KEEFEKTIFAN SISTEM *MEMBRANE BIOREACTOR* (MBR) DALAM MENURUNKAN *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) AIR LINDI DI TPA SUPIT URANG KOTA MALANG

THE EFFECTIVENESS OF MEMBRANE BIOREACTOR SYSTEM (MBR) IN REDUCING CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) OF LEACHATE WASTEWATER AT SUPIT URANG LANDFILL MALANG CITY

Risky Amalia*, I Gusti Made Sanjaya
Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

**Corresponding author, email: risky.19051@mhs.unesa.ac.id*

Abstrak. *Air lindi merupakan cairan dengan tingkat pencemaran tinggi yang dihasilkan dari timbunan sampah dan memerlukan pengolahan yang tepat sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada air limbah lindi sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem Membrane Bioreactor (MBR) di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang, Kota Malang. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sampah Kota Malang. Analisis dilakukan pada empat titik pengambilan sampel, yaitu Measuring Device A (MDA), pompa inlet, pompa outlet, dan Measuring Device B (MDB). Pengukuran COD dilakukan menggunakan thermoreactor dan colorimeter dan dilakukan secara duplo untuk sampel yang sama. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan kadar COD yang signifikan dari 3460 mg/L pada MDA menjadi 96 mg/L pada MDB setelah melalui proses pengolahan dengan sistem MBR dengan efisiensi penurunan sekitar 97,2%. Penurunan ini menunjukkan bahwa sistem MBR efektif dalam menghilangkan pencemar organik pada air limbah lindi. Nilai COD akhir telah memenuhi baku mutu lingkungan sesuai dengan regulasi di Indonesia (maksimum 300 mg/L). Oleh karena itu, sistem MBR dapat dianggap sebagai teknologi yang efektif dalam pengolahan air limbah lindi.*

Kata kunci : COD, air lindi, membrane bioreactor, pengolahan air limbah

Abstract. *Leachate is a highly polluted liquid generated from landfill waste and requires proper treatment before being discharged into the environment. This study aims to analyze the changes in Chemical Oxygen Demand (COD) levels in leachate wastewater before and after treatment using a Membrane Bioreactor (MBR) system at Supit Urang Landfill, Malang City. The research was conducted at the laboratory of the Waste Management Unit (UPT) of Malang City. Four sampling points were analyzed, namely Measuring Device A (MDA), inlet pump, outlet pump, and Measuring Device B (MDB). COD analysis was carried out using a thermoreactor and colorimeter and was performed in duplo for the same sample. The results showed a significant decrease in COD levels from 3460 mg/L at MDA to 96 mg/L at MDB after treatment through the MBR system with reduction efficiency of approximately 97.2%. This reduction indicates that the MBR system effectively removes organic pollutants in leachate wastewater. The final COD value meets the environmental quality standard set by the Indonesian regulation (maximum 300 mg/L). Therefore, the MBR system can be considered an effective technology for leachate wastewater treatment.*

Keywords : COD, leachate, membrane bioreactor, wastewater treatment

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang pesat di wilayah perkotaan telah menyebabkan peningkatan signifikan terhadap volume sampah padat domestik, yang pada gilirannya menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, termasuk air lindi (*leachate*). Perkembangan aktivitas perkotaan yang semakin intensif, disertai dengan sistem pengelolaan sampah yang belum optimal, semakin memperparah permasalahan tersebut. Air lindi merupakan cairan dengan tingkat pencemaran tinggi yang terbentuk akibat proses dekomposisi sampah padat serta infiltrasi air hujan yang melewati timbunan sampah di tempat pembuangan akhir [1]. Proses ini memungkinkan terlarutnya berbagai senyawa, sehingga air lindi mengandung konsentrasi tinggi bahan organik, logam berat, amonia, serta senyawa berbahaya lainnya. Air lindi dapat meresap ke dalam tanah dan mencemari air tanah apabila tidak diolah secara tepat, sehingga menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

Salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air limbah adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD), yaitu jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimiawi senyawa organik yang terdapat dalam air [2]. Parameter COD banyak digunakan karena mampu memberikan estimasi yang cepat terhadap tingkat pencemaran organik dalam air limbah. Nilai COD yang tinggi menunjukkan tingginya konsentrasi senyawa organik yang dapat teroksidasi, yang berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut di badan air penerima dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan.

Berdasarkan regulasi lingkungan hidup di Indonesia, khususnya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (PERMEN LHK) Nomor P.59 Tahun 2016, batas maksimum kadar COD dalam air lindi yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan adalah sebesar 300 mg/L [3]. Standar ini menegaskan pentingnya penerapan teknologi pengolahan air limbah yang efektif dan andal agar air lindi memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan sebelum dilepaskan ke badan air.

Salah satu teknologi maju yang semakin banyak diterapkan dalam pengolahan air limbah adalah sistem *Membrane Bioreactor* (MBR). Sistem ini mengintegrasikan proses pengolahan biologis dengan filtrasi membran, sehingga mampu menghilangkan bahan pencemar organik, padatan tersuspensi, serta mikroorganisme secara efisien [4]. MBR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem lumpur aktif konvensional, antara lain kualitas efluen yang lebih tinggi, kebutuhan lahan yang lebih kecil, serta stabilitas operasional yang lebih baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kadar COD pada air limbah lindi sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan sistem MBR di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang, Kota Malang, guna mengevaluasi efektivitas teknologi tersebut dalam menurunkan tingkat pencemaran lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sampah Kota Malang. Sampel air lindi (*leachate*) diambil dari empat titik pengambilan yang berbeda, yaitu *Measuring Device A* (MDA), pompa inlet, pompa outlet (setelah proses ultrafiltrasi), dan *Measuring Device B* (MDB). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *thermoreactor* TR320, colorimeter DR900, mikropipet, *magnetic stirrer*, serta peralatan gelas laboratorium standar. Adapun bahan yang digunakan terdiri atas sampel air lindi, reagen COD (*High Range*/HR dan HR+), aquades, serta larutan blanko.

Tahapan analisis diawali dengan preparasi sampel, yaitu dengan mencampurkan masing-masing sampel air lindi sebanyak 100 mL menggunakan magnetic stirrer untuk memperoleh kondisi homogen. Sampel sebanyak 2 mL dimasukkan ke dalam vial reagen COD menggunakan mikropipet. Untuk sampel dengan konsentrasi tinggi, dilakukan proses pengenceran terlebih dahulu sebelum analisis. Vial kemudian ditutup rapat dan dipanaskan menggunakan *thermoreactor* pada suhu 150°C selama 2 jam. Setelah proses digesti selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang.

Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan secara duplo untuk sampel yang sama menggunakan *colorimeter* DR900 dengan terlebih dahulu melakukan kalibrasi alat menggunakan larutan blanko, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran masing-masing sampel. Nilai COD dicatat dalam satuan mg/L dan

selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem *Membrane Bioreactor* (MBR) dalam menurunkan kadar pencemar organik pada air limbah lindi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Lindi Sepanjang Proses Pengolahan

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu pengolahan anaerob (Tahap 1), pengolahan aerob melalui proses nitrifikasi–denitrifikasi (Tahap 2), serta tahap pemolesan akhir menggunakan *constructed wetland* (Tahap 3). Setiap tahapan memiliki peran yang signifikan dalam menurunkan konsentrasi pencemar, khususnya senyawa organik yang ditunjukkan melalui nilai COD.

Pada titik pengambilan sampel awal *Measuring Device A* (MDA), air lindi menunjukkan warna hitam pekat dengan bau yang sangat menyengat, yang mengindikasikan tingginya konsentrasi pencemar organik dan anorganik. Kondisi ini mencerminkan air lindi mentah yang dihasilkan langsung dari proses dekomposisi sampah di TPA. Nilai pH pada titik ini cenderung bersifat basa, yang menunjukkan adanya produk samping dekomposisi seperti amonia dan senyawa nitrogen lainnya [5].

Setelah melalui tahap pertama (kolam anaerob), air lindi pada pompa inlet menunjukkan perbaikan yang cukup signifikan secara karakteristik fisik. Warna berubah menjadi cokelat lebih terang dan intensitas bau menurun secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme anaerob berperan dalam menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga beban pencemar berkurang.

Pada tahap kedua (pengolahan aerob), yang melibatkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi, terjadi peningkatan kualitas lebih lanjut pada pompa outlet. Air lindi menjadi lebih jernih dengan warna kekuningan serta tidak terdeteksi bau. Proses nitrifikasi mengubah amonia menjadi nitrit dan nitrat melalui reaksi oksidasi, sedangkan proses denitrifikasi mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen (N_2) yang dilepaskan ke atmosfer [6]. Kombinasi kedua proses ini secara efektif menurunkan senyawa nitrogen dan berkontribusi terhadap peningkatan kualitas air secara keseluruhan.

Pada tahap akhir di *Measuring Device B* (MDB), yang merupakan keluaran dari *constructed wetland*, air lindi tampak berwarna kuning pucat dan tidak berbau. Keberadaan tanaman air seperti bambu air dan ilalang pada sistem *constructed wetland* berperan dalam menyerap sisa pencemar, termasuk senyawa organik dan kontaminan dalam jumlah kecil. Tahap ini berfungsi sebagai proses pemolesan (*polishing*) untuk memastikan bahwa air lindi yang telah diolah memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dibuang ke badan air.

Kinerja Penurunan COD

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi konsentrasi pencemar organik dalam air limbah [7]. Nilai COD yang diperoleh dari setiap titik pengambilan sampel disajikan pada tabel 1:

Tabel 1. Nilai COD pada sampel air lindi

Sampling Point	COD (mg/L)
MDA	3460
Inlet Pump	265
Outlet Pump	86
MDB	96

Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan kadar COD yang signifikan sepanjang proses pengolahan. Pada titik awal (MDA), nilai COD mencapai 3460 mg/L, yang tergolong sangat tinggi dan jauh melampaui batas baku mutu sebesar 300 mg/L. Nilai yang tinggi ini mengindikasikan adanya kandungan bahan organik dalam jumlah besar yang memerlukan oksigen dalam jumlah signifikan untuk proses oksidasi kimiawi [8].

Penurunan drastis COD terjadi pada pompa inlet, di mana nilainya menurun menjadi 265 mg/L. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan proses pengolahan secara anaerob, di mana mikroorganisme menguraikan senyawa organik menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga kebutuhan oksigen menjadi berkurang.

Penurunan lebih lanjut terjadi pada pompa outlet, dengan nilai COD mencapai 86 mg/L. Tahap ini menunjukkan efektivitas sistem *Membrane Bioreactor* (MBR), yang mengombinasikan proses degradasi biologis dengan filtrasi membran. Membran berfungsi

sebagai penghalang fisik yang menahan padatan tersuspensi dan mikroorganisme, sehingga menghasilkan efluen dengan kualitas tinggi dan kandungan bahan organik yang jauh lebih rendah [9].

Menariknya, terjadi sedikit peningkatan nilai COD pada titik MDB (96 mg/L) dibandingkan dengan pompa outlet. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh kontribusi bahan organik dalam jumlah kecil dari sistem *constructed wetland*, seperti sisa-sisa tanaman atau aktivitas mikroorganisme. Namun demikian, peningkatan tersebut relatif kecil dan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi pengolahan secara keseluruhan. Secara umum, efisiensi penurunan COD dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Removal Efficiency} = \frac{3460 - 96}{3460} \times 100\% \approx 97.2\%$$

Hal ini menunjukkan bahwa sistem *Membrane Bioreactor* (MBR) yang dikombinasikan dengan proses pengolahan pendukung sangat efektif dalam menghilangkan pencemar organik dari air limbah lindi dan sesuai menurut teori yang menyatakan bahwa sistem MBR umumnya dapat mengekstraksi 82%–99% COD [10], karena membran dalam hal ini juga menggantikan peran kolam sedimentasi untuk memisahkan padatan dan cairan pada teknologi konvensional (lumpur aktif) [11].

Implikasi Lingkungan

Nilai COD akhir sebesar 96 mg/L pada titik MDB telah memenuhi baku mutu lingkungan Indonesia untuk pembuangan air lindi (<300 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa air lindi yang telah diolah aman untuk dilepaskan ke lingkungan maupun dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-potabel, seperti irigasi dan pembersihan.

Meskipun demikian, pemantauan secara berkelanjutan tetap diperlukan, khususnya pada tahap *constructed wetland*, guna mencegah potensi peningkatan beban organik akibat faktor lingkungan. Optimalisasi pemilihan vegetasi serta pemeliharaan sistem lahan basah buatan juga berpotensi meningkatkan kinerja pengolahan secara lebih efektif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem *Membrane Bioreactor* (MBR) sangat efektif dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air limbah lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Supit Urang. Nilai COD mengalami penurunan yang signifikan dari 3460 mg/L pada tahap awal *Measuring Device A* (MDA) menjadi 96 mg/L pada tahap akhir *Measuring Device B* (MDB), yang menunjukkan efisiensi penyisihan sekitar 97,2%. Penurunan ini dicapai melalui kombinasi proses anaerob, aerob (nitrifikasi denitrifikasi), serta filtrasi membran.Konsentrasi COD akhir yang dihasilkan telah memenuhi baku mutu lingkungan sesuai dengan regulasi di Indonesia, yaitu di bawah 300 mg/L. Dengan demikian, air lindi yang telah diolah dinyatakan aman untuk dibuang ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-potabel, seperti irigasi dan pembersihan. Meskipun demikian, pemantauan dan optimalisasi secara berkelanjutan, khususnya pada tahap *constructed wetland*, tetap diperlukan guna menjaga dan meningkatkan kinerja pengolahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sampah Kota Malang atas kesempatan dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh staf laboratorium dan pembimbing lapangan atas bimbingan, bantuan, serta dukungan yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Selain itu, penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Universitas Negeri Surabaya atas dukungan akademik yang diberikan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sarwono, E., Azis, W. A., & Widarti, B. N. (2017). Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap kadar bod, cod, dan tss pada pengolahan lindi tpa bukit pinang samarinda menggunakan sistem aerasi bertingkat dan sedimentasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, *1*(2).

[2] B. Andika, P. Wahyuningsih, and R. Fajri, "Penentuan nilai BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit

(PPKS) Medan," *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 14–22, 2020.

[3] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah*. Jakarta: KLHK, 2016.

[4] R. F. Fitri, "Tinjauan komprehensif berbagai teknologi pengolahan air terproduksi pada industri migas," *Journal of Scientech Research and Development*, vol. 7, no. 2, pp. 191–218, 2025.

[5] I. M. Darmasetiawan and F. Rezeki, *Kimia Lingkungan*. PT Kimhsafi Alung Cipta, 2025.

[6] I. M. W. Wijaya and P. E. D. Putra, "Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) pada penyisihan nitrogen air limbahan domestik," *Jurnal Ecocentrism*, vol. 1, no. 2, pp. 113–122, 2021.

[7] D. Ramayanti and U. Amna, "Analisis parameter COD (chemical oxygen demand) dan pH (potential hydrogen) limbah cair di PT. Pupuk Iskandar Muda (PT. PIM) Lhokseumawe," *Quimica: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, vol. 1, no. 1, pp. 16–21, 2019.

[8] A. Rahmayanti, R. S. Faradila, A. Masrufah, and P. A. P. Sari, "Pengolahan lindi menggunakan Advanced Oxidation Process (AOPs) berbasis ozon," *Journal of Research and Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 141–148, 2022.

[9] A. H. Athalia, T. Agustin, and P. Ariyanta, "Analisis kinerja filter dalam memperbaiki kualitas air pada unit water treatment plant di PPSDM Migas," *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, vol. 15, no. 1, pp. 75–82, 2025.

[10] S. P. Bera and M. Godhaniya, "Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review," *Journal of Basic Microbiology*, vol. 62, no. 3-4, pp. 245–259, 2022, doi: 10.1002/jobm.202100259.

[11] Hernaningsih, Taty. (2014). Aplikasi *Membrane Bioreactor* (MBR) untuk Proses Daur Ulang Air Limbah. *JAI 7*(2), 109-118.