

# Efektivitas Penyisihan COD, BOD, dan Amonia Menggunakan Media PUF-PVA pada Sistem *Oxic - Anoxic Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Dea Raivani Claresta Hamzah\*, Rizka Novembrianto

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

\*Koresponden email: 22034010069@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 23 Juni 2026

Disetujui: 28 Juni 2026

## Abstract

Improving the quality of domestic wastewater treatment is necessary to reduce environmental pollution caused by high levels of organic matter and nitrogen compounds. This study aims to analyze the effectiveness of Polyurethane Foam (PUF) and Polyurethane Foam–Polyvinyl Alcohol (PUF-PVA) media in an MBBR system under oxic-anoxic conditions in removing BOD, COD, and ammonia. The study used domestic wastewater consisting of a mixture of graywater and blackwater from the UPN “Veteran” dormitory in East Java. The PUF-PVA media were prepared using the freeze-thaw method with an 8% PVA concentration. The media volume was varied at 30%, 40%, and 50%, with a hydraulic retention time (HRT) of 8 hours, consisting of a 3-hour oxic cycle and a 1-hour anoxic cycle. The results showed that increasing the media volume improved removal efficiency for both types of media. The PUF-PVA media performed better than the PUF media for all tested parameters. Optimal conditions were achieved with the PUF-PVA media at a 50% volume, resulting in BOD removal efficiency of 85.8%, COD removal efficiency of 73.8%, and ammonia removal efficiency of 88.3%, indicating higher organic and nitrogen removal than the PUF media.

**Keywords:** *domestic wastewater, mbb, puf, puf-pva, bod, cod, ammonia*

## Abstrak

Peningkatan kualitas pengolahan air limbah domestik diperlukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat tingginya kandungan bahan organik dan senyawa nitrogen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas media *Polyurethane Foam* (PUF) dan *Polyurethane Foam–Polyvinyl Alcohol* (PUF-PVA) pada sistem MBBR dengan kondisi *oxic-anoxic* dalam menyisihkan parameter BOD, COD, dan amonia. Penelitian menggunakan air limbah domestik campuran *grey water* dan *black water* dari Asrama UPN “Veteran” Jawa Timur. Media PUF-PVA dibuat menggunakan metode *freeze-thaw* dengan konsentrasi PVA 8%. Variasi volume media yang digunakan sebesar 30%, 40%, dan 50% dengan waktu tinggal hidrolis (*Hydraulic Retention Time/HRT*) selama 8 jam pada siklus *oxic* 3 jam dan *anoxic* 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan volume media meningkatkan efisiensi penyisihan pada kedua jenis media. Media PUF-PVA menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan PUF pada seluruh parameter yang diuji. Kondisi optimum diperoleh pada media PUF-PVA dengan volume media 50% yang menghasilkan efisiensi penyisihan BOD sebesar 85,8%, COD sebesar 73,8%, dan amonia sebesar 88,3%, menunjukkan penyisihan organik dan nitrogen lebih tinggi daripada media PUF.

**Kata Kunci:** *air limbah domestik, mbb, puf, puf-pva, bod, cod, amonia*

## 1. Pendahuluan

Akses terhadap sanitasi yang layak dan pengelolaan air limbah yang berkelanjutan merupakan salah satu target utama dalam *Sustainable Development Goals* (SDGs). Pengelolaan air limbah yang tidak memadai dapat menyebabkan penurunan kualitas badan air, mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, serta meningkatkan risiko kesehatan masyarakat. Air limbah domestik merupakan salah satu sumber pencemar yang berkontribusi terhadap permasalahan tersebut karena dihasilkan secara kontinu dari berbagai aktivitas sehari-hari, seperti mandi, mencuci, memasak, dan penggunaan fasilitas sanitasi. Meskipun volumenya relatif besar, pengolahan air limbah domestik di berbagai kawasan masih didominasi oleh unit pengolahan sederhana, seperti septic tank, yang umumnya hanya berfungsi sebagai pengolahan primer [1].

Efluen yang dihasilkan dari pengolahan primer masih mengandung bahan organik dan senyawa nitrogen dalam konsentrasi yang cukup tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang

secara langsung ke badan air. Kandungan bahan organik yang tinggi ditunjukkan oleh nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), sedangkan keberadaan senyawa nitrogen berkontribusi terhadap penurunan kualitas perairan dan dapat memicu gangguan lingkungan, termasuk pembentukan bau dan eutrofikasi. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan lanjutan yang mampu menyisahkan bahan organik dan nitrogen secara efektif sebelum air limbah dilepas ke perairan [2].

Salah satu teknologi biologis yang banyak dikembangkan untuk pengolahan air limbah domestik adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Teknologi ini memanfaatkan pertumbuhan mikroorganisme dalam bentuk biofilm yang melekat pada media bergerak di dalam reaktor, sehingga memungkinkan terjadinya akumulasi biomassa dalam konsentrasi yang tinggi. Dibandingkan dengan proses lumpur aktif konvensional, MBBR memiliki keunggulan berupa stabilitas operasional yang lebih baik terhadap fluktuasi beban organik serta tidak memerlukan sistem resirkulasi lumpur yang kompleks [3]. Selain itu, penerapan kondisi *oxic-anoxic* secara bergantian pada sistem MBBR memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara terintegrasi, sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan senyawa nitrogen di dalam reaktor [4].

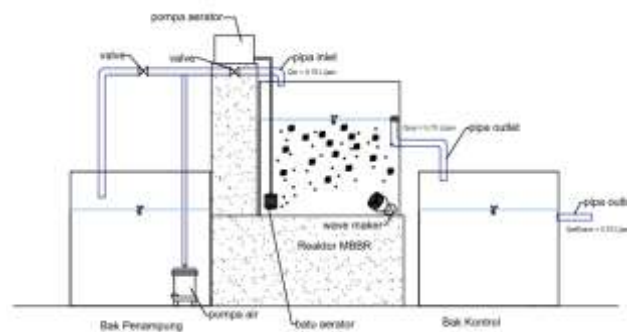
Dalam pengoperasian MBBR, pemilihan media yang tepat menjadi faktor penting dalam mendukung pembentukan dan stabilitas biofilm. Salah satu material yang banyak digunakan adalah polyurethane foam (PUF) karena memiliki porositas tinggi dan luas permukaan spesifik yang besar sehingga mampu meningkatkan akumulasi biomassa [1]. Namun, beberapa studi melaporkan bahwa daya lekat mikroorganisme pada PUF masih relatif terbatas sehingga dapat memengaruhi kestabilan biofilm selama operasi. Untuk meningkatkan kinerjanya, PUF dapat dimodifikasi dengan *polyvinyl alcohol* (PVA) yang berfungsi meningkatkan sifat hidrofilik serta menyediakan matriks gel yang mampu menahan biomassa di dalam struktur pori, sehingga mempercepat pembentukan biofilm dan meningkatkan stabilitasnya [5].

## 2. Metode Penelitian

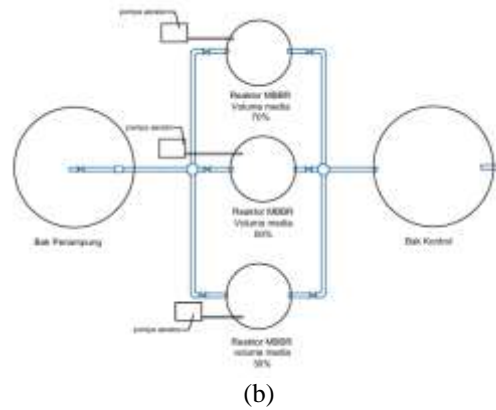
Pelaksanaan penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Air limbah yang digunakan merupakan air limbah domestik campuran *grey water* dan *black water* dari Asrama UPN “Veteran” Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan media *Polyurethane Foam* (PUF) yang diimpregnasi *Polyvinyl Alcohol* (PVA) gel (PUF-PVA) menggunakan metode *freeze-thaw* ukuran 1 x 1 x 1 cm dengan konsentrasi PVA 8%. Penelitian ini berfokus pada pengujian parameter BOD, COD, dan Amonia serta penyajian data secara grafis terkait efisiensi penurunan parameter tersebut pada kondisi operasional yang telah ditentukan. Operasional penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan volume media PUF dan PUF-PVA sebesar 30%, 40%, dan 50% dengan dua kondisi : fase *oxic* 3 jam *anoxic* 1 jam dan *oxic* 2 jam *anoxic* 2 jam dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) 8 jam.

Pada tahap awal, dilakukan proses pengembangbiakan mikroorganisme (*seeding*) dan aklimatisasi yang dilakukan secara *batch*. Selama *seeding* dilakukan pengujian *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS). Pengukuran MLSS bertujuan untuk memantau pertumbuhan biomassa hingga mencapai kisaran optimal 2.000–4.000 mg/L [6]. Selanjutnya, pada tahap aklimatisasi dilakukan pengukuran COD untuk mengevaluasi kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik serta menilai keberhasilan proses adaptasi terhadap air limbah domestik [7]. Saat aklimatisasi dilakukan penambahan air limbah secara bertahap dengan konsentrasi 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Setelah *seeding* dan aklimatisasi dilakukan, penelitian utama dilakukan dengan mengoperasikan aerator dan wave maker untuk menciptakan kondisi *oxic* dengan kadar Oksigen terlarut (DO) > 2 mg/L, sedangkan kondisi *anoxic* hanya mengoperasikan *wave maker* tanpa aerator untuk menjaga kada DO < 2 mg/L. Penelitian utama dilakukan secara kontinu dengan parameter yang diuji dan diolah BOD, COD, dan amonia. Selain itu dilakukan juga pemantauan pH, suhu, dan DO.



(a)



**Gambar 1.** (a) Potongan Reaktor Penelitian *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), (b) Denah Reaktor Penelitian MBBR

Pada **Gambar 1** (a) merupakan gambar potongan reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dan gambar 1 (b) merupakan denah reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang memiliki dimensi diameter 26 cm dan tinggi 24 cm. Masing-masing reaktor memiliki rotor pengaduk (*wave maker*) dengan spek 3000 L/jam dengan power 6 watt serta aerator 2,5 L/min.

### 3. Hasil dan Pembahasan Karakteristik Limbah Awal

Pada penelitian ini, dilakukan analisis awal terhadap kualitas air limbah yang digunakan sebagai influen pada sistem reaktor. Analisis awal ini mencakup beberapa parameter utama, yaitu *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan amonia, yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik awal limbah sebelum memasuki proses pengolahan lebih lanjut. Hasil pengujian awal tersebut kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku sebagai acuan untuk menilai tingkat pencemaran dan kebutuhan pengolahan. Adapun hasil analisis awal parameter BOD, COD, dan amonia tersebut disajikan pada **Tabel 1** berikut.

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu
BOD	mg/L	70	50
COD	mg/L	233,3	100
Amonia	mg/L	23	20

Berdasarkan hasil karakterisasi awal, kualitas air limbah domestik yang digunakan masih melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LH No. 11 Tahun 2025 pada beberapa parameter, sehingga diperlukan pengolahan lanjutan sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), yang memanfaatkan media sebagai tempat tumbuh biofilm untuk mendegradasi bahan organik dan senyawa nitrogen [3]. Media *Polyurethane Foam* (PUF) dipilih karena memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang besar, namun sifatnya yang relatif hidrofobik dapat membatasi perlekatan mikroorganisme [8]. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi dengan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) yang bersifat hidrofilik untuk meningkatkan pembentukan dan retensi biofilm pada media. Penelitian oleh Anh Phan et al. (2023) menunjukkan bahwa media PUF-PVA menghasilkan biomassa biofilm yang lebih tinggi dibandingkan PUF serta mampu menyisihkan COD hingga sekitar 92%, sehingga berpotensi meningkatkan kinerja MBBR dalam pengolahan air limbah domestik [9].



**Gambar 1.** Media PUF dan PUF-PVA setelah *seeding*

Sebelum pengoperasian MBBR, dilakukan proses *seeding* dan aklimatisasi untuk mengoptimalkan kemampuan serta laju pertumbuhan mikroorganisme. Proses *seeding* dilakukan selama 3 minggu dengan penambahan molase dan EM4 untuk mendukung pertumbuhan serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme. Pertumbuhan mikroorganisme ditandai dengan adanya perubahan warna dan terbentuknya lapisan kecoklatan pada media yang menunjukkan perkembangan biofilm [4].

Selanjutnya, dilakukan proses aklimatisasi sebanyak empat tahap dengan variasi konsentrasi sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Tahap ini bertujuan agar mikroorganisme dapat beradaptasi secara bertahap terhadap karakteristik air limbah yang digunakan. Setelah proses aklimatisasi selesai, penelitian utama dapat dilakukan.

Penelitian utama dilakukan selama 8 jam dengan siklus fase *oxic* selama 3 jam dan fase *anoxic* selama 1 jam. Pada fase *oxic*, kadar *dissolved oxygen* (DO) dipertahankan pada nilai di atas 2 mg/L, sedangkan fase *anoxic* ditandai dengan penurunan kadar DO hingga kurang dari 2 mg/L. Penelitian menggunakan tiga reaktor dengan variasi persentase volume media, yaitu 30%, 40%, dan 50%.

### Hasil Penelitian

Penelitian utama dilakukan selama 8 jam dengan waktu *oxic* 3 jam dan *anoxic* 1 jam. Pada fase *oxic* ini DO dipertahankan pada angka di atas 2 mg/L, sedangkan fase *oxic* ditunjukkan oleh perubahan DO menjadi < 2 mg/L [10]. Terdapat tiga reaktor yang divariasikan berdasarkan volume media, yakni 30%, 40%, dan 50%. Hasil akhir parameter sebagai berikut :

Media	Volume	BOD (mg/L)		COD (mg/L)		Amonia (mg/L)	
		Influen	Efluen	Influen	Efluen	Influen	Efluen
PUF	30%		31.4		160.0		7.8
	40%	70.0	25.0	320.0	136.0	22.4	4.9
	50%		15.4		104.0		3.6
PUF-PVA	30%		37.8		128.0		5.4
	40%	86.0	31.4	336.0	112.0	23.0	4.7
	50%		12.2		88.0		2.7

Pada media PUF, konsentrasi BOD efluen menurun dari 31,4 mg/L pada volume 30% menjadi 15,4 mg/L pada volume 50%. Tren serupa juga terjadi pada COD yang menurun dari 160,0 mg/L menjadi 104,0 mg/L, serta amonia dari 7,8 mg/L menjadi 3,6 mg/L. Sementara itu, media PUF-PVA juga menunjukkan pola penurunan yang sama, dengan konsentrasi BOD menurun dari 37,8 mg/L menjadi 12,2 mg/L, COD dari 128,0 mg/L menjadi 88,0 mg/L, dan amonia dari 5,4 mg/L menjadi 2,7 mg/L.

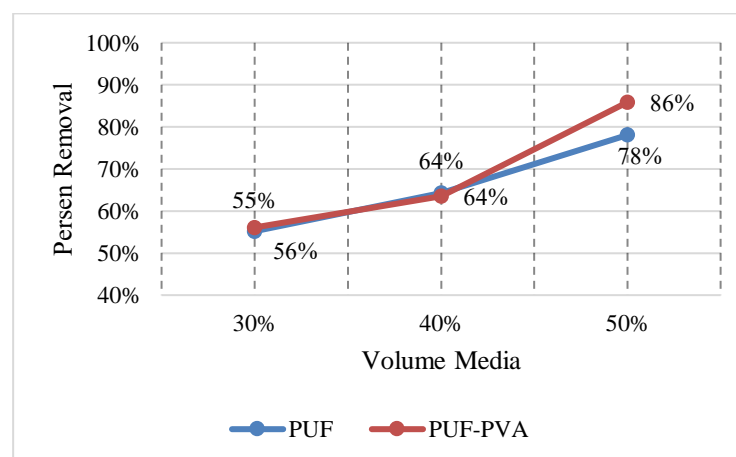
Pelaksanaan penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Air limbah yang digunakan merupakan air limbah domestik campuran *grey water* dan *black water* dari Asrama UPN “Veteran” Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan media *Polyurethane Foam* (PUF) yang diimpregnasi *Polyvinyl Alcohol* (PVA) gel (PUF-PVA) menggunakan metode *freeze-thaw* ukuran 1 x 1 x 1 cm dengan konsentrasi PVA 8%. Penelitian ini berfokus pada pengujian parameter BOD, COD, dan Amonia serta penyajian data secara grafis terkait efisiensi penurunan parameter tersebut pada kondisi operasional yang telah ditentukan. Operasional penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan volume

media PUF dan PUF-PVA sebesar 30%, 40%, dan 50% dengan kondisi fase *oxic* 3 jam *anoxic* 1 jam dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) 8 jam.

Pada tahap awal, dilakukan proses pengembangbiakan mikroorganisme (*seeding*) dan aklimatisasi yang dilakukan secara batch. Selama *seeding* dilakukan pengujian *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS). Pengukuran MLSS bertujuan untuk memantau pertumbuhan biomassa hingga mencapai kisaran optimal 2.000–4.000 mg/L [6]. Selanjutnya, pada tahap aklimatisasi dilakukan pengukuran COD untuk mengevaluasi kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik serta menilai keberhasilan proses adaptasi terhadap air. Pelaksanaan penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Air limbah yang digunakan merupakan air limbah domestik campuran *grey water* dan *black water* dari Asrama UPN “Veteran” Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan media *Polyurethane Foam* (PUF) yang diimpregnasi *Polyvinyl Alcohol* (PVA) gel (PUF-PVA) menggunakan metode *freeze-thaw* ukuran 1 x 1 x 1 cm dengan konsentrasi PVA 8%. Penelitian ini berfokus pada pengujian parameter BOD, COD, dan Amonia serta penyajian data secara grafis terkait efisiensi penurunan parameter tersebut pada kondisi operasional yang telah ditentukan. Operasional penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan volume media PUF dan PUF-PVA sebesar 30%, 40%, dan 50% dengan dua kondisi : fase *oxic* 3 jam *anoxic* 1 jam dan *oxic* 2 jam *anoxic* 2 jam dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) 8 jam.

Pada tahap awal, dilakukan proses pengembangbiakan mikroorganisme (*seeding*) dan aklimatisasi yang dilakukan secara batch. Selama *seeding* dilakukan pengujian *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS). Pengukuran MLSS bertujuan untuk memantau pertumbuhan biomassa hingga mencapai kisaran optimal 2.000–4.000 mg/L. Selanjutnya, pada tahap aklimatisasi dilakukan pengukuran COD untuk mengevaluasi kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik serta menilai keberhasilan proses adaptasi terhadap air. Pelaksanaan penelitian ini berada di Laboratorium Teknik Lingkungan UPN “Veteran” Jawa Timur. Air limbah yang digunakan merupakan air limbah domestik campuran *grey water* dan *black water* dari Asrama UPN “Veteran” Jawa Timur. Pada penelitian ini menggunakan media *Polyurethane Foam* (PUF) yang diimpregnasi *Polyvinyl Alcohol* (PVA) gel (PUF-PVA) menggunakan metode *freeze-thaw* ukuran 1 x 1 x 1 cm dengan konsentrasi PVA 8%. Penelitian ini berfokus pada pengujian parameter BOD, COD, dan Amonia serta penyajian data secara grafis terkait efisiensi penurunan parameter tersebut pada kondisi operasional yang telah ditentukan. Operasional penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan volume media PUF dan PUF-PVA sebesar 30%, 40%, dan 50% dengan dua kondisi : fase *oxic* 3 jam *anoxic* 1 jam dan *oxic* 2 jam *anoxic* 2 jam dengan waktu tinggal hidrolis (HRT) 8 jam.

Pada tahap awal, dilakukan proses pengembangbiakan mikroorganisme (*seeding*) dan aklimatisasi yang dilakukan secara batch. Selama *seeding* dilakukan pengujian *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS). Pengukuran MLSS bertujuan untuk memantau pertumbuhan biomassa hingga mencapai kisaran optimal 2.000–4.000 mg/L. Selanjutnya, pada tahap aklimatisasi dilakukan pengukuran COD untuk mengevaluasi kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik serta menilai keberhasilan proses adaptasi terhadap air.

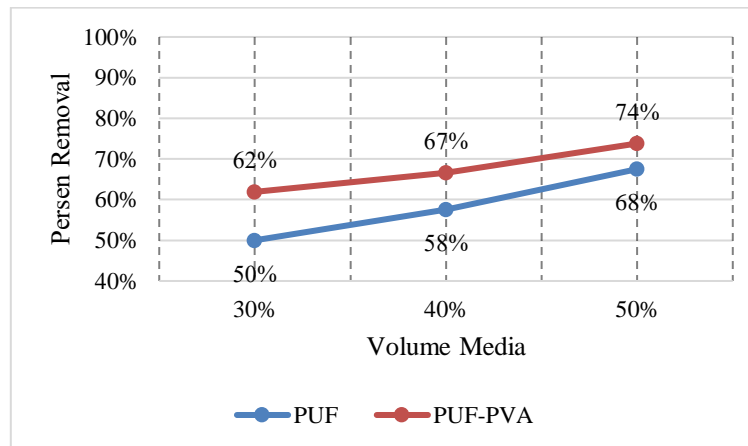


**Gambar 2.** Grafik Persen Removal BOD

**Gambar 2** menunjukkan efisiensi penyisihan BOD pada media PUF dan PUF-PVA dengan variasi volume media sebesar 30%, 40%, dan 50%. Pada volume media 30% dan 40%, kedua jenis media menghasilkan efisiensi penyisihan BOD yang relatif serupa dengan selisih nilai yang tidak terlalu besar. Namun, pada volume media 50%, media PUF-PVA menunjukkan efisiensi penyisihan yang lebih tinggi

dibandingkan media PUF dengan selisih sekitar 8%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan volume media cenderung meningkatkan kinerja penyisihan BOD. Semakin besar volume media yang digunakan, semakin luas permukaan yang tersedia untuk pertumbuhan biofilm sehingga jumlah biomassa yang berperan dalam proses biodegradasi bahan organik juga meningkat. Kondisi ini memungkinkan kontak yang lebih intensif antara mikroorganisme dan substrat sehingga proses penyisihan bahan organik dapat berlangsung lebih efektif [11]

Dalam studi Anh et al. selain dipengaruhi oleh peningkatan volume media, tingginya efisiensi penyisihan pada media PUF-PVA berkaitan dengan keberadaan PVA pada media [9]. Penambahan PVA dapat meningkatkan kemampuan adhesi mikroorganisme pada permukaan media sehingga proses penempelan dan pembentukan biofilm berlangsung lebih optimal [12]. Peningkatan adhesi mikroorganisme tersebut memungkinkan biomassa yang terbentuk menjadi lebih stabil dan padat, sehingga aktivitas biodegradasi bahan organik dapat meningkat dan menghasilkan efisiensi penyisihan BOD yang lebih tinggi.

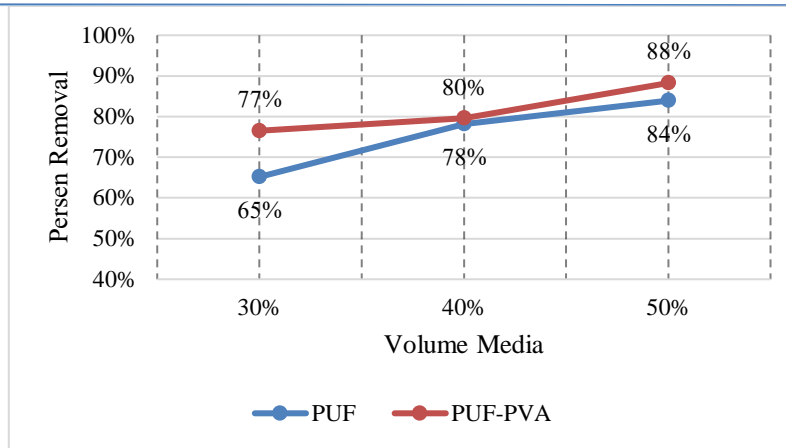


**Gambar 3.** Grafik Persen Removal COD

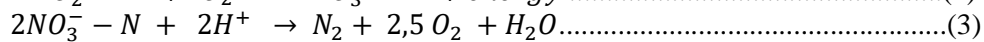
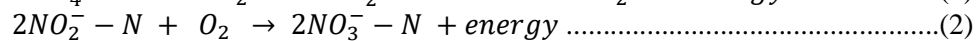
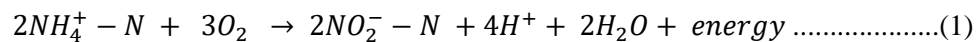
**Gambar 3** menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD pada media PUF maupun PUF-PVA cenderung meningkat pada volume media yang lebih besar. Selain itu, media PUF-PVA menghasilkan persentase penyisihan COD yang lebih tinggi dibandingkan media PUF pada seluruh variasi volume media. Pada volume media 30%, 40%, dan 50%, media PUF-PVA menghasilkan penyisihan COD masing-masing sebesar 62%, 67%, dan 74%, sedangkan media PUF sebesar 50%, 58%, dan 68%. Hasil ini menunjukkan bahwa penyisihan COD dipengaruhi oleh volume media yang digunakan serta karakteristik media sebagai tempat tumbuh biofilm.

Temuan ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa peningkatan filling ratio media pada MBBR dapat meningkatkan penyisihan bahan organik karena bertambahnya luas permukaan spesifik untuk pertumbuhan biofilm. Zhao et al. melaporkan bahwa peningkatan filling ratio hingga 50% menghasilkan efisiensi penyisihan COD yang lebih tinggi dibandingkan filling ratio yang lebih rendah. Penelitian Anh et al. melaporkan bahwa media PUF-PVA memiliki kemampuan perlekatan mikroorganisme yang lebih baik dengan jumlah biofilm pada tahap start-up mencapai 2,4 kali lebih tinggi dibandingkan media PUF konvensional [9].

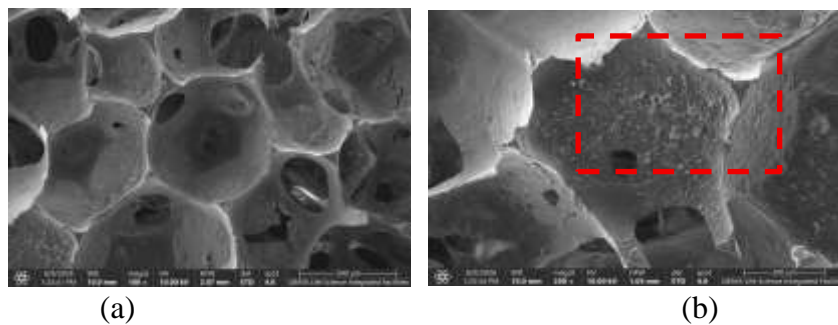
**Gambar 3** menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan amonia pada media PUF maupun PUF-PVA cenderung meningkat pada volume media yang lebih besar. Selain itu, media PUF-PVA menghasilkan persentase penyisihan amonia yang lebih tinggi dibandingkan media PUF pada seluruh variasi volume media. Pada volume media 30%, 40%, dan 50%, media PUF-PVA menghasilkan penyisihan amonia masing-masing sebesar 77%, 80%, dan 88%, sedangkan media PUF sebesar 65%, 78%, dan 84%. Peningkatan volume media memungkinkan tersedianya luas permukaan yang lebih besar bagi pertumbuhan mikroorganisme nitrifikasi, seperti bakteri pengoksidasi amonia (*ammonia-oxidizing bacteria*) dan bakteri pengoksidasi nitrit (*nitrite-oxidizing bacteria*). Bertambahnya biomassa yang menempel pada media dapat meningkatkan laju konversi amonia menjadi nitrit dan nitrat sehingga efisiensi penyisihan amonia menjadi lebih tinggi [13].



Gambar 4. Grafik Persen Removal Amonia



Peningkatan penyisihan amonia pada volume media yang lebih tinggi menunjukkan bahwa proses nitrifikasi berlangsung lebih efektif akibat meningkatnya jumlah mikroorganisme yang tumbuh pada permukaan media. Pada kondisi aerob (*oxic*), amonia dioksidasi menjadi nitrit oleh bakteri pengoksidasi amonia (*ammonia-oxidizing bacteria*, AOB), kemudian nitrit dioksidasi lebih lanjut menjadi nitrat oleh bakteri pengoksidasi nitrit (*nitrite-oxidizing bacteria*, NOB) [14]. Reaksi nitrifikasi tersebut ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2). Selanjutnya, nitrat yang terbentuk dapat direduksi menjadi gas nitrogen pada fase anoksik melalui proses denitrifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3) [15]. Oleh karena itu, kombinasi kondisi *oxic-anoxic* dalam reaktor MBBR memungkinkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara berurutan sehingga mendukung penyisihan senyawa nitrogen dari air limbah. Semakin besar volume media yang digunakan, semakin banyak biomassa yang dapat melekat dan berpartisipasi dalam kedua proses tersebut, sehingga efisiensi penyisihan amonia menjadi lebih tinggi.



Gambar 5. (a) Gambar SEM dari media PUF-PVA perbesaran 100 x, (b) Gambar SEM dari media PUF-PVA perbesaran 200 x

Gambar 5 menunjukkan foto hasil pengamatan morfologi permukaan media menggunakan SEM pada kondisi optimum, yaitu penggunaan media PUF-PVA sebesar 50%. Pada citra SEM terlihat adanya akumulasi biomassa yang menempel dan tersebar pada permukaan maupun pori-pori media. Keberadaan mikroorganisme yang melekat tersebut mengindikasikan bahwa media PUF-PVA mampu menyediakan area permukaan yang memadai untuk pertumbuhan biofilm. Kondisi ini menunjukkan bahwa mekanisme pertumbuhan *attached growth* telah berlangsung dengan baik pada media PUF-PVA, sehingga memungkinkan terbentuknya komunitas mikroba yang lebih stabil selama proses pengolahan air limbah.

Hasil pengamatan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ahn et al, yang juga melaporkan adanya pembentukan biofilm pada media yang ditandai dengan keberadaan biomassa yang menempel pada media PUF-PVA. Keberadaan biofilm tersebut berperan penting dalam meningkatkan aktivitas biodegradasi senyawa pencemar, sehingga mendukung tingginya efisiensi penyisihan COD, BOD, dan amonia yang diperoleh pada kondisi optimum penggunaan media PUF-PVA 50%.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan volume media pada sistem *oxic -anoxic* MBBR berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi penyisihan BOD, COD, dan amonia. Semakin besar volume media yang digunakan, semakin luas permukaan yang tersedia bagi pertumbuhan biofilm sehingga meningkatkan jumlah biomassa dan efektivitas proses biodegradasi.

Media PUF-PVA menunjukkan kinerja penyisihan yang lebih baik dibandingkan media PUF pada seluruh variasi volume media. Kondisi optimum diperoleh pada media PUF-PVA dengan volume media 50% yang menghasilkan efisiensi penyisihan BOD sebesar 85,8%, COD sebesar 73,8%, dan amonia sebesar 88,3%. Peningkatan kinerja pada media PUF-PVA diduga dipengaruhi oleh keberadaan PVA yang mampu meningkatkan adhesi mikroorganisme pada permukaan media sehingga pembentukan biofilm menjadi lebih optimal. Hasil pengamatan SEM pada kondisi optimum menunjukkan adanya mikroorganisme yang menempel pada media, yang mengindikasikan pertumbuhan biofilm secara *attached* pada media PUF-PVA.

#### 5. Referensi

- [1] R. Pishgar, D. Morin, S. J. Young, J. Schwartz, and A. Chu, "Characterization of domestic wastewater released from 'green' households and field study of the performance of onsite septic tanks retrofitted into aerobic bioreactors in cold climate," *Sci. Total Environ.*, vol. 755, p. 142446, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142446.
- [2] I. Maliga, R. Rafi'ah, A. Lestari, D. B. Pratama, and D. Febriansyah, "Penyuluhan Pengelolaan Air Limbah Greywater Rumah Tangga dalam Upaya Meningkatkan Derajat Kesehatan Masyarakat," *ABDIKAN J. Pengabd. Masy. Bid. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 259–263, 2022, doi: 10.55123/abdikan.v1i2.308.
- [3] M. Rodgers and X. M. Zhan, "Moving-medium biofilm reactors," *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 2, no. 2–4, pp. 213–224, 2003, doi: 10.1023/B:RESB.0000040467.78748.1e.
- [4] Rachmanto, Tuhu Agung, and Valentino Rizkiar Pradana. "Proses Oxic Anoxic Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Untuk Meremoval Parameter COD." *ENVIROSAN: Jurnal Teknik Lingkungan* 6.1 (2023): 1-5.
- [5] S. Z. Aryani, P. A. Sari, M. Darmasetiawan, A. Firdaus, and T. I. Trialfhianty, "Efektivitas Proses MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) Menggunakan Media Parinet Berlapis PVA Gel dalam Menurunkan Polutan Organik dan Amonia dari Air Limbah Domestik," *Pros. Semin. Nas. Tek. Lingkung. UII*, no. September, pp. 1–14, 2025.
- [6] American Water Works Association. *Water quality and treatment: A handbook of community water supplies*. McGraw-Hill Companies, 1990.
- [7] Munfaridah, Afifah, Sri Puji Saraswati, and Johan Syafri Mahathir. "Pengaruh Sistem Aerasi Intermittent terhadap Removal Organik dan Nitrogen pada Pengolahan Air Limbah Domestik Kamar Mandi Umum." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 20.1 (2022): 102-114.
- [8] Q. Xiong *et al.*, "Fabrication of a novel polyurethane foam – alginate – zeolite hydrogel and subsequent KSND bacteria encapsulation: evidence of accelerated biofilm colonization and enhanced nitrogen removal efficiency," no. February, pp. 1–9, 2023.
- [9] T. Anh Phan, T. N. Pham, T. H. Duong, and H. M. Nguyen, "Novel carrier for seafood wastewater treatment using moving bed biofilm reactor system," *Environ. Eng. Res.*, vol. 28, no. 5, pp. 0–1, 2023, doi: 10.4491/eer.2022.508.
- [10] J. Brinkley, C. H. Johnson, and R. Souza, "Moving bed biofilm reactor technology - A full-scale installation for treatment of pharmaceutical wastewater," *Chem. Bus.*, vol. 27, no. 3, p. 50, 2013, [Online]. Available: <http://lib-ezproxy.tamu.edu:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=f5h&AN=86895680&site=eds-live>
- [11] D. I. Rozika and Y. S. Purnomo, "Pengolahan Lindi (Leachate) Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbbr) Dengan Proses Oxic-Anoxic," *Enviroous*, vol. 2, no. 1, pp. 106–114, 2023, doi: 10.33005/enviroous.v2i1.86.
- [12] K. M. Gani, J. Singh, N. K. Singh, M. Ali, A. A. Kazmi, and V. Rose, "Nitrogen and carbon removal efficiency of a polyvinyl alcohol gel based moving bed biofilm reactor system," *Water Sci. Technol.*, vol. 73, no. 7, pp. 1511–1519, 2016, doi: 10.2166/wst.2015.631.
- [13] G. N. Azizah, "Penyisihan Total Nitrogen Dari Air Limbah Domestik Menggunakan Pengolahan Kombinasi Anaerob – Aerob Dengan Media Lekat Polyvinyl Chloride Dan Polyethylene

- 
- Terephthalate,” 2025.
- [14] M. Von Sperling, *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*, vol. 6, no. 0. 2015. doi: 10.2166/9781780402123.
- [15] Y. nan Luan *et al.*, “Achieving simultaneous nitrification and endogenous denitrifying phosphorus removal in anaerobic/intermittently-aerated moving bed biofilm reactor for low carbon-to-nitrogen ratio wastewater treatment,” *Bioresour. Technol.*, vol. 394, p. 130178, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.biortech.2023.130178.