

Proses Oxic-Anoxic dengan Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* dalam Meremoval Parameter Organik pada Limbah Rumah Potong Ayam

Aditya Reyhan Prasetyo, Tuhu Agung Rachmanto*

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

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

Diterima: 15 April 2026

Disetujui: 21 April 2026

Abstract

The poultry slaughterhouse industry produces wastewater with high organic and nitrogen content that poses environmental risks. This study aims to analyze the effectiveness of the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) using an Oxic-Anoxic process to reduce Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Nitrogen (N-Total) levels. This laboratory-scale research utilized a 10-liter reactor with Bioball BB-30 media. The tested variables included variations in media filling volume (15%, 25%, and 35%) and Hydraulic Retention Time (HRT) of 4, 6, and 8 hours. The stages involved pre-treatment, seeding until MLSS reached 2000 mg/L, and gradual acclimatization to achieve a steady state. The results indicated that the optimum operational conditions were achieved at a 35% media filling volume and an 8-hour HRT. Under these conditions, the reactor reduced COD by 80% (from 3050.2 mg/L to 610 mg/L) and N-Total by 71.7% (from 264.5 mg/L to 74.85 mg/L). Supporting parameters such as pH, temperature, and Dissolved Oxygen remained within the optimal range for nitrification and denitrification activities. It is concluded that increasing media volume and retention time directly improves pollutant removal efficiency by providing a larger biofilm surface area for microbial growth.

Keywords: *mbbr, oxic-anoxic, poultry slaughterhouse wastewater, cod, total nitrogen*

Abstrak

Industri Rumah Potong Ayam (RPA) menghasilkan limbah cair berkadar organik dan nitrogen tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan menggunakan proses *Oxic-Anoxic* dalam meremoval parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Total Nitrogen (N-Total). Penelitian skala laboratorium ini menggunakan reaktor 10 liter dengan media Bioball BB-30. Variabel yang diuji meliputi variasi volume isian media (15%, 25%, dan 35%) serta *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 4, 6, dan 8 jam. Tahapan penelitian mencakup *pre-treatment*, *seeding* hingga MLSS mencapai 2000 mg/L, dan aklimatisasi bertahap hingga kondisi *steady state*. Hasil menunjukkan kondisi operasional optimum tercapai pada volume media 35% dan HRT 8 jam. Pada titik ini, reaktor mampu mereduksi kadar COD sebesar 80% (dari 3050,2 mg/L menjadi 610 mg/L) dan N-Total sebesar 71,7% (dari 264,5 mg/L menjadi 74,85 mg/L). Parameter pendukung seperti pH, suhu, dan *Dissolved Oxygen* berada pada rentang optimal bagi aktivitas bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi. Disimpulkan bahwa peningkatan volume media dan waktu tinggal berbanding lurus dengan efisiensi penyisihan polutan karena menyediakan luas permukaan biofilm yang lebih besar bagi mikroorganisme.

Kata Kunci: *mbbr, oxic-anoxic, limbah rumah potong ayam, cod, total nitrogen*

1. Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan dasar yang sangat vital bagi kelangsungan hidup manusia, terlibat dalam fungsi biologis tubuh, serta menunjang aktivitas domestik dan sanitasi. Ketersediaan air bersih yang berkelanjutan menjadi indikator kesejahteraan masyarakat, namun kualitas sumber daya air saat ini menghadapi tantangan besar dari aktivitas industri. Salah satu sektor yang memberikan dampak signifikan adalah Industri Rumah Potong Ayam (RPA), yang mengolah ayam potong menjadi karkas siap konsumsi namun menghasilkan limbah dalam jumlah besar [1].

Industri RPA menghasilkan limbah cair yang mengandung darah, lemak, dan sisa pencucian karkas dengan konsentrasi bahan organik yang melampaui ambang batas regulasi. Berdasarkan analisis awal, limbah cair RPA memiliki kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) mencapai 3027,2 mg/L dan Total Nitrogen sebesar 264,5 mg/L. Angka tersebut secara signifikan melampaui baku mutu yang ditetapkan

dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, sehingga berisiko tinggi mencemari perairan jika langsung dibuang tanpa pengolahan [1].

Tingginya kadar COD merepresentasikan beban materi organik total yang dapat menghabiskan oksigen terlarut di badan air, sementara nitrogen tinggi memicu eutrofikasi dan toksisitas bagi biota akuatik. Meskipun dampaknya berbahaya, banyak pelaku usaha RPA skala kecil dan menengah belum memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang memadai karena kendala biaya peralatan yang mahal. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem pengolahan yang tidak hanya efektif dalam mereduksi polutan, tetapi juga efisien dalam penggunaan lahan dan biaya operasional [2].

Teknologi *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan solusi inovatif yang memanfaatkan sistem *fluidized attached growth* untuk meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik. Prinsip kerja MBBR didasari pada penggunaan media sebagai tempat melekatnya mikroorganisme yang bergerak secara stabil di dalam reaktor. Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan sistem lumpur aktif konvensional karena retensi biomasnya tidak tergantung pada *clarifier* dan mampu menangani beban organik yang fluktuatif dengan lebih optimal [3].

Penerapan proses *Oxic-Anoxic* dalam unit MBBR bertujuan untuk menyisahkan parameter organik dan nitrogen secara simultan melalui mekanisme nitrifikasi dan denitrifikasi. Pada kondisi *oxic*, bakteri nitrifikasi mengoksidasi amonia menjadi nitrat, sedangkan pada kondisi *anoxic*, bakteri denitrifikasi mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen dengan memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber karbon. Fleksibilitas bakteri fakultatif dalam bertransisi antar kondisi lingkungan ini menjadi kunci keberhasilan dalam menjaga efisiensi proses pengolahan limbah RPA [4].

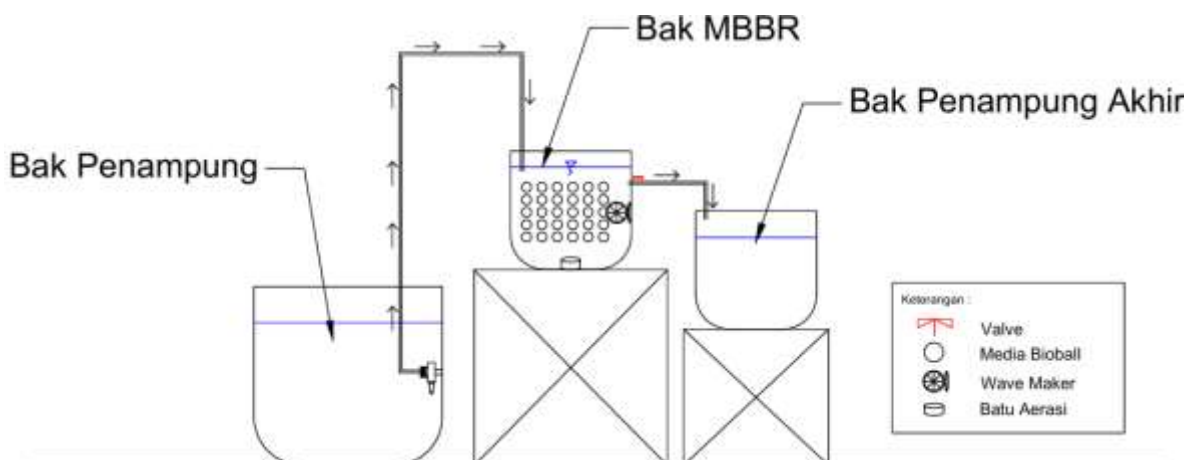
Penelitian memiliki tujuan untuk menganalisis kemampuan reaktor MBBR dengan menggunakan proses *Oxic-Anoxic* dalam menurunkan parameter COD dan Total Nitrogen pada limbah cair industri RPA. Fokus utama studi ini adalah mengevaluasi pengaruh variasi volume isian media bioball (15%, 25%, dan 35%) serta variasi waktu tinggal atau *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 4, 6, dan 8 jam. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh kondisi operasional optimum yang dapat menjadi referensi teknologi IPAL yang efektif bagi pengelola industri rumah potong ayam.

2. Metode Penelitian

Studi ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan sampel air limbah yang diperoleh dari unit pengolahan ayam di kawasan Wonocolo, Kota Surabaya. Sumber limbah tersebut dipilih sebagai objek penelitian karena sistem pengolahannya yang masih terbatas, sehingga berisiko mencemari lingkungan jika tidak dioptimalkan.

2.1 Desain Reaktor

Reaktor terdiri atas bak penampung, kemudian dialirkan ke reaktor utama *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan diakhiri pada bak penampung akhir untuk melakukan sampling air *effluent* untuk di uji di laboratorium. Detail desain reaktor dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut ini.



Gambar 1. Reaktor Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)
 Sumber: Dokumen Pribadi (2026)

2.2 Variabel Penelitian

- Variabel bebas : Volume isian media (15%, 25%, dan 35%) dan waktu tinggal (4 jam, 6 jam, dan 8 jam)
- Variabel terikat : COD dan Total Nitrogen
- Variabel Kontrol : Volume reaktor, debit aliran udara, pH, suhu, dan *dissolved oxygen* (DO)

2.3 Analisis Data

Dalam penelitian ini metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

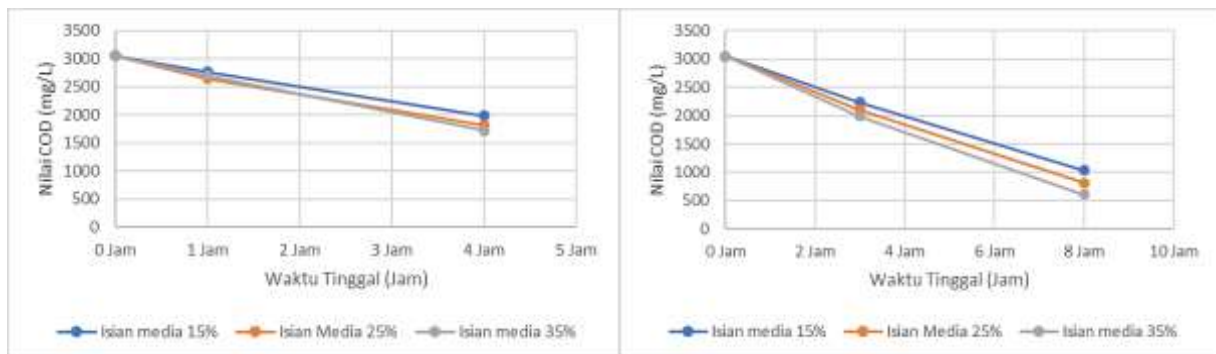
- Analisis Removal
Analisis removal parameter COD dan Total Nitrogen ditentukan sesuai rumus yaitu:

$$\%removal = \frac{Konsentrasi\ awal - konsentrasi\ akhir}{Konsentrasi\ awal} \times 100$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Efisiensi Penyisihan COD dan Total Nitrogen

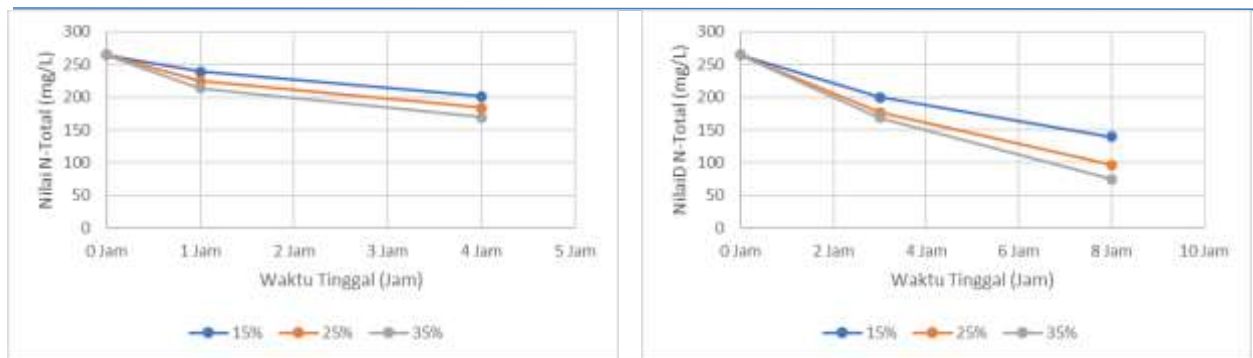
Secara keseluruhan, penerapan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan siklus *Oxic-Anoxic* terbukti efektif dalam menurunkan beban pencemar pada limbah cair Rumah Potong Ayam (RPA). Melalui proses *seeding* selama 15 hari hingga MLSS mencapai nilai minimal 2000 mg/L [5]. Biofilm yang terbentuk pada media Bioball BB-30 mampu melakukan degradasi biologis secara stabil. Sinergi antara kondisi oksik untuk oksidasi organik dan nitrifikasi, serta kondisi anoksik untuk denitrifikasi, memungkinkan reaktor mencapai efisiensi penyisihan polutan yang tinggi [6]. Kinerja sistem ini sangat bergantung pada interaksi antara mikroorganisme dalam biofilm dengan karakteristik limbah yang memiliki kandungan organik dan nitrogen yang pekat [7].



Gambar 2. Grafik Penyisihan Konsentrasi COD
(a) Waktu tinggal 4 jam (b) Waktu tinggal 8 jam

Pada efisiensi penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang menunjukkan penurunan sangat masif pada kondisi operasional optimum. Kadar awal COD sebesar 3050,2 mg/L berhasil direduksi hingga 610 mg/L, yang mengindikasikan bahwa bakteri heterotrof dalam biofilm mampu mengoksidasi senyawa karbon kompleks dalam limbah RPA secara efisien [8]. Penurunan COD yang paling signifikan terjadi pada fase oksik karena ketersediaan oksigen terlarut (DO) yang melimpah mempercepat metabolisme mikroorganisme dalam memecah rantai organik [9]. Meskipun demikian, efisiensi penyisihan organik pada sistem film biologis ini tetap memerlukan waktu tinggal yang cukup agar kontak antara substrat dan biomassa berlangsung sempurna [10].

Penyisihan Total Nitrogen yang juga menunjukkan performa optimal seiring dengan bertambahnya waktu tinggal. Kadar nitrogen awal sebesar 264,5 mg/L mampu diturunkan hingga 74,85 mg/L melalui mekanisme nitrifikasi dan denitrifikasi yang berjalan beriringan dalam reaktor MBBR. Proses denitrifikasi pada fase anoksik ditandai dengan peningkatan nilai pH akibat pelepasan alkalinitas. sementara proses nitrifikasi pada fase oksik menyebabkan penurunan pH karena pelepasan ion hidrogen selama oksidasi amonia [11]. Keberhasilan penyisihan nitrogen pada limbah dengan kandungan protein tinggi seperti limbah RPA sangat ditentukan oleh stabilitas kondisi lingkungan yang mendukung aktivitas bakteri nitrifikan dan denitrifikan [12].



Gambar 3. Grafik Penyisihan Total Nitrogen
(a) Waktu tinggal 4 jam (b) Waktu tinggal 8 jam

3.2 Pengaruh Volume Isian Media Terhadap Penyisihan COD dan Total Nitrogen

Volume isian media Bioball BB-30 (15%, 25%, dan 35%) memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap efektivitas penyisihan beban organik dan nitrogen dalam sistem MBBR. Berdasarkan data pengamatan, reaktor dengan isian media 35% secara konsisten menghasilkan nilai efluen terendah dibandingkan dengan variasi 15% dan 25%. Hal ini mengindikasikan bahwa ketersediaan luas permukaan spesifik yang lebih besar pada volume media yang lebih tinggi memfasilitasi pertumbuhan biofilm yang lebih masif, sehingga proses oksidasi materi organik menjadi lebih efektif. Peningkatan luas permukaan media juga esensial untuk memaksimalkan kontak antara mikroba, substrat, dan oksigen terlarut guna meningkatkan efektivitas penguraian polutan. Sejalan dengan prinsip tersebut, luas permukaan spesifik media diartikan sebagai total luas permukaan yang disediakan untuk biofilm per satuan volume reaktor yang menentukan kapasitas degradasi biologis [13].

Peningkatan persentase isian media juga berbanding lurus dengan efisiensi reduksi senyawa nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Semakin besar volume isian media, maka semakin luas permukaan untuk pertumbuhan biofilm, sehingga aktivitas bakteri nitrifikasi meningkat dan berdampak pada penurunan konsentrasi Total Nitrogen. Media biofilm atau *biocarrier* berperan sebagai tempat melekat serta berkembang biaknya mikroorganisme yang sangat menentukan kapasitas transformasi nitrogen dalam sistem. Selain itu, peningkatan volume isian media terbukti menyediakan area permukaan yang luas bagi kolonisasi mikroorganisme, yang tercermin dari kenaikan nilai MLSS yang lebih tinggi pada reaktor dengan media 35%. Dengan ketersediaan biomassa yang lebih padat, laju konsumsi substrat dan nutrisi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan variasi volume media yang lebih kecil.

3.3 Pengaruh Waktu Tinggal Terhadap Penyisihan COD dan Total Nitrogen

Waktu tinggal hidrolis atau *Hydraulic Retention Time* (HRT) selama 4, 6, dan 8 jam merupakan faktor krusial yang menentukan durasi kontak antar mikroorganisme dengan limbah cair dalam reaktor MBBR. Data penelitian memberitahukan bahwa efisiensi penyisihan COD dan Total Nitrogen meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya waktu tinggal, dengan capaian tertinggi pada HRT 8 jam. Hal ini dikarenakan waktu tinggal yang lebih lama memberikan durasi yang cukup bagi biofilm untuk mengadsorpsi dan mendegradasi senyawa organik kompleks yang terkandung dalam limbah RPA. Waktu kontak yang memadai antara biomassa dengan polutan sangat menentukan efektivitas penguraian bahan organik dalam sistem pengolahan biologis. Selain itu, stabilitas penurunan kadar polutan pada HRT 8 jam membuktikan bahwa kinetika reaksi biologis memerlukan waktu tertentu agar proses oksidasi karbon berlangsung sempurna [14].

Penyisihan senyawa nitrogen juga sangat dipengaruhi oleh durasi operasional reaktor, terutama pada fase nitrifikasi dan denitrifikasi yang memiliki laju reaksi berbeda. Pada HRT yang lebih lama, bakteri nitrifikasi yang memiliki laju pertumbuhan lambat mendapatkan waktu yang cukup untuk mengoksidasi amonia menjadi nitrat secara menyeluruh. Proses transformasi nitrogen dalam sistem biofilm membutuhkan waktu retensi yang stabil agar koloni bakteri nitrifikan tidak terbuang dari sistem. Begitu pula pada fase anoksik, waktu tinggal 8 jam memberikan kesempatan bagi bakteri denitrifikasi untuk mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen dengan memanfaatkan sisa karbon organik. Keberhasilan penyisihan nitrogen pada limbah dengan kandungan protein tinggi sangat bergantung pada kecukupan waktu tinggal untuk menyelesaikan seluruh tahapan siklus nitrogen. Sebaliknya, HRT yang terlalu singkat cenderung menghasilkan efisiensi rendah karena mikroorganisme tidak memiliki waktu kontak yang optimal untuk memproses beban polutan yang pekat [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan metode MBBR terbukti efektif dalam mereduksi beban pencemar organik pada limbah RPA. Reaktor mampu menurunkan kadar COD hingga 80% (dari 3050,2 mg/L menjadi 610 mg/L) dan Total Nitrogen hingga 71,7% (dari 264,5 mg/L menjadi 74,85 mg/L).

Volume isian media memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan polutan. Volume isian media 35% memberikan hasil terbaik karena menyediakan luas permukaan spesifik yang lebih besar bagi pertumbuhan biofilm, dibandingkan variasi 15% dan 25%. Waktu tinggal hidrolis (HRT) berbanding lurus dengan efisiensi penurunan kadar organik dan nitrogen. HRT 8 jam (3 jam *Anoxic* dan 5 jam *Oxic*) merupakan waktu tinggal paling optimum yang memberikan kesempatan bagi mikroorganisme untuk melakukan proses denitrifikasi dan nitrifikasi secara lebih sempurna.

5. Referensi

- [1] Damuk, Y. F., & Wulandari, C. D. (2023). Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam Dengan Metode Free Water Surface Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) Sebagai Media Fitoremediasi. *Jurnal Mahasiswa "ENVIRO"*, 2(2).
- [2] Satria Bhaskara, O., Dwi Sukmawati, P., & Dhevi Warisaura, A. (2022). Analisis Sebaran Air Limbah Industri Rumah Potong Ayam Terhadap Kualitas Air Sungai Desa Kalitirto, Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 137–143. <https://doi.org/10.34151/jurtek.v15i2.3533>
- [3] Aniriani, G. W., Putri, M. S. A., & Nengseh, T. (2022). Efektivitas Penambahan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 67. <https://doi.org/10.35799/jis.v22i1.35562>
- [4] Novita, E., Agustin, A., & Pradana, H. A. (2021). Pengendalian Potensi Pencemaran Air Limbah Rumah Potong Ayam Menggunakan Metode Fitoremediasi dengan Beberapa Jenis Tanaman Air (Komparasi antara Tanaman Eceng Gondok, Kangkung, dan Melati Air). *Agroteknika*, 4(2), 106–119.
- [5] Armesta, L., Apriani, M., & Astuti, U. P. (2023). Analisis Seeding dan Aklimatisasi pada Anaerobic Baffled Reactor – Anaerobic Biofilter (ABR – AF). 6(2623), 220–224.
- [6] Said, N. I., & Santoso, T. I. (2018). Penghilangan Polutan Organik dan Padatan tersuspensi di dalam air limbah domestik dengan proses moving bed biofilm reactor (MBBR). 8(1), 1.
- [7] Notonugroho, O. J., Amelia, F., Arif, C., & Kurniawan, A. (2022). Model Parameter Kinetika Biologis Proses Lumpur Aktif Air Limbah Kertas Berdasarkan Variasi Waktu Detensi Pada Kondisi Tidak Tunak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 829–840. <https://doi.org/10.14710/jil.20.4.829-840>
- [8] Callista Elvania, N. (2024). Buku Ajar Kualitas Air. In *Widina Media Utama*.
- [9] Kurniawati, E., & Agung Rachmanto, T. (2024). Penerapan Aerasi Intermittent Pada Proses Biofilter Aerob Untuk Mendegradasi COD dan Total Nitrogen Limbah Cair Domestik. *Jurnal Ekologi, Masyarakat Dan Sains*, 5(1), 10–19. <https://doi.org/10.55448/9b9e2822>
- [10] Shania, R., Elystia, S., & Andrio, D. (2021). pengaruh kecepatan pengadukan dan waktu pengendapan menggunakan sequencing batch biofilm reactor (SBBR) untuk pengolahan limbah cair domestik. 8, 1–7.
- [11] Rooyen, I. L. Van, & Nicol, W. (2022). Environmental Technology & Innovation Nitrogen management in nitrification-hydroponic systems by utilizing their pH characteristics. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102360. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102360>
- [12] Laksana, D. G. A. S., & Purnomo, Y. S. (2021). Penurunan Bod, Tss Dan Total-N Menggunakan Mikroorganisme Indigen Limbah Cair Tahu Dengan Proses MBBR. *EnviroUS*, 1(2), 83–88.
- [13] Aryani, S. Z., Sari, P. A., Darmasetiawan, M., Firdaus, A., & Ismi, T. (2025). Efektivitas Proses MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) Menggunakan Media Paranet Berlapis PVA Gel dalam Menurunkan Polutan Organik dan Amonia dari Air Limbah Domestik. *September*, 71–83.
- [14] Notonugroho, O. J., Amelia, F., Arif, C., & Kurniawan, A. (2022). Model Parameter Kinetika Biologis Proses Lumpur Aktif Air Limbah Kertas Berdasarkan Variasi Waktu Detensi Pada Kondisi Tidak Tunak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 829–840. <https://doi.org/10.14710/jil.20.4.829-840>
- [15] Eka, P., & Putra, D. (2021). Anaerobic Ammonium Oxidation (Anammox) Pada Penyisihan Nitrogen Dalam Air Limbah Domestik. 1, 113–122.