuk mengurai air limbah domestik secara anaerobik adalah bakteri anaerob. Bakteri anaerob merupakan mikroorganisme yang dapat bertahan hidup tanpa kehadiran oksigen bebas.

Tabel 5. Jenis Bakteri Anaerob Fakultatif

Nama Mikroorganisme	Kegunaan	pH, Suhu	Efisiensi BOD [14]	Efisiensi COD[14]	Efisiensi TSS[14]	Efisiensi Amonia[14]
<i>Bacillus Subtilis</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Merupakan bakteri Gram-positif, bakteri ini berfungsi sebagai pengurai limbah domestik dan penghasil enzim selulase yang efektif - Membantu mengurangi kadar BOD, COD dan amonia - Menghasilkan senyawa antibakteri yang menghambat pertumbuhan bakteri pathogen 	<ul style="list-style-type: none"> - pH berkisar antara 5–9 - Suhu berkisar antara 5,57°C-8,19°C 	67,4%	66,3%	77,1%	81,8%
<i>Paenibacillus Amylolyticus</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Genus bakteri pembentuk endospora anaerob fakultatif - Berfungsi sebagai <i>rhizobakteri</i> pemacu pertumbuhan tanaman yang efisien 	Dapat hidup pada pH 7	68,57%	50%	77,1%	80,3%
<i>Nitrosomonas</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kelompok bakteri nitrifikasi, yaitu kelompok bakteri yang mampu menyusun senyawa nitrat dari senyawa amonia - Bakteri untuk biodegradasi limbah domestic 	<ul style="list-style-type: none"> - pH optimum antara 7,3 - 7,5 - Suhu 20 °C-25 °C 	68,57%	50%	77,1%	80,7%

Sumber: Ratu Safitri, 2015 [14]

Tabel 6. Jenis Bakteri Anaerob Obligat

Nama Mikroorganisme	Kegunaan	pH, Suhu	Efisiensi BOD	Efisiensi COD	Efisiensi TSS
<i>prevotella melaninogenica</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Penguraian protein dan karbohidrat - Penghasil vitamin dan hormon - Berperan dalam pencernaan makanan - Membantu menjaga keseimbangan mikro biota 	<ul style="list-style-type: none"> - pH berkisar antara 6,5-7,5 - Suhu 37 °C 	60%	40%	40%
<i>Methanobacterium</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Pengolahan limbah organik dan industri - Produksi biogas - Pengurangan BOD, COD dan TSS - Penghasil energi terbarukan. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH optimum 7 - Suhu 37°C 	60%	40%	50%

Nama Mikroorganisme	Kegunaan	pH, Suhu	Efisiensi BOD	Efisiensi COD	Efisiensi TSS
<i>Clostridium</i>	- Pengolahan limbah organik dan industri - Produksi biogas - Pengurangan BOD, COD dan TSS - Penghasil energi terbarukan. - Penghasil enzim pengurai	- pH berkisar antara 7,0-7,5 - Suhu 20-40°C	65%	45%	55%

Sumber : Hasil Analisis, 2023

Dari hasil identifikasi karakteristik mikroorganisme pada **tabel 5.** bakteri yang terpilih yaitu bakteri *Bacillus subtilis* karena bakteri ini merupakan bakteri yang sering digunakan dalam IPAL domestik. Selain itu, dapat menurunkan kadar BOD air limbah domestik sebesar 67,4%, menurunkan kadar COD sebesar 66,3%, menurunkan kadar TSS yaitu sebesar 77,1%, dan kadar amonia sebesar 81,8%. Karena genus *Bacillus* dapat menurunkan kadar amonia dalam air limbah dan menggunakan amonia heterotrofik sebagai sumber nutrisi [15].

4. Kesimpulan

Karakteristik air limbah domestik yang dihasilkan di IPAL PT. X, mencakup parameter BOD, COD, TSS, dan amonia,. Berdasarkan hasil pengujian air limbah domestik di Laboratorium, bahwa konsentrasi *inlet* parameter BOD sebesar 40,83 mg/L dan parameter amonia sebesar 12,30 mg/L. Sedangkan untuk konsentrasi *outlet* parameter BOD sebesar 31,80 mg/L dan parameter amonia 10,15 mg/L. Instalasi pengolahan air limbah domestik di PT. X terdiri dari tiga tahap pengolahan, yaitu equalisasi, sedimentasi, dan desinfeksi. Proses pengolahan yang diterapkan adalah menggunakan biofilter anaerob. Media yang diterapkan dalam proses pengolahan biofilter anaerob adalah *bioball*. Mikroorganisme yang tepat dan akan diterapkan dalam pengolahan biofilter anaerob adalah bakteri *bacillus subtilis*.

5. Referensi

- [1] L. M. Arief, "Pengolahan Limbah Industri Dasar-Dasar Pengetahuan dan Aplikasi di Tempat Kerja," 2016.
- [2] P. L. No.68 Tahun 2016, "Baku Mutu Air Limbah Domestik," *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*, pp. 1–13, 2016.
- [3] J. D. D. M. Ilham Nurdin, M. Y., Arifah Sukasri, "Efisiensi Penggunaan Bioball Dalam Proses Adsorpsi Amonia Pada Air Limbah," *Bidang Ilmu Teknik Kimia, Kimia Analisis, Teknik Lingkungan, Biokimia Dan Bioproses*, 2022.
- [4] HCS, "Company Profile PT.X," 2021.
- [5] R. M. Nusa Idaman Said, "Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah," *Teknik Lingkungan, BPPT. JAI*, vol. Vol. 1, No, 2005.
- [6] A. C. S. Susi Sulistia, "Analisis Kualitas Air Limbah Domestik Perkantoran," *JRL*, vol. Vol.12 No., pp. 41–57, 2019.
- [7] Muhammad Al Kholif, Miftakhul Rohmah, Pungut, Indah Nurhayati, Djoko Adi Walujo, and D. Majid, "Penurunan Beban Pencemar Rumah Potong Hewan (Rph) Menggunakan Sistem Biofilter Anaerob," *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, vol. 14, no. 2, pp. 100–113, 2022, doi: 10.20885/jstl.vol14.iss2.art1.
- [8] S. N. Idaman, *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Jakarta: Erlangga.
- [9] P. L. No.68 Tahun 2016, "Baku Mutu Air Limbah Domestik," *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia*, pp. 1–13, 2016, [Online]. Available: <https://p3ekalimantan.menlhk.go.id/2016/09/30/permen-lhk-nomor-p-68-menlhk-setjen-kum-1-8-2016/>
- [10] H. P. Eka Parama Putra, "Studi Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Biofilter Media Ijuk," *Arc. Com. Health.*, 2021.
- [11] D. Santoso, D. A. Wulandari, and M. A. Temenggung, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Domestik Dengan Metode Biofilter Aerob Di Pt. Bhandha Ghara Reksa (Persero) Divre Vi Lampung," *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, vol. 6, no. 1, pp. 45–60, 2023, doi: 10.47080/jls.v6i1.2233.

- [12] Tchobanoglous, *Wastewater Engineering; Treatment, Disposal and Reuse*, 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- [13] R. Timpua, T. K., & Pianaung, “Uji Coba Desain Media Biofilter Anaerob Aerob Dalam Menurunkan Kadar Bod, Cod, Tss Dan Coliform Limbah Cair Rumah Sakit,” *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2019.
- [14] R. Safitri, B. Priadie, M. Miranti, and A. W. Astuti, “Ability Of Bacterial Consortium: Bacillus coagulans, Bacilus licheniformis, Bacillus pumilus, Bacillus subtilis, Nitrosomonas sp. and Pseudomonas putida In Bioremediation Of Waste Water In Cisirung Waste Water Treatment Plant,” *AgroLife Scientific Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 146–152, 2015.
- [15] E. Va, “Siklus Nitrogen - Pengendalian Amonia dan Nitrit di Kolam, Danau, Laguna, Sungai, dan Pengolahan Air Limbah,” *CEO Alken-Murray Corporation*, 2011.