

Evaluasi Kinerja *Fixed Bed Biofilm Reactor* dengan Kombinasi Media PVC Sarang Tawon dan *Bioball* dalam Pengolahan Air Limbah Domestik

Givanny Maiherlia^{1*}, Prayatni Soewondo², Mhd. Fauzi³

^{1,2}Program Magister Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat

*Koresponden email : 25324014@mahasiswa.itb.ac.id

Diterima: 14 Juli 2026

Disetujui: 29 Juli 2026

Abstract

Domestic wastewater contains pollutants that have the potential to degrade the quality of surface water bodies if not optimally treated. Fixed Bed Biofilm Reactor (FBR) is one of the biological treatment alternatives to be developed because it is able to maintain high amounts of biomass and can increase treatment effectiveness. Research on the use of a combination of PVC wasp nest media and bioballs in FBR technology is still limited. This study aims to evaluate the performance of Fixed Bed Biofilm Reactor (FBR) under anoxic-aerobic conditions using a combination of PVC wasp nest media and bioballs in domestic wastewater treatment. The study was conducted with an influent COD concentration of 500 mg/L. The parameters observed during the reactor operational process were COD, ammonia, nitrite, nitrate, NTK, and total phosphate, which aim to evaluate the removal of organic matter and nutrients. The results of the study showed that the FBR system was able to remove organic materials and nutrients effectively, with removal efficiencies of 96.43% COD, 92.75% ammonia, 89.58% nitrite, 82.08% nitrate, 85.82% NTK, and 49.50% total phosphate. The high removal efficiency indicates that the combination of PVC honeycomb media and bioballs can increase the surface area for biofilm growth, thereby increasing contact between microorganisms and the substrate.

Keywords: domestic wastewater, bioball, biofilm, removal efficiency, fixed bed reactor, pvc honeycomb

Abstrak

Air limbah domestik mengandung pencemar berpotensi menurunkan kualitas badan air permukaan apabila tidak diolah secara optimal. *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR) menjadi salah satu alternatif pengolahan biologis untuk dikembangkan karena mampu mempertahankan biomassa dalam jumlah tinggi serta dapat meningkatkan efektivitas pengolahan. Penelitian mengenai penggunaan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* pada teknologi FBR masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR) dengan kondisi anoksik - aerobik menggunakan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dalam pengolahan air limbah domestik. Penelitian dilakukan dengan konsentrasi COD influen sebesar 500 mg/L. Parameter yang diamati selama proses operasional reaktor adalah COD, amonia, nitrit, nitrat, NTK, dan total fosfat yang bertujuan untuk mengevaluasi penyisihan bahan organik dan nutrisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem FBR mampu menyisihkan bahan organik dan nutrisi secara efektif dengan efisiensi penyisihan COD 96,43%, amonia 92,75%, nitrit 89,58%, nitrat 82,08%, NTK 85,82%, total fosfat 49,50%. Tingginya efisiensi penyisihan menunjukkan bahwa kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dapat meningkatkan luas permukaan untuk pertumbuhan biofilm sehingga meningkatkan kontak antara mikroorganisme dan substrat.

Kata Kunci: air limbah domestik, bioball, biofilm, efisiensi penyisihan, fixed bed reactor, pvc sarang tawon

1. Pendahuluan

Air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari aktivitas manusia seperti mandi, mencuci, memasak, serta kegiatan sanitasi. Air limbah ini dibedakan menjadi air limbah non kakus (*greywater*) dan air limbah kakus (*blackwater*) [1]. Kedua jenis air limbah domestik ini mengandung berbagai bahan organik, nutrisi, dan anorganik seperti lemak, deterjen, mikroorganisme patogen dan zat kimia lainnya [2]. Kandungan bahan organik yang tinggi pada air limbah domestik ditunjukkan oleh parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD), sementara itu senyawa nutrisi yang tinggi ditunjukkan oleh kandungan senyawa nitrogen dan senyawa fosfat [3]. Kandungan senyawa organik dan senyawa nutrisi yang tinggi tersebut menjadikan air limbah domestik

sebagai salah satu sumber pencemar utama badan air. Tingkat pencemaran ini akan semakin besar seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Berdasarkan data dari *Citarum Coordination and Management Unit* Program pada tahun 2010, limbah domestik yang berasal dari rumah tangga, perkantoran, sektor komersial, dan fasilitas publik lainnya merupakan polutan terbesar pada Sungai Citarum [4].

Peningkatan jumlah penduduk dan urbanisasi menyebabkan timbunan air limbah domestik terus meningkat, sementara kapasitas pelayanan sistem pengolahan air limbah masih relatif rendah. Hal ini menyebabkan sebagian besar air limbah domestik langsung dibuang ke badan air permukaan tanpa pengolahan yang optimal, sehingga pada akhirnya meningkatkan beban pencemar organik dan nutrisi. Kandungan bahan organik yang tinggi pada air limbah domestik dapat menurunkan kadar oksigen terlarut akibat meningkatnya kebutuhan oksigen biologis selama proses dekomposisi, sedangkan akumulasi nitrogen dan fosfor berpotensi memicu eutrofikasi yang berdampak pada penurunan kualitas ekosistem perairan [5]. Oleh karena itu, berdasarkan potensi pencemaran badan air permukaan yang telah dijelaskan, diperlukan teknologi pengolahan air limbah yang dapat menyisihkan kandungan senyawa organik maupun nutrisi yang terkandung pada air limbah domestik sebagai salah satu upaya perlindungan badan air permukaan.

Pengolahan biologis merupakan salah satu teknologi yang paling banyak diterapkan karena memiliki efisiensi penyisihan bahan organik yang tinggi, kebutuhan bahan kimia yang rendah, serta biaya operasional yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan proses pengolahan secara fisika maupun kimia. Berbagai konfigurasi reaktor biologis telah dikembangkan dan diterapkan di Indonesia, antara lain lumpur aktif (*activated sludge*), *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), dan *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR). Teknologi pengolahan air limbah secara biologi ini dapat menghasilkan penyisihan senyawa organik yang cukup tinggi apabila dioperasikan dalam kondisi optimum [6]. Di antara berbagai teknologi tersebut, FBR menjadi salah satu alternatif yang banyak dikembangkan karena mampu mempertahankan biomassa dalam jumlah tinggi melalui pertumbuhan mikroorganisme secara melekat (*attached growth*). Sistem biofilm memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap fluktuasi beban organik, menghasilkan lumpur lebih sedikit, serta mampu mempertahankan aktivitas mikroorganisme pada waktu tinggal hidraulik yang relatif singkat. Selain itu, terbentuknya gradien oksigen di dalam lapisan biofilm memungkinkan berlangsungnya proses biodegradasi yang lebih baik dibandingkan sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) [7].

Kinerja sistem biofilm sangat dipengaruhi oleh karakteristik media yang digunakan sebagai tempat melekatnya mikroorganisme [8]. Karakteristik media seperti luas permukaan spesifik, bentuk geometris, porositas, serta material penyusun media menentukan jumlah biomassa yang dapat berkembang dan mempengaruhi proses perpindahan massa substrat menuju lapisan biofilm [9]. Berbagai jenis media telah dikembangkan, di antaranya media berbahan polietilena, poliuretan, PVC, maupun media berbentuk *bioball*. Penelitian yang dilakukan oleh Fauzi dkk. [10] menunjukkan bahwa media berbahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) mampu meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik pada sistem biofilm aerobik karena menyediakan luas permukaan yang besar untuk pertumbuhan biofilm. Media polimer seperti PVC dan *bioball* banyak digunakan pada reaktor biofilm karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, ketahanan terhadap korosi, serta kemampuan mempertahankan biomassa dalam jumlah besar, sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik dan nutrisi pada sistem pertumbuhan terlekat [11]. Meskipun demikian, penelitian terkait penggunaan kombinasi media dengan karakteristik fisik yang berbeda, khususnya media PVC berbentuk sarang tawon dan *bioball*, masih terbatas. Kombinasi kedua media tersebut diperkirakan dapat meningkatkan luas permukaan untuk biofilm tumbuh dan meningkatkan distribusi biomassa pada sistem reaktor.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja FBR dengan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dalam pengolahan air limbah domestik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi operasi optimum sistem biofilm sebagai dasar perancangan unit pengolahan air limbah domestik yang lebih efisien.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental (laboratorium).

2.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan dari latar belakang penelitian ini dilakukan dan hasil dari studi literatur dari penelitian sebelumnya. Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui rumusan masalah yang akan dijawab dari penelitian ini. Rumusan masalah yang ditentukan adalah mengevaluasi

kinerja FBR dengan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dalam pengolahan air limbah domestik.

2.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah awal dalam melakukan penelitian ini. Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan dasar – dasar teori serta informasi yang dibutuhkan sebagai data sekunder yang akan menjadi pedoman dalam melakukan penelitian ini. Studi literatur juga dilakukan untuk menentukan variabel yang akan diamati, jenis teknologi yang digunakan, faktor yang mempengaruhi, metode pengumpulan data, serta metode pengolahan dan analisis data. Jenis media yang digunakan adalah buku dan jurnal ilmiah dari penelitian – penelitian sebelumnya dengan topik yang relevan. Studi literatur digunakan sebagai acuan dan dasar pengerjaan penelitian untuk meningkatkan kualitas penelitian, dan menunjang serta memperbaiki isi dan prosedur penelitian dan pelaporannya. Literatur yang digunakan berupa handbook, jurnal penelitian, maupun hasil penelitian lain yang berkaitan dengan air limbah domestik, komposisi air limbah, karakteristik air limbah domestik, serta pengolahan air limbah domestik yang pernah dilakukan. Studi literatur dilakukan berbarengan dengan kegiatan yang dilakukan saat penelitian seperti, identifikasi masalah, penyiapan alat dan bahan, dan lainnya.

2.3 Penentuan Karakteristik Awal Air Limbah

Karakterisasi awal air limbah dilakukan untuk mengetahui kondisi dan kualitas awal air limbah. Karakterisasi awal air limbah juga dilakukan sebagai pedoman dalam membuat air limbah artifisial agar air limbah artifisial yang digunakan serupa dengan air limbah domestik. Hasil analisis awal ini akan dibandingkan dengan hasil analisis pada operasi dan akhir operasi untuk mengetahui efisiensi penyisihan organik dan nutrisi. Parameter yang ditentukan dalam karakteristik awal air limbah adalah suhu, pH, DO, BOD, COD, nitrat, nitrit, ammonia, total nitrogen, fosfat, TSS, dan VSS.

2.4 Persiapan Reaktor dan Media Penunjang

Reaktor penelitian terdiri dari 3 reaktor yaitu 1 reaktor FBR anoksik dengan media PVC sarang tawon, 1 reaktor FBR anoksik dengan media *bioball*, dan 1 reaktor FBR aerobik dengan media PVC sarang tawon untuk penentuan kinetika pertumbuhan mikroorganisme dan penyisihan substrat, dengan masing-masing volume 24 liter, 16 liter, dan 24 liter. Reaktor terbuat dari plastik akrilik. Sistem *feeding* yang digunakan adalah sistem kontinyu. Reaktor utama yang digunakan sebanyak 3 reaktor. Reaktor dilengkapi dengan pompa untuk mencampurkan substrat dan lumpur dengan baik sehingga mikroorganisme dapat melekat pada media membentuk biofilm. Pada reaktor aerobik, digunakan aerator sebagai pemasok udara ke dalam reaktor dalam bentuk oksigen terlarut. Media penunjang yang menjadi tempat melekatnya bakteri menggunakan bahan PVC (*Polyvinyl Chloride*) sarang tawon disusun di dasar reaktor dengan volume sekitar 30% dari volume reaktor dan memiliki *specific surface area* sekitar 150 – 200 m²/m³ untuk reaktor anoksik 1 dan aerobik. Untuk reaktor anoksik 2, digunakan media *bioball* yang menjadi tempat melekat dan tumbuhnya mikroorganisme.

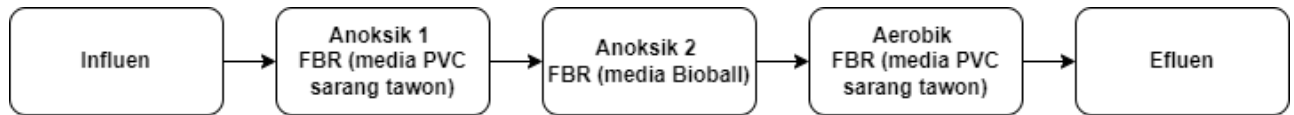
2.5 Seeding

Seeding merupakan proses untuk mengembangbiakkan mikroorganisme agar didapatkan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan. Proses ini bertujuan untuk memperbanyak jumlah mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses pengolahan limbah. Selama proses ini berlangsung, parameter yang perlu diamati adalah peningkatan nilai VSS (*Volatile Suspended Solid*) yang menunjukkan banyaknya biomassa yang berada dalam effluen dan penurunan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang menunjukkan substrat yang dimakan oleh mikroorganisme untuk bertumbuh. Biakan yang digunakan untuk seeding berasal dari lumpur aktif salah satu IPAL komunal di Kota Bandung. *Seeding* dilakukan hingga konsentrasi VSS mencapai target >1500 mg/L atau biomassa telah memasuki kondisi *steady state* [12] yang mana pada penelitian ini dicapai pada hari ke-118. Saat proses *seeding* berlangsung, perlu dilakukan pengukuran COD, TSS, VSS, pH, DO, dan suhu untuk mengontrol reaktor dan untuk memastikan mikroorganisme dapat tumbuh di dalam reaktor.

2.6 Pengoperasian Reaktor (*Running*)

Setelah seeding selesai dan didapatkan VSS yang telah ditargetkan (sebagai indikator mikroorganisme), penelitian akan dilanjutkan dengan pengoperasian reaktor (*running*). Pengoperasian reaktor dilakukan secara kontinyu dengan mengalirkan air limbah domestik (sintetis) ke dalam masing-masing reaktor (anoksik dan aerobik) yang bertujuan untuk melihat efisiensi kinerja reaktor dalam

menyisihkan polutan organik dan nutrien. Pada saat pengoperasian reaktor juga dilakukan pengujian pH dan DO pada reaktor, hal ini dilakukan untuk menjaga kondisi operasi reaktor berada pada kondisi optimum. Proses pengolahan air limbah pada reaktor dalam penelitian ini dapat digambarkan secara skematik sebagai berikut:



Gambar 1. Alur proses pengolahan air limbah

2.7 Pelaksanaan Penelitian Laboratorium

Pada saat proses *seeding* sudah selesai dan reaktor sudah dijalankan. Maka akan dilakukan pengukuran COD, BOD, Ammonia, Nitrit, Nitrat, Total Nitrogen, TP, TSS, dan VSS pada saat kondisi *steady state*.

2.8 Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan yang telah diproses dari *seeding* dan pengoperasian reaktor (*running*) yaitu data konsentrasi polutan pada efluen limbah domestik. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penurunan konsentrasi polutan pada air limbah domestik artifisial dalam reaktor FBR dengan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball*.

2.9 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Analisis ini dilakukan dengan menjelaskan hasil perhitungan dan membandingkan efisiensi penyisihan sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan. Hasil effluen dari limbah setelah diolah kemudian dibandingkan dengan baku mutu pada Permen LH No. 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah Untuk Air Limbah Domestik. Selain itu juga dilakukan perbandingan hasil analisis dengan penelitian-penelitian terdahulu

2.10 Pembuatan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan

Pembuatan kesimpulan dilakukan untuk menjawab hipotesis dan tujuan dari penelitian yang dilakukan dengan membandingkan hipotesis dengan hasil analisis data yang telah dilakukan. Selain itu, pada pembuatan kesimpulan juga dijelaskan kendala dan tantangan dalam melakukan penelitian serta saran yang dapat diberikan untuk mengantisipasinya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Awal Air Limbah Domestik Artifisial

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan air limbah domestik artifisial (buatan), dimana karakteristik air limbah domestik buatan didasarkan pada karakteristik air limbah domestik asli yang didapatkan pada literatur. sebagaimana yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik air limbah domestik di beberapa IPAL Kota Bandung

No.	Sumber	Konsentrasi COD (mg/L)
1	WWTP 1	316
2	WWTP 2	459
3	WWTP 3	152
4	WWTP 4	286
5	WWTP 5	607
6	WWTP 6	493
7	WWTP 7	562
Rata-rata		410,71
Standar deviasi		164,3

Sumber: Fauzi dkk [10]

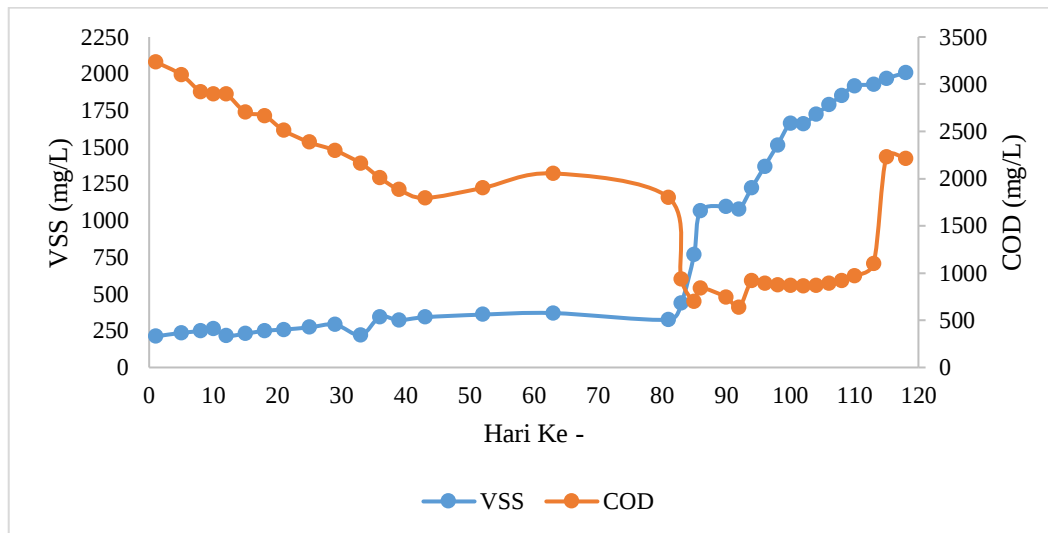
Air limbah artifisial yang akan digunakan untuk penelitian dibuat berdasarkan pada karakteristik air limbah pada **Tabel 1** di atas dengan rasio C : N : P yang digunakan adalah 100 : 10 : 1. Berikut adalah karakteristik kualitas air limbah domestik artifisial yang akan digunakan untuk penelitian ini.

Tabel 2. Karakteristik air limbah domestik artifisial yang akan digunakan dalam penelitian

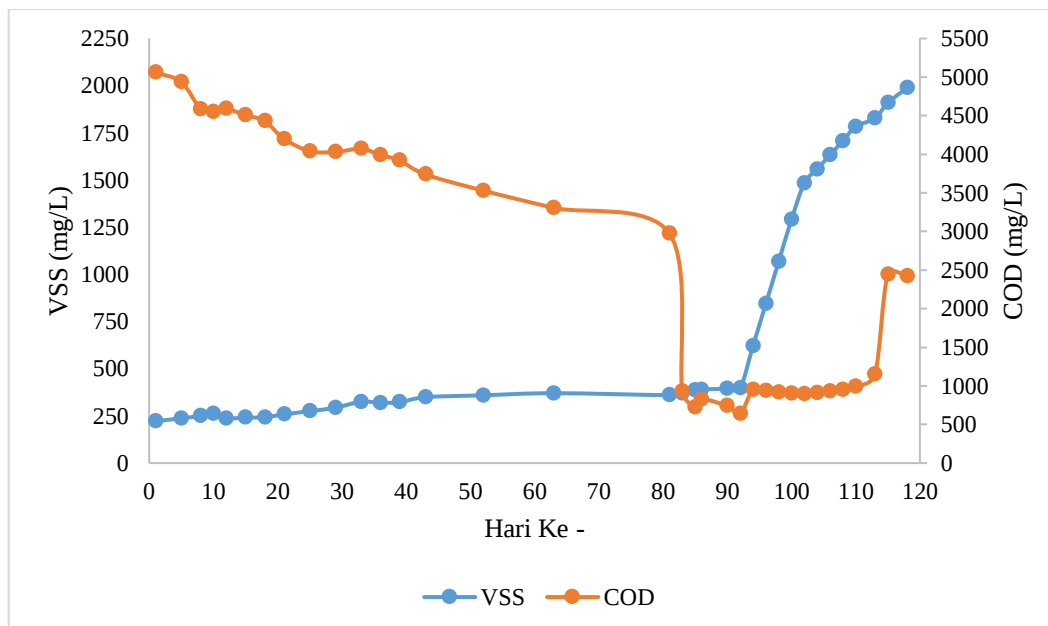
Parameter	Konsentrasi Awal (mg/L)
COD	500,00
Ammonia	33,80
Nitrit	0,48
Nitrat	4,52
Total Fosfat	5,03
NTK	45,12

3.2 Seeding

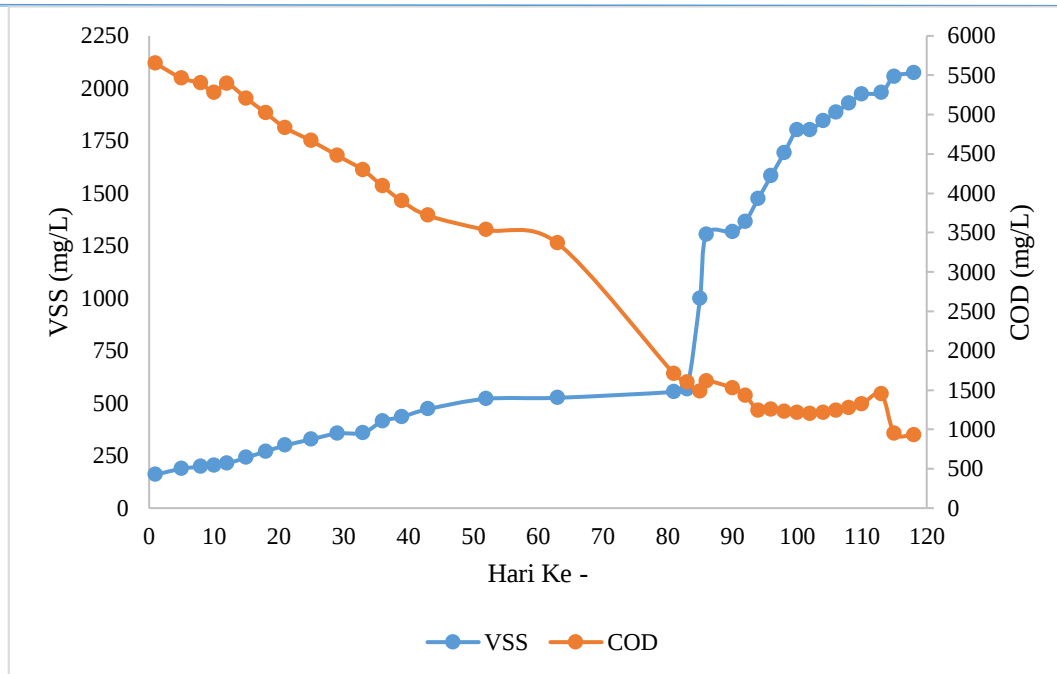
Proses *seeding* dalam penelitian adalah proses mengembangkan mikroorganisme agar didapatkan jumlah mikroorganisme yang sesuai dengan kebutuhan penelitian ini. Proses *seeding* dilakukan selama 118 hari untuk ketiga reaktor hingga didapatkan konsentrasi VSS pada masing – masing reaktor >1500 mg/L dan outlet dari COD sudah stabil (*steady state*). Berikut adalah grafik nilai VSS dan COD selama proses *seeding*.



Gambar 2. Grafik nilai VSS dan COD selama proses seeding pada reaktor anoksik 1



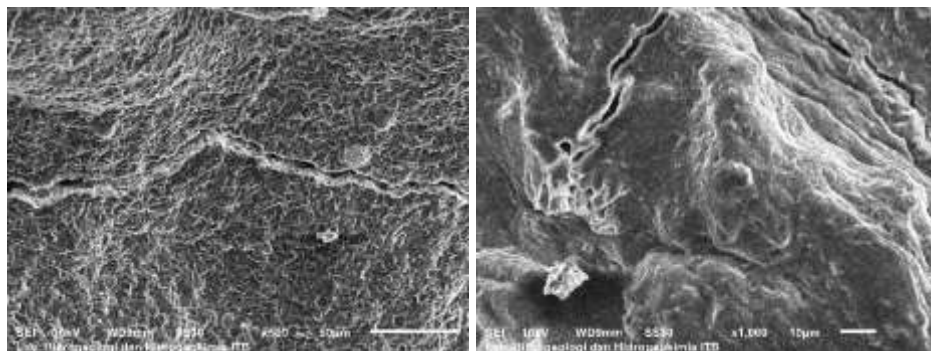
Gambar 3. Grafik nilai VSS dan COD selama proses seeding pada reaktor anoksik 2



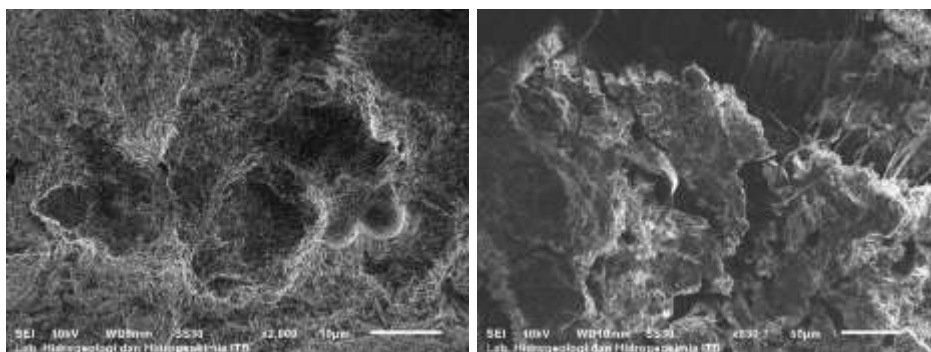
Gambar 4. Grafik nilai VSS dan COD selama proses seeding pada reaktor aerobik

3.3 Analisis Hasil Pengujian SEM Biofilm

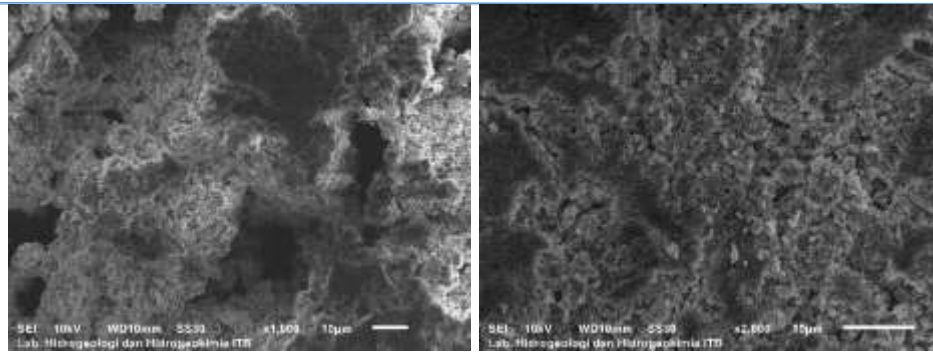
Setelah proses operasional, dilakukan pengujian SEM dari masing – masing sampel biomassa yang melekat pada media di masing – masing reaktor untuk melihat morfologi dari biomassa yang tumbuh. Berikut adalah hasil SEM daripada masing – masing reaktor.



(a)



(b)



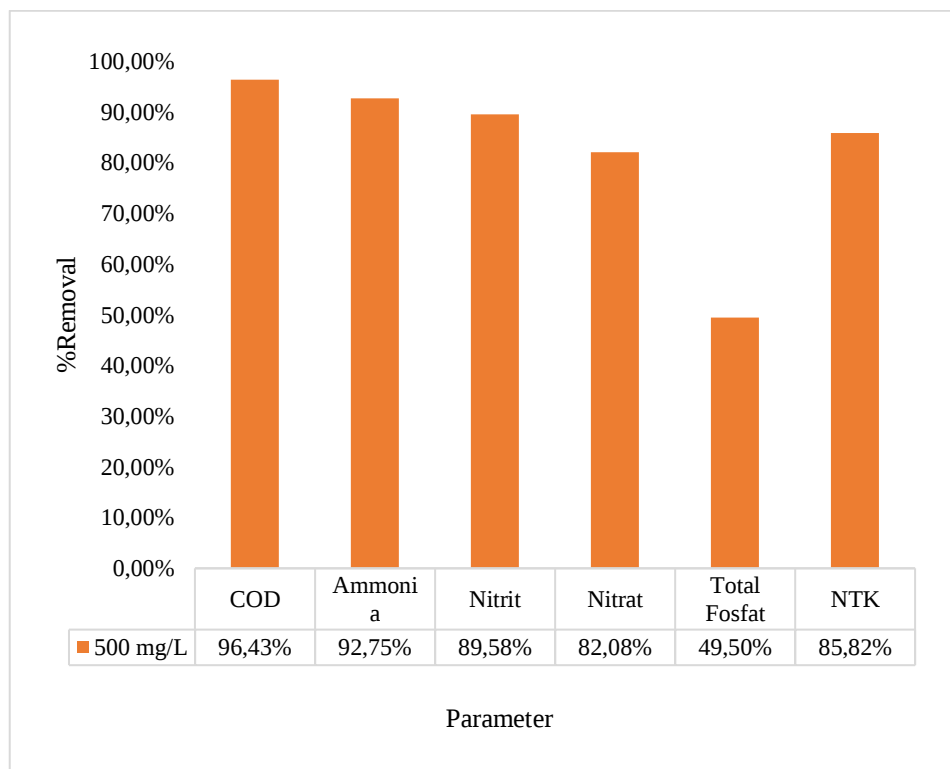
(c)

Gambar 5. Gambar morfologi dan *cross section* biomassa pada reaktor: (a) Anoksik1; (b) Anoksik 2; (c) Aerobik

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan SEM pada biomassa dari reaktor anoksik 1, anoksik 2, dan aerobik sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar di atas, terlihat bahwa lapisan biofilm yang terbentuk memiliki struktur agregat yang relatif padat dan tidak beraturan. Permukaan biomassa tampak kasar dan pada beberapa bagian terlihat adanya celah atau rongga mikro pada struktur biomassa yang menandakan adanya pori pada biofilm yang terbentuk untuk memungkinkan terjadinya difusi oksigen dan substrat organik dari lapisan biomassa terluar hingga lapisan biomassa terdalam.

3.4 Penyisihan Senyawa Organik

Pada penelitian ini dilakukan proses operasional (*running* reaktor) untuk mengetahui efektivitas kinerja reaktor FBR dengan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball*. Berikut adalah hasil penyisihan COD dan nutrisi lain pada proses operasional tersebut:

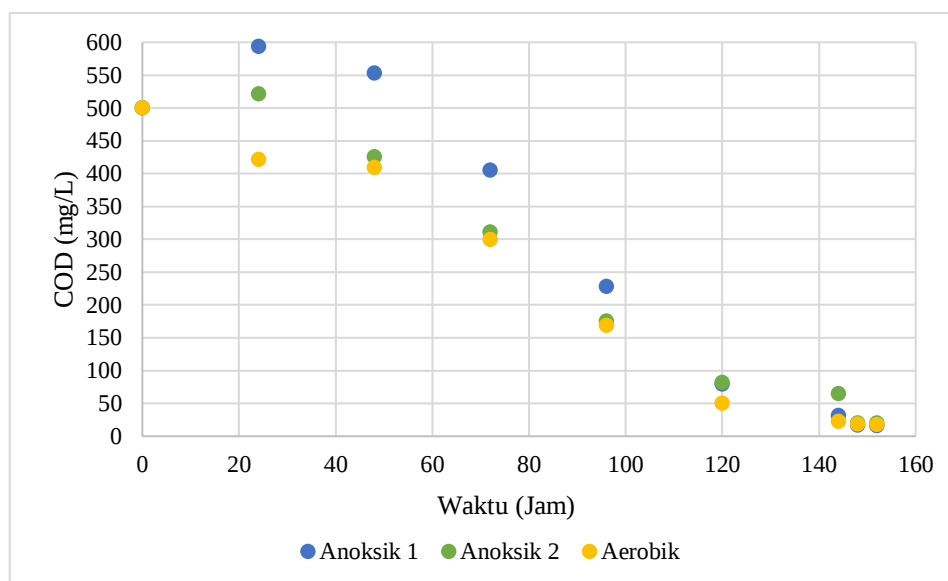


Gambar 6. Efisiensi penyisihan COD dan parameter nutrisi lainnya pada saat operasi

Tabel 3. Hasil pengukuran parameter organik dan parameter nutrisi lainnya

Parameter	Inlet	Outlet	Efisiensi
COD	500,00	17,87	96,43%
Ammonia	33,80	2,45	92,75%
Nitrit	0,48	0,05	89,58%
Nitrat	4,52	0,81	82,08%
Total Fosfat	5,03	2,54	49,50%
NTK	45,12	6,40	85,82%

Berdasarkan hasil penelitian sebagaimana yang dapat dilihat pada **Gambar 6** sampai pada **Tabel 3** didapatkan bahwa hasil pengolahan untuk semua parameter telah memenuhi baku mutu air limbah domestik sebagaimana yang diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup No 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk Air Limbah Domestik. Berikut adalah profil penurunan konsentrasi COD selama masa operasi:



Gambar 7. Profil penurunan konsentrasi COD

Pada **Gambar 7** dapat dilihat bahwa selama masa operasional konsentrasi COD turun hingga *steady state* di jam ke 144 - 152. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa reaktor *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR) dengan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dapat menurunkan konsentrasi COD dari 500 mg/L menjadi 17,87 mg/L, dengan efisiensi penyisihan sebesar 96,43%. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi sistem ini mampu menyisihkan sebagian besar senyawa organik pada air limbah domestik. Efisiensi penyisihan yang tinggi menunjukkan bahwa proses biodegradasi berlangsung secara efektif selama air limbah melewati rangkaian reaktor anoksik dan aerobik. Penyisihan bahan organik pada sistem biofilm utamanya berlangsung melalui aktivitas mikroorganisme dengan memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber karbon dan energi untuk pertumbuhan sel. Berbeda dengan sistem lumpur aktif, mikroorganisme pada FBR tumbuh melekat pada permukaan media sehingga biomassa dapat dipertahankan dalam jumlah yang lebih tinggi dan tidak mudah luruh bersama efluen. Kondisi tersebut meningkatkan waktu tinggal biomassa (*sludge retention time*) dan memperbesar waktu kontak antara substrat dengan mikroorganisme sehingga laju degradasi bahan organik menjadi lebih tinggi [13].

Selain aktivitas biologis, karakteristik media juga berperan penting terhadap tingginya efisiensi penyisihan COD. Media PVC sarang tawon memiliki luas permukaan spesifik yang besar sehingga menyediakan ruang tumbuh biofilm yang lebih luas, sedangkan *bioball* membantu meningkatkan distribusi aliran dan perpindahan massa di dalam reaktor. Kombinasi kedua media tersebut memungkinkan pembentukan biofilm yang lebih merata dan meningkatkan difusi substrat menuju lapisan aktif mikroorganisme. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hou dkk. [14] didapatkan bahwa proses difusi substrat merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja reaktor pada sistem biofilm, sehingga media dengan distribusi aliran yang baik akan meningkatkan efisiensi penyisihan senyawa organik pada reaktor tersebut.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauzi dkk. [15], dimana pada penelitian tersebut didapatkan efisiensi penyisihan COD lebih dari 85,76% pada sistem biofilm aerobik menggunakan media berbahan PET. Meskipun jenis media yang digunakan berbeda, kedua penelitian menunjukkan bahwa media dengan luas permukaan tinggi mampu meningkatkan akumulasi biomassa dan menghasilkan efisiensi penyisihan bahan organik yang tinggi.

3.4 Penyisihan Nutrien (Senyawa Nitrogen)

Penyisihan nitrogen pada penelitian ini ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi amonia dari 33,80 mg/L menjadi 2,45 mg/L dengan efisiensi 92,75%, penurunan NTK dari 45,12 mg/L menjadi 6,40 mg/L dengan efisiensi 85,82%. Perubahan konsentrasi tersebut menunjukkan bahwa proses nitrifikasi dan

denitrifikasi berlangsung secara efektif di dalam reaktor. Pada zona aerobik, amonia dioksidasi menjadi nitrit oleh mikroorganisme pengoksidasi amonia, kemudian nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri pengoksidasi nitrit. Sistem biofilm dapat mendukung terjadinya proses tersebut karena struktur biofilm membentuk gradien oksigen dari lapisan luar menuju lapisan dalam. Lapisan luar yang kaya oksigen mendukung aktivitas bakteri nitrifikasi, sedangkan lapisan yang lebih dalam memiliki konsentrasi oksigen lebih rendah sehingga memungkinkan berlangsungnya proses reduksi nitrogen. Struktur biofilm ini dapat meningkatkan proses penyisihan nitrogen pada air limbah dibandingkan dengan sistem pertumbuhan tersuspensi [16]. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* mampu menyediakan kondisi yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam siklus nitrogen sehingga dapat meningkatkan efektivitas penyisihan nitrogen pada air limbah domestik.

4. Kesimpulan

Teknologi *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR) dengan sistem anoksik - aerobik yang menggunakan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* menunjukkan hasil efisiensi penyisihan yang cukup tinggi untuk senyawa organik dan nutrisi pada air limbah domestik dengan konsentrasi COD influen sebesar 500 mg/L. Efisiensi penyisihan yang tinggi ini menunjukkan bahwa kombinasi media yang digunakan mampu mendukung pembentukan biofilm yang lebih efektif sehingga dapat meningkatkan aktivitas biodegradasi senyawa organik dan nutrisi oleh mikroorganisme. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi *Fixed Bed Biofilm Reactor* (FBR) dengan sistem anoksik - aerobik yang menggunakan kombinasi media PVC sarang tawon dan *bioball* dapat menjadi salah satu alternatif teknologi yang dapat diterapkan dalam pengolahan air limbah domestik.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Program P2MI 2025 atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. Daftar Pustaka

- [1] A. E. South and E. Nazir, "Karakteristik Air Limbah Rumah Tangga pada Salah Satu Perumahan Menengah Keatas yang Berada Di Tangerang Selatan," *Ecolab Vol. 10*, pp. 80 - 88, 2016.
- [2] R. A. Putri and S. Julianti, "Optimalisasi Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Berbasis Biofilter Anaerob-Aerob Di Permukiman Padat Penduduk," *ALPHA Journal of Science and Technology*, vol. 1, pp. 42-47, 2025.
- [3] M. &. Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, New York: Mcgraw-Hill Education, 2014.
- [4] M. Rizka, M. Fauzi, P. Soewondo, M. Handjani and T. Tedjakusuma, "Pengaruh Beban Influen terhadap Performa Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Fixed Bed System dengan Media Penunjang PVC Sarang Tawon," *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 12, no. 3, pp. 315-326, 2024.
- [5] S. Bahri, "Identifikasi Sumber Pencemar Nitrogen (N) dan Fosfor (P) pada Pertumbuhan Melimpah Tumbuhan Air Di Danau Tempe Sulawesi Selatan," *Jurnal Sumber Daya Air*, vol. 12, no. 2, pp. 159 - 174, 2016.
- [6] S. Yudo and N. I. Said, "Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik Di Indonesia," *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 58 - 75, 2017.
- [7] R. Bhattacharya and D. Mazumder, "Simultaneous Nitrification and Denitrification in Moving Bed Bioreactor and Other Biological Systems," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 44, pp. 635-652, 2020.
- [8] K. Espinoza, C. Fernandez, J. Perez, D. Benalcazar, D. Romero and B. Lapo, "Support Materials of Fixed Biofilm Based on Solid Plastic Wastes for Domestic Wastewater Treatment," *Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia*, vol. 42, no. 2, pp. 68 - 75, 2019.
- [9] J. Levya-Diaz, M. Munio, J. Gonzalez-Lopez and J. Poyatos, "Anaerobic/Anoxic/Oxic Configuration in Hybrid Moving Bed BBiofilm Reactor-Membrane Bioreactor for Nutrient Removal from Municipal Wastewater," *Ecological Engineering*, vol. 91, pp. 449 - 458, 2016.
- [10] M. Fauzi, P. Soewondo, A. Nur, M. Handajani, T. Tedjakusuma, K. Oginawati and A. S. Setiyawan, "Performances of Polyethylene Terephthalate Plastic Bottles Waste as Supporting Media in Domestic

- Wastewater Treatment Using Aerobic Fixed-Film System," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 24, no. 10, pp. 30 - 39, 2023.
- [11] A. S. Setiyawan, A. Nur, M. Fauzi, K. Oginawati and P. Soewondo, "Effects of Different Polymeric Materials on The Bacterial Attachment dan Biofilm Formation in Anoxic Fixed-bed Biofilm Reactors," *Water Air Soil Pollution*, Vols. 1-15, pp. 147 - 177, 2023.
- [12] J. P. Boltz, B. F. Smets, B. E. Rittmann, M. C. M. v. Loosdrecht, E. Morgenroth and G. T. Daigger, "From Biofilm Ecology to Reactors: A Focused Review," *Water Science & Technology*, pp. 1-9, 2017.
- [13] G. Hayder, P. Perumulselum and H. Alhussion, "Treatment of Domestic Wastewater with Fixed Bed Biofilm Reactor," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 4.35, pp. 22-25, 2018.
- [14] Y. Hou, M. Liu, X. Tan, S. Hou and P. Yang, "Study on COD and Nitrogen Removal Efficiency of Domestic Sewage by Hybrid Carrier Biofilm Reactor," *Royal Society of Chemistry*, vol. 11, pp. 27322-27332, 2021.
- [15] M. Fauzi, P. Soewondo, M. Handajani, T. Tedjakusuma, A. Nur and M. Qadafi, "Analysis of Polymer Alternatives as Carrier Media in Domestic Wastewater Treatment Using An Anoxic Fixed Biofilm Reactor System," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 13, 2025.
- [16] J. W. Costerton and Z. Lewandowski, "Microbial Biofilms," *Annual Review Microbiol*, vol. 49, pp. 711-745, 1995.