

Efisiensi Penyisihan Parameter COD, BOD₅, dan NH₃-N pada Pengolahan Air Limbah Kawasan Industri Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Irviani Syaiful Putri¹⁾, Taty alfiah¹⁾*

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60117 Indonesia

*Email: taty09@itats.ac.id

Abstrak

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan teknologi pengolahan air limbah, dimana mikroorganisme tumbuh pada media padat terfluidisasi (melayang-layang dalam air) dalam reaktor. Tujuan penelitian untuk mengetahui efisiensi MBBR untuk mengolah air limbah kawasan industri, ditinjau dari parameter COD, BOD₅, dan NH₃-N. Penelitian ini merupakan penelitian skala laboratorium. Air limbah penelitian merupakan air limbah asli yang diambil dari IPAL kawasan industri, air limbah diambil dari unit bangunan equalisasi, sedangkan bibit mikroorganisme diambil dari bangunan clarifier. Reaktor MBBR terbuat dari pipa PVC dengan volume 10 L, diisi dengan media kaldnes K1 sebanyak 20% volume reaktor dan air limbah sebanyak 80% dari volume reaktor. Efluen MBBR diukur parameter pH, BOD₅, COD dan NH₃-N, selama jangka waktu 11 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air limbah kawasan industri NIP untuk parameter COD, BOD₅, NH₃-N, NO₃-N melebihi baku mutu. Pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan teknologi MBBR dengan media Kaldness K1 menghasilkan efisiensi BOD₅, COD dan NH₃-N berturut-turut sebesar 71,8%, 83,5% dan 69,6%. Pengolahan biologi MBBR menurunkan nilai BOD₅, COD dan NH₃-N berturut-turut dari 160,6 mg/L, 379,1 mg/L dan 26 mg/L menjadi 42,5 mg/L, 62,4 mg/L dan 7,9 mg/L. Efluen pengolahan MBBR untuk air limbah kawasan industri telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Teknologi MBBR merupakan teknologi pengolah air limbah yang menjanjikan untuk digunakan mengolah berbagai jenis air limbah.

Kata kunci: air limbah kawasan industri, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Abstract

This research is conducted on a laboratory scale. The wastewater used in this study is raw wastewater collected from the wastewater treatment plant (WWTP) of an industrial area. The wastewater was taken from the equalization tank unit, while the microbial inoculum was taken from the clarifier unit. The MBBR reactor was built from PVC pipe with a volume of 10 L, filled with 20% Kaldnes K1 media and 80% wastewater based on reactor volume. The MBBR effluent was measured for pH, BOD₅, COD, and NH₃-N over eleven days. The research results show that the industrial area wastewater at NIP exceeded the quality standards for COD, BOD₅, NH₃-N, and NO₃-N parameters. Wastewater treatment using MBBR technology with Kaldnes K1 media achieved removal efficiencies of 71.8%, 83.5%, and 69.6% for BOD₅, COD, and NH₃-N, respectively. The MBBR biological treatment reduced BOD₅, COD, and NH₃-N values from 160.6 mg/L, 379.1 mg/L, and 26 mg/L to 42.5 mg/L, 62.4 mg/L, and 7.9 mg/L, respectively. The MBBR effluent from industrial area wastewater treatment has met the applicable quality standards. MBBR technology is a promising wastewater treatment method suitable for various types of wastewater.

Keywords: industrial area wastewater, *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

1. PENDAHULUAN

Suatu kawasan industri memiliki IPAL terpusat sebagai salah satu prasarannya. Kawasan industri adalah kawasan tempat pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan

prasarana dan sarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh perusahaan kawasan industri yang telah memiliki izin usaha kawasan industri. Instalasi Pengolahan Air Limbah [IPAL] Terpusat adalah instalasi yang digunakan untuk mengolah air limbah yang berasal dari seluruh industri dan aktivitas pendukungnya yang ada dalam kawasan industri. Kawasan industri dibagi 2 jenis berdasarkan luasan lahannya, yaitu luas 5 – 50 hektar (untuk usaha mikro, kecil, dan menengah) dan luas sekurang-kurangnya 50 hektar dalam satu hamparan (pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang) (Anonim, 2010), (Anonim, 2021).

PT. Ngoro Industri Persada (NIP) merupakan kawasan industri, yang dilengkapi dengan IPAL (Instalasi Pengolah Air Limbah) sebagai salah satu fasilitas bagi industri yang berada di kawasan NIP. Air limbah yang dialirkan ke IPAL NIP merupakan air limbah industri. Adapun urutan pengolahan air limbah adalah: air limbah masuk melalui saluran inlet, unit bangunan DAF (*Dissolved Air Flotation*), unit bangunan equalisasi, unit bangunan koagulasi dan flokulasi, unit bangunan sedimentasi, unit bangunan aerasi atau *activated sludge*, unit bangunan *clarifier*, effluennya IPAL dialirkan ke badan air/sungai. Adapun pengolahan lumpur (*sludge*) IPAL NIP, berupa unit bangunan *thickener*, unit bangunan *belt filter press*, lalu disimpan di bangunan TPS B3 selanjutnya diangkut oleh pihak ketiga menuju pengolahan limbah B3 (Putri & Alfiah, 2024).

Salah satu unit pengolahan biologis yang memanfaatkan *biofilm* yaitu dengan sistem *attached growth* (mikroorganisme yang tumbuh pada media) seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). MBBR memanfaatkan *biofilm* pada sistem *fluidized attached growth*, dimana mikroorganisme tumbuh pada media padat terfluidisasi (melayang-layang dalam air) dalam reaktor (Subagyo *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil penelitian, MBBR memiliki banyak kelebihan untuk mengolah limbah dengan materi organik yang tinggi, beban COD yang tinggi, mampu menahan *shock loading*, ukuran reaktor relatif lebih kecil dan tidak memiliki masalah *sludge bulking*.

Pengolahan limbah cair industri tempe dengan MBBR sistem aliran kontinyu, menggunakan media kaldness K1 dengan volume media 40% dengan waktu sampling 8 jam hasilnya, adalah MBBR mampu menurunkan COD sebesar 87,89%, BOD₅ sebesar 86,91%, TSS sebesar 85,63%, NH₃ sebesar 87,98%, PO₄ sebesar 82,93% (Alisa & Purnomo, 2020). Efisiensi removal nitrogen pada air limbah industri dalam bentuk ammonia dan nitrat melalui proses aerobik yaitu mencapai 80%.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi MBBR untuk mengolah air limbah kawasan industri, ditinjau dari parameter COD, BOD₅, dan NH₃-N.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian yang dilakukan ini, merupakan penelitian skala laboratorium dimana reaktor yang digunakan dioperasikan dengan sistem *batch*. Penelitian ini menggunakan 2 buah reaktor, yaitu reaktor MBBR dan reaktor kontrol untuk mengevaluasi efektivitas pengolahan air limbah industri dengan waktu total proses reaktor selama 24 jam dan tahap pengendapan selama 3 jam. Setelah proses reaktor selesai, limbah yang telah diolah dialirkan ke tahap pengendapan selama 3 jam untuk memisahkan biomassa yang terbentuk. Penelitian ini mengukur efisiensi pengolahan berdasarkan penurunan parameter seperti pH, *Biological Oxygen Demand* (BOD₅), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan Ammonia-Nitrogen (NH₃-N).

2.1. Air Limbah Industri dan Bibit Mikroorganisme

Air limbah yang digunakan untuk penelitian merupakan air limbah terpusat kawasan industri IPAL Ngoro Industri Persada (NIP). Kawasan industri Ngoro Industri Persada menghasilkan limbah cair dengan karakteristik kompleks yang memerlukan pengolahan intensif untuk memenuhi baku mutu lingkungan.

Air limbah yang digunakan untuk penelitian skala laboratorium, diambil dari unit bangunan equalisasi NIP karena bersifat yang homogen, sehingga representatif mewakili berbagai sumber air limbah berbagai industri.

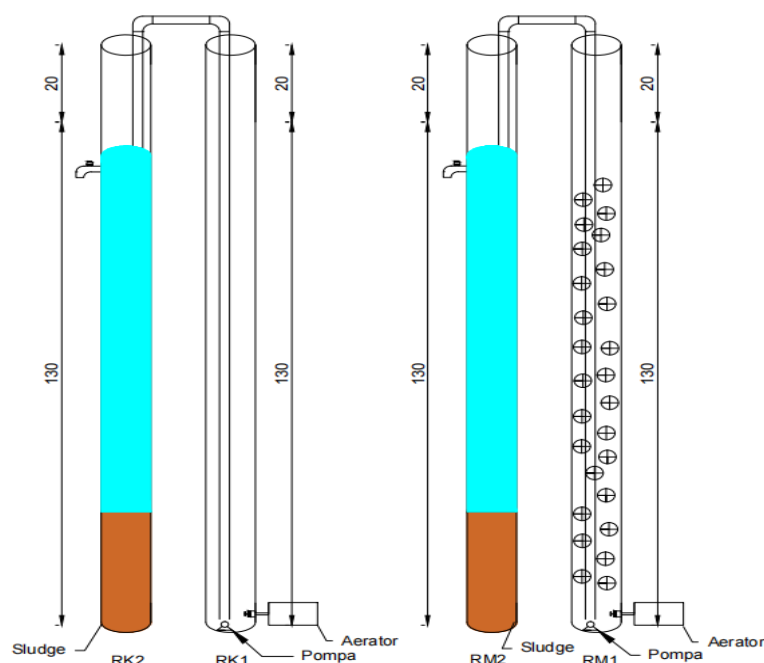
Sedangkan sumber mikroorganisme (bibit mikroba) untuk mengaktifkan biofilm di dalam reaktor MBBR diambil dari unit bangunan clarifier NIP, karena mengandung mikroorganisme yang telah aktif mengolah air limbah industri kawasan NIP pada unit bangunan bangunan aerasi/*activated sludge*.

2.2. Reaktor MBBR

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 2 reaktor yaitu reaktor MBBR, dan reaktor kontrol. Reaktor MBBR adalah reaktor yang digunakan untuk pengujian variabel dengan proses yang berbeda, karena menggunakan media. Reaktor Kontrol adalah reaktor dengan kondisi yang sama dengan reaktor MBBR, tetapi tanpa media di dalam reaktor

Reaktor penelitian terbuat dari pipa PVC diameter 4 inch, aerator, pompa submersible, media kaldness (K1), Selang bening 10 meter, dan Kran kompresor ukuran ¼ inch. Reaktor terbuat dari pipa PVC dengan diameter sekitar ± 10,16 cm (4 *inchi*) dan tinggi 150 cm, sehingga

memiliki volume total sebesar $(0,25 \times 3,14 \times 10,16 \text{ cm} \times 10,16 \text{ cm} \times 150 \text{ cm} = 12.154,8144 \text{ cm}^3 = 10 \text{ Liter})$. Volume efektif pengolahan pada kedua reaktor MBBR batch adalah 10 L, dimana volume media adalah 20% dari volume pengolahan yaitu 2 L, sedangkan volume air limbah 8 Liter.



Gambar 1. Reaktor Penelitian

Keterangan :

- Reaktor control : RK1 = pengolahan tanpa media RK2 = pengendapan
- Reaktor MBBR RM1 = reaktor MBBR dengan media kaldess 1 ; RM2 = pengendapan

2.3. Media MBBR

Teknologi MBBR bekerja dengan memanfaatkan media terfluidisasi dalam air, memiliki luas permukaan besar untuk mendukung pertumbuhan biofilm mikroorganisme. Limbah cair dialirkan ke dalam reaktor, dan mikroorganisme pada biofilm memecah bahan organik serta polutan lainnya. Proses ini didukung oleh aerasi untuk menyediakan oksigen yang cukup bagi aktivitas mikroba.

Reaktor MBBR dilengkapi dengan media biofilm berupa media Kaldness (K1) yang memungkinkan mikroorganisme tumbuh di permukaannya. Mikroorganisme memanfaatkan oksigen yang disediakan melalui sistem aerasi untuk mendegradasi bahan organik seperti BOD₅ dan COD dalam air limbah.

Media kaldnes yang beredar di Indonesia adalah tipe Kaldnes K1, Kaldnes K3, dan Kaldnes K5, dimana ketiga jenis media tersebut memiliki ukuran dan jumlah sekat yang berbeda. Kaldnes K1 umum digunakan pada MBBR untuk mengolah limbah cair (Dhuan *et al.*, 2021), (Subagyo *et al.*, 2022). Kaldness K1 terbuat dari high-density polyethylene dengan total luas permukaan yang besar. Adapun spesifikasi media kaldnes K1 media adalah ; terbuat dari plastik polietilen (PE), Diameter 10 mm, ketebalan 0,5 - 0,8 mm, berbentuk silinder, densitas 0,123 gr/mL, luas permukaan 500 m²/m (Pratiwi *et al.*, 2017), (KOZAK *et al.*, 2022).



Gambar 2. Media Kaldness (K1)

2.4. Seeding dan Aklimatisasi

Sebelum dilakukan uji pada air limbah, terlebih dahulu dilakukan proses seeding dan aklimatisasi mikroorganisme pada media kaldness 1 (K1) untuk masing-masing reactor.

Seeding (Pembibitan)

Pada proses seeding (pemiakan) dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme pada media. Lumpur NIP yang digunakan berasal dari RAS (*Return Activated Sludge*) unit *Clarifier* karena lumpur yang berasal dari unit ini memiliki konsentrasi yang tinggi dan lumpur aerobiknya sudah dalam kondisi fakultatif/anoksik. Reaktor diisi dengan jumlah media sebesar 20% dari total volume reactor.

Proses seeding dilakukan dengan sistem *batch* selama 7 hari sampai biofilm terbentuk pada media Kaldnes K1 dengan ditandai perubahan warna pada media. Media akan berubah warna menjadi kecoklatan dan adanya lapisan biofilm yang mulai menebal menyelimuti permukaan media.

Proses ini dilakukan dengan cara menginjeksikan udara menggunakan aerator ke dalam reaktor MBBR yang sudah terisi media. Injeksi udara tersebut agar proses oksidasi biologi yang dilakukan mikroba dapat berjalan baik.

Aklimatisasi

Lanjutan dari proses seeding tersebut adalah proses aklimatisasi. Tujuan dari proses aklimatisasi adalah untuk mendapatkan mikroorganisme yang stabil dan dapat beradaptasi

dengan air limbah yang dialirkan dalam reaktor. Akhir dari aklimatisasi ditandai dengan penurunan pada parameter uji. Setelah aklimatisasi selesai, akan dilanjutkan untuk proses running.

2.5. Pelaksanaan Penelitian

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian pengolahan limbah cair kawasan industri Ngoro Industri Persada (NIP) adalah sebagai berikut:

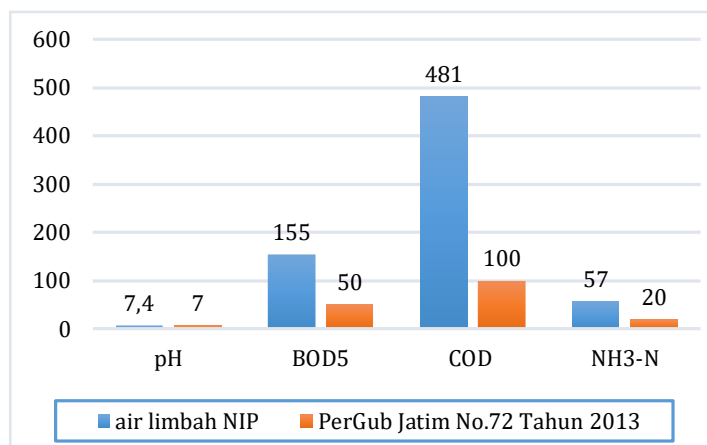
1. Air limbah industri sebanyak 8 liter dimasukkan ke dalam dua reaktor, yaitu RK1 (reaktor kontrol) dan RM1 (reaktor MBBR). Limbah di dalam kedua reaktor diaerasi selama 24 jam untuk mendukung proses degradasi bahan organik dan penyediaan oksigen yang cukup bagi mikroorganisme.
2. Setelah proses aerasi selama 24 jam selesai, air limbah dari RK1 dan RM1 dipindahkan dengan pompa ke reaktor berikutnya, yaitu RK2 dan RM2, untuk menjalani tahap pengendapan. Pengendapan dilakukan selama 3 jam untuk memisahkan biomassa berupa mikroorganisme dan padatan tersuspensi dari air limbah yang telah diolah.
3. Setelah proses pengendapan selesai, air hasil pengolahan dianalisis untuk berbagai parameter, yaitu: COD (*Chemical Oxygen Demand*) untuk mengukur konsentrasi bahan organik total, Nitrat sebagai indikator produk oksidasi nitrogen, Ammonia untuk mengetahui konsentrasi nitrogen amonia dalam limbah, BOD₅ (*Biological Oxygen Demand*) untuk mengevaluasi bahan organik biodegradable, dan pH untuk memastikan tingkat keasaman air limbah.
4. Proses penelitian diulang mulai dari langkah pertama dengan menggunakan air limbah baru yang diambil langsung dari unit *equalisasi* di kawasan industri NIP untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Air Limbah Kawasan Industri

Untuk mengetahui karakteristik air limbah kawasan industri Ngoro Industri Persada (NIP) sampel air limbah diambil dari unit bangunan *equalisasi* NIP yang menampung air limbah dari berbagai industri yang ada di NIP. Berdasarkan Gambar 3.1 terlihat perbandingan antara karakteristik awal air limbah industri Ngoro Industri Persada (NIP) dengan baku mutu (Anomim, 2013). Air limbah kawasan industri NIP melebihi baku mutu Pergub Jatim untuk parameter COD, BOD₅, NH₃-N. Secara keseluruhan, hasil ini

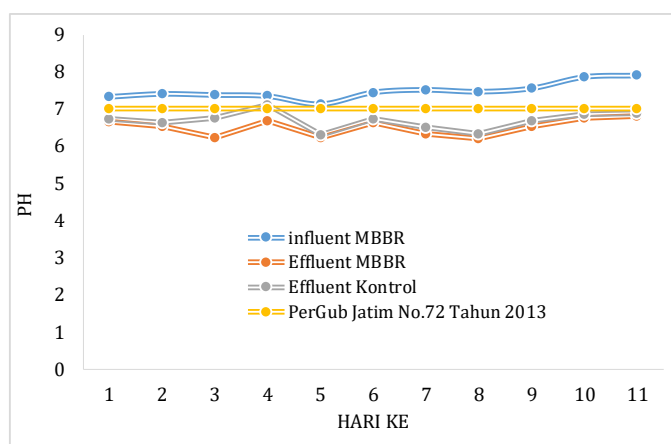
menunjukkan bahwa kualitas air limbah industri NIP membutuhkan pengolahan lebih lanjut untuk memastikan parameter-parameter tersebut berada dalam ambang batas yang diizinkan sebelum air limbah dibuang ke lingkungan, guna mencegah pencemaran dan memenuhi regulasi yang berlaku.



Gambar 3. Karakteristik air limbah kawasan industri Ngoro Industri Persada (NIP)

3.2. Parameter pH

Salah satu parameter penting dalam evaluasi kinerja reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) adalah pH, karena pH memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam proses biodegradasi bahan organik. Pengamatan dilakukan selama 11 hari untuk mengukur pH influen (limbah sebelum diolah) dan effluen (limbah setelah diolah) guna memahami perubahan yang terjadi selama proses pengolahan.



Gambar 4. Grafik pH influen – effluen MBBR

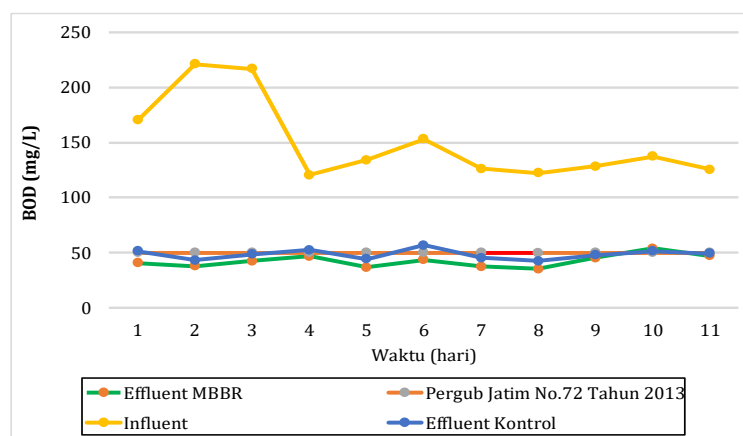
Berdasarkan grafik pengamatan selama 11 hari, nilai pH influen dan effluen pada reaktor MBBR dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan (Anomim, 2013), yaitu rentang pH 6 hingga 9. Selama pengamatan, nilai pH influen berada dalam kisaran 7,13 hingga 7,91,

sedangkan nilai pH effluent berada dalam kisaran 6,21 hingga 6,81. Kedua nilai ini konsisten memenuhi baku mutu yang ditetapkan, baik sebelum maupun setelah pengolahan dalam reaktor.

Proses pengolahan limbah dalam reaktor MBBR menunjukkan penurunan pH yang konsisten dari influent ke effluent, dengan rata-rata penurunan sebesar 0,98. Penurunan ini terjadi karena aktivitas mikroorganisme dalam reaktor yang mendegradasi bahan organik dan senyawa nitrogen. Proses tersebut menghasilkan senyawa seperti asam organik, yang berkontribusi pada penurunan pH. Meskipun demikian, sistem MBBR mampu menjaga agar penurunan ini tidak berlebihan sehingga nilai pH effluent tetap berada dalam rentang aman sesuai baku mutu.

3.3. Parameter BOD₅

Pada penelitian MBBR ini, digunakan air limbah asli yang diambil dari kawasan industri Ngoro Industri Persada (NIP) setiap hari. Nilai BOD₅ inlet MBBR berfluktuasi antara 120 mg/L hingga 221 mg/L. Nilai rata-rata BOD₅ influen sebesar 150,59 mg/L. Reaktor MBBR dioperasikan selama 11 hari, menghasilkan penurunan nilai BOD₅ sebagai berikut :

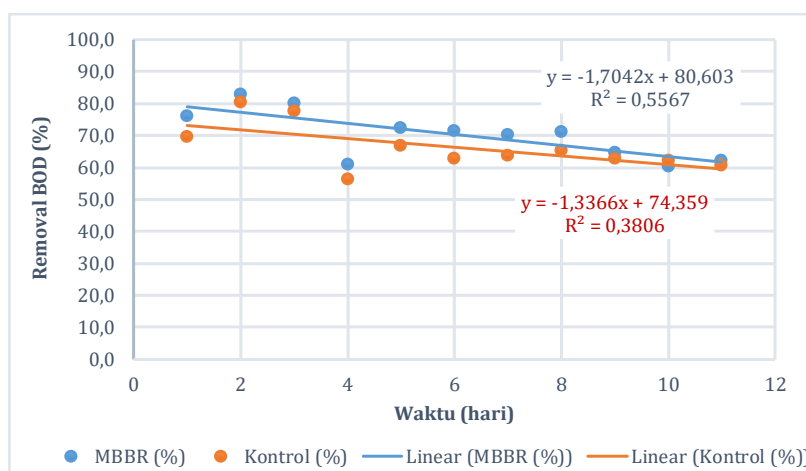


Gambar 5. Nilai BOD₅ pada influen – effluen MBBR

Efluen pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR, memiliki nilai rata-rata 42,5 mg/L, sedangkan efluen BOD₅ pada reaktor kontrol sebesar 48,5 mg/L. Dalam durasi 11 hari, baik reaktor MBBR maupun reaktor kontrol telah menghasilkan efluen BOD₅ yang memenuhi baku mutu (Anomim, 2013), yaitu dibawah 50 mg/L.

Efisiensi parameter BOD₅ pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal ini disebabkan adanya media terfluidisasi kaldness K1 dalam reaktor MBBR, sehingga jumlah biomassa yang tumbuh dalam reaktor lebih banyak dibandingkan reaktor kontrol, sehingga mampu menguraikan lebih banyak senyawa polutan

organik dalam air limbah. Rata-rata efisiensi BOD₅ pengolahan MBBR sebesar 70,4% sedangkan rata-rata efisiensi kontrol sebesar 66,3%.



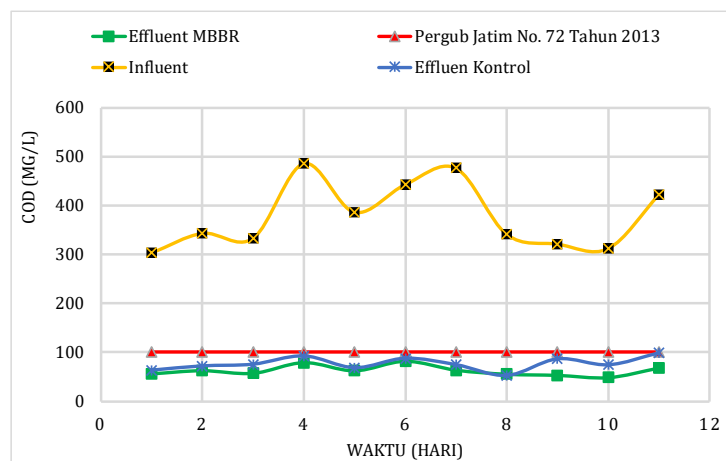
Gambar 6. Removal BOD₅ air limbah industri menggunakan MBBR

Pengolahan biologi menggunakan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik. Senyawa organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme diukur menggunakan parameter BOD₅. Influen pengolahan dengan nilai BOD₅ yang bervariasi menyebabkan mikroorganisme tidak bekerja secara optimal, karena terjadi kejutan beban organik (*organic shock loading*). Beban organik atau nilai BOD₅ yang tiba-tiba tinggi, menyebabkan mikroorganisme membutuhkan waktu untuk beradaptasi.

Efisiensi parameter BOD₅ reaktor MBBR maupun kontrol dalam 11 hari penelitian menunjukkan trend menurun. Untuk mengetahui trend efisiensi penurunan BOD₅ pengolahan air limbah industri menggunakan MBBR diperlukan durasi penelitian yang lebih lama, serta sebaiknya menggunakan influen dengan nilai BOD₅ yang seragam (air limbah buatan atau melalui pengenceran).

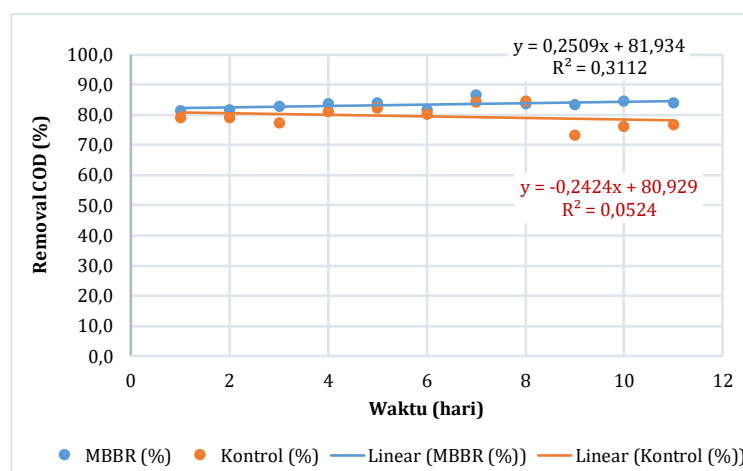
3.4. Parameter COD

Air limbah yang digunakan untuk penelitian MBBR merupakan sampel air limbah asli yang diambil setiap hari dari kawasan industri NIP, sehingga nilai COD influen MBBR berfluktuasi sesuai operasional berbagai industri yang ada di NIP. Nilai COD air limbah NIP bervariasi antara 303 mg/L hingga 486 mg/L. Nilai COD influen berfluktuasi, namun memiliki nilai rata-rata sebesar 379,1 mg/L. Pengolahan air limbah menggunakan MBBR menghasilkan efluen dengan nilai rata-rata COD sebesar 62,4 mg/L dan efluen kontrol sebesar 76,8 mg/L. COD hasil pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR maupun kontrol sudah memenuhi baku mutu (Anomim, 2013), yaitu di bawah 100 mg/L. Pengolahan air limbah menggunakan MBBR menghasilkan nilai efluen COD sebagai berikut:



Gambar 7. Nilai COD pada influen dan efluen MBBR

Rasio nilai BOD₅/COD yang sebesar 0,32. Nilai COD sebesar 481 mg/L, dimana tiga kali lipat lebih besar daripada nilai BOD₅ yang sebesar 155 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah kawasan industri NIP mengandung senyawa organik yang relatif sulit diuraikan mikroorganisme. Namun metode pengolahan biologi MBBR terbukti mampu mengolah air limbah kawasan industri NIP sehingga memenuhi baku mutu.

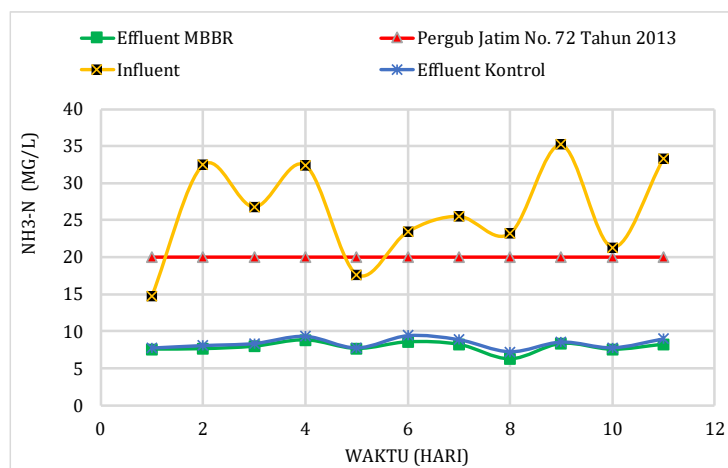


Gambar 8. Removal COD pada pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR

Pengolahan air limbah kawasan industri NIP menggunakan MBBR menghasilkan rata-rata efisiensi COD sebesar 70,4%, sedangkan reaktor kontrol menghasilkan rata-rata efisiensi COD lebih rendah sebesar 66,3 %. Untuk mengetahui kinerja MBBR dalam waktu panjang, diperlukan penelitian lanjutan dengan durasi yang lebih panjang serta menggunakan nilai COD influen yang tidak berflutuasi agar mikroorganisme mampu bekerja secara optimal.

3.5. Parameter $\text{NH}_3\text{-N}$

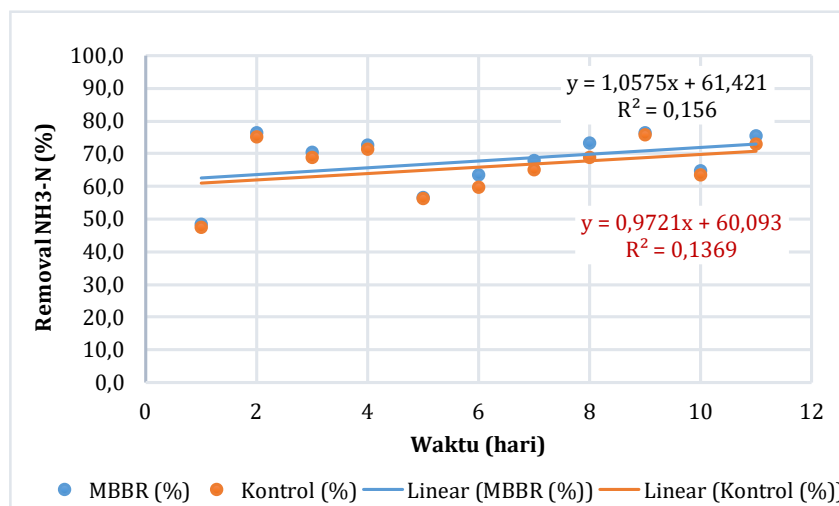
Air limbah yang digunakan untuk penelitian MBBR merupakan air limbah asli, memiliki rata-rata nilai $\text{NH}_3\text{-N}$ sebesar 26 mg/L dengan nilai. Air limbah diambil setiap hari dari kawasan industri NIP memiliki nilai $\text{NH}_3\text{-N}$ berfluktuasi antara 14,4 mg/L hingga 35,2 mg/L. Adapun baku mutu untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ kawasan industri adalah sebesar 20 mg/L. Hasil pengolahan MBBR untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ disajikan sebagai berikut :



Gambar 9. Nilai $\text{NH}_3\text{-N}$ pada influen dan efluen MBBR

Nilai rata-rata $\text{NH}_3\text{-N}$ air limbah kawasan industri yang digunakan sebagai influen reaktor MBBR sebesar 26 mg/L melebihi baku mutu yang berlaku sebesar 20 mg/L (Anonim, 2010), (Anonim, 2013). Hasil pengolahan MBBR menunjukkan nilai parameter MBBR di bawah baku mutu dengan rata-rata sebesar 7,9 mg/L sedangkan efluen reaktor kontrol sebesar 8,4 mg/L. berdasarkan hasil penelitian ini, pengolahan biologi terbukti mampu menurunkan konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ pada air limbah kawasan industri, dimana penambahan media terfluidisasi (media kaldness K1) dapat meningkatkan efisiensi pengolahan (reaktor MBBR) dibandingkan tanpa media (reaktor kontrol).

Efisiensi pengolahan menunjukkan trend meningkat terhadap waktu, baik pada reaktor MBBR maupun reaktor kontrol. Efisiensi pengolahan MBBR untuk parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ rata-rata sebesar 67,8% sedang rata-rata reaktor kontrol sebesar 65,9%. Efisiensi pengolahan $\text{NH}_3\text{-N}$ pada penelitian ini masih relatif kecil, dibawah 70%. Untuk mengetahui efisiensi removal optimum parameter $\text{NH}_3\text{-N}$ menggunakan MBBR perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan nilai air limbah inlet $\text{NH}_3\text{-N}$ yang seragam dengan durasi penelitian yang lebih lama.



Gambar 10. Efisiensi NH₃-N menggunakan MBBR

3.6. Efisiensi Pengolahan MBBR

Penelitian MBBR ini menggunakan air limbah asli IPAL kawasan industri NIP, sehingga nilai parameter BOD₅, COD dan NH₃-N bervariasi selama jangka waktu penelitian. Untuk mengkaji kinerja MBBR dalam mengolah air limbah kawasan industri ditampilkan nilai rata-rata BOD₅, COD dan NH₃-N influen maupun effluen selama jangka waktu penelitian, yang disajikan dalam tabel dan grafik berikut :

Tabel 1. Efisiensi pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR

Parameter	Satuan	PerGub Jatim 72/2013	Air Limbah NIP	Effluen MBBR rata-rata	Efisiensi rata-rata (%)
pH	-	7	7,49	6,51	13,1
BOD ₅	mg/L	50	150,6	42,5	71,8
COD	mg/L	100	379,1	62,4	83,5
NH ₃ -N	mg/L	20	26	7,9	69,6

Sumber: Hasil penelitian, 2024

Pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan MBBR menghasilkan efisiensi BOD₅, COD dan NH₃-N berturut-turut sebesar 71,8%, 83,5% dan 69,6%. Dalam jangka waktu penelitian yang singkat, 11 hari MBBR telah memiliki efisien yang cukup tinggi, diatas 69% untuk parameter BOD₅, COD dan NH₃-N. Untuk mengetahui kinerja optimum dari MBBR, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan durasi penelitian yang lebih lama.

Pengolahan biologi MBBR yang menggunakan media terfluidisasi Kaldness K1 sebagai tempat tumbuh mikroorganisme, mampu menurunkan BOD₅ dari 160,6 mg/L menjadi 42,5 mg/L, parameter COD dari 379,1 mg/L menjadi 62,4 mg/L dan parameter NH₃-N dari 26 mg/L menjadi 7,9 mg/L. MBBR menghasilkan effluen dengan BOD₅ rata-rata 42,5 mg/L lebih rendah

dari baku mutu sebesar 50 mg/L. Untuk parameter COD, efluen MBBR sebesar 62,4 mg/L dibawah baku mutu yang disyaratkan sebesar 100 mg/L. Parameter NH₃-N hasil pengolahan MBBR sebesar 7,9 mg/L lebih rendah daripada baku mutu sebesar 20 mg/L. Teknologi MBBR mampu mengolah air limbah kawasan industri sehingga memenuhi baku mutu yang berlaku (Anomim, 2013).

MBBR sesuai digunakan untuk mengolah limbah cair industri (Farhami *et al.*, 2025). Pengolahan air limbah kawasan industri menunjukkan adanya peningkatan faktor biodegradabilitas (rasio BOD/COD), pada influen sebesar 0,4, setelah pengolahan MBBR meningkat menjadi 0,68. Peningkatan faktor biogradabilitas merupakan hasil dari proses pengolahan MBBR (Farhami *et al.*, 2025). Kelebihan MBBR dibandingkan pengolahan lainnya, adalah sistem MBBR menggabungkan pengolahan biologi terlekat dan tersuspensi. Mikroorganisme dalam reaktor berada dalam kondisi aerob karena disediakan aerasi dari bagian bawah reaktor, dan tumbuh dalam reaktor dalam bentuk tersuspensi dan melekat pada permukaan media kaldness (Gzar *et al.*, 2021). Selain itu sistem MBBR tidak memerlukan adanya resirkulasi lumpur untuk mempertahankan kinerjanya dalam mengolah air limbah (Slamet *et al.*, 2023). Tanpa adanya resirkulasi lumpur, maka volume reaktor MBBR lebih kecil dibandingkan pengolahan biologi lainnya, sehingga MBBR dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan air limbah yang menjanjikan.

4. KESIMPULAN

Pengolahan air limbah kawasan industri menggunakan teknologi MBBR dengan media Kaldness K1 menghasilkan efisiensi BOD₅, COD dan NH₃-N berturut-turut sebesar 71,8%, 83,5% dan 69,6%. Pengolahan biologi MBBR menurunkan nilai BOD₅, COD dan NH₃-N berturut-turut dari 160,6 mg/L, 379,1 mg/L dan 26 mg/L menjadi 42,5 mg/L, 62,4 mg/L dan 7,9 mg/L. Efluen pengolahan MBBR untuk air limbah kawasan industri telah memenuhi baku mutu yang berlaku. Teknologi MBBR merupakan teknologi pengolah air limbah yang menjanjikan untuk digunakan pada berbagai jenis air limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alisa, N., & Purnomo, Y. S. (2020). Penurunan Kandungan Polutan Pada Air Limbah Industri Tempe Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Envirous*, 1(1), 42–47. <https://doi.org/10.33005/envirous.v1i1.9>
- Anomim. (2013). *Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 Thaun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Lainnya* (Vol. 1950, pp. 1–35).

- https://labdlh.banyuwangikab.go.id/konten/konten_detail/pergub
- Anonim. (2010). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.03 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri* (Vol. 53, Issue 9, pp. 1689–1699).
- Anonim. (2021). *PermenLHK No 5 tahun 2021 tentang Tata Cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat kelayakan Operasional Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan* (pp. 1–254). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. [https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/994/210704030158Permen No 5 Tahun 2021 tentang Pertek dan SLO PPKL.pdf](https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/994/210704030158Permen%20No%205%20Tahun%2021%20tentang%20Pertek%20dan%20SLO%20PPKL.pdf)
- Dhuan, D., Fitria, L., & Kadaria, U. (2021). Efisiensi Pengolahan Limbah Cair Hotel Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 9(2), 051–01. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v9i2.47491>
- Farhami, N., Derakhshandeh, M., & Hakki, H. K. (2025). Exploring COD and BOD removal from industrial wastewater using a moving bed biofilm reactor (MBBR). *Desalination and Water Treatment*, 322, 101177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101177>
- Gzar, H. A., Al-Rekabi, W. S., & Shuhaieb, Z. K. (2021). Application of Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) for Treatment of Industrial Wastewater: A mini Review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012024>
- Kozak, M., Göçer, S., Duyar, A., Ayranpinar, İ., Köroğlu, E. O., & Çirik, K. (2022). Investigation of Biofilm Formation on Kaldnes K1. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 565–569. <https://doi.org/10.17780/ksujes.1137084>
- Pratiwi, R., Notodarmojo, S., & Helmy, Q. (2017). Decolourization of remazol black-5 textile dyes using moving bed bio-film reactor. *The 4th International Seminar on Sustainable Urban Development*, 106(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012089>
- Putri, I. S., & Alfiah, T. (2024). Efisiensi Pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Kawasan Industri NIP. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan XII*, 1–7. <https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/6684/4282>
- Slamet, A., Rayhan, D., & Masduqi, A. (2023). Moving Bed Biofilm Reactor Untuk Menurunkan BOD dan Nutrien pada Air Limbah Industri Susu. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 63–74.
- Subagyo, A., Arifin, A., & Kadaria, U. (2022). Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Efisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2), 239–246. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v10i2.56415>