

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peningkatan urbanisasi dan industrialisasi telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam volume dan kompleksitas air limbah yang dihasilkan, sehingga diperlukan teknologi pengolahan yang efektif dan efisien untuk menangani masalah ini. Dengan meningkatnya kesadaran akan lingkungan, pengelolaan limbah menjadi isu yang semakin penting (di Biase et al., 2019). MBBR merupakan teknologi yang menjanjikan karena dapat menggabungkan berbagai keunggulan, termasuk pengolahan biologis yang efektif dengan meminimalkan penggunaan ruang dan energi (Deng et al., 2016).

MBBR bekerja dengan memanfaatkan media biofilm yang bergerak, di mana mikroorganisme terakumulasi dan berkembang biak pada permukaan media tersebut. Dalam konteks pengolahan air limbah, penambahan media seperti tutup botol plastik menawarkan beberapa keuntungan. Pertama, tutup botol merupakan bahan yang mudah diakses dan relatif murah, sehingga dapat digunakan untuk mengurangi biaya operasional dalam pengolahan air limbah (Mangarengi et al., 2023). Kedua, penggunaan tutup botol sebagai media dapat meningkatkan luas permukaan area tempat mikroorganisme berkoloni, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah dengan mengoptimalkan penghilangan bahan organik dan nutrisi (Fauzi et al., 2023).

Sebuah studi menunjukkan bahwa MBBR yang menggunakan carrier biofilm berbahan dasar plastik mampu meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen, yang merupakan salah satu komponen pencemar utama dalam limbah domestik. Keberhasilan sistem ini juga dipengaruhi oleh kondisi operasional seperti waktu tinggal hidraulik (HRT), pH, dan suhu, yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam mengolah pencemar di dalam air limbah (Yuan et al., 2015). Dalam hal ini, mikroorganisme lokal yang diadopsi dalam pengolahan juga memiliki peranan penting, karena mereka telah beradaptasi dengan kondisi

spesifik di lingkungan setempat sehingga mampu mengolah kontaminan dengan lebih efektif (Sulemana et al., 2021).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa media plastik *polietilena tereftala* dapat dimanfaatkan sebagai tempat berkembang biaknya bakteri pada reaktor biofilter. Menurut De Oliveira et al., (2014) biofilter dengan media plastik dapat menurunkan COD pada limbah air sampai 76%. Media plastik (Sweetwater SWX Bio-media, Pentair) yang digunakan sebagai biofilter, juga diketahui dapat menghilangkan nitrat dari limbah air dengan persentase penyusutan 92,57% (Paul et al., 2021), Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Dorji et al (2022), media plastik dengan reaktor biofilter dengan waktu 40 hari mampu menurunkan TSS 80%, *Bakteri Escherichia coli*, 84,6–92,4 %, BOD 60-90%, COD = 29–72 % (Dorji et al., 2022).

Dalam Penelitian ini, juga akan diteliti bagaimana karakteristik media yang digunakan dapat mempengaruhi hasil akhir yang ingin dicapai. Hal ini berpotensi untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang lebih inovatif dan ramah lingkungan, di mana pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan (Saraiva et al., 2019). Dengan demikian, teknik ini dapat berkontribusi terhadap pencapaian sasaran pengelolaan lingkungan yang lebih luas, khususnya dalam konteks pengurangan dampak negatif terhadap ekosistem akibat pencemaran oleh limbah domestik.

Seiring dengan perkembangannya, studi-studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa kombinasi teknik MBBR dengan media biofilm dari bahan yang berasal dari limbah plastik dapat meningkatkan performa pengolahan limbah, dengan efisiensi organik dan nutrisi yang memadai (Lares et al., 2018). Mereka mendukung hipotesis bahwa penggunaan limbah plastik sebaiknya dipandang sebagai peluang bukan hanya sebagai tantangan.

Penerapan teknologi ini juga membuka kesempatan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya daur ulang dan pengurangan limbah plastik, yang selaras dengan upaya global untuk mengurangi dampak buruk dari limbah plastik dalam lingkungan. Langkah ini sangat penting mengingat data

menunjukkan bahwa limbah plastik, termasuk tutup botol, sering kali berakhir di lautan dan menyebabkan dampak serius bagi kehidupan laut serta kesehatan manusia (Yang et al., 2017). Oleh karena itu, inisiatif yang memanfaatkan plastik daur ulang menjadi salah satu strategi menarik untuk menyelesaikan masalah yang kompleks ini. Implementasi MBBR yang berbasis tutup botol plastik tidak hanya menawarkan solusi teknis yang efektif untuk permasalahan pengolahan limbah, tetapi juga dapat memberikan manfaat sosial dan lingkungan yang lebih luas.

Selain itu, penanganan limbah domestik dengan menggunakan kombinasi MBBR dan teknologi berbasis biofilm seperti ini berpotensi untuk menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan limbah. Dengan memanfaatkan bahan-bahan daur ulang, seperti tutup botol, tidak hanya mengurangi beban sistem pembuangan limbah tetapi juga menangani masalah polusi plastik yang terus meningkat (Zander et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi efektivitas MBBR dengan menggunakan media tutup botol plastik yang dilengkapi dengan mikroorganisme lokal dalam mengurangi pencemaran di air limbah domestik.

1.2. Rumusan masalah

Dalam era modern ini, pengolahan air limbah domestik menjadi tantangan yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya volume pencemaran akibat urbanisasi dan industrialisasi yang terus berlangsung. Berbagai teknologi pengolahan telah dicoba, dan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan media tutup botol plastik, yang merupakan bahan daur ulang, menunjukkan potensi sebagai solusi inovatif.

Untuk menyelesaikan masalah diatas akan dilaksanakan penelitian menggunakan Teknologi MBBR aerob dan anaerob dengan tahapan Pertama, mengeksplorasi desain reaktor MBBR dan karakteristik air limbah domestik yang dihasilkan, termasuk kandungan nutrisi dalam Mol yang relevan dalam proses pengolahan. Selanjutnya, efisiensi penyisihan BOD, COD, dan TSS akan dianalisis melalui pengukuran statistik pada reaktor MBBR aerob dan anaerob, sehingga memberikan pemahaman mengenai perbedaan keduanya. Menentukan

laju kinetika degradasi pencemar dalam sistem aerob dan anaerob, memberikan gambaran mengenai efektivitas reaktor MBBR dalam mengurangi beban pencemar.

1.3. Orisinalitas

Pencarian orisinalitas penelitian dilakukan dengan mencari sumber-sumber terdahulu yang terkait penggunaan media plastik pada reaktor biofiltrasi dan data ini telah diterbitkan oleh 6 peneliti. Menurut Su et al., (2014), plastik cincin raschig mampu menurunkan H^2S , Paul et al., (2021) menjelaskan bahwa media plastik yang bernama (Sweetwater SWX bio-media, Pentair) polietilen densitas tinggi mampu menurunkan nitrat, Lebrero et al., (2021) menyatakan bahwa kaldnes K2 cincin plastik (BTF-K) HDPE mampu menurunkan H^2S , toluene, dan methylmercaptan, Moshrefzadeh et al., (2014) menyatakan bahwa cacahan selang plastik mampu menurunkan dietanolamina, Dorji et al., (2022) menyatakan bahwa botol plastik (PET dan PP) mampu menghilangkan polutan TSS, *E coli*, BOD, dan COD, Shokoohi et al., (2017) menyatakan bahwa cakram plastik terbuat dari plexiglas mampu menurunkan fenol dan COD. Namun diantara penelitian tersebut belum ada yang pernah menggunakan media tutup botol plastik sebagai media pada reaktor biofiltrernya. serupa dirangkum pada tabel.

Berdasarkan perspektif ilmiah, penggunaan tutup botol plastik sebagai media dalam reaktor biofiltrasi merupakan kebaruan yang signifikan. Pertama, seperti yang diketahui, tutup botol plastik umumnya memiliki desain yang memungkinkan mereka untuk memiliki struktur yang tidak homogen dan berpori, yang mungkin mendukung pertumbuhan mikroorganisme dan meningkatkan interaksi antara media dan air limbah. Kedua, dari segi keberlanjutan, menggunakan kembali tutup botol plastik yang biasanya menjadi limbah dapat membantu mengurangi akumulasi plastik di lingkungan sekaligus memberikan solusi untuk masalah pengelolaan air limbah. Pemanfaatan kembali produk plastik limbah dapat menjadi langkah penting dalam pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan, sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular. Ketiga, potensi biaya rendah tutup botol plastik, bila dibandingkan dengan media komersial lainnya,

menjadikannya alternatif menarik, dengan potensi untuk menyediakan solusi biaya efektif bagi pengelolaan air limbah, terutama di negara berkembang. Dalam konteks ini, riset yang berfokus pada penggunaan tutup botol sebagai media biofiltrasi dapat memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan metode yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dalam pengelolaan air limbah.

Tabel 1. Pemakaian plastik sebagai media pada reaktor biofiltrasi

No	Sumber air limbah	Skala	Waktu tinggal	Suhu	Jenis media	Media ketebalan	Pencemar	Sumber
1	Air limbah peternakan babi	Pilot	120 hari	15–38 °C	Plastik cincin raschig	Ukuran 0,2 × 1,0 meter persegi	1. pH = 1,6 ± 1,0 2. H ₂ S = 79,2%	(Su et al., 2014)
2	Limbah yang berasal dari penampungan	Laboratorium	10 hari	-	Media plastik yang bernama (Sweetwater SWX bio-media, Pentair) polietilen densitas tinggi	Ukuran 40cm x 5,08cm	1. Nitrat = 92,57 %	(Paul et al., 2021)
3	Pengolahan limbah valadolid (Spanyol)	Pilot	60 hari	-	Kaldnes K2 cincin plastik (BTF-K) HDPE	950kg/m ³	Gas H ₂ S, toluena, dan metil merkaptan = 80%	(Lebrero et al., 2021)
4	Air limbah perkotaan	Laboratorium	40 hari	40°C dan 30°C	Cacahan selang plastik	0,5 cm	Dietanolamin a < 170 ppm	(Moshrefzadeh et al., 2014)

5	Pengolahan air limbah setempat di bhutan	Pilot	262 hari	23,4°C	Botol plastik (PET dan PP)	200-500	1. TSS = 80% 2. <i>Escherichia coli</i> = 84,6–92,4 % 3. BOD = 60–90% 4. COD = 29–72 %	(Dorji et al., 2022)
6	Air limbah buatan	Laboratorium	4,4 jam	21 hingga 35°C	cakram plastik terbuat dari plexiglas	-	1. fenol = 500 mg/L 2. COD = 4–4,5 kg COD/m ³ d	(Shokoohi et al., 2017)

1.4. Tujuan penelitian

1. Menganalisis karakteristik air limbah domestik dari kegiatan rumah tangga dan kandungan nutrisi dalam MOL
2. Mendesain dan membuat reaktor MBBR aerob dan anaerob skala LAB dengan media tutup botol plastik secara batch
3. Mengevaluasi efisiensi kinerja proses penyisihan dan perbedaan untuk parameter BOD, COD, TSS pada reaktor MBBR aerob dengan media tutup botol plastik
4. Mengevaluasi efisiensi kinerja proses penyisihan dan perbedaan untuk parameter BOD, COD, TSS pada reaktor MBBR anaerob dengan media tutup botol plastik
5. Menentukan laju kinetika degradasi penyisihan pencemar BOD, COD, dan TSS pada reaktor MBBR aerob dengan media tutup botol plastik
6. Menentukan laju kinetika degradasi penyisihan pencemar BOD, COD, dan TSS pada reaktor MBBR anaerob dengan media tutup botol plastik

1.5. Manfaat Penelitian

1. Institusi

Penelitian ini menghasilkan desain reaktor MBBR skala LAB yang dapat dijadikan acuan bagi institusi pendidikan dan penelitian dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah domestik, mendorong inovasi dalam pengelolaan sumber daya dan lingkungan.

2. Pemerintah

Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penyusunan kebijakan dan regulasi pemerintah dalam pengelolaan limbah domestik yang berkelanjutan.

3. Lingkungan

Dengan pengolahan limbah cair domestik yang lebih efektif dan efisien akan berkontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan sehingga meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

4. Masyarakat

Penelitian ini berpotensi memberikan edukasi dan kesadaran kepada masyarakat dalam mengelola limbah domestik dan berperan aktif dalam menjaga kebersihan dan sanitasi lingkungan.

1.6. Luaran Penelitian

- 1 Muliyadi, Muliyadi, Purwanto, Purwanto, Sumiyati, Sri, Budiyono, Budiyono, Utomo, Sudarno and Warsito, Budi (2025), Domestic Wastewater Treatment System Using Waste Plastic Bottle Caps as Biofilter Media. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 14(1): 235–246.
- 2 Muliyadi, Muliyadi, Purwanto, Purwanto, Sumiyati, Sri, Hadiyanto, Hadiyanto, Sudarno, Sudarno, Budiyono, Budiyono and Warsito, Budi (2024), Bacterial Community Dynamics and Pollutant Removal Mechanisms in Biofilters: A Literature Review. *Environmental Health Engineering and Management*, 11(4): 477–492.
- 3 Muliyadi, Muliyadi, Purwanto, Purwanto, Sumiyati, Sri, Sudarno, Sudarno, Budiyono, Budiyono, Warsito, Budi and Hadiyanto, Hadiyanto (2023), The Role of Bacteria and Factors Affecting the Biodegradation of Pollutants in the Biofilter Reactor: A Review. *Applied Environmental Research*, 45(4): 1–14.
- 4 Muliyadi, Muliyadi, Purwanto, Purwanto, Sumiyati, Sri, Budiyono, Budiyono, Sudarno, Sudarno and Warsito, Budi (2025), Kinetika Degradasi Air Limbah Menggunakan Media Tutup Botol Plastik Dengan Reaktor Aerobik MBBR. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1): 59–67.

- 5 Muliyadi, Muliyadi, Purwanto, Purwanto, Sumiyati, Sri and Mussadun, Mussadun (2023), Bioaccumulation of Heavy Metals Using Aquatic Plants in Wastewater. *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 12(2): 690–698.
- 6 Muliyadi, Purwanto, Sri Sumiyati and Tri Retnaningsih Soeprobawati (2023), Removal of Pollutants in Wastewater Using Plastic-Based Media Biofiltration: A Meta-Analysis. *Pollution*, 9(1): 421–432.
- 7 M. Muliyadi, P. Purwanto, S. Sumiyati, B. Budiyono, S. Sudarno, and B. Warsito, "Wastewater Removal Pollutants Using Polyethylene terephthalate Media : Moving Bed Biofilm Reactor," *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 0, Apr. 2025.
- 8 Artikel Jurnal Q4 Indonesian Journal of Public Health (**In Review**), "Wastewater Processing Using an Aerobic Reactor with Plastic Bottle Caps as The Medium to Reduce BOD, COD and TSS: Batch System"
- 9 Artikel jurnal Q3 Environmental Research, Engineering and Management (**In Review**), "Kinetics Study of Wastewater Degradation Using Plastic Bottles Caps Media with Aerobic Reactor"
- 10 Artikel Jurnal Q4 International Journal of Advances in Applied Sciences (**In Review**), "Kinetics Study of Wastewater Degradation Using Plastic Bottles Caps Media with Aerobic and Anaerobic Reactor"
- 11 Buku yang berjudul Biofiltrasi: Prinsip, Jenis, Dan Aplikasi Dalam Pengolahan Air Limbah
- 12 Hak Cipta berupa buku berjudul Biofiltrasi: Prinsip, Jenis, Dan Aplikasi Dalam Pengolahan Air Limbah

SEKOLAH PASCASARJANA