Indo. J. Chem. Sci. 15 (3) (2026)
Indonesian Journal of Chemical Science
http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

Effectiveness of Domestic Wastewater Processing at Kalimulya IPLT, Depok City, Evaluated Through BOD, COD, and NH_3 Parameters

Raden Muhammad Syawal Aldaffa✉, Triastuti Sulistyaningsih, Nanik Wijayati

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima: 27-06-2026

Disetujui: 18-08-2026

Dipublikasikan: 13-11-2026

Keywords:
IPLT
Domestic Wastewater
BOD
COD
Ammonia (NH_3)

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of domestic wastewater treatment at the Kalimulya Fecal Sludge Treatment Plant (IPLT), Depok City based on pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and ammonia (NH_3) parameters. Samples were taken at three treatment points, namely the initial biofilter tank, the biological control pond, and the outfall. Water quality analysis was carried out using the Indonesian National Standard (SNI) method. The results showed that the biological treatment system was able to reduce pollutant concentrations significantly. BOD values decreased from 144 mg/L to 5.4 mg/L, COD from 379 mg/L to 8.776 mg/L, and NH_3 from 198 mg/L to 0.025 mg/L at the outfall point. The pH values at all observation points were within the quality standard range, namely 6–9. The decrease in pollutant levels indicates that the activity of microorganisms in the biofilm system plays an effective role in the biodegradation of organic compounds and ammonia nitrification. Thus, the Kalimulya Wastewater Treatment Plant is capable of producing effluent that meets domestic wastewater quality standards and is safe for discharge into receiving water bodies.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan air limbah domestik pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Kalimulya, Kota Depok berdasarkan parameter pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan amonia (NH_3). Sampel diambil pada tiga titik pengolahan, yaitu bak awal biofilter, kolam kontrol biologis, dan outfall. Analisis kualitas air dilakukan menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengolahan biologis mampu menurunkan konsentrasi pencemar secara signifikan. Nilai BOD menurun dari 144 mg/L menjadi 5,4 mg/L, COD dari 379 mg/L menjadi 8,776 mg/L, dan NH_3 dari 198 mg/L menjadi 0,025 mg/L pada titik outfall. Nilai pH pada seluruh titik pengamatan berada dalam kisaran baku mutu, yaitu 6–9. Penurunan kadar pencemar menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme dalam sistem biofilm berperan efektif dalam proses biodegradasi senyawa organik dan nitrifikasi amonia. Dengan demikian, IPLT Kalimulya mampu menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu air limbah domestik dan aman dibuang ke badan air penerima.

© 2026 Universitas Negeri Semarang

✉ Correspondence address:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: daffa7332@students.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6951
e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Limbah cair domestik yang dibuang tanpa diolah dapat meningkatkan pencemaran dan kualitas lingkungan. Salah satu efek negatifnya adalah pencemaran air sungai yang mengakibatkan kematian biota air yang hidup di dalamnya, penurunan kualitas tanah, endapan lumpur, dan sumbatan yang membuat air tidak dapat digunakan secara efektif. Selain itu, limbah cair domestik memiliki bau menyengat dan zat kimia berbahaya yang mengganggu kesehatan. Zat kimia ini akan terakumulasi di badan air setelah limbah cair domestik diproses, yang dapat menyebabkan perubahan iklim, eutrofikasi, dan peningkatan kelangkaan air bersih (Marhayuni & Faizi, 2022). Air limbah domestik sebagian besar terdiri dari air (99,9%) dan zat padat (0,1%). Zat padat yang dimaksud terdiri dari 70 persen zat organik (misalnya, protein, karbohidrat, dan lemak) dan 30 persen zat anorganik (misalnya, pasir, garam, dan logam) (Ratnawati & Ulfah, 2020). Air limbah domestik yang dibuang langsung adalah masalah lingkungan yang menantang yang membutuhkan teknologi pengolahan yang canggih (Zhang *et al.,* 2018). Pengolahan air limbah domestik membutuhkan penggunaan lahan yang khusus. Instalasi pengolahan lumpur tinja atau IPLT dapat mengontrol pengolahan air limbah domestik yang kemudian dialirkan ke aliran sungai.

Instalasi Pengelolaan Lumpur Tinja (IPLT) adalah fasilitas pengolahan lumpur tinja khusus yang menerima dan mengolah lumpur tinja yang diangkut oleh mobil tinja (Purba dan Widyawati, 2021). Pengolahan ini merupakan pengolahan tingkat lanjut setelah tangki septik karena lumpur tinja tersebut belum layak untuk dibuang ke lingkungan (Sefentry dan Masriantini, 2021). Untuk meningkatkan pengolahan dan pembuangan air limbah yang ramah lingkungan, lumpur tinja di tangki septik harus dikuras secara berkala. Selanjutnya, lumpur tinja diangkut menggunakan truk tinja menuju proses IPLT (Oktarina dan Haki, 2013).

Lumpur tinja juga dikenal sebagai septage yang merupakan cairan padat yang dipompa dari septic tank atau cesspool (cubluk tunggal) selama proses pengurasan, atau dari buangan lumpur dari sistem pengolahan biologis limbah cair rumah tangga. Dengan bau menyengat dan konsentrasi padatan dan bahan organik yang sangat tinggi, lumpur tinja sulit diendapkan dan mudah membentuk busa saat diaduk (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Pemerintah Kota Depok, 2015). Pengolahan lumpur tinja adalah bagian penting dari sistem penyediaan sarana dan prasarana sanitasi air limbah. Perbaikan dalam pelayanan sanitasi diperlukan karena kecenderungan lingkungan untuk menimbulkan berbagai penyakit (Maulana *et al.,* 2022). Kapasitas IPAL yang lebih besar meningkatkan beban pencemar yang harus disisihkan. Setelah lumpur tinja dimasukkan ke dalam IPAL, hanya lumpur tinja diendapkan pada kolam. Setelah kolam penuh, pengurasan dilakukan dan lumpur tinja berasal dari metabolisme tubuh manusia yang mengandung Escherichia coli, amoniak, COD, BOD, pH, TSS, dan minyak dan lemak yang terdapat di dalam Instalasi Pengolahan Limbah Terpadu (IPLT) (Nuraeni, 2015).

Instalasi Pengolahan Limbah Terpadu (IPLT) Kalimulya berada di Kecamatan Cilodong, Kota Depok, Jawa Barat. Itu pertama kali didirikan oleh Pemerintah Kabupaten Bogor, tetapi sekarang dikelola oleh Pemerintah Kota Depok setelah pemekaran Kota Depok. IPLT Kalimulya beroperasi di lahan seluas 2,2 ha yang melayani pengolahan lumpur tinja dari septic tank penduduk Kota Depok dan Kabupaten Bogor (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Pemerintah Kota Depok, 2015). Pada Oktober 2025, kondisi outfall pada IPLT Kalimulya mengalami penurunan kinerja akibat tidak berfungsinya unit pengolahan secara optimal. Hasil uji laboratorium terhadap outfall limbah cair IPLT Kalimulya menunjukkan nilai pH sebesar 7,00 dari batas kadar maksimum sebesar 9, kemudian BOD sebesar 93,1 mg/L dari batas kadar maksimum 150 mg/L, lalu nilai COD sebesar 297 mg/L dari batas kadar maksimum 300 mg/L dan nilai amonia (NH_3) sebesar 237 mg/L dari batas kadar maksimum 50 mg/L (Dinas Kebersihan dan Pertamanan Pemerintah Kota Depok, 2025).

Pada bulan Oktober 2025, lumpur yang diolah di IPLT masih di bawah kapasitas olahan yang dimiliki, sehingga perlu dilakukan upaya agar IPLT dapat berfungsi secara optimal. Sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja IPLT dan pengelolaannya, dilakukan pengujian terhadap efektivitas pengolahan air limbah domestik pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) berdasarkan parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan Ammonia (NH_3) serta Menganalisis hasil pengujian berdasarkan parameter pH, BOD, COD, dan amonia (NH_3) pada Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Kalimulya.

Metode

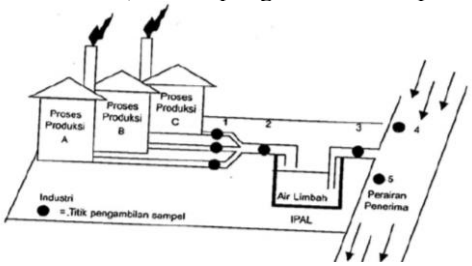
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada kolam biofilter bak awal, kolam bio kontrol, dan *outfall* IPLT untuk menganalisis kualitas air limbah domestik berdasarkan parameter pH, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan amonia (NH_3). Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi temperatur udara, temperatur sampel, daya hantar listrik (konduktivitas), dan lokasi pengambilan

sampel, sedangkan variabel terikat berupa kadar pH, BOD, COD, dan amonia (NH_3) pada setiap titik pengamatan. Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi suhu dan waktu inkubasi pengujian BOD (20°C ± 1°C selama 5 hari), suhu kondisi contoh uji dan larutan GGA (20°C ± 3°C), volume contoh uji dan larutan pereaksi pada proses *digestion* COD, suhu dan waktu *digestion* COD (150°C selama 2 jam), metode analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, panjang gelombang pengujian COD sebesar 420 nm, metode *sampling* berdasarkan SNI 8990:2021, serta metode pengujian berdasarkan SNI 6989.72:2009 untuk BOD, SNI 6989.2:2019 untuk COD, dan Instruksi Kerja Metode (IKM.DPK-02) untuk amonia.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu peralatan pengambilan contoh uji air limbah, lemari inkubasi, botol kaca, pipet volumetrik 1,0; 5,0; 10,0; 25,0; dan 50,0 mL, pipet ukur 5,0; 10,0; dan 25,0 mL, botol winkler 100 mL, erlenmeyer 100 mL, gelas piala 400 mL dan 1000 mL, labu ukur 100,0; 200,0; dan 1000,0 mL, pH meter, magnetic stirrer, oven, timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg, ampul borosilikat 10 mL (diameter 19 mm sampai dengan 20 mm), botol vial 10 mL, pemanas dengan lubang-lubang penyangga tabung (heating block), mikroburet, peralatan filtrasi, cawan petri, media penyaring (glass-fiber filter), kertas saring, Kolorimeter Portabel Multiparameter Hach DR900, Spektrofotometer Portabel Hach DR1900, hot plate. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu Aquademin, kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) Merck, Dikalium hidrogen fosfat (K_2HPO_4) Merck, Dinatrium hidrogen fosfat heptahidrat ($Na_2HPO_4.7H_2O$) Merck, Amonium klorida (NH_4Cl) Merck, Magnesium sulfat ($MgSO_4.7H_2O$) 1,68 g/cm^3 Merck, Kalsium klorida ($CaCl_2$) 1,85 g/mL Merck, Feri klorida ($FeCl_3$) 1,82 g/cm^3 Merck, kapsul bibit mikroba (polyseed), glukosa (p.a) 1,543 g/cm^3 Merck, Asam glutamat 1,538 g/cm^3 Merck, indikator amilum (kanji) 0,3 g/mL Merck, Asam salisilat 1,44 g/cm^3 Merck, Mangan sulfat ($MnSO_4.2H_2O$) Merck, Natrium hidroksida (NaOH) 1,04 g/mL Merck, Natrium iodida (NaI) Merck, Natrium azida (NaN_3) 1,846 g/cm^3 Merck, Asam sulfat (H2SO4) 6 N 1,84 g/cm^3 Merck, Sodium Thiosulfat ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 1,74 g/cm^3 Merck, Kalium bi-iodat ($KH(IO_3)_2$ Merck, Kalium iodida (KI) 10% Merck, Kalium dikromat (K_2Cr_2O7) Merck, Merkuri (II) sulfat ($HgSO_4$) Merck, Merkuri(II) sulfat ($HgSO_4$) 6,4 g/cm^3 Smart-Lab., Perak sulfat (Ag_2SO_4) 98,5% Merck, Kalium hidrogen phtalat ($HOOCC_6H_4COOK$) Merck, A*mmonia Salicylate Powder Pillows Hach*, dan *Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillows Hach*.

***Biochemical Oxygen Demand* (BOD)**

Alat pengambilan contoh uji berupa gayung atau ember dengan tali disiapkan sesuai dengan saluran pembuangan, yaitu kolam biofilter bak awal, kolam bio kontrol, dan *outfall* IPLT. Berdasarkan titik pengambilan sampel yang sudah disebutkan, skema pengambilan sampel terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengambilan Sampel
Sumber: SNI 6989.59:2008)

Larutan Sampel

Larutan sampel dikondisikan pada suhu 20 °C ± 3 °C. Pengenceran sampel dilakukan dengan larutan air pengencer hingga 250 mL di dalam labu ukur. Jumlah pengenceran tergantung pada karakteristik sampel uji dan pengenceran yang dipilih dapat menghasilkan penurunan oksigen terlarut minimal 2,0 mg/L dan sisa oksigen terlarut minimal 1,0 mg/L setelah inkubasi 5 hari. Pengenceran sampel uji dapat dilakukan berdasarkan faktor pengenceran seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Contoh Uji

Jenis Contoh Uji	Jumlah Contoh Uji (%)	Faktor Pengenceran
Limbah industri yang sangat pekat	0,01-1,0	10000-100
Limbah yang diendapkan	1,0-5,0	100-20
Efluen dari proses biologi	5,0-25	20-4
Air Sungai	25-100	4-1

Sumber: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Biochemical Oxygen Demand (5210)

Berdasarkan Tabel 1, Pada titik kolam bak biofilter awal, kolam biokontrol, dan *outfall* dilakukan pengenceran sebanyak 50 mL yang dipipet ke dalam labu takar 250 mL.

Pengujian

Pada masing-masing sampel, disiapkan 2 buah botol DO berupa Winkler dan ditandai masing-masing botol dengan notasi DO_0 dan DO_5. Larutan sampel dimasukkan ke dalam botol DO_0 dan DO_5 sampai meluap, kemudian masing-masing botol ditutup dengan hati-hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara. Dilakukan pengocokan beberapa kali, kemudian ditambahkan akuades pada sekitar mulut botol DO_0 dan DO_5 yang telah ditutup. Botol DO_5 disimpan dalam lemari inkubator pada 20 °C ± 1 °C selama 5 hari. Dilakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol A1 dengan metode titrasi secara iodometri (modifikasi azida) sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004. Hasil pengukuran dengan melalui proses titrasi merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (DO_0). Pengukuran oksigen terlarut pada nol hari harus dilakukan maksimal 30 menit setelah pengenceran. Pengerjaan titrasi diulangi untuk botol DO5 yang telah diinkubasi 5 hari ± 6 jam. Hasil pengukuran dengan melalui proses titrasi merupakan nilai oksigen terlarut lima hari (DO_5). Pengerjaan diulangi untuk penetapan blanko dengan menggunakan larutan pengencer tanpa sampel atau blanko pengencer/Seed Control Factor (SCF). Hasil pengukuran merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (DO_0 SCF) dan nilai oksigen terlarut pada blanko pengencer/Seed Control Factor (SCF) hari kelima (DO_5 SCF). Pengerjaan diulangi untuk penetapan kontrol standar dengan menggunakan larutan GGA. Hasil pengukuran merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (DO_0 GGA) dan nilai oksigen terlarut nol hari (DO_5 GGA).

***Dissolved Oxygen* (DO)**

Standarisasi Larutan Na2S2O3

Kalium Iodida (KI) ditimbang sebanyak 2 g, kemudian dimasukan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Setelah itu, ditambahkan 100 mL akuades dan diteteskan 2-3 tetes H_2SO_4 pekat. Kemudian, dipipet 20 mL larutan kalium biiodat, kemudian ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi KI. Setelah itu, diencerkan menggunakan akuademin sampai 200 mL sampai terbentuk warna kuning kecoklatan. Setelah itu, dititar iodin yang terbebaskan menggunakan $Na_2S_2O_3$ hingga terbentuk warna kuning muda. Setelah dititar pertama menggunakan $Na_2S_2O_3$, ditambahkan 1 mL larutan indikator kanji hingga terbentuk warna biru dan dititar lagi dengan $Na_2S_2O_3$ hingga warna biru hilang atau tidak berwarna. Setelah selesai tahap titrasi, dicatat volume hasil titrasi, kemudian dihitung normalitas larutan $Na_2S_2O_3$.

Pengujian

Diambil botol Winkler yang di dalamnya terdapat sampel DO_0 dan DO_5 yang sudah disiapkan. Kemudian, ditambahkan ke dalam botol DO_0 dan DO_5 1 mL MnSO4 dan 1 mL iodida azida hingga terbentuk endapan berwarna cokelat. Setelah itu, dihomogenkan dan didiamkan selama 5-10 menit hingga gumpalan mengendap. Setelah homogen, ditambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat dan dihomogenkan kembali hingga endapan larut dan terbentuk warna kuning kecoklatan. Setelah itu, dipipet 50 mL kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 150 mL. Kemudian, dititar dengan $Na_2S_2O_3$ hingga terbentuk warna kuning muda. Setelah itu, ditambahkan 3-4 tetes kanji hingga terbentuk warna biru. Setelah itu, dititar lagi dengan $Na_2S_2O_3$ hingga warna biru hilang atau tidak berwarna.

***Chemical Oxygen Demand* (COD)**

Pembuatan Larutan Kerja

Deret larutan kerja dibuat dengan menggunakan larutan induk KHP dengan 1 (satu) blanko dan minimal 5 kadar yang berbeda secara proporsional yang berada pada rentang pengukuran. Pada pengujian ini, dibuat larutan kerja dengan menggunakan ampul 10 mL. Larutan kerja dibuat dengan membuat deret sebesar 10, 20, 40, 60, 80, dan 90 mg/L dengan masing-masing dipipet 1, 2, 4, 6, 8, dan 9 mL. Larutan baku kalium hidrogen phtalat ($HOOCC_6H_4COOK$, KHP) kemudian dimasukkan ke dalam tabung kultur atau ampul 10 mL. Setelah itu, pada masing-masing deret, sisanya diencerkan dengan menggunakan akuademin hingga volume mencapai 10 mL.

Pembuatan Larutan Blanko

Larutan pereaksi asam sulfat digunakan sebagai blanko pada pengukuran dengan spektrofotometer.

Proses Digestion

Sejumlah sampel uji dan larutan kerja masing-masing diambil dengan pipet atau mikroburet sebanyak 2,5 mL. Kemudian, dipipet digestion solution sebanyak 1,5 mL dan larutan pereaksi asam sulfat sebanyak 3,5 mL. Kemudian, ditambahkan ke dalam tabung kultur atau ampul 10 mL. Tabung ditutup dan dikocok perlahan hingga hasilnya homogen. Setelah itu, tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 °C ± 2 °C dan dilakukan refluks selama 2 jam. Sampel uji dan larutan kerja yang sudah direfluks kemudian didinginkan sampai suhu ruang. Setelah itu, sampel uji dan larutan kerja dibiarkan hingga suspensi mengendap dan dipastikan bagian yang diukur benar-benar jernih.

Pembuatan Kurva Kalibrasi

Alat uji spektrofotometer dihidupkan dan dioptimalkan sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian COD. Diatur panjang gelombang pada 420 nm. Serapat masing-masing larutan kerja diukur, kemudian dicatat dan diplotkan terhadap kadar COD. Dibuat kurva kalibrasi dari data yang didapatkan, kemudian ditentukan persamaan garis lurusnya. Jika koefisien regresi linier (r) < 0,995, kondisi alat diperiksa dan diulangi hingga diperoleh nilai koefisien r ≥ 0,995.

Pengukuran Sampel Uji

Larutan blanko digunakan untuk mendapatkan nilai absorbansi nol. Kemudian diukur serapan contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (420 nm) pada pengukuran sambil uji COD dengan kisaran konsentrasi rendah. Selanjutnya, dihitung nilai COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi dan dilakukan pengujian sesuai dengan lampiran.

Ammonia (NH_3)

Pada pengujian ammonia untuk parameter air, digunakan spektrofotometer portabel Hach DR 1900 dengan mengatur panjang gelombang pada program 342 Ammonia LR. Setelah itu, dilakukan persiapan blanko dengan memasukkan 2 mL air akuademin ke dalam Amver Diluent Reagent Test'N Tube untuk konsentrasi rendah atau low-range Ammonia Nitrogen. Kemudian, dilakukan persiapan sampel dengan memasukkan 2 mL sampel ke dalam Amver Diluent Reagent Test'N Tube untuk konsentrasi rendah atau low-range Ammonia Nitrogen. Setelah itu, diambil reagen Ammonia Salicylate Reagent Powder Pillow, kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing vial. Setelah reagen pertama dimasukkan, dimasukkan reagen kedua, yaitu Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillow, ke dalam masing-masing vial. Setelah kedua reagen dimasukkan, lalu dihomogenkan dan ditunggu selama 20 menit. Setelah 20 menit, vial yang berisi blanko dibersihkan, kemudian dimasukkan ke dalam cell holder, lalu ditekan zero. Setelah dilakukan pada blanko, dilakukan hal yang sama terhadap vial yang berisi sampel, kemudian dimasukkan ke dalam cell holder, lalu ditekan read, kemudian hasil konsentrasi pada masing-masing sampel bisa terlihat.

Hasil dan Pembahasan

Kolam Biofilter Bak Awal Dan Kolam Biokontrol

Pengambilan sampel pada titik kolam biofilter bak awal bertujuan untuk membandingkan hasil yang sudah diolah pada *outfall* melalui kolam biofilter dengan yang belum diolah hingga mencapai *outfall*. Adapun nilai yang didapatkan pada kolam biofilter bak awal yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah Domestik Pada Kolam Biofilter Bak Awal di IPLT Kalimulya

Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian
pH	-	6-9	7,24
BOD	mg/L	150	144
COD	mg/L	300	379
Ammonia (NH_3)	mg/L	100	198

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian pada kolam biofilter bak awal IPLT Kalimulya, nilai pH sebesar 7,24 menunjukkan kondisi yang optimal bagi aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi limbah domestik, khususnya bakteri heterotrof dan bakteri nitrifikasi yang berperan dalam penguraian bahan organik serta transformasi senyawa nitrogen (Huang *et al.*, 2022). Penurunan nilai BOD hingga 144 mg/L mengindikasikan bahwa biofilm mikroorganisme pada media biofilter telah mampu memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi melalui proses metabolisme biologis, namun tingginya nilai COD sebesar 379 mg/L dan amonia (NH_3) sebesar 198 mg/L senyawa organik kompleks dan nitrogen amoniakal masih cukup tinggi sehingga proses nitrifikasi–denitrifikasi pada bak awal belum memenuhi baku mutu akibat tingginya

beban pencemar dan waktu tinggal hidrolik yang belum optimal (Kurniawati dan Rachmanto, 2023). Dalam kajian bioteknologi lingkungan, proses biofilter memanfaatkan teknologi bioproses berbasis mikroorganisme seperti bakteri nitrifikasi *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* serta bakteri denitrifikasi yang tumbuh membentuk biofilm pada media filter untuk menurunkan kandungan organik dan nitrogen pada limbah domestik, sehingga keberadaan parameter COD dan amonia yang masih tinggi menunjukkan bahwa proses yang terjadi pada kolam biofilter bak awal belum memenuhi baku mutu dan memerlukan proses lanjutan agar efisiensi pengolahan meningkat (Maleki *et al.,* 2021) .

Hal tersebut dapat terjadi karena kolam biofilter bak awal masih berada pada tahap awal proses pengolahan limbah, sehingga kandungan pencemar masih tinggi dan proses penurunan konsentrasi polutan belum berlangsung secara optimal. Setelah dilakukan pengambilan sampel pada kolam biofilter bak awal, dilakukan pengambilan sampel pada kolam biokontrol yang hasil akhirnya akan dilakukan melalui *outfall*. Adapun nilai yang didapatkan pada kolam biofilter akhir yang terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah Domestik Pada Kolam Bio Kontrol di IPLT Kalimulya

Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian
pH	-	6-9	6,96
BOD	mg/L	150	14,8
COD	mg/L	300	45,6
Ammonia (NH_3)	mg/L	100	0,12

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengujian pada kolam bio kontrol IPLT Kalimulya menunjukkan nilai pH 6,96, BOD 14,8 mg/L, COD 45,6 mg/L, dan amonia 0,12 mg/L yang seluruhnya masih berada di bawah baku mutu, sehingga mengindikasikan bahwa proses biodegradasi oleh mikroorganisme pada sistem biofilter berlangsung secara optimal. Dalam kajian bioteknologi lingkungan, penurunan kadar BOD, COD, dan amonia tersebut terjadi karena aktivitas bakteri heterotrof dan nitrifikasi yang membentuk biofilm pada media kolam biokontrol, dimana mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan mengoksidasi amonia menjadi nitrit serta nitrat sehingga kualitas efluen menjadi lebih stabil dan aman bagi lingkungan. Berdasarkan penelitian Husein (2022), menyatakan bahwa teknologi biofilm mampu menurunkan COD hingga 80,57%, BOD 82,19%, dan amonia 65,89% melalui aktivitas mikroba seperti *Pseudomonas putida*, sehingga hasil pada tabel menunjukkan bahwa penerapan prinsip bioteknologi pada kolam bio kontrol IPLT Kalimulya telah berjalan efektif dalam proses pengolahan air limbah domestik. Berdasarkan hasil pengambilan sampel pada titik pengambilan sampel tersebut, didapatkan data hasil lapangan yang di dalamnya terdapat data parameter pendukung penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Lapangan

Parameter	Satuan	Hasil Analisis		
		Kolam Bak Awal Bio Filter	Kolam Bio Kontrol	*Outfall*
pH	-	7,24	6,96	8,37
Temperatur Sampel	Celcius (°C)	25,0	25,0	27,0
Temperatur Udara	Celcius (°C)	26,6	26,0	26,6
Kelembaban	-	86%	84%	85%
Konduktivitas	µS/cm	125,45	125,40	541,20
Warna Sampel	-	Tidak berwarna sedikit keruh	Tidak berwarna sedikit keruh	Tidak berwarna
Bau Sampel	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau
Cuaca	-	Berawan	Berawan	Berawan

Analisis Parameter Pengujian Kualitas Air Limbah Domestik

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada masing-masing parameter, diperoleh hasil pengujian. Adapun hasil pengujian yang didapat berupa parameter pH, BOD, COD, dan amonia, yang masing-masing parameter memiliki data hasil laboratorium. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada setiap parameter terhadap kualitas air limbah domestik pada IPLT yang diambil pada titik *outfall*. Hasil pengujian beserta baku mutu berdasarkan PermenLH No.11 Tahun 2025 yang dijadikan sebagai pembanding dapat dilihat pada Tabel 5.

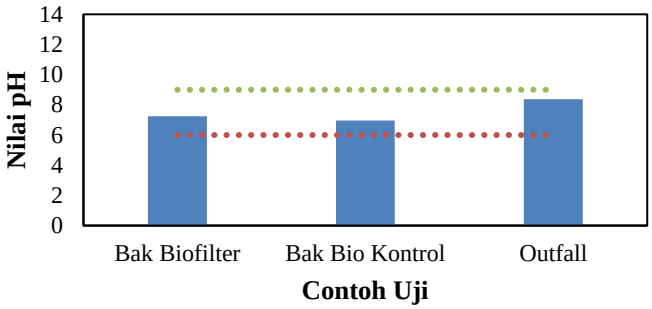
Tabel 5. Hasil Pengujian Kualitas Air Limbah Domestik di *Outfall* IPLT Kalimulya

Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian
			Outfall
pH	-	6-9	8,37
BOD	mg/L	150	5,4
COD	mg/L	300	8,776
Ammonia (NH_3)	mg/L	100	0,025

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 5, nilai konsentrasi pH pada air limbah domestik sebesar 8,37, kemudian nilai BOD sebesar 5,4 mg/L, lalu nilai COD sebesar 8,776 mg/L, setelah itu nilai Ammonia (NH_3) sebesar 0,025 mg/L. Apabila dibandingkan dengan baku mutu PermenLH No. 11 Tahun 2025 tentang baku mutu air limbah domestik dan standar teknologi pengolahan air limbah domestik, maka hasil yang didapatkan untuk kualitas air limbah domestik berdasarkan parameter pengujian, yaitu pH, BOD, COD, dan amonia (NH_3), menunjukkan hasil yang tidak melebihi standar baku mutu.

Parameter Pengujian pH

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada parameter pertama, yaitu parameter pH. Pengujian dilakukan pada air limbah domestik IPLT yaitu pada titik kolam bak awal biofilter, kolam bio kontrol dan *outfall.* Hasil pengujian yang didapatkan seperti yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pengujian Parameter pH

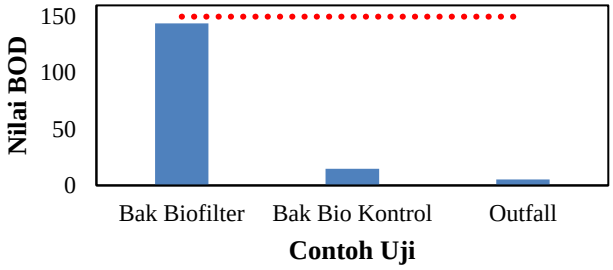
Hasil pengujian menunjukkan nilai pH pada bak awal biofilter sebesar 7,24, kemudian sedikit menurun menjadi 6,96 pada bak bio kontrol, dan meningkat menjadi 8,37 pada outfall. Penurunan pH pada bak bio kontrol dapat berkaitan dengan proses biodegradasi bahan organik oleh mikroorganisme yang menghasilkan senyawa atau metabolit bersifat asam, sedangkan peningkatan pH pada outfall diduga berkaitan dengan berlangsungnya proses oksidasi biologis dan pemanfaatan senyawa organik maupun nitrogen yang memengaruhi keseimbangan alkalinitas dalam air. Kondisi tersebut sejalan dengan penelitian Bulut dan Aslan (2022) yang menunjukkan bahwa proses biologis pada biofilter dapat berlangsung melalui aktivitas nitrifikasi dan berpengaruh terhadap kondisi kimia air, termasuk keseimbangan pH selama proses pengolahan. Penelitian Loh et al. (2025) dalam *ACS ES&T Water* juga menunjukkan bahwa biofilter untuk air limbah domestik mampu mendukung proses nitrifikasi dan denitrifikasi melalui keberadaan mikroorganisme fungsional pada media biofilm. Dengan demikian, perubahan pH pada penelitian ini masih berada dalam pola perubahan yang dapat terjadi selama proses pengolahan biologis, meskipun besarnya perubahan dipengaruhi oleh karakteristik air limbah dan kondisi operasional sistem. Dengan demikian, perubahan pH pada setiap titik pengamatan menunjukkan adanya dinamika proses biologis selama pengolahan, bukan sekadar penurunan pH akibat aktivitas mikroorganisme. Namun, interpretasi ini memiliki keterbatasan karena pengambilan data dilakukan satu kali sampling sehingga belum dapat menggambarkan perubahan pH secara temporal maupun pengaruh variasi musim, debit, suhu, dan karakteristik air limbah terhadap kinerja proses biologis.

Parameter Pengujian *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Pada analisis pengujian yang selanjutnya, yaitu untuk parameter BOD, terdapat standarisasi larutan $Na_2S_2O_3$ 0,025 untuk DO_0 dan DO_5, kemudian penetapan blanko akuademin dan blanko pengencer, kemudian penetapan DO_0, dan penetapan hasil BOD setelah 5 hari inkubasi. Standarisasi larutan Natrium

Tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,025 N pada bertujuan untuk menentukan normalitas sebenarnya dari larutan $Na_2S_2O_3$ yang telah dibuat.

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada parameter kedua, yaitu parameter BOD. Pengujian dilakukan pada air limbah domestik IPLT yaitu pada titik kolam bak awal biofilter, kolam bio kontrol dan *outfall.* Hasil pengujian yang didapatkan seperti yang terdapat pada Gambar 3.



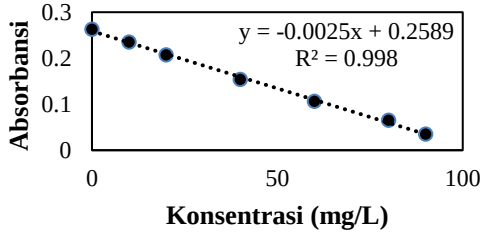
Gambar 3. Hasil Pengujian Parameter BOD

Pada pengujian parameter BOD pada air limbah domestik, di dalam air limbah terdapat zat organik yang terdiri dari unsur C, H, O, S, dan N yang memiliki potensi untuk menyerap oksigen. Oksigen dalam air limbah digunakan oleh mikroorganisme untuk mengurai senyawa organik. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan konsentrasi oksigen dalam air limbah seiring waktu dan peningkatan nilai BOD. Pengujian BOD dilakukan untuk menilai jumlah oksigen terlarut yang digunakan mikroorganisme dalam oksidasi bahan pencemar organik.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai BOD mengalami penurunan dari 144 mg/L pada bak awal biofilter menjadi 14,8 mg/L pada bak bio kontrol dan 5,4 mg/L pada outfall. Penurunan pada bak awal biofilter menunjukkan bahwa sebagian besar bahan organik yang mudah terurai telah dimanfaatkan melalui proses biodegradasi, sedangkan penurunan pada bak bio kontrol menunjukkan berlanjutnya penguraian bahan organik yang masih tersisa. Pada outfall, konsentrasi BOD yang semakin rendah menunjukkan bahwa beban organik biodegradable telah berkurang setelah melewati rangkaian pengolahan. Hasil penelitian ini sejalan dengan Permatasari et al. (2018) yang melaporkan bahwa pengolahan air limbah menggunakan biofilter aerob bermedia bioball mampu mencapai efisiensi penyisihan BOD sebesar 87,33%. Hasil tersebut mendukung bahwa proses pengolahan biologis pada biofilter dapat menurunkan beban bahan organik secara signifikan. Penelitian lain menurut Zairinayati *et al.,* (2025) pada biofilter untuk air limbah domestik juga menunjukkan bahwa peningkatan waktu tinggal hidrolik dapat mendukung proses pengolahan biologis dan meningkatkan kontak antara air limbah dengan media biofilter. Dalam penelitian ini, penurunan BOD secara keseluruhan mencapai sekitar 96,3%, tetapi hasil tersebut belum dapat menunjukkan kestabilan kinerja pengolahan karena pengambilan sampel hanya dilakukan satu kali. Selain itu, penelitian belum mempertimbangkan perubahan debit, beban organik, kondisi operasional, dan variasi musiman, sehingga diperlukan pengamatan berkala untuk memastikan konsistensi penurunan BOD.

Parameter Pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pada parameter ini, hasil pengujian terhadap COD mencatat pembuatan kurva kalibrasi dan hasil perhitungannya. Adapun hasil grafik penentuan linearitas kurva kalibrasi terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Linearitas

Pada Gambar 4 dijelaskan bahwa grafik kurva kalibrasi menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan standar (mg/L) dengan nilai absorbansi yang diukur menggunakan spektrofotometer. Data menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi, nilai absorbansi semakin kecil, sehingga diperoleh hubungan linier dengan persamaan regresi y = −0,0025x + 0,2589, di mana y adalah absorbansi dan x adalah konsentrasi. Nilai slope (−0,0025) menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi 1 mg/L menyebabkan penurunan absorbansi sebesar 0,0025 satuan. Intercept sebesar 0,2589 menggambarkan nilai absorbansi saat konsentrasi mendekati nol. Nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9990 dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,998 menunjukkan linearitas yang sangat baik karena memenuhi batas keberterimaan (r > 0,995). Artinya, metode analisis memiliki hubungan yang sangat kuat dan proporsional antara konsentrasi dan respons alat, sehingga layak digunakan untuk analisis kuantitatif berdasarkan linearitas kurva kalibrasi yang terbentuk

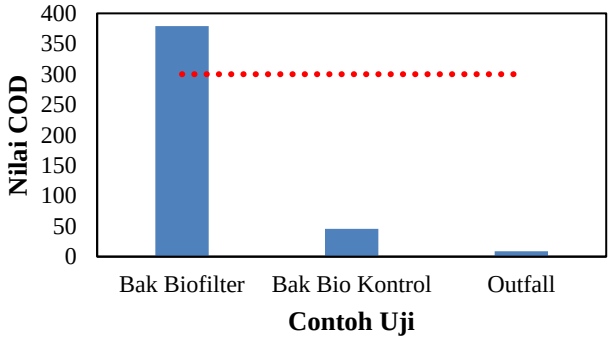
Secara kimia, pada tahap refluks senyawa organik ($C_xH_yO_z$) dioksidasi oleh ion dikromat ($Cr_2O_7^{2}$) dalam suasana asam kuat menjadi CO_2 dan H_2O, sedangkan dikromat direduksi menjadi ion Cr^{3+}. Reaksi reduksi dikromat dalam suasana asam dan persamaan reaksi yang terbentuk pada oksidasi senyawa organik dapat dituliskan yaitu sebagai berikut:

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

$$C_xH_yO_z + Cr_2O_7^{2-} + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{3+}$$

Dalam metode SNI ini ditambahkan Ag_2SO_4 sebagai katalis untuk mempercepat oksidasi senyawa organik tertentu dan HgSO4 untuk menghilangkan interferensi klorida. Setelah proses refluks (biasanya pada suhu 148–150°C selama ±2 jam), jumlah dikromat yang tereduksi sebanding dengan kandungan bahan organik dalam sampel. Pada pendekatan spektrofotometri (refluks tertutup kolorimetri), perubahan konsentrasi Cr^{3+} atau sisa $Cr_2O_7^{2-}$ diukur sebagai perubahan absorbansi pada panjang gelombang tertentu, kemudian dihitung sebagai mg/L O_2 menggunakan kurva kalibrasi standar. Dengan demikian, nilai COD pada tabel mencerminkan jumlah oksigen ekuivalen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimia dalam sampel, dan data yang diperoleh valid karena memenuhi persyaratan presisi metode menurut SNI 2009.

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada parameter ketiga, yaitu parameter COD. Pengujian dilakukan pada air limbah domestik IPLT yaitu pada titik kolam bak awal biofilter, kolam bio kontrol dan *outfall.* Hasil pengujian yang didapatkan seperti yang terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pengujian Parameter COD

Berdasarkan hasil pengujian, konsentrasi COD mengalami penurunan dari 379 mg/L pada bak awal biofilter menjadi 45,6 mg/L pada bak bio kontrol dan 8,776 mg/L pada outfall. Penurunan pada bak awal biofilter menunjukkan bahwa sebagian besar senyawa organik yang mudah terurai mulai mengalami biodegradasi dan oksidasi, sedangkan penurunan pada bak bio kontrol menunjukkan bahwa penguraian terhadap senyawa organik yang masih tersisa terus berlangsung. Selanjutnya, rendahnya COD pada outfall menunjukkan bahwa sebagian besar bahan organik yang dapat teroksidasi telah berkurang setelah melewati rangkaian pengolahan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Dayanti dan Herlina (2018) yang menunjukkan bahwa biofilter aerob tercelup dengan media bioring mampu menurunkan COD air limbah domestik dengan efisiensi 75–86%, bergantung pada debit dan waktu tinggal hidrolik. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Rehman et al. (2021) yang melaporkan penyisihan COD sebesar 74,2–80,5% pada sistem trickling biofilter untuk pengolahan air limbah domestik, dengan kinerja yang dipengaruhi oleh kondisi aliran dan waktu tinggal hidrolik. Efisiensi penyisihan COD dalam penelitian ini mencapai sekitar 97,69%, lebih tinggi dibandingkan kedua penelitian tersebut, tetapi perbedaan konfigurasi biofilter, karakteristik air limbah,

waktu tinggal, dan kondisi operasi perlu dipertimbangkan dalam membandingkan hasil. Keterbatasan penelitian ini adalah pengambilan sampel hanya dilakukan satu kali, sehingga belum dapat menggambarkan kestabilan kinerja sistem dalam jangka panjang. Selain itu, penelitian belum mencakup variasi debit, beban organik, kondisi operasional, dan variasi musiman, sehingga diperlukan pengamatan berkala untuk memastikan konsistensi penyisihan COD.

Parameter Pengujian Ammonia (NH_3)

Pada parameter ini, hasil pengujian terhadap amonia (NH_3) hanya berdasarkan pengukuran menggunakan alat. Berdasarkan hasil penetapan, total amonia (NH_3) pada sampel bak kolam awal biofilter, kolam bak biocontrol dan *outfall* menggunakan Instruksi Kerja Metode Salicylate dengan pereaksi Ammonia Salicylate Reagent Powder Pillow dan Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillow. Analisis dilakukan secara simplo dan duplo untuk mengevaluasi presisi metode, dan hasil yang relatif sama pada masing-masing pasangan menunjukkan bahwa metode memiliki ketelitian yang baik.

Pada metode Salicylate, amonia dalam sampel bereaksi dalam suasana basa dengan hipoklorit yang dihasilkan dari reagen cyanurate membentuk monokloramin (NH_2Cl). Reaksi awalnya yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut:

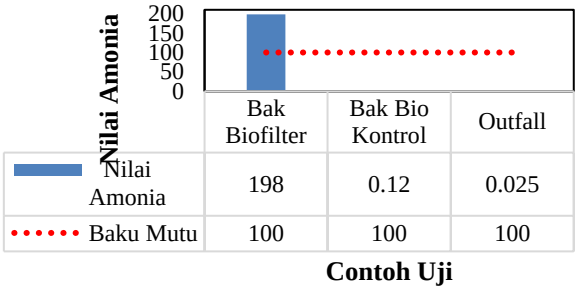
$$NH_3 + OCl^- \rightarrow NH_2Cl + OH^-.$$

Selanjutnya, monokloramin bereaksi dengan natrium salisilat (dalam Ammonia Salicylate Reagent) dengan bantuan katalis natrium nitroprusida membentuk senyawa kompleks 5-aminosalisilat teroksidasi yang kemudian mengalami kondensasi membentuk senyawa indofenol berwarna hijau kebiruan. Secara sederhana reaksi pembentukan warna yang terjadi dan produk aminosalisilat kemudian teroksidasi dan berkondensasi membentuk kompleks indofenol tersubstitusi (warna hijau kebiruan) dapat digambarkan melalui persamaan reaksi sebagai berikut:

$$NH_2Cl + C_7H_5O^{3-} \rightarrow C_7H_6NO^{3-} + HCl$$

$$2C_7H_6NO^{3-} + OCl- \rightarrow C_{14}H_{10}N_2O^{4-} + Cl^- + H_2O$$

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian pada parameter keempat, yaitu parameter ammonia (NH_3). Pengujian dilakukan pada air limbah domestik IPLT yaitu pada titik kolam bak awal biofilter, kolam bio kontrol dan *outfall.* Hasil pengujian yang didapatkan seperti yang terdapat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pengujian Parameter Amonia (NH_3)

Berdasarkan hasil pengujian, konsentrasi amonia (NH_3) mengalami penurunan dari 198 mg/L pada bak awal biofilter menjadi 0,12 mg/L pada bak bio kontrol dan 0,025 mg/L pada outfall. Penurunan pada bak biofilter menunjukkan berlangsungnya oksidasi amonia menjadi nitrit dan selanjutnya nitrat melalui proses nitrifikasi pada kondisi yang memperoleh oksigen, sedangkan penurunan lanjutan pada bak bio kontrol menunjukkan bahwa proses oksidasi nitrogen masih berlangsung terhadap amonia yang tersisa. Konsentrasi yang semakin rendah pada outfall menunjukkan bahwa sebagian besar amonia telah terkonversi menjadi bentuk nitrogen teroksidasi selama rangkaian pengolahan. Hasil ini sejalan dengan Driantami dan Mursidik (2017) yang memperoleh efisiensi penyisihan NH_3-N hingga 89,58% pada pengolahan air limbah domestik menggunakan membrane-aerated biofilm reactor dan menunjukkan bahwa waktu tinggal yang lebih panjang mendukung proses nitrifikasi. Hasil penelitian Chen *et al.,* (2024) juga menunjukkan penyisihan NH_4^+-N sebesar 75,8–94,1% pada biofilter zeolit, dengan nitrifikasi berkontribusi sebagai mekanisme utama penyisihan ammonium. Penurunan amonia pada penelitian ini mencapai sekitar 99,99%, lebih tinggi dibandingkan kedua penelitian tersebut, tetapi perbedaan jenis reaktor, media biofilter, konsentrasi awal, waktu tinggal hidrolik, dan kondisi operasi perlu dipertimbangkan dalam membandingkan efisiensi.

Keterbatasan penelitian ini adalah pengambilan sampel hanya dilakukan satu kali, sehingga belum dapat memastikan kestabilan penyisihan amonia dalam jangka panjang. Selain itu, penelitian belum mempertimbangkan pengaruh perubahan beban nitrogen, debit, suhu, pH, oksigen terlarut, dan variasi musiman terhadap proses nitrifikasi.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pengolahan air limbah domestik di IPLT Kalimulya menunjukkan efektivitas yang baik dalam menurunkan parameter pencemar melalui proses biologis berbasis biofilter dan aktivitas mikroorganisme. Nilai BOD, COD, dan amonia mengalami penurunan yang signifikan dari kolam biofilter bak awal menuju kolam bio kontrol hingga *outfall*, dimana hasil akhir pengujian menunjukkan seluruh parameter telah berada di bawah baku mutu yang ditetapkan dalam PermenLH No. 11 Tahun 2025. Penurunan parameter tersebut membuktikan bahwa proses biodegradasi bahan organik, oksidasi biologis, serta nitrifikasi-denitrifikasi berlangsung optimal melalui peran bakteri heterotrof dan nitrifikasi pada media biofilm. Selain itu, kestabilan nilai pH pada rentang normal menunjukkan kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme selama proses pengolahan berlangsung. Dengan demikian, penerapan teknologi biofilter biologis pada IPLT Kalimulya efektif diterapkan sebagai sistem bioteknologi lingkungan dalam pengolahan air limbah domestik untuk menghasilkan efluen yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Daftar Referensi

Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 6989.72:2009: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD). Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional (2019). SNI 6989.2:2019: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. Jakarta: BSN.

Bulut, A. P., & Aslan, Ş. (2022). A kinetic study on the nitrification process in the upflow submerged biofilter reactor. Environmental Technology, 43(27), 4354–4362.

Chen, S., Wang, M., Lin, D., Russo, F. M., Gobler, C. J., & Mao, X. (2024). Biofiltration matrix optimization for efficient nitrogen removal from domestic onsite wastewater. Journal of Water Process Engineering, 60, 105208.

Dayanti, M. S., & Herlina, N. (2018). Studi penurunan chemical oxygen demand (COD) pada air limbah domestik buatan menggunakan biofilter aerob tercelup dengan media bioring. Dampak, 15(1), 31–36.

Dinas Kebersihan dan Pertamanan Pemerintah Kota Depok. (2015). Kajian Revitalisasi Pengelolaan Instalasi Pengolahan Limbah Terpadu (IPLT) Kalimulya Kota Depok. Depok: DKP Kota Depok.

Driantami, K., & Mursidik, S. S. (2017). The performance of ammonia nitrogen removal by using membrane-aerated biofilm reactor as domestic wastewater treatment. Journal of Engineering and Applied Sciences, 12(18), 4759–4764.

Huang, X., Wang, Y., Wang, W., Li, B., Zhao, K., Kou, X., Wu, S., & Shao, T. (2022). Simultaneous partial nitritation, anammox, and denitrification process for the treatment of simulated municipal sewage in a single-stage biofilter reactor. Chemosphere, 287.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2025). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Untuk Air Limbah Domestik. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

Kurniawati, E., & Rachmanto, T. A. (2022). Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains Penerapan Aerasi Intermittent Pada Proses Biofilter Aerob Untuk Mendegradasi COD dan Total Nitrogen Limbah Cair Domestik.

Loh, Z. Z., Zaidi, N. S., Yong, E. L., Bahrodin, M. B., Aris, A., Syafiuddin, A., & Boopathy, R. (2025). Accelerated start-up and microbial community using novel plant-based waste biofilter media for treatment of real domestic wastewater via simultaneous nitrification and denitrification. ACS ES&T Water, 5(7), 3929–3938.

Maleki Shahraki, Z., Wang, M., Walker, H. W., Russo, F., Gobler, C., Heufelder, G., & Mao, X. (2021). A mechanistic understanding of the nitrification sand layer performance in a nitrogen removing biofilter (NRB) treating onsite wastewater. Ecological Engineering, 168.

Marhayuni, Y., & Faizi, M. N. (2022). Pembuatan IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) bersistem ABR (Aerobic Baffled Reactor) untuk mengatasi limbah domestik sebagai pengamalan Q.S. Al-A'raf ayat 56. Prosiding Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains, 4(1), 34-38.

Maulana, I., Ratni, N., & Ar, J. (2022). Identifikasi Dampak Lingkungan Pada Proses Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) Jabon Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA). Serambi Engineering, 7(2), 2977-2983.

Nuraeni, R. (2015). Diagnosis Kinerja Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) / Performance Diagnosis of Septage Treatment Plant. Widyariset, 18(1), 87–99.

Oktarina, D. & Haki, H. (2013) 'Perencanaan Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja Sistem Kolam Kota Palembang (Studi Kasus: IPLT Sukawinatan)', Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 1(1), 74–75.

Permatasari, R., Rinanti, A., & Ratnaningsih, R. (2018). Treating domestic effluent wastewater treatment by aerobic biofilter with bioballs medium. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 106, 012048.

Purba, A., & Widyawati, R. (2021). Analisis Penentuan Desain Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kabupaten OKU Timur. Prosiding SINTA: Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri Universitas Lampung.

Ratnawati, R., & Ulfah, S. L. (2020). Pengolahan air limbah domestik menggunakan biosand filter. Jurnal Ilmu Lingkungan, 18(1), 8–14.

Rehman, A., Ali, H., Naz, I., Saroj, D. P., & Ahmed, S. (2021). Domestic wastewater treatment efficiency of the pilot-scale trickling biofilter system with variable flow rates and hydraulic retention times. Environmental Technology, 42(6), 972–983.

Sefentry, A., & Masriatini, R. (2021). Analisis Penentuan Desain Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) di Kabupaten Musi Rawas (Mura). Jurnal Teknik Kimia, 16(1), 15-21.

Zairinayati, Z., Wisuda, A. C., Rashid, N. A., & Tan, C. H. (2025). A systematic review of the effects of aerobic and anaerobic biofilter processes on the reduction of biological oxygen demand (BOD) in domestic wastewater. Jurnal Kesehatan Lingkungan, 17(4), 313–320.

Zhang, S., Chen, W., Liu, Y., Luo, P., Gu, H., Chen, S. H., Liu, W., Luo, Y., Gu, P. F., & Zhang, S. H. (2018). A modified method for the accurate determination of chemical oxygen demand (COD) in high chloride oilfield wastewater. Open Journal of Yangtze Oil and Gas, 3(4), 263–277.