Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21813 - 21822
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Perbandingan Kinerja MBBR Aerobik dan Anaerobik dengan Penambahan *Nitrobacter* dan *Bacillus* sp. pada Pengolahan *Slurry Frozen Food*

Alvin Adrian Wibisono, Novirina Hendrasarie*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya
***Koresponden email**: novirina@upnjatim.ac.id

Diterima: 5 September 2026 Disetujui: 10 September 2026

Abstract
The frozen food industry in Lamongan Regency generates slurry from the Dissolved Air Flotation (DAF) unit, which still contains high concentrations of organic matter and ammonia. The slurry from PT X has a moisture content of 90.5% and an initial ammonia concentration of 562 mg/L, requiring treatment before discharge into the environment. This study aimed to evaluate the ability of a Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) to reduce COD, BOD_5, and ammonia concentrations and to compare the performance of aerobic and anaerobic conditions with the addition of *Nitrobacter* and *Bacillus* sp. The study used MBBR reactors containing Kaldnes K3 media, consisting of an anaerobic indigenous reactor, an aerobic indigenous reactor, an anaerobic reactor supplemented with *Bacillus* sp., and an aerobic reactor supplemented with *Nitrobacter*. The experimental stages included inoculation, seeding, acclimatization, and 72 h of reactor operation. Samples were collected at 0, 24, 48, and 72 h to analyze pH, DO, COD, BOD_5, and ammonia. The results showed that all treatments reduced COD, BOD_5, and ammonia concentrations. The highest removal efficiencies were obtained in the aerobic MBBR supplemented with *Nitrobacter*, reaching 77.76% for COD, 72.10% for BOD_5, and 62.56% for ammonia, with final concentrations of 5,920, 2,960, and 76 mg/L, respectively. The biofilm in this treatment also appeared thicker than those in the other treatments. Overall, the aerobic MBBR supplemented with *Nitrobacter* showed the best performance for removing organic matter and ammonia.
Keywords: *bacillus sp.; organic matter; moving bed biofilm reactor (mbbr); nitrobacter; frozen food industry slurry*

Abstrak
Industri *frozen food* di Kabupaten Lamongan menghasilkan *slurry* dari unit *Dissolved Air Flotation* (DAF) yang masih mengandung bahan organik dan amonia dalam konsentrasi tinggi. *Slurry* PT X memiliki kadar air 90,5% dan konsentrasi amonia awal 562 mg/L sehingga perlu diolah sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam menurunkan COD, BOD_5, dan amonia serta membandingkan kinerja kondisi aerobik dan anaerobik dengan penambahan *Nitrobacter* dan *Bacillus* sp. Penelitian menggunakan reaktor MBBR dengan media Kaldnes K3 yang terdiri atas reaktor anaerobik *indigenous*, aerobik *indigenous*, anaerobik dengan *Bacillus* sp., dan aerobik dengan *Nitrobacter*. Tahapan penelitian meliputi inokulasi, *seeding*, aklimatisasi, dan *running* selama 72 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada jam ke-0, 24, 48, dan 72 untuk analisis pH, DO, COD, BOD_5, dan amonia. Hasil penelitian menunjukkan seluruh perlakuan mampu menurunkan COD, BOD_5, dan amonia. Penyisihan tertinggi diperoleh pada MBBR aerobik dengan *Nitrobacter*, yaitu COD 77,76%, BOD_5 72,10%, dan amonia 62,56%, dengan konsentrasi akhir masing-masing 5.920, 2.960, dan 76 mg/L. Biofilm pada perlakuan ini juga terlihat lebih tebal dibandingkan perlakuan lainnya. MBBR aerobik dengan *Nitrobacter* memberikan hasil terbaik dalam penyisihan bahan organik dan amonia.
Kata Kunci: *bacillus sp; bahan organik; moving bed biofilm reactor; nitrobacter; slurry industri frozen food*

1. Pendahuluan

Perkembangan industri *frozen food* di wilayah pesisir Lamongan yang didukung oleh potensi hasil perikanan yang tinggi turut meningkatkan volume produksi dan jumlah limbah yang dihasilkan. Salah satu residu dari proses pengolahan limbah adalah *slurry* yang berasal dari unit *Dissolved Air Flotation* (DAF) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Meskipun telah melalui proses *dewatering* menggunakan *belt press*, *slurry* yang dihasilkan masih memiliki kadar air yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil

wawancara pada Agustus 2025, salah satu industri *frozen food* di Lamongan, yaitu PT X, menghasilkan sekitar 1 ton *slurry* per hari dengan kadar air awal sebesar 90,5%. Hasil karakterisasi sampel *slurry* menunjukkan konsentrasi amonia sebesar 562 mg/L. Konsentrasi amonia yang tinggi dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik, antara lain melalui eutrofikasi, penurunan kualitas badan air, dan gangguan terhadap organisme akuatik [1]. Selain amonia, kandungan bahan organik yang tinggi juga dapat menyebabkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi sehingga dapat memengaruhi kualitas ekosistem perairan [2].

Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) merupakan salah satu teknologi pengolahan biologis yang banyak dikembangkan untuk mengolah limbah dengan kandungan bahan organik dan nitrogen yang tinggi [3] [4]. Pengolahan ini menggunakan media bergerak sebagai tempat pertumbuhan biofilm sehingga biomassa dapat tertahan di dalam reaktor dan proses pengolahan tetap stabil pada kondisi beban organik yang berubah-ubah [5]. Kinerja MBBR dipengaruhi oleh beberapa kondisi operasional, seperti *hydraulic loading rate* (HLR), *organic loading rate* (OLR), *hydraulic retention time* (HRT), *sludge retention time* (SRT), pH, suhu, jenis dan fraksi pengisian media, konfigurasi reaktor, jenis mikroorganisme, ketebalan biofilm, jumlah biomassa yang menempel dan tersuspensi, serta laju aerasi [3]. MBBR juga dapat digunakan untuk menghilangkan bahan organik dan nitrogen amonium (NH_4^+-N) secara bersamaan [6].

Kinerja MBBR juga dipengaruhi oleh mikroorganisme yang tumbuh pada media. Biofilm yang tumbuh pada media plastik mengambang dapat mendukung proses penyisihan nitrogen pada MBBR [7]. Penambahan *Bacillus* sp. pada MBBR juga dapat membantu penyisihan bahan organik melalui aktivitas biodegradasi [8] [9] [10]. Pada kondisi aerobik, *Nitrobacter* berperan dalam proses nitrifikasi dengan mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Sementara itu, pada kondisi anaerobik, mikroorganisme berperan dalam menguraikan bahan organik melalui tahapan hidrolisis dan fermentasi.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja MBBR pada kondisi aerobik dan anaerobik dengan penambahan *Nitrobacter* dan *Bacillus* sp. dalam menyisihkan amonia serta beban organik pada *slurry* industri *frozen food*. Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan kinerja MBBR aerobik dan anaerobik dengan penambahan kultur bakteri pada pengolahan *slurry* DAF industri *frozen food*.

2. Metode Penelitian

Pengambilan dan Karakterisasi Sampel

Sampel *slurry* diperoleh dari unit *Dissolved Air Flotation* (DAF) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT X, industri *frozen food* di Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Sampel kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik awal sebelum dilakukan proses pengolahan biologis. Parameter yang dianalisis meliputi pH berdasarkan SNI 6989.11:2019, *Dissolved Oxygen* (DO) berdasarkan SNI 06-6989.15-2004, *Chemical Oxygen Demand* (COD) berdasarkan SNI 6989.73:2009, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) berdasarkan SNI 6989.72:2009, dan amoniak (NH_3-N) berdasarkan SNI 06-6989.30-2005.

Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini memiliki 3 tahapan yaitu tahap persiapan, tahap inokulasi, *seeding* dan aklimatisasi serta yang terakhir tahap *running*. Berikut tahapan penelitian yang dilakukan :

1. Tahap Persiapan

Penelitian ini menggunakan reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) skala laboratorium dengan media Kaldnes K3. Perlakuan yang digunakan terdiri atas bakteri *Nitrobacter* pada reaktor aerobik, *Bacillus* sp. pada reaktor anaerobik, dan mikroorganisme *indigenous* sebagai kontrol. Reaktor aerobik dilengkapi *air stone* yang terhubung dengan aerator untuk menyuplai udara, sedangkan reaktor anaerobik tidak menggunakan aerasi dan dilengkapi *two-blade impeller* untuk mengaduk *slurry* dan menjaga media tetap bergerak.

2. Tahap Inokulasi Bakteri, *Seeding*, dan Aklimatisasi

Sebelum proses *seeding*, dilakukan inokulasi mikroorganisme sesuai dengan perlakuan penelitian. Mikroorganisme *indigenous* yang berasal dari *slurry* digunakan sebagai kontrol, sedangkan *Nitrobacter* diinokulasikan pada reaktor aerobik dan *Bacillus* sp. pada reaktor anaerobik. Inokulasi dilakukan sebagai tahap awal untuk menyediakan mikroorganisme yang selanjutnya dikembangkan selama proses *seeding*.

Proses *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan dan mengembangkan mikroorganisme hingga terbentuk biofilm pada permukaan media MBBR [11]. *Seeding* dilakukan menggunakan 5 L *slurry* pada setiap reaktor yang telah dilengkapi media Kaldnes K3. Selama proses *seeding*, molase ditambahkan sebagai sumber karbon untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme. Reaktor dioperasikan pada

kondisi anaerobik dan aerobik sesuai dengan perlakuan. Pada kondisi anaerobik, reaktor dioperasikan dengan pengadukan 30 rpm tanpa aerasi, sedangkan pada kondisi aerobik diberikan aerasi dengan debit 15 L/menit.

Selama proses *seeding*, dilakukan pengamatan terhadap perubahan warna dan bau, pembentukan lendir atau biofilm pada media, serta konsentrasi *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) [12]. Proses *seeding* dilanjutkan hingga konsentrasi MLSS mencapai 2.000 mg/L. Setelah kondisi tersebut tercapai, reaktor dilanjutkan ke tahap aklimatisasi.

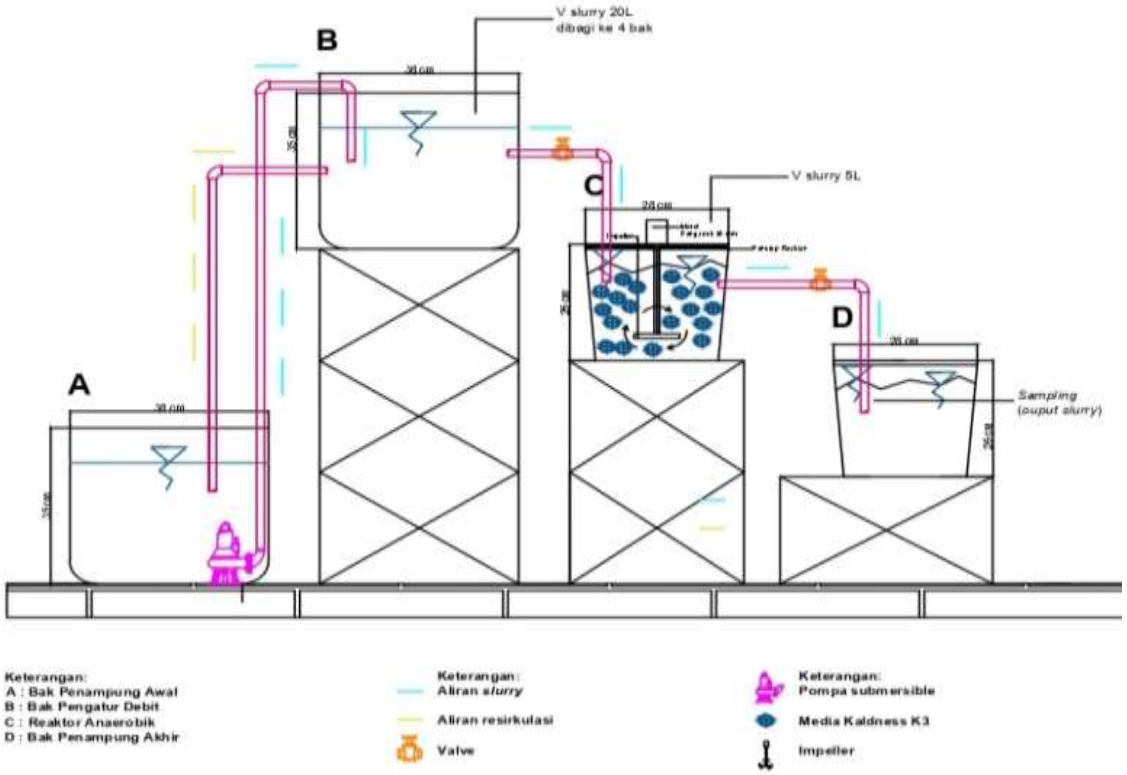
Aklimatisasi dilakukan untuk menyesuaikan mikroorganisme terhadap karakteristik *slurry* sebelum reaktor digunakan pada tahap penelitian. Aklimatisasi dilakukan secara bertahap dengan meningkatkan proporsi *slurry* selama tiga tahap, yaitu:

1. Aklimatisasi tahap I: 50% *slurry* : 50% hasil *seeding* selama 7 hari.
2. Aklimatisasi tahap II: 75% *slurry* : 25% hasil *seeding* selama 7 hari.
3. Aklimatisasi tahap III: 90% *slurry* : 10% hasil *seeding* selama 3 hari.

Aklimatisasi dinyatakan selesai apabila mikroorganisme dapat beradaptasi terhadap peningkatan proporsi *slurry*, yang ditunjukkan oleh nilai penyisihan COD yang relatif stabil atau meningkat secara bertahap. Setelah tahap aklimatisasi selesai, reaktor dioperasikan sesuai dengan kondisi dan variabel penelitian.

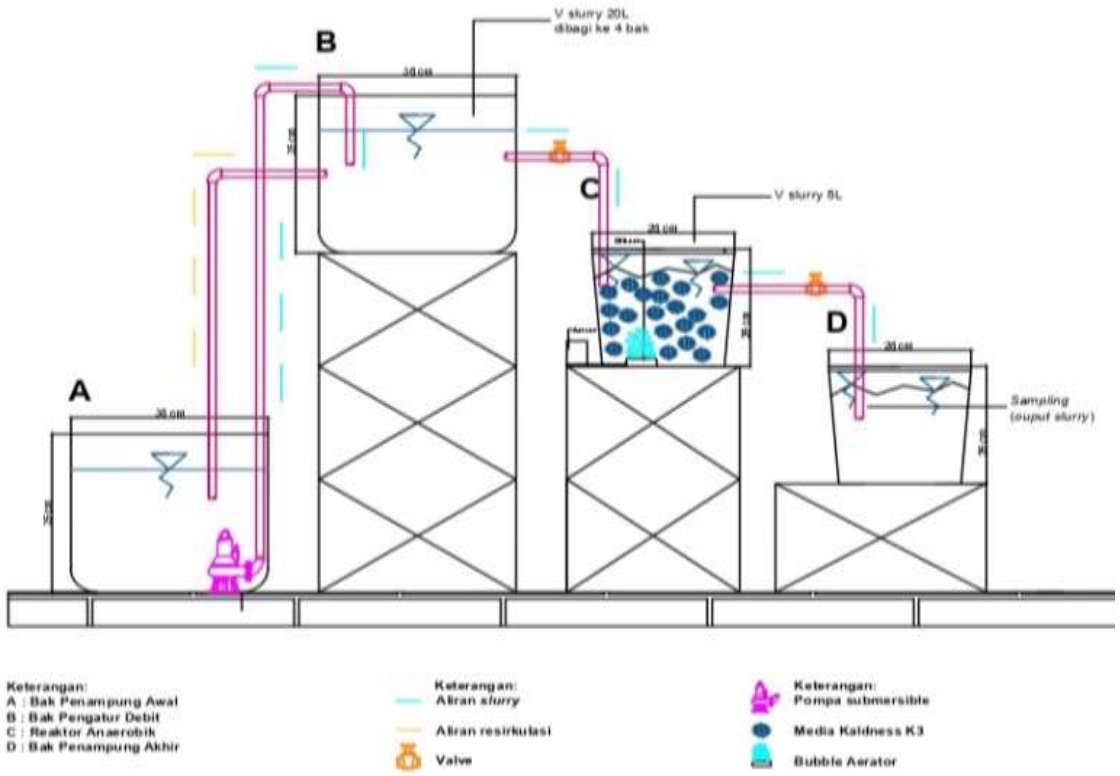
3. Tahap *running*

Seluruh reaktor kemudian dioperasikan selama 72 jam sesuai dengan perlakuan masing-masing. Pengambilan sampel dilakukan pada jam ke-0, 24, 48, dan 72. Parameter yang dianalisis meliputi pH, DO, COD, BOD, dan amoniak (NH_3-N).



(a)

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21813 - 21822
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934



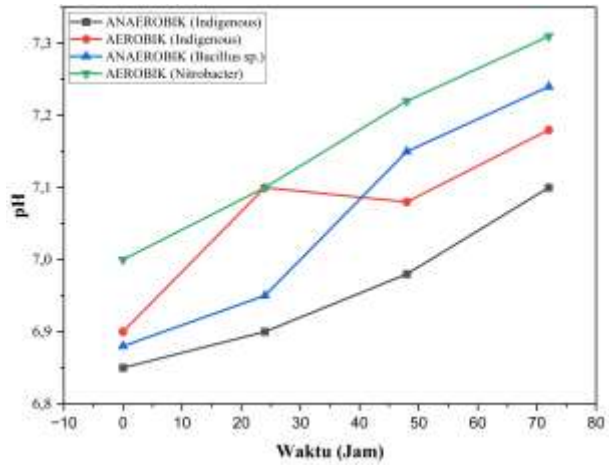
(b)

Gambar 1. Reaktor MBBR (a) Anaerobik & (b) Aerobik

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh pH dan Dissolved Oxygen (DO) terhadap Aktivitas Biologis dan Efisiensi Penyisihan Polutan pada Proses MBBR

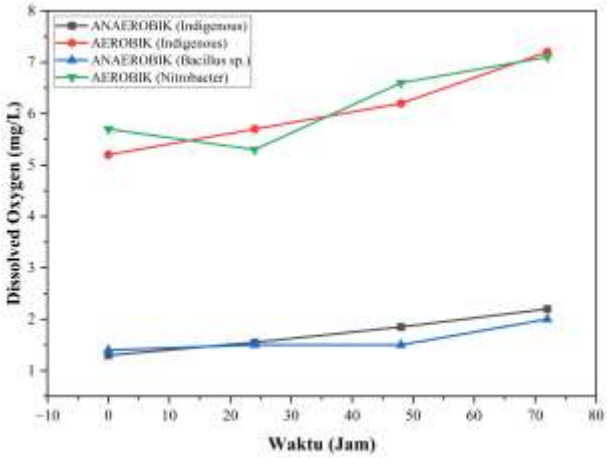
Nilai pH dan konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) merupakan parameter penting yang mencerminkan kondisi lingkungan biologis selama proses pengolahan menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) [13]. Perubahan kedua parameter tersebut menunjukkan aktivitas mikroorganisme dalam menyisihkan bahan organik serta menentukan keberhasilan proses yang berlangsung di dalam reaktor. Perubahan nilai pH dan konsentrasi DO pada masing-masing perlakuan selama waktu pengolahan disajikan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3.**



Gambar 2. Perubahan nilai pH pada berbagai perlakuan MBBR selama proses pengolahan *slurry frozen food*

Berdasarkan **Gambar 2**, nilai pH selama proses pengolahan pada seluruh reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) mengalami peningkatan secara bertahap hingga jam ke-72. Pada MBBR anaerobik *indigenous*, pH meningkat dari 6,85 menjadi 7,10, sedangkan pada MBBR aerobik *indigenous*

meningkat dari 6,90 menjadi 7,18. Peningkatan juga terjadi pada MBBR anaerobik dengan penambahan *Bacillus* sp., yaitu dari 6,88 menjadi 7,24, serta pada MBBR aerobik dengan penambahan *Nitrobacter*, yaitu dari 7,00 menjadi 7,31. Nilai tersebut masih berada pada kondisi mendekati netral yang sesuai untuk pertumbuhan berbagai mikroorganisme dalam proses pengolahan biologis, karena pH dapat memengaruhi aktivitas enzim, pertumbuhan sel, dan proses metabolisme mikroorganisme. Kondisi pH yang relatif stabil menunjukkan bahwa selama pengolahan *slurry frozen food* tidak terjadi perubahan keasaman yang besar yang dapat menghambat aktivitas mikroorganisme pada biofilm.



Gambar 3. Perubahan Konsentrasi *Dissolved Oxygen* (DO) pada Reaktor MBBR

Perubahan nilai pH tersebut sejalan dengan perubahan konsentrasi DO yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**. Nilai *dissolved oxygen* (DO) pada seluruh perlakuan mengalami peningkatan selama proses pengolahan hingga jam ke-72, meskipun besarnya peningkatan berbeda pada setiap reaktor. Pada MBBR anaerobik *indigenous*, rata-rata DO meningkat dari 2,62 menjadi 45,84, sedangkan pada MBBR aerobik *indigenous* meningkat dari 3,50 menjadi 56,53. Pada reaktor dengan penambahan mikroorganisme, rata-rata DO pada MBBR anaerobik dengan *Bacillus* sp. meningkat dari 6,55 menjadi 66,72, sementara pada MBBR aerobik dengan *Nitrobacter* meningkat dari 8,18 menjadi 70,81. DO berkaitan erat dengan kondisi biologis dalam MBBR karena oksigen digunakan oleh mikroorganisme aerobik untuk memperoleh energi dan menguraikan senyawa organik, sedangkan ketersediaannya juga dapat memengaruhi komposisi dan aktivitas mikroorganisme yang tumbuh pada biofilm. Penelitian pada MBBR menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi DO dapat memengaruhi karakteristik biofilm dan distribusi komunitas mikroorganisme di dalam reaktor. Oleh karena itu, peningkatan DO pada penelitian ini menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen selama proses semakin besar, terutama pada reaktor aerobik dengan *Nitrobacter*, sehingga kondisi tersebut mendukung berlangsungnya aktivitas mikroorganisme aerobik selama pengolahan.

Penyisihan Polutan Selama Proses MBBR

Kinerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam mengolah *slurry frozen food* dievaluasi berdasarkan perubahan konsentrasi parameter pencemar utama, yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD_5), dan amoniak (NH_3-N). Efektivitas proses pengolahan ditentukan dengan membandingkan konsentrasi awal dan konsentrasi akhir masing-masing parameter pada setiap perlakuan, kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku. Ringkasan hasil penyisihan polutan, meliputi konsentrasi awal, konsentrasi akhir, serta baku mutu yang dijadikan acuan, disajikan **Tabel 1**.

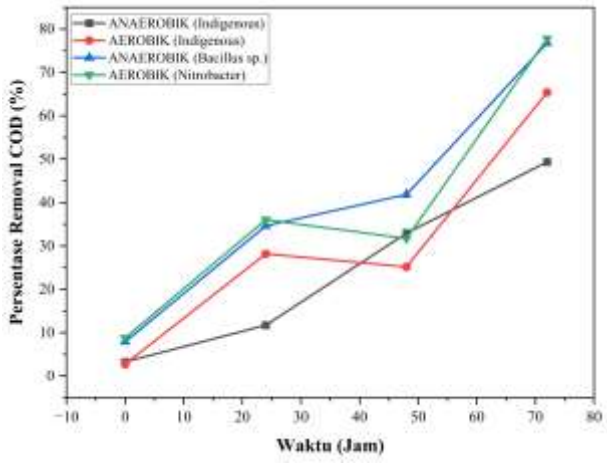
Tabel 1. Perbandingan Konsentrasi Awal dan Akhir Polutan Selama Pengolahan Menggunakan MBBR

No.	Keterangan	HRT (Jam)	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	Amonia (mg/L)
1	Baku Mutu	-	100	30	-
2	Awal	-	26.618	10.608	203
3	Anaerobik (*Indigenous*)	0	25.750	10.380	198
4		24	23.500	9.350	177
5		48	17.850	7.550	151
6		72	13.480	5.280	126

No.	Keterangan	HRT (Jam)	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	Amonia (mg/L)
7	Aerobik (*Indigenous*)	0	25.890	10.150	196
8		24	19.120	8.720	153
9		48	19.920	5.720	131
10		72	9.210	4.780	103
11	Anaerobik (*Bacillus sp.*)	0	24.520	10.090	189
12		24	17.400	7.350	152
13		48	15.480	5.250	129
14		72	6.180	3.320	92
15	Aerobik (*Nitrobacter*)	0	24.280	9.980	183
16		24	17.030	6.920	166
17		48	18.180	4.680	117
18		72	5.920	2.960	76

Penyisihan Parameter COD

Konsentrasi COD pada seluruh reaktor MBBR mengalami penurunan selama 72 jam pengolahan. Pada MBBR anaerobik *indigenous*, COD menurun dari 25.750 mg/L pada jam ke-0 menjadi 13.480 mg/L pada jam ke-72, sehingga penyisihannya mencapai 49,36%. Pada MBBR aerobik *indigenous*, COD akhir sebesar 9.210 mg/L dengan penyisihan 65,40%, sedangkan penambahan *Bacillus* sp. pada kondisi anaerobik mampu meningkatkan penyisihan menjadi 76,78% dengan COD akhir 6.180 mg/L. Penyisihan tertinggi diperoleh pada MBBR aerobik dengan *Nitrobacter*, yaitu 77,76%, dengan konsentrasi COD akhir sebesar 5.920 mg/L. Penurunan COD menunjukkan bahwa senyawa organik dalam *slurry frozen food* digunakan oleh mikroorganisme untuk proses metabolisme dan pertumbuhan. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan mikroorganisme memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penggunaan mikroorganisme *indigenous*, dengan perlakuan *Nitrobacter* pada kondisi aerobik menghasilkan penyisihan COD paling tinggi.

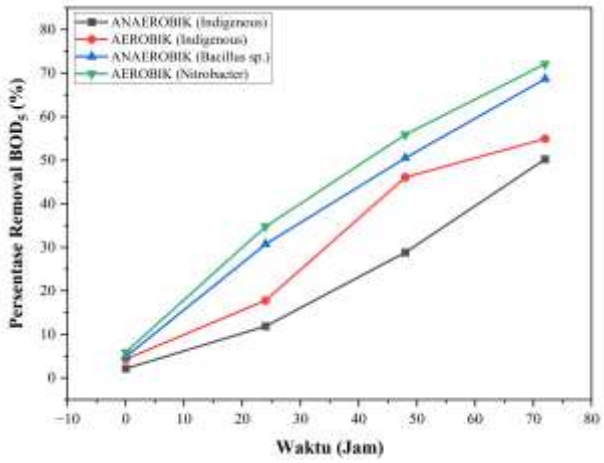


Gambar 4. Efisiensi Penyisihan COD (% Removal) Selama Proses Pengolahan Menggunakan MBBR.

Penyisihan Parameter $BOD5_5$

Nilai BOD mengalami penurunan pada semua reaktor selama waktu pengolahan, yang menunjukkan berkurangnya bahan organik yang dapat diuraikan secara biologis. Pada MBBR anaerobik *indigenous*, BOD turun dari 10.380 mg/L menjadi 5.280 mg/L pada jam ke-72 dengan penyisihan sebesar 50,23%, sedangkan pada MBBR aerobik *indigenous* konsentrasi akhir mencapai 4.780 mg/L dengan penyisihan 54,94%. Penambahan *Bacillus* sp. menghasilkan penyisihan BOD sebesar 68,70%, dengan konsentrasi akhir 3.320 mg/L. Sementara itu, MBBR aerobik dengan *Nitrobacter* memberikan hasil paling tinggi dengan penyisihan 72,10% dan konsentrasi BOD akhir 2.960 mg/L. Penurunan BOD terjadi karena mikroorganisme memanfaatkan bahan organik yang mudah terurai sebagai substrat selama proses pengolahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi aerobik dengan penambahan *Nitrobacter*

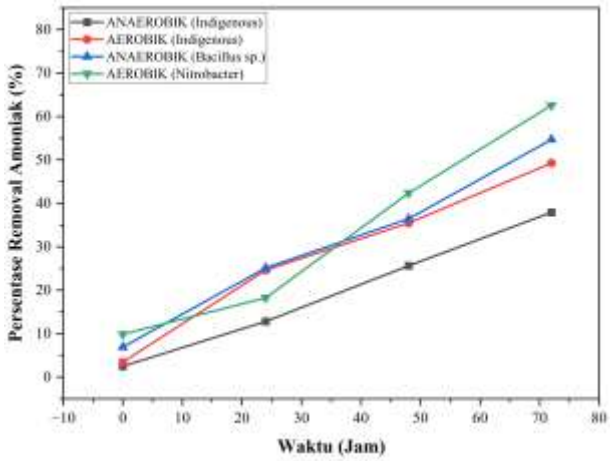
memberikan penyisihan BOD yang lebih besar dibandingkan perlakuan lainnya, meskipun penyisihan bahan organik tidak hanya ditentukan oleh *Nitrobacter*, tetapi juga oleh mikroorganisme lain yang tumbuh pada biofilm.



Gambar 5. Efisiensi Penyisihan BOD_5 (% Removal) Selama Proses Pengolahan Menggunakan MBBR.

Penyisihan Parameter Amoniak (NH_3-N)

Konsentrasi amonia pada seluruh perlakuan juga mengalami penurunan sampai akhir pengolahan, tetapi besarnya penyisihan berbeda pada masing-masing reaktor. Pada MBBR anaerobik *indigenous*, konsentrasi amonia turun dari 198 mg/L pada jam ke-0 menjadi 126 mg/L pada jam ke-72, dengan penyisihan sebesar 37,93%. Penambahan *Bacillus* sp. meningkatkan penyisihan amonia menjadi 54,68%, dengan konsentrasi akhir sebesar 92 mg/L. Pada MBBR aerobik *indigenous*, konsentrasi amonia akhir sebesar 103 mg/L dan penyisihannya mencapai 49,26%, sedangkan perlakuan dengan *Nitrobacter* menghasilkan konsentrasi akhir paling rendah, yaitu 76 mg/L, dengan penyisihan sebesar 62,56%. Kondisi aerobik memberikan ketersediaan oksigen yang dibutuhkan dalam proses nitrifikasi, yaitu perubahan senyawa nitrogen tereduksi menuju bentuk nitrogen yang lebih teroksidasi. *Nitrobacter* berperan terutama dalam mengoksidasi nitrit menjadi nitrat, sehingga penyisihan amonia yang lebih tinggi pada perlakuan ini menunjukkan bahwa proses transformasi nitrogen berlangsung lebih baik pada reaktor aerobik dengan penambahan *Nitrobacter*.

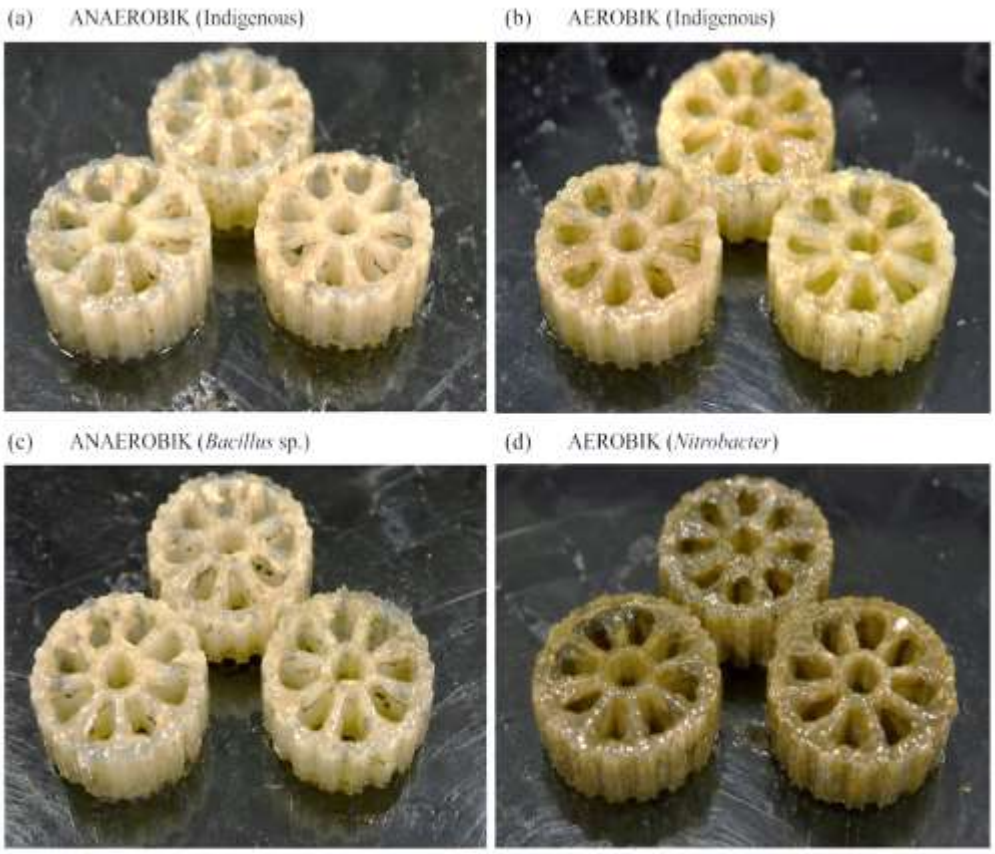


Gambar 5. Efisiensi Penyisihan Amoniak (% Removal) Selama Proses Pengolahan Menggunakan MBBR.

Pengamatan Biofilm pada Media Kaldnes K3

Berdasarkan **Gambar 6**, menunjukkan kondisi biofilm yang terbentuk pada media MBBR setelah proses aklimatisasi menggunakan beberapa jenis mikroorganisme, yaitu mikroorganisme indigenous pada kondisi anaerobik dan aerobik, *Bacillus* sp. pada kondisi anaerobik, serta *Nitrobacter* pada kondisi aerobik. Secara visual, seluruh media telah ditumbuhi biofilm yang ditandai dengan adanya lapisan berwarna krem hingga kecokelatan pada permukaan carrier. Namun, ketebalan biofilm pada setiap perlakuan terlihat berbeda. Biofilm pada media anaerobik indigenous, aerobik indigenous, dan anaerobik *Bacillus* sp. masih

terlihat relatif tipis dan belum menutupi seluruh permukaan media secara merata. Sementara itu, media yang diinokulasi *Nitrobacter* pada kondisi aerobik menunjukkan biofilm yang paling tebal, lebih padat, dan menempel hampir di seluruh permukaan serta rongga media.



Gambar 6. Perbandingan Pembentukan Biofilm pada Media Kaldnes K3 dengan Berbagai Jenis Mikroorganisme

Perbedaan ketebalan biofilm tersebut menunjukkan bahwa jenis mikroorganisme dan kondisi operasi berpengaruh terhadap pembentukan biofilm pada media MBBR [14]. Faktor lain yang memengaruhi kinerja MBBR adalah *fill medium loading rate*, yaitu jumlah media yang digunakan dalam reaktor [15]. Media akan terus bergerak dengan adanya aerasi dan pengadukan mekanis sehingga terjadi kontak antara media dengan air limbah selama proses pengolahan [16]. Pada kondisi aerobik, ketersediaan oksigen yang cukup mendukung pertumbuhan *Nitrobacter* sebagai bakteri nitrifikasi sehingga biomassa yang terbentuk lebih banyak dan biofilm menjadi lebih tebal dibandingkan perlakuan lainnya. Biofilm umumnya lebih banyak menempel pada bagian dalam rongga media karena bagian tersebut lebih terlindungi dari gesekan akibat pergerakan *carrier*. Kondisi ini juga disebutkan oleh Hendrasarie et al. (2026), yang menyatakan bahwa biofilm cenderung melekat pada rongga media Kaldnes dan hanya membentuk lapisan tipis pada bagian permukaan luar akibat media terus bergerak selama proses pengolahan [17].

3. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu tinggal (*Hydraulic Retention Time*/HRT) hingga 72 jam meningkatkan efisiensi penyisihan pencemar pada seluruh perlakuan MBBR. Reaktor MBBR aerobik dengan bakteri *Nitrobacter* memberikan kinerja terbaik dengan menghasilkan konsentrasi akhir COD sebesar 5.920 mg/L, BOD sebesar 2.960 mg/L, dan amonia sebesar 46 mg/L, serta mempertahankan kondisi operasi yang optimal dengan DO 7,1 mg/L dan pH 7,31. Sementara itu, reaktor MBBR anaerobik menggunakan *Bacillus* sp. menunjukkan kemampuan penyisihan yang lebih baik dibandingkan bakteri indigenous, namun efektivitasnya masih lebih rendah dibandingkan sistem aerobik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan MBBR aerobik menggunakan *Nitrobacter* merupakan alternatif teknologi biologis yang lebih efektif untuk menurunkan konsentrasi amonia dan beban organik pada *slurry* industri *frozen food*, sehingga berpotensi diterapkan sebagai proses pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada pihak industri *frozen food* yang telah memberikan izin pengambilan sampel serta kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penelitian, pengujian laboratorium, dan penyusunan naskah ini.

6. Singkatan

BOD_5	*Biochemical Oxygen Demand$_5$*
COD	*Chemical Oxygen Demand*
DAF	*Dissolved Air Flotation*
DO	*Dissolved Oxygen*
HLR	*Hydraulic Loading Rate*
HRT	*Hydraulic Retention Time*
IPAL	*Instalasi Pengolahan Air Limbah*
MBBR	*Moving Bed Biofilm Reactor*
NH_3-N	*Nitrogen Amonia*
OLR	*Organic Loading Rate*
pH	*Derajat Keasaman*
SRT	*Sludge Retention Time*
%	*Percentage*

7. Referensi

[1] S. C. Yun *et al.*, "A review of ammonia toxicity on aquatic organisms: Species-specific responses, microbial shifts, and environmental interactions.," *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 300, p. 110388, Feb. 2026, doi: 10.1016/j.cbpc.2025.110388.

[2] Z. Oktaviani and N. Hendrasarie, "Efektivitas Konsorsium Mikroalga Chlorella sp. dan Mikroba Indigenous Dalam Menurunkan BOD, COD, dan TN Air Limbah Industri Kecap Menggunakan MBBR," *J. Serambi Engineenig*, vol. 9, no. 4, pp. 10724–10730, 2024.

[3] B. Gupta *et al.*, "Recent advances in application of moving bed biofilm reactor for wastewater treatment: Insights into critical operational parameters, modifications, field-scale performance, and sustainable aspects," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, p. 107742, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107742.

[4] S. Madan, R. Madan, and A. Hussain, "Advancement in biological wastewater treatment using hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR): a review," *Appl. Water Sci.*, vol. 12, no. 6, p. 141, 2022, doi: 10.1007/s13201-022-01662-y.

[5] J. P. McQuarrie and J. P. Boltz, "Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design, and performance.," *Water Environ. Res. a Res. Publ. Water Environ. Fed.*, vol. 83, no. 6, pp. 560–575, Jun. 2011, doi: 10.2175/106143010x12851009156286.

[6] D. Saidulu, A. Majumder, and A. K. Gupta, "A systematic review of moving bed biofilm reactor, membrane bioreactor, and moving bed membrane bioreactor for wastewater treatment: Comparison of research trends, removal mechanisms, and performance," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 5, p. 106112, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106112.

[7] K. A. Garcia, P. Mclee, and A. J. Schuler, "Biofilm Effects of media length on biofilms and nitrification in moving bed biofilm reactors," *Biofilm*, vol. 4, no. October, p. 100091, 2022, doi: 10.1016/j.bioflm.2022.100091.

[8] R. D. Lauda, Suprihatin, and T. C. Sunarti, "Perbaikan Kualitas Air Baku oleh Isolat Bakteri Nitrifikasi Indigenous Menggunakan Moving Bed Biofilter Reactor (MBBR)," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 29, no. 2, pp. 183–192, 2019, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.2.183.

[9] K. U. Mahto and S. Das, "Bacterial biofilm and extracellular polymeric substances in the moving bed biofilm reactor for wastewater treatment: A review," *Bioresour. Technol.*, vol. 345, p. 126476, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126476.

[10] G. Swain, K. Lal Maurya, R. Kumar Sonwani, R. Sharan Singh, R. Prakash Jaiswal, and B. N. Rai, "Effect of mixing intensity on biodegradation of phenol in a moving bed biofilm reactor: Process optimization and external mass transfer study.," *Bioresour. Technol.*, vol. 351, p. 126921, May 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2022.126921.

[11] S. Z. Aryani, P. A. Sari, M. Darmasetiawan, A. Firdaus, and T. Ismi, "Efektivitas Proses MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) Menggunakan Media Paranet Berlapis PVA Gel dalam Menurunkan Polutan Organik dan Amonia dari Air Limbah Domestik," *Pros. Semin. Nas. Tek. Lingkung.*, pp. 71–83, 2025.

[12] T. Aimia and N. Jar, "Penyisihan COD, TSS, dan TN pada Lindi TPA Klotok Menggunakan Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor," *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 4, pp. 771–779, 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i4.2418.

[13] Y.-N. Luan *et al.*, "Investigation of an intermittently-aerated moving bed biofilm reactor in rural wastewater treatment under low dissolved oxygen and C/N condition," *Bioresour. Technol.*, vol. 358, p. 127405, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127405.

[14] J. Zhao *et al.*, "Characterizing and comparing microbial community and biofilm structure in three nitrifying moving bed biofilm reactors.," *J. Environ. Manage.*, vol. 320, p. 115883, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115883.

[15] B. Young, B. Banihashemi, D. Forrest, K. Kennedy, A. Stintzi, and R. Delatolla, "Meso and micro-scale response of post carbon removal nitrifying MBBR biofilm across carrier type and loading.," *Water Res.*, vol. 91, pp. 235–243, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.watres.2016.01.006.

[16] C. Lopez-Lopez *et al.*, "Influence of filling ratio and carrier type on organic matter removal in a moving bed biofilm reactor with pretreatment of electrocoagulation in wastewater treatment," *J. Environ. Sci. Heal. Part A*, vol. 47, no. 12, pp. 1759–1767, 2012, doi: 10.1080/10934529.2012.689223.

[17] N. Hendrasarie, D. F. Rosida, and M. Tamyiz, "Treatment of soy sauce wastewater using integrated algal biofilm and bio membrane system for clean water and nutrient recovery," *J. Ecol. Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 401–413, 2026.