

Analisis Efektifitas MBBR dengan Aerasi Intermittent Dalam Menurunkan COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ Pada Air Limbah RPH

Fawwaz Akhdan Praditya, Raden Kokoh Haryo Putro*, Muhammad A.S Jawwad

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: radenkokoh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 6 November 2025

Disetujui: 11 November 2025

Abstract

Slaughterhouse wastewater contains high levels of organic matter and nitrogen, which can potentially pollute the environment if not properly treated. This study aims to analyze the effectiveness of the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) system with intermittent aeration using pumice stone media in reducing Chemical Oxygen Demand (COD) and ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) concentrations. The tested variables included media filling ratios (25%, 35%, and 45%) and hydraulic retention times (4, 6, and 8 hours) with balanced oxic-anoxic cycles. The results showed that increasing the media ratio and retention time significantly improved pollutant removal efficiency. The best performance was achieved with 45% media and an 8-hour retention time, resulting in COD and $\text{NH}_3\text{-N}$ removal efficiencies of 87% and 82.8%, respectively. The pumice stone media effectively supported biofilm growth, which played a key role in the nitrification-denitrification processes. The intermittent MBBR technology with pumice media proved to be efficient, economical, and environmentally friendly for the treatment of slaughterhouse wastewater.

Keywords: MBBR, intermittent aeration, pumice stone, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$

Abstrak

Air limbah rumah potong hewan (RPH) mengandung bahan organik dan nitrogen tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan aerasi intermittent menggunakan media batu apung dalam menurunkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$). Variabel yang diuji meliputi rasio isian media (25%, 35%, 45%) dan waktu tinggal hidrolis (4, 6, dan 8 jam) dengan siklus oxic-anoxic seimbang. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan rasio media dan waktu tinggal berpengaruh nyata terhadap efisiensi penyisihan polutan. Kombinasi terbaik diperoleh pada media 45% dan waktu tinggal 8 jam dengan efisiensi penurunan COD sebesar 87% dan $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar 82,8%. Media batu apung efektif mendukung pertumbuhan biofilm mikroorganisme yang berperan dalam proses nitrifikasi-denitrifikasi. Teknologi MBBR intermittent dengan media batu apung terbukti efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair RPH.

Kata Kunci: MBBR, aerasi intermittent, batu apung, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$

1. Pendahuluan

Air limbah rumah potong hewan (RPH) merupakan salah satu sumber pencemar organik yang potensial terhadap lingkungan perairan. Limbah ini mengandung darah, lemak, sisa jaringan hewan, serta kotoran yang kaya bahan organik dan nitrogen. Kandungan bahan organik yang tinggi menyebabkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah RPH sering kali melebihi baku mutu, sementara senyawa amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) yang dihasilkan dari penguraian protein dan urea bersifat toksik bagi organisme air [1]. Pencemaran akibat tingginya kadar COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ dapat menurunkan kadar oksigen terlarut, memicu eutrofikasi, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan yang mampu menurunkan kedua parameter tersebut secara efektif sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

Salah satu teknologi pengolahan biologis yang banyak diterapkan untuk air limbah dengan beban organik tinggi adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Teknologi ini menggabungkan prinsip proses lumpur aktif dengan pertumbuhan biofilm pada media bergerak, sehingga menghasilkan sistem yang efisien, stabil, dan mudah dioperasikan [3]. Mikroorganisme tumbuh menempel pada permukaan media dan membentuk biofilm yang berperan aktif dalam degradasi bahan organik maupun konversi senyawa nitrogen. Penggunaan media batu apung pada sistem MBBR dinilai efektif karena memiliki pori-pori halus, luas permukaan besar, serta mampu mempertahankan pertumbuhan mikroba yang stabil [4]. Dengan

karakteristik tersebut, batu apung dapat meningkatkan efisiensi penurunan COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ dalam proses pengolahan air limbah RPH.

Untuk meningkatkan kinerja proses biologis, sistem MBBR dapat dikombinasikan dengan pola aerasi intermitten, yaitu pengaturan suplai udara secara bergantian antara kondisi oksik dan anoksik. Pada fase oksik, terjadi proses nitrifikasi di mana amonia dioksidasi menjadi nitrat, sedangkan pada fase anoksik berlangsung proses denitrifikasi yang mengubah nitrat menjadi gas nitrogen [5]. Pola aerasi bergantian ini dapat mengoptimalkan efisiensi penyisihan nitrogen serta menekan penggunaan energi dibandingkan aerasi kontinu [6]. Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa penerapan aerasi intermitten meningkatkan kestabilan pertumbuhan biofilm dan mempercepat proses oksidasi bahan organik [7].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan aerasi intermitten menggunakan media batu apung dalam menurunkan kadar COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada air limbah rumah potong hewan. Variabel yang diuji meliputi variasi volume isian media batu apung sebesar 25%, 35%, dan 45%, serta waktu tinggal hidrolik selama 4, 6, dan 8 jam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah cair RPH yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

Lokasi dan Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan air limbah RPH di Jl. Bendul Merisi, Surabaya. Volume reaktor 10 L dengan dua kondisi: fase oxic menggunakan aerator dan fase anoxic menggunakan wave maker. Variasi yang digunakan adalah rasio isian media batu apung sebesar 25%, 35%, dan 45% serta waktu tinggal hidrolik 4, 6, dan 8 jam.

Proses Seeding dan Aklimatisasi

Sebelum sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dijalankan untuk pengolahan utama, dilakukan proses seeding dan aklimatisasi dengan tujuan menumbuhkan serta menstabilkan populasi mikroorganisme pada permukaan media batu apung. Proses ini penting untuk membentuk biofilm yang kuat dan aktif secara biologis sehingga mampu mendegradasi bahan organik serta mengoksidasi senyawa amonia dengan lebih efisien.

Proses seeding dilakukan dengan memasukkan campuran lumpur aktif dari instalasi pengolahan air limbah domestik ke dalam reaktor sebagai sumber mikroorganisme. Lumpur aktif ini dicampurkan dengan air limbah RPH yang telah diencerkan hingga konsentrasi COD awal berada di kisaran 300–500 mg/L. Pada fase awal, aerasi diberikan secara konstan untuk mendorong pertumbuhan mikroba heterotrofik dan nitrifikasi awal, proses dinyatakan selesai ketika penyisihan COD mencapai >50% dan warna biofilm berubah kecoklatan menandakan mikroorganisme aktif [8].

Proses Penelitian Utama

Proses utama penelitian ini menggunakan sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang dioperasikan secara kontinyu dengan pengaturan pola aerasi intermitten. Reaktor diisi dengan media batu apung sesuai variasi volume isian yaitu 25%, 35%, dan 45% dari total volume efektif. Debit aliran limbah diatur sedemikian rupa agar diperoleh waktu tinggal hidrolik (*Hydraulic Retention Time/HRT*) sebesar 4, 6, dan 8 jam. Sistem ini dirancang agar air limbah mengalir terus-menerus melewati reaktor, sementara media batu apung bergerak bebas akibat aliran udara selama fase aerasi.

Pola aerasi intermitten diterapkan untuk menciptakan kondisi bergantian antara fase oksik dan anoksik di dalam reaktor. Pada variasi waktu tinggal 4 jam, aerasi diberikan selama 2 jam (fase oksik) dan dihentikan selama 2 jam (fase anoksik). Untuk HRT 6 jam, aerasi dijalankan 3 jam oksik dan 3 jam anoksik, sedangkan pada HRT 8 jam, masing-masing fase berlangsung 4 jam oksik dan 4 jam anoksik. Pengaturan pola ini dilakukan secara berulang selama proses berlangsung untuk mendukung keseimbangan antara proses nitrifikasi pada fase oksik dan denitrifikasi pada fase anoksik.

Selama fase oksik, udara dialirkan melalui air diffuser di dasar reaktor menggunakan aerator untuk menjaga pasokan oksigen dan membantu pencampuran agar media bergerak merata. Ketika aerasi dihentikan pada fase anoksik, suplai udara dimatikan sepenuhnya sehingga kondisi dalam reaktor berubah menjadi minim oksigen. Pada kondisi ini, mikroorganisme denitrifikasi memanfaatkan nitrat hasil proses nitrifikasi sebagai akseptor elektron untuk menghasilkan gas nitrogen. Sampel effluen diambil secara berkala dari aliran keluar reaktor untuk mengukur penurunan konsentrasi COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$. Analisis COD dilakukan menggunakan SNI 6989.73:2009 dengan metode refluks tertutup, sedangkan $\text{NH}_3\text{-N}$ dianalisis berdasarkan SNI 06-6989.30-2005 menggunakan metode spektrofotometri Nessler.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Awal Air Limbah RPH

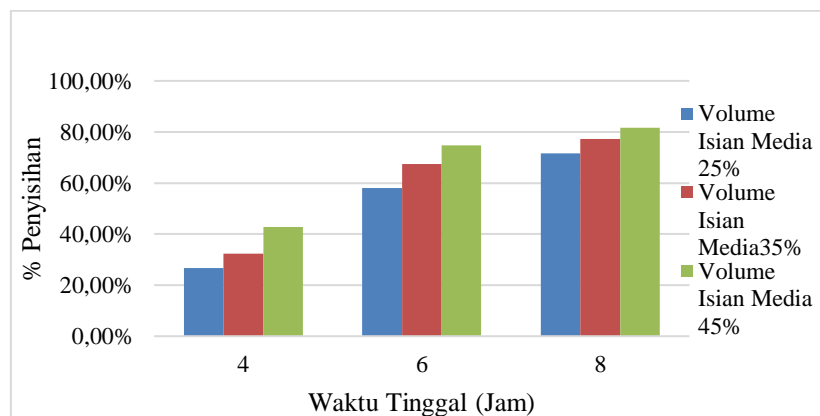
Analisis karakteristik awal air limbah industri rumah potong hewan (RPH) dilakukan untuk mengetahui tingkat pencemaran sebelum proses pengolahan dilakukan. Parameter yang diamati meliputi Chemical Oxygen Demand (COD) dan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$). Kedua parameter ini mewakili kandungan bahan organik dan senyawa nitrogen yang biasanya tinggi pada limbah RPH. Nilai COD menunjukkan banyaknya bahan organik yang membutuhkan oksigen untuk terurai secara kimia, sedangkan $\text{NH}_3\text{-N}$ menunjukkan kadar amonia yang dapat menimbulkan bau tidak sedap dan bersifat racun bagi organisme air. Hasil pengujian karakteristik awal air limbah RPH dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Parameter Kimia	Satuan	Nilai	Baku Mutu
COD	mg/L	3207,2	200
DO	mg/L	196	25

Berdasarkan hasil pada **Tabel 1**, kadar COD sebesar 3.207,2 mg/L dan $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar 196 mg/L menunjukkan bahwa air limbah RPH memiliki tingkat pencemaran yang sangat tinggi. Nilai tersebut jauh melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014, yaitu 200 mg/L untuk COD dan 25 mg/L untuk $\text{NH}_3\text{-N}$. Kadar COD yang tinggi menunjukkan banyaknya bahan organik seperti darah, lemak, dan sisa daging yang belum terurai, sedangkan kadar $\text{NH}_3\text{-N}$ yang tinggi berasal dari penguraian senyawa protein dan urea. Hasil ini menunjukkan bahwa air limbah RPH perlu diolah lebih lanjut menggunakan proses biologis yang efektif, salah satunya dengan sistem Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) yang mampu menurunkan kadar bahan organik dan nitrogen secara signifikan.

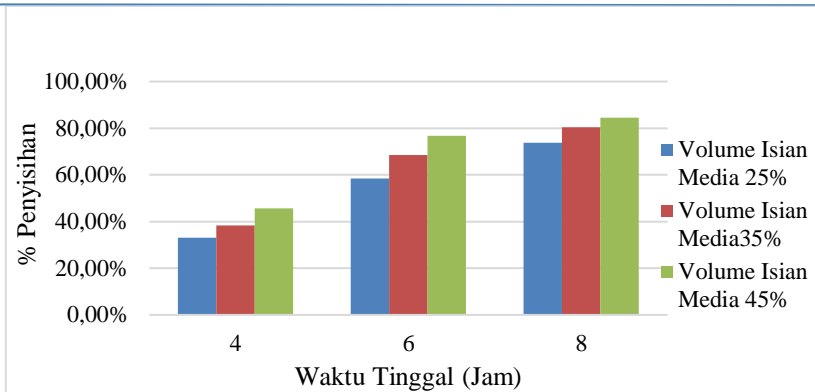
Efektivitas Penyisihan COD

Pengamatan terhadap penurunan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) dilakukan untuk mengetahui efektivitas sistem MBBR dalam menguraikan bahan organik pada air limbah RPH. Nilai COD mencerminkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik yang terdapat di dalam air limbah. Semakin besar penurunan COD, maka semakin efektif proses pengolahan yang berlangsung di dalam reaktor. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan variasi volume isian media batu apung sebesar 25%, 35%, dan 45% serta waktu tinggal hidrolis 4, 6, dan 8 jam. Hasil pengamatan penurunan COD pada setiap tahap sampling ditunjukkan pada **Gambar 1** hingga **Gambar 3**.

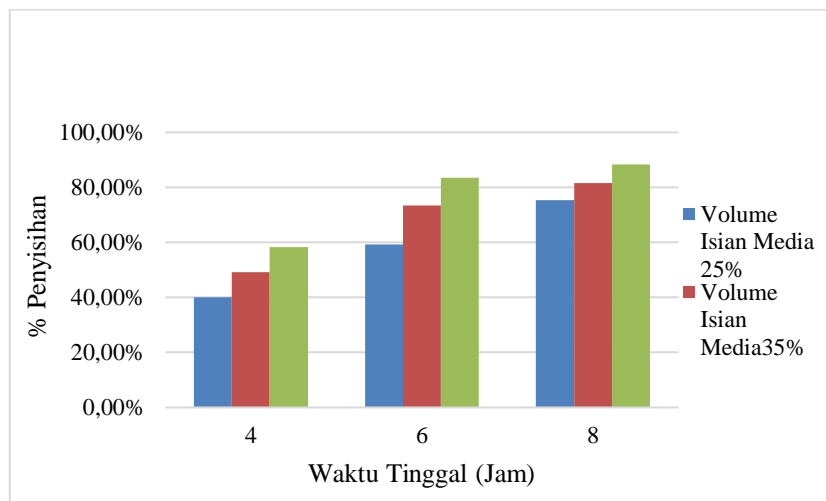


Gambar 1. Penyisihan COD Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 1

Berdasarkan **Gambar 1 - 3**, persentase penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) meningkat seiring dengan penambahan waktu tinggal dan volume isian media batu apung. Pada waktu tinggal 4 jam, nilai penyisihan COD masing-masing sebesar 26,76%, 32,41%, dan 42,75% untuk media 25%, 35%, dan 45%. Efisiensi meningkat pada waktu tinggal 6 jam menjadi 57,98–74,67%, dan mencapai nilai tertinggi pada waktu tinggal 8 jam dengan penyisihan 71,63–81,55% pada sampling pertama, 73,74–84,48% pada sampling kedua, serta 75,35–88,44% pada sampling ketiga. Kombinasi media 45% dan waktu tinggal 8 jam memberikan hasil paling efektif dengan efisiensi tertinggi 88,44%, diikuti oleh media 35% sebesar 81,56% dan 25% sebesar 75,35%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar volume media, . semakin tebal lapisan biofilm yang terbentuk, semakin efektif pula proses biodegradasi yang terjadi [8].



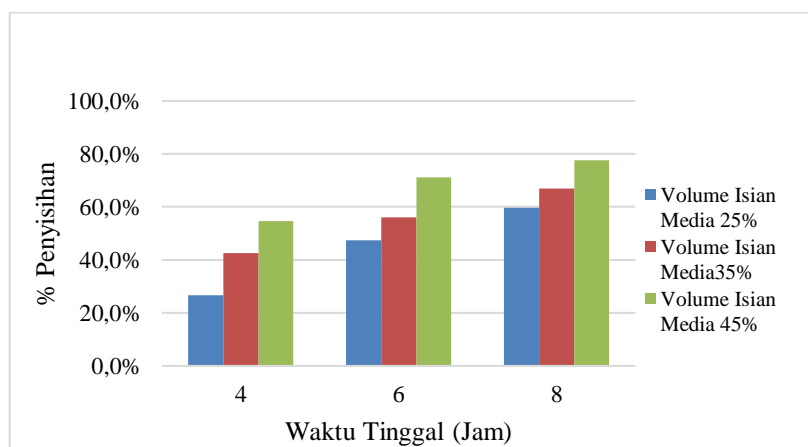
Gambar 2. Penyisihan COD Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 2



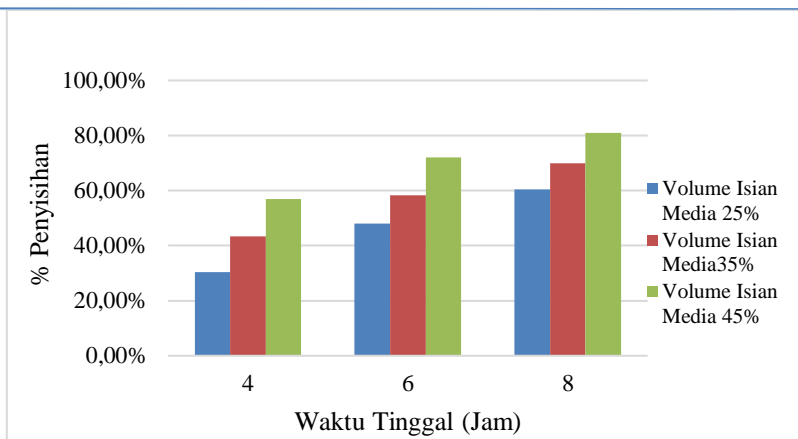
Gambar 3. Penyisihan COD Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 3

Efektivitas Penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$

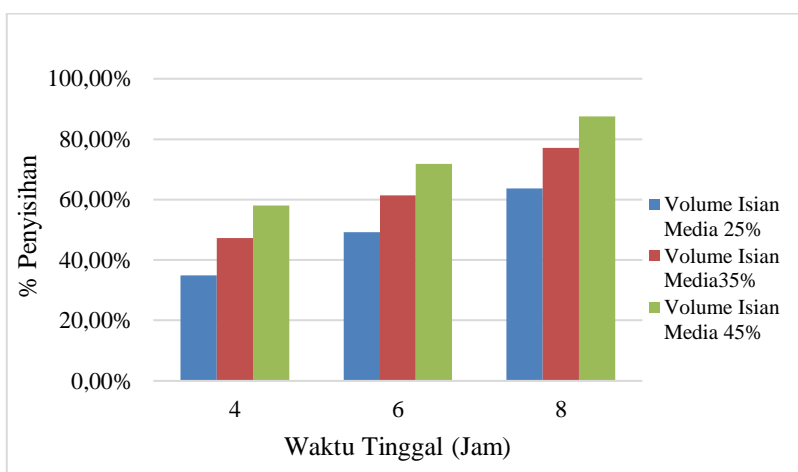
Analisis kadar $\text{NH}_3\text{-N}$ dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dalam menurunkan senyawa nitrogen yang terdapat pada air limbah rumah potong hewan (RPH). Senyawa amonia umumnya berasal dari dekomposisi protein dan urea pada limbah organik, yang jika tidak diolah dengan baik dapat bersifat toksik bagi organisme air dan menimbulkan bau tidak sedap. Proses penyisihan amonia dalam sistem MBBR terjadi melalui mekanisme biologis, yaitu nitrifikasi pada fase oksik dan denitrifikasi pada fase anoksik, di mana mikroorganisme mengubah amonia menjadi nitrit, nitrat, dan akhirnya nitrogen gas. Hasil pengujian efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada berbagai variasi waktu tinggal dan volume isian media batu apung ditampilkan pada **Gambar 3 - Gambar 6**.



Gambar 4. Penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 1



Gambar 5. Penyisihan NH₃-N Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 2



Gambar 6. Penyisihan NH₃-N Terhadap Waktu Tinggal dan Isian media pada sampling 3

Berdasarkan hasil uji, efisiensi penyisihan amonia menunjukkan peningkatan yang konsisten pada setiap penambahan waktu tinggal dan volume media. Pada waktu tinggal 4 jam, penyisihan tercatat sebesar 26,7% pada media 25%, 42,5% pada media 35%, dan 54,7% pada media 45%. Nilai ini meningkat pada sampling berikutnya, yaitu 33,56–54,40% pada sampling kedua dan 34,84–58,08% pada sampling ketiga. Peningkatan efisiensi yang cukup besar terjadi pada waktu tinggal 6 jam dengan nilai antara 47,3–65,6% (sampling pertama), 48,9–69,8% (sampling kedua), dan 49,25–71,77% (sampling ketiga). Efisiensi tertinggi diperoleh pada waktu tinggal 8 jam, yaitu 53,1–74,0% pada sampling pertama, 59,8–80,4% pada sampling kedua, dan 63,63–87,59% pada sampling ketiga.

Kondisi paling optimal dicapai pada kombinasi media 45% dan waktu tinggal 8 jam dengan efisiensi penyisihan mencapai 87,59%, diikuti oleh media 35% sebesar 77,07% dan media 25% sebesar 63,63%. Pola aerasi intermittent memiliki peran penting dalam keberhasilan penyisihan NH₃-N. Saat fase oksik, mikroorganisme nitrifikasi seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* mengoksidasi amonia menjadi nitrat, sedangkan pada fase anoksik, mikroba denitrifikasi mengubah nitrat menjadi nitrogen gas [9]. Peningkatan waktu tinggal juga memberikan dampak positif terhadap proses denitrifikasi karena memperpanjang waktu kontak antara substrat dan mikroorganisme [10]. Selain itu, stabilitas sistem aerasi intermittent menjaga keseimbangan kondisi oksigen, sehingga mencegah inhibisi proses nitrifikasi akibat akumulasi amonia bebas [11].

4. Kesimpulan

Kadar COD awal sebesar 3.207,2 mg/L berhasil diturunkan dengan efisiensi maksimum 88,44%, sedangkan kadar NH₃-N awal sebesar 196 mg/L menurun hingga 87,59% pada kombinasi volume isian media 45% dan waktu tinggal hidrolis 8 jam. Peningkatan efisiensi penyisihan dipengaruhi oleh luas permukaan media batu apung yang mendukung pertumbuhan biofilm serta penerapan pola aerasi intermittent yang menciptakan kondisi bergantian antara fase oksik dan anoksik. Pola ini memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara berkesinambungan dalam satu reaktor.

Dengan demikian, tujuan penelitian telah tercapai, yaitu membuktikan bahwa sistem MBBR ber-aerasi intermittent menggunakan media batu apung efektif sebagai alternatif teknologi pengolahan biologis

untuk menurunkan kadar bahan organik (COD) dan senyawa nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada air limbah RPH. Sistem ini dinilai efisien, stabil, serta berpotensi diterapkan pada skala yang lebih besar sebagai solusi pengolahan limbah cair yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5. Referensi

- [1] Putri, A. N., & Widodo, T. (2019). Pengolahan air limbah rumah potong hewan menggunakan reaktor biofilm dengan variasi media isian. *Jurnal Teknologi Lingkungan LIPI*, 16(2), 83–92. <https://doi.org/10.xxxx/jtl.v16i2.2019>
- [2] Rahardjo, D., & Fitriani, N. (2022). Pengaruh variasi rasio media terhadap efisiensi penurunan COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada limbah cair industri peternakan. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Lingkungan*, 8(2), 97–107.
- [3] Febrianto, A., & Nuraini, L. (2022). Efektivitas sistem Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dalam menurunkan kadar COD dan BOD pada air limbah domestik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 28(2), 105–114. <https://doi.org/10.xxxx/jtl.v28i2.2022>
- [4] Handayani, E., & Pratama, Y. (2021). Evaluasi sistem biofilm dalam pengolahan air limbah rumah tangga menggunakan batu apung sebagai media tumbuh mikroba. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 5(3), 141–150.
- [5] Gunawan, H., & Hapsari, R. (2021). Pengaruh aerasi intermitten terhadap proses nitrifikasi-denitrifikasi dalam pengolahan air limbah domestik. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 21–30.
- [6] Permatasari, L., & Nugroho, S. (2023). Kinerja sistem MBBR dengan aerasi bergantian oksik-anoksik dalam menurunkan kadar nitrogen total. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(1), 33–41.
- [7] Yuliani, N., Rahmawati, D., & Setiawan, R. (2021). Pengaruh rasio media dan waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan COD pada sistem MBBR ber-aerasi intermitten. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(1), 45–54. <https://doi.org/10.xxxx/jrl.v20i1.2021>
- [8] Kurniawan, A., & Lestari, P. (2020). Kinerja biofilm pada sistem MBBR dalam menurunkan bahan organik pada limbah cair industri pangan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Lingkungan*, 14(1), 55–64.
- [9] Sihombing, D., & Utami, L. (2021). Efektivitas aerasi intermitten terhadap proses nitrifikasi-denitrifikasi dalam reaktor biofilm. *Jurnal Teknologi Lingkungan LIPI*, 18(3), 215–224.
- [10] Sari, D. P., Wibowo, S., & Hidayat, M. (2020). Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap penurunan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) pada sistem MBBR dengan media bioball. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(3), 164–172. <https://doi.org/10.xxxx/presipitasi.v17i3.2020>
- [11] Nugroho, E., & Wulandari, A. (2023). Kinerja sistem MBBR dengan media bioball terhadap penyisihan COD dan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada limbah cair industri makanan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 20(2), 91–99.