

Peningkatan Efisiensi Pengolahan Limbah Cair di Industri Manufaktur Mainan Kabupaten Jombang: Studi Evaluasi Efektivitas IPAL dan Strategi Optimalisasi Berbasis Parameter Lingkungan

Hanif Faizah Eka Fediyani*¹, Rizka Novembrianto²

¹⁻²Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya
Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294
e-mail: *¹22034010044@student.upnjatim.ac.id, ²rizka.tl@upnjatim.ac.id

Abstrak

Pengoperasian IPAL pada industri mainan berfungsi untuk melakukan pengolahan air limbah dengan output air dimanfaatkan kembali untuk penyiraman dan hidran. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas setiap unit operasi IPAL (Ekualisasi, Biofilter Aerobik, Clarifier, Filtrasi, Ozonisasi) dalam menurunkan polutan dan memastikan kepatuhan terhadap baku mutu air limbah domestik untuk penyiraman sesuai dengan Permen LH No. 11 Tahun 2025. Hasil evaluasi menunjukkan IPAL beroperasi efektif. Unit Biofilter Aerobik (media sarang tawon) mampu menurunkan BOD dan COD dengan efisiensi puncak 76% dan 77%. Unit Ozonisasi juga efektif menurunkan Fecal Coliform dari 430 MPN/100mL menjadi 130 MPN/100mL. Seluruh parameter outlet (BOD, COD, TSS, Fecal Coliform) telah memenuhi baku mutu Permen LH No. 11 Tahun 2025. Meskipun telah memenuhi baku mutu, beberapa optimalisasi diperlukan untuk meningkatkan efektivitas IPAL diantaranya, penambahan bar screen di Ekualisasi untuk mengurangi sampah padat, penambahan media pasir silika pada unit Filtrasi untuk meningkatkan efisiensi penyisihan TDS, dan penyesuaian reaktor ozone dan penambahan gas destruct unit diperlukan untuk meningkatkan potensi keselamatan kerja.

Kata kunci: Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Ekualisasi, Biofilter Aerobik, Clarifier, Filtrasi, Ozonisasi

Abstract

A wastewater treatment plant (WWTP) in the toy manufacturing industry is used to treat wastewater, with the treated water being reused for irrigation and hydrants. This study aims to evaluate the effectiveness of each WWTP unit (equalization, aerobic biofilter, clarifier, filtration, ozonation) in reducing pollutants and ensuring compliance with domestic wastewater quality standards for irrigation in accordance with Permen LH No. 11 of 2025. The evaluation results showed that the IPAL operated effectively. The Aerobic Biofilter Unit (honey comp medium) was able to reduce BOD and COD with a peak efficiency of 76% and 77%. The Ozone Disinfectant Unit was also effective in reducing Fecal Coliform from 430 MPN/100mL to 130 MPN/100mL. All outlet parameters (BOD, COD, TSS, Fecal Coliform) met the quality standards of Permen LH No. 11 of 2025. Although it has met quality standards, several optimizations are needed to improve the effectiveness of the WWTP, including adding a bar screen in the equalization tank to reduce solid waste, adding silica sand media to the filtration unit to improve TDS removal efficiency, and Adjustments to the ozone reactor and the addition of a gas destruct unit are necessary to improve occupational safety.

Keywords: Waste Water Treatment Plan (WWTP), Equalization, Aerobic Biofilter, Clarifier, Filtration, Ozone Disinfectant

1. Pendahuluan

Industri manufaktur mainan Indonesia telah berkembang hingga memiliki

konsumen global. Industri manufaktur mainan yang diamati berfokus pada salah satu industri mainan yang terletak pada kabupaten jombang

yang memiliki pasar global. Seiring berkembangnya industri, mendorong kenaikan jumlah karyawan pada industri. Kenaikan karyawan tentunya berbanding lurus dengan penggunaan air. Penggunaan air pada industri manufaktur mainan dibagi menjadi dua, yakni untuk keperluan domestik dan proses produksi. Air yang telah digunakan tentunya akan berubah menjadi limbah. Air limbah domestik berasal dari aktivitas sehari-hari manusia termasuk dari toilet (air seni dan tinja), kamar mandi, dapur, serta aktivitas mencuci dan membersihkan (Kholif, 2020). Pada proses produksinya memerlukan air sebagai media penangkap polutan (wet scrubber) pada cerobong udara. Namun, jumlah limbah produksi yang dihasilkan jumlahnya lebih kecil dibandingkan dengan limbah domestik.

Limbah domestik memiliki karakteristik kandungan organik, anorganik, minyak, dan mikroorganisme patogen yang tinggi. Kandungan organik seperti nitrogen dan fosfor yang tinggi pada air limbah domestik dapat mengakibatkan eutrofikasi atau pertumbuhan ganggang berlebih di badan air (Utami, et al., 2023). Limbah domestik juga mengandung bakteri, virus, dan parasit dari black water yang menyebabkan penyakit saluran pencernaan (Leonard, 2024). Untuk menanggulangi itu Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan unit bangunan pengolahan, yakni ekualisasi, biofilter aerobik, clarifier, filtrasi, dan ozonisasi. Air hasil pengolahan IPAL dimanfaatkan kembali sebagai air untuk penyiraman dan air hydrant yang ditampung pada pond.

Evaluasi efektivitas masing-masing unit IPAL penting dilakukan untuk memastikan air olahan memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025. Evaluasi dilakukan dengan melakukan penilaian terhadap masing-masing unit, sehingga dapat dilakukan identifikasi potensi perbaikan serta peningkatan efisiensi pada masing-masing unit pengolahan air.

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian berada di Perusahaan yang bergerak pada industri manufaktur mainan yang terletak di Kec. Kabuh, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Evaluasi dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan membandingkan output air IPAL dengan baku mutu yang mengacu pada PERMEN LH-RI No. 11 Tahun 2025 tentang baku mutu air limbah untuk penyiraman. Pendekatan deskriptif digunakan sebagai metode utama dalam studi ini. Untuk memperoleh data yang diperlukan, dilakukan observasi lapangan, dokumentasi, wawancara, dan penelusuran literatur. Data yang diperlukan berupa data primer yang langsung diambil penulis dan data sekunder yang sudah ada sebelumnya.

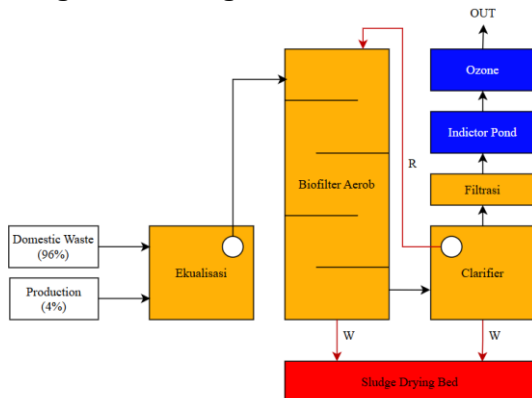
Data primer yang digunakan meliputi TDS dan DO pada inlet dan outlet. Data sekunder yang digunakan meliputi pH, BOD5, COD, TSS, dan fecal coliform. Berdasarkan data yang tersedia, tiap tiap unit instalasi pengolahan dianalisis. Evaluasi pada unit ekualisasi dilakukan dengan melakukan pengamatan debit air, kondisi air, dan kadar DO. Evaluasi unit biofilter aerobik dilakukan melalui pengamatan pada return activated sludge, BOD5, dan COD. Evaluasi pada clarifier dilakukan melalui pengamatan proses pengendapan dan kadar TSS (Total Suspended Solid). Evaluasi pada filtrasi melalui pengamatan media filter, bak penampung, dan TDS. Evaluasi unit ozonisasi dilakukan dengan melakukan pengamatan pada bak penampung ozonisasi dan total coliform.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengolahan Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri terbagi menjadi dua, yakni limbah industri dan limbah domestik dengan kapasitas IPAL 50 m³/hari. Limbah produksi sendiri berasal dari alat pengendali emisi (wet scrubber) sebesar 2 m³/hari atau 4% dari total kapasitas IPAL. Limbah domestik berasal dari pencucian di dapur dan kamar mandi pegawai. Dari kedua

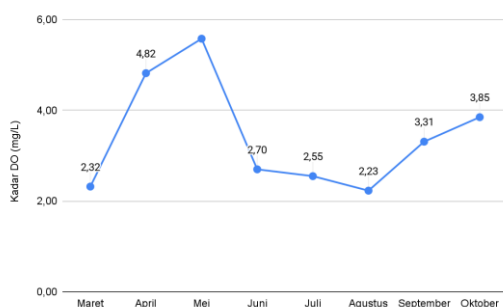
limbah tersebut dilaksanakan pengolahan dengan alur sebagai berikut :



Gambar 1. Alur Pengolahan Air

Ekualisasi

Fluktuasi konsentrasi beban pencemar dalam aliran influent sering kali terjadi terutama dalam limbah domestik. Alternatif penanganan fluktuasi beban pencemar adalah menggunakan ekualisasi (Metcalf & Eddy, 2003). Unit ekualisasi pada IPAL dilengkapi oleh submersible aerator untuk menghasilkan aliran turbulen dan meningkatkan DO (*Dissolved Oxygen*) pada air. Kadar DO dalam effluent ekualisasi perlu dipantau untuk meningkatkan efektifitas pengolahan biologis. Kondisi ideal untuk biofilter aerobik adalah 2-6 mg/l (Nainggolan et al, 2021). Gambar 2 menunjukkan kadar DO pada ekualisasi berada pada rentang 2,23 - 5,58 mg/l dengan rata-rata 3.42 mg/l dimana rentang tersebut berada pada kondisi ideal untuk biofilter aerobik.



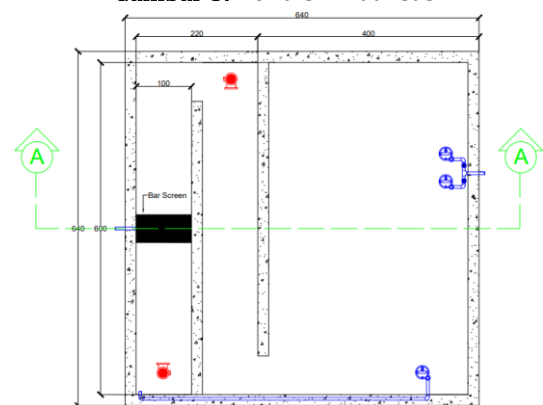
Gambar 2. Kadar DO pada Ekualisasi

Gambar 3 menunjukkan kondisi eksisting unit ekualisasi pada IPAL. Pada gambar

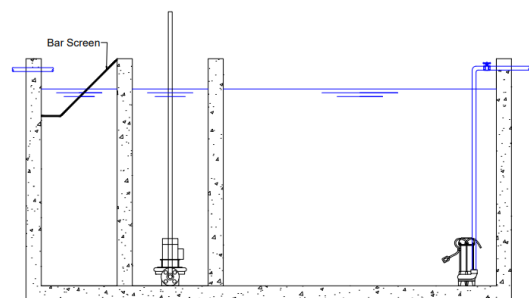
tersebut dapat dilihat terdapat beberapa sampah seperti bungkus permen dan majun. Operator IPAL sendiri melakukan pembersihan padatan tersebut secara manual menggunakan jaring setiap hari pada setiap sisi ekualisasi untuk mencegah padatan masuk ke dalam pompa yang mengakibatkan pompa cepat rusak. Penanggulangan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan penambahan bar screen pada inlet unit ekualisasi sesuai pada gambar 4 dan 5. Penambahan bar screen tersebut diharapkan dapat mengurangi jumlah padatan yang masuk pada unit ekualisasi.



Gambar 3. Kondisi Ekualisasi



Gambar 4. Tampak Atas Ekualisasi

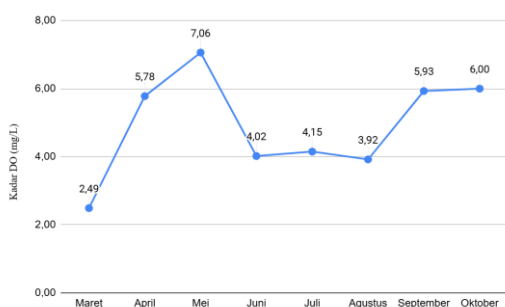


Gambar 5. Potongan A-A Ekualisasi

Biofilter Aerobik

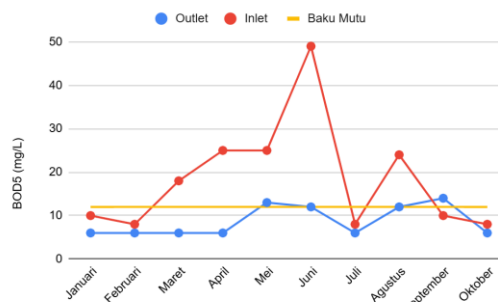
Pengolahan biologis menggunakan biofilter aerobik dilakukan dengan bantuan aerator serta media lekat (Ghony, et al., 2023). Sistem ini memfasilitasi mikroorganisme aerob untuk

mendekomposisi polutan organik, yang kemudian diubah menjadi amonia, air, dan karbon dioksida (Pamungkas, 2017). Pengolahan aerob memerlukan kadar oksigen yang cukup untuk kelangsungan hidup mikroba di dalamnya, sehingga kadar oksigen (DO) perlu dipantau (Sperling, 2007). Gambar 6 menunjukkan hasil pemantauan kadar DO bulan maret-oktober pada outlet IPAL. Dimana kadar DO lebih tinggi dibandingkan dengan inlet pada unit ekualisasi dengan kadar DO rata-rata 4,92 mg/l.



Gambar 6. Kadar DO Pada Outlet IPAL

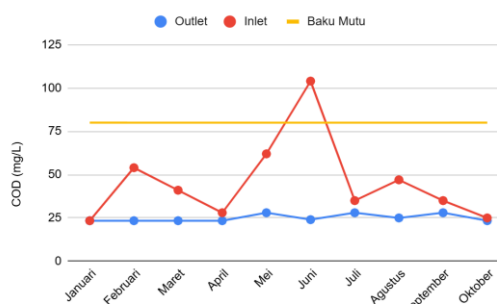
Peningkatan Biological oxygen demand (BOD) dapat mempercepat penipisan kandungan oksigen dalam air, merusak habitat perairan, dan mengganggu aktivitas mikroba (Napitupulu & Putra, 2025). Limbah domestik memiliki karakteristik organik yang tinggi, termasuk BOD didalamnya. Menurut Zairinayati (2025) Aerobic biofilter dapat menurunkan BOD₅ hingga 90%. Penurunan signifikan pada kandungan BOD₅ sesuai dengan gambar 7 dimana removal maksimum terjadi pada bulan juni 2025 dengan % removal sebesar 76%. Gambar 7 juga menginformasikan bahwa kandungan BOD₅ pada outlet berada bawah baku mutu air limbah domestik untuk penyiraman (<12 mg/L) PERMEN LH No. 11 Tahun 2025.



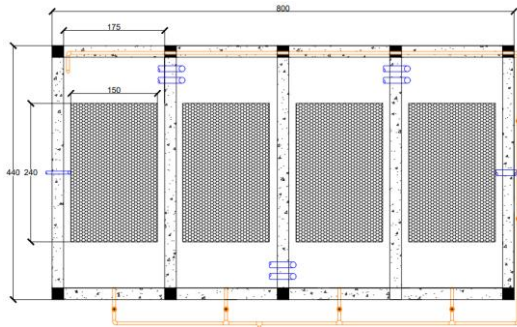
Gambar 7. BOD₅ pada Inlet dan Outlet

Media sarang tawon digunakan dalam sistem IPAL. Penggunaan media ini dinilai tepat menurut Said (2017), jenis media tersebut memiliki efektivitas tertinggi dalam pengolahan biofilter aerob, dengan kisaran luas permukaan spesifik mencapai 150–240 m²/m³. Permukaan spesifik yang tinggi membuat banyak ruang untuk mikroba tumbuh pada media. Mikroba yang tumbuh dapat membantu penguraian zat organik. Penurunan zat organik dalam air ditandai oleh penurunan nilai BOD₅ dan COD dalam air. Pada gambar 8. dapat dilihat COD pada inlet lebih tinggi dibandingkan dengan outlet dengan % removal tertinggi pada bulan juni 2025 sebesar 77%.

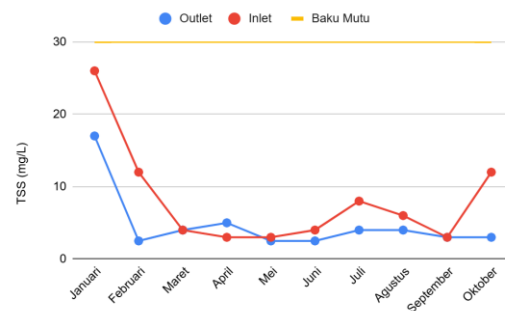
Penurunan BOD₅ dan COD pada air limbah dapat mengindikasikan keefektifan pengolahan air. Hal tersebut juga didukung oleh gambar 7 yang menginformasikan bahwa kandungan BOD₅ pada outlet berada bawah baku mutu air limbah domestik untuk penyiraman (<12 mg/L) PERMEN LH No. 11 Tahun 2025 dan gambar 8 dapat dilihat nilai COD pada outlet berada dibawah baku mutu (< 80 mg/L) PERMEN LH No. 11 Tahun 2025.



Gambar 8. COD pada Inlet dan Outlet



Gambar 9. Denah Biofilter Aerob



Gambar 10. TSS pada Inlet dan Outlet

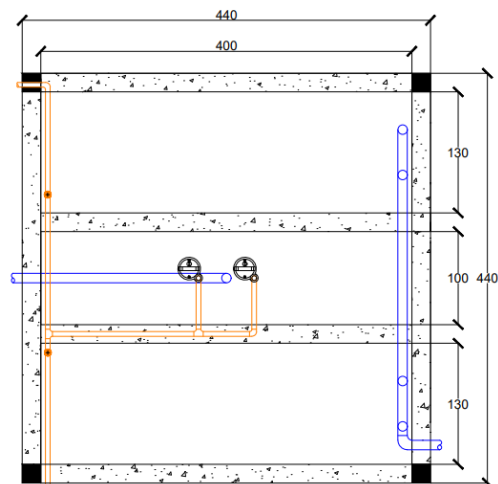
Clarifier

Sedimentasi merupakan unit pengolahan yang berfungsi untuk mengendapkan padatan (Pratama, et al., 2021). Berdasarkan padatan yang diendapkan menurut Metcalf & Eddy (2014) sedimentasi dibagi menjadi dua tipe, yakni primary sedimentation dan secondary sedimentation. Primary sedimentation merupakan pengendapan untuk mengendapkan partikel diskrit dan flok yang terbentuk oleh bantuan penambahan zat kimia. Secondary sedimentation atau yang biasa disebut clarifier merupakan pengendapan yang berfungsi untuk mengendapkan lumpur dari pengolahan biologis.

Pengendapan pada clarifier dapat terjadi akibat nilai N_{re} yang rendah pada clarifier, nilai N_{re} tersebut mengindikasikan aliran laminar dalam bangunan clarifier. TSS (Total Suspended Solid). Metcalf & Eddy (2014) menyebutkan unit clarifier dapat menurunkan kandungan TSS dengan %removal sebesar 85%. Gambar 10 menunjukkan nilai TSS pada inlet dan outlet IPAL, dimana pada grafik nilai TSS pada outlet cenderung lebih rendah dibanding inlet. Garis kuning pada gambar 10 menunjukkan nilai baku mutu, dimana nilai TSS pada inlet dan outlet semuanya berada di bawah nilai baku mutu menurut PERMEN LH No. 11 Tahun 2025.



Gambar 11. Kondisi Eksisting Clarifier

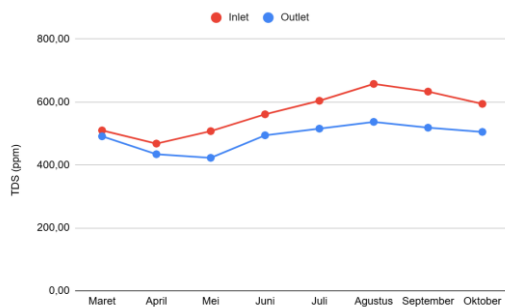


Gambar 12. Tampak Atas Clarifier

Filtrasi

Filtrasi adalah teknik purifikasi fisik di mana fluida dialirkan menembus media berpori untuk menahan partikel halus (Syahputra, 2022). Spesifikasi teknis filtrasi pada IPAL melibatkan penggunaan tabung *Fiber Reinforced Plastic* (FRP) tipe 1054 dengan memanfaatkan karbon aktif sebagai media penyaring utamanya. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan kaya akan pori memungkinkan terjadinya adsorpsi yang dapat menurunkan *dissolved organic matter* dan ammonia nitrogen (Zhang et

al., 2024). Wowor (2023) menyebutkan filter arang aktif dapat menurunkan kadar TDS hingga 71%.

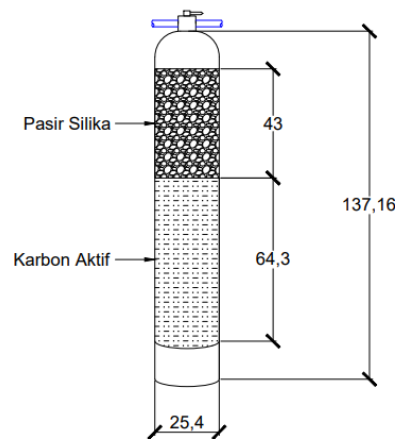


Gambar 13. TDS pada Inlet dan Outlet

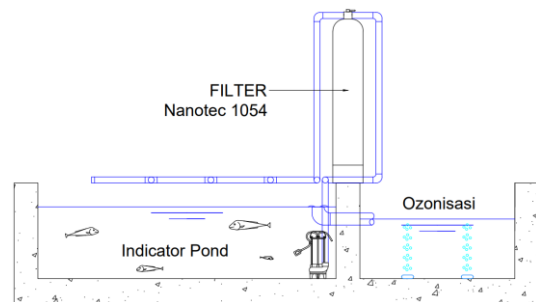
Penurunan nilai TDS pada IPAL dapat dilihat dari gambar 13 dengan % removal tertinggi sebesar 18,4%. Gambar 13 juga menunjukkan kenaikan TDS yang konsisten setiap bulannya. Pergantian media dan backwash secara rutin dianjurkan untuk menjaga keefektifan proses filtrasi. Proses backwash berfungsi untuk regenerasi media filter melalui mekanisme aliran balik. Aliran ini akan mengangkat media filter, memungkinkan partikel kotoran dan endapan yang tertahan untuk ikut hanyut bersama air pencuci melewati gutter (Tamjidillah & Ramadhan, 2023).

Proses penggantian media filter pada filter FRP disarankan untuk dilakukan 6-12 bulan sekali atau ketika proses filtrasi telah dirasa kurang efektif. Proses filtrasi ini memiliki inlet pada indikator pond yang didalamnya terdapat ikan sebagai indikator dapat dilihat pada gambar 15. Aktivitas ikan di dalamnya dapat menghasilkan partikel padat yang memperberat fungsi filtrasi. Penambahan media seperti pasir silika dapat meringankan kinerja karbon aktif (Fadillah, 2025). Pasir silika merupakan media filter yang umum digunakan dan memiliki harga yang relatif terjangkau. Berdasarkan (Fadillah, 2025) komposisi pasir silika dan karbon aktif dengan

efisiensi terbesar adalah filtrasi dengan komposisi pasir silika dan karbon aktif dengan perbandingan 2:3 atau dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Media Filtrasi



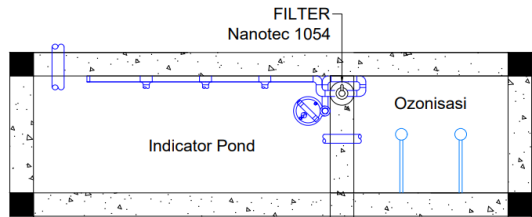
Gambar 15. Potongan Indikator Pond dan Ozonisasi

Ozonisasi

Ozonisasi merupakan proses desinfeksi dengan menggunakan ozon sebagai desinfektan. Menurut Seridou & Kalogerakis (2021) ozon bahkan pada konsentrasi rendah efektif melawan bakteri melalui oksidasinya yang tinggi. Dalam Seridou & Kalogerakis (2021) disebutkan empat mekanisme inaktivasi E. coli pada ozonisasi, yakni dengan oksidasi/destruksi langsung pada dinding sel yang mengakibatkan kebocoran konstituen sel ke luar sel, reaksi radikal hidroksil (-OH) dari penguraian ozon, kerusakan pada konstituen asam nukleat, dan pemutusan ikatan karbon-nitrogen yang menyebabkan depolimerisasi, kehancuran dinding sel, dan mengakibatkan lisis sel.

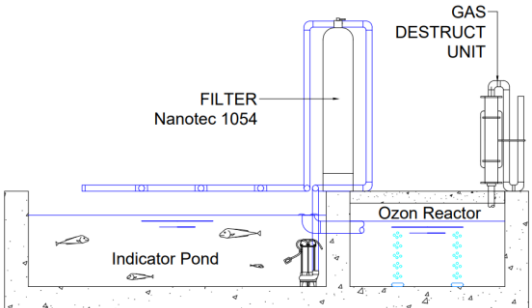
Penggunaan ozon sebagai desinfektan terbukti efektif menurunkan fecal coliform merujuk pada

pengujian November 2025 dilakukan pengukuran fecal coliform dengan nilai fecal coliform pada inlet sebesar 1070 MPN/100 mL dan pada outlet sebesar 18 MPN/100mL. Nilai tersebut berada dibawah baku mutu menurut PERMEN LH No 11 Tahun 2025 disebutkan baku mutu maksimal untuk Fecal Coliform sebesar 200 MPN/100mL. Sehingga unit ozonisasi pada IPAL dapat dikatakan efektif untuk menurunkan nilai fecal coliform.



Gambar 16. Tampak Atas Indikator Pond dan Ozonisasi

Contactor reactor pada unit ozonisasi terdapat pada kolam ozonisasi terbuka. Young (2025) menyebutkan paparan sisa gas ozon berlebih dapat mengakibatkan iritasi mata, sakit kepala, batuk kering, dan iritasi paru-paru. Metcalf & Eddy (2014) menyebutkan reaksi ozonisasi dilakukan dalam reaktor tertutup yang dilengkapi oleh *gas destruct unit* untuk mengatasi sisa ozon berlebih. Oleh karena itu penyesuaian design reaktor ozon dan penambahan *gas destruct unit* perlu dilakukan untuk menurunkan potensi bahaya pada IPAL.



Gambar 17. Penyesuaian Ozon Reactor

Tabel 1. Efektivitas Unit dan Potensi Perbaikan

| Unit Pengolahan | Efektivitas Unit | Potensi Perbaikan |
|-----------------|------------------|-------------------|
|-----------------|------------------|-------------------|

| | | |
|-------------------|---|---|
| Ekualisasi | Efektif (Nilai DO : 2,23 - 5,58 mg/l) | Penambahan bar screen pada inlet ekualisasi |
| Biofilter Aerobik | Efektif (DO : 2,49 - 7,06 mg/l BOD : 6-14 mg/l COD : 23,4 - 28 mg/l (nilai BOD dan COD memenuhi PERMEN LH No. 11 Thn 2025)) | - |
| Clarifier | Efektif (Nilai TSS : 2,5 - 17 mg/l pada outlet (memenuhi PERMEN LH No. 11 thn 2025)) | - |
| Filtrasi | Efektif (Nilai TDS : 422,62 - 536,90 PPM) | Backwash dan penggantian media filtrasi menjadi pasir silika dan karbon aktif dengan perbandingan 2:3 |
| Ozonisasi | Efektif (Nilai fecal coliform : 18 MPN/ 100 ml (memenuhi PERMEN LH No. 11 thn 2025)) | Penyesuaian reaktor ozonisasi dan penambahan gas destruct unit |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan proses pengolahan air limbah meliputi ekualisasi, biofilter aerobik, clarifier, filtrasi, dan ozonisasi memenuhi standar baku

mutu air limbah domestik untuk penyiraman sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025. Meskipun begitu, perlu dilakukan penyesuaian pada beberapa unit, seperti penambahan bar screen pada ekualisasi, penggantian media filter pada filtrasi perlu dilakukan guna meningkatkan efektivitas pengelolaan air limbah, dan penyesuaian reaktor ozonisasi dan penambahan gas destrukt unit perlu dilakukan untuk meningkatkan keselamatan kerja pada IPAL.

Daftar Pustaka

- Fadillah, R. F., Badriani, R. E., & Fildzah, C. A. (2025)**, Efektivitas Media Filter Pasir Silika dan Arang Ampas Tebu untuk Menurunkan Warna Menggunakan Filtrasi Upflow. *Rekayasa*, 18(1), 9-19.
- Ghony, M. A., Sandy, A., Putra, P., & Hariyadi, A. (2023)**, Optimalisasi Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan Penambahan Proses Biofilter Anaerob Aerob pada PLTU Tanjung Enim 3X10 MW PT. BEST. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains (JITS)*, 1(2), 87-92.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2025)**, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kholif, M. A. (2020)**, *Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Scopindo Media Pustaka.
- Leonard, F. (2024)**, Identifikasi Risiko Pencemaran Air Limbah Domestik. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 2(1), 33-42.
- Metcalf & Eddy. (2003)**, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (4th ed.)*. McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy. (2014)**, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Nainggolan, S. T. N., Sulianto, E. A. A., & Anugroho, F. (2021)**, Analisa Kebutuhan Oksigen pada Unit Biofilter Aerobic di IPAL Komunal. (*Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya*).
- Napitupulu, R. T., & Putra, M. H. S. (2024)**, Pengaruh Bod, Cod Dan Do Terhadap Lingkungan Dalam Penentuan Kualitas Air Bersih Di Sungai Pesanggrahan. *Civeng*, 5(2).
- Pamungkas, A. W. (2017)**, Perancangan Tipikal Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Rumah Tangga (IKRT) Tahu di Kota Surabaya. *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Pratama, G. A. P., Dewi, E., & Meidinariasty, A. (2021)**, Proses Pengolahan Air Pada Prasedimentasi Ditinjau dari Laju Alir dan Waktu Pengendapan Di PLTG Borang. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*, 1(8).
- Said, N. I. (2017)**, *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Jakarta : Erlangga.
- Said, N. I., Hernaningsih, T., Widayat, W., Yudo, S., Septian, A., Rifai, A., & Ikhsan, I. N. (2024)**, Domestic wastewater treatment with anaerobic-aerobic biofilters using plastic honeycomb media. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1388(1).
- Seridou, P., & Kalogerakis, N. (2021)**, Disinfection applications of ozone micro- and nanobubbles. *Environmental Science: Nano*, 8(12), 3493-3510.
- Sperling, M. V. (2007)**, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors* (M. V. Sperling, Ed.). London : IWA Publishing.
- Syahputra, B., Soedarsono, & Poedjiastoeti, H. (2022)**, *Perancangan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Tamjidillah, M., & Ramadhan, M. N. (2023)**, *Teknologi Pengolahan Air Bersih*. Purwokerto: CV IRDH.
- Utami, A. P., Pane, N. N. A., & Hasibuan, A. (2023)**, Analisis dampak limbah/sampah rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan hidup. *Cross-border*, 6(2), 1107-1112.
- Wowor, B. Y., Hanurawaty, N. Y., & Yulianto, B. (2023)**, Perbedaan Variasi Ketebalan Media Filter Arang Aktif Terhadap Penurunan Kadar Total Dissolved Solids (TDS). *Jurnal*

Kesehatan Lingkungan Indonesia,
22(1), 76-83.

Young, T. (2025), *Safe Operation with Ozone*. Boise: PNWS AWWA Conference.

Zairinayati, 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, J. L., Zhang, J. G., Zhang, J. X., Sun, S., Su, H., Zheng, X., & Liu, R. T. (2024), Advanced treatment of domestic sewage through ceramic ultrafiltration, catalytic ozonation and activated carbon adsorption in pilot-scale study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(3), 2913.