

# Pengaruh Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Terhadap Penurunan Kadar COD, Fosfat dan Detergen pada Air Limbah Laundry

Adila Putri Anindya\*, Firra Rosariawari, Nurvita C, M. Faisal Fadhil

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

\*Koresponden email: adilaanindya30@gmail.com

Diterima: 16 Mei 2025

Disetujui: 21 Mei 2025

## Abstract

The rapid growth of the laundry industry in Indonesia, recorded in 2021 there were more than 30,000 laundries spread throughout Indonesia with a business growth of 15-20% per year (Bisnis et al, 2021) the increased laundry industry means more wastewater will be produced. If it is not treated properly before being discharged into water bodies, it can pollute water bodies and the ecosystems inside. One of the processing methods is the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) which is a biological method by utilizing microorganisms to form a biofilms and stick to carrier media and then move dynamically so that contact occurs between waste and microorganisms effectively which can degrade pollutants in laundry waste, the more bacteria added and the longer the contact time, the more pollutants will be degraded. In this study, variations in the addition of *Pseudomonas aeruginosa* bacteria were carried out by 0%, 3%, 5%, 7% and 10% with contact times of 7 hours, 14 hours, 21 hours and 28 hours to degrade COD, phosphate and detergent parameters in laundry wastewater. The greatest removal efficiency was obtained at the addition of 10% bacteria and a contact time of 28 hours, namely 84% COD, 96% detergent and 74% phosphate. The number of colonies in the biofilm with the addition of 0% was 101,000 CFU/mL, 3% was 110,000 CFU/mL, 5% was 184,000 CFU/mL, 7% was 234,000 CFU/mL and 10% was 338,000 CFU/mL

**Keywords:** *moving bed biofilm reactor, laundry wastewater, pseudomonas aeruginosa, biological wastewater treatment*

## Abstrak

Peningkatan industri laundry di Indonesia yang pesat, tercatat tahun 2021 terdapat lebih dari 30.000 laundry yang tersebar di seluruh Indonesia dengan pertumbuhan bisnis 15-20% per tahunnya (Bisnis et al, 2021) maka akan semakin banyak air limbah sisa proses laundry yang dihasilkan. Apabila tidak dilakukan pengolahan dengan tepat sebelum dibuang ke badan air maka dapat mencemari badan air dan ekosistem didalamnya. Salah satu metode pengolahan yang dapat digunakan yaitu *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan metode biologis dengan memanfaatkan mikroorganisme yang membentuk biofilm dan menempel pada media lekat lalu bergerak secara dinamis sehingga mengakibatkan terjadinya kontak antara limbah dengan mikroorganisme secara efektif yang dapat mendegradasi polutan pencemar didalam limbah laundry, semakin banyak penambahan bakteri dan semakin lama waktu kontak maka akan semakin banyak polutan pencemar yang terdegradasi. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebesar 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% dengan waktu kontak selama 7 jam, 14 jam, 21 jam dan 28 jam untuk mendegradasi parameter COD, fosfat dan detergen dalam air limbah laundry. Didapatkan efisiensi removal terbesar pada penambahan bakteri 10% dan waktu kontak selama 28 jam yaitu 84% COD, 96% detergen dan 74% fosfat. Didapatkan jumlah koloni pada biofilm dengan penambahan 0% sebesar 101.000 CFU/mL, 3% sebesar 110.000 CFU/mL, 5% sebesar 184.000 CFU/mL, 7% sebesar 234.000 CFU/mL dan 10% sebesar 338.000 CFU/mL.

**Kata Kunci:** *moving bed biofilm reactor, limbah laundry, pseudomonas aeruginosa, pengolahan biologi air limbah*

## 1. Pendahuluan

Berdasarkan data dari Asosiasi Laundry Indonesia (ASLI), jumlah usaha laundry di Indonesia meningkat signifikan dari 4.000 unit pada tahun 2018 menjadi lebih dari 30.000 unit pada tahun 2021, dengan laju pertumbuhan bisnis mencapai 15–20% per tahun.[1]. Detergen yang digunakan pada proses laundry mengandung pembersih (surfaktan) sebesar 70 – 80%, builder (senyawa fosfat) sebesar 20 – 30% dan zat aditif (pemutih dan pewangi) sebesar 2 – 8% [2]. Kandungan tersebut mengakibatkan terjadinya

pencemaran pada badan air seperti menyebabkan eutrofikasi, pendangkalan sungai, meningkatnya kadar zat organik serta menurunnya kadar oksigen terlarut (DO) yang mengganggu kehidupan biota air didalamnya. Sehingga perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air. Salah satu pengolahan yang dapat dilakukan yaitu *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). MBBR merupakan pengolahan biologis dengan memanfaatkan pertumbuhan mikroorganisme yang menempel pada media pembawa dan menjadi biofilm. Terjadinya kontak antara media pembawa yang dilapisi biofilm dan air limbah laundry ini mengakibatkan mikroorganisme dapat mendegradasi polutan pencemar didalamnya [2]. Kandungan detergen tersusun atas tiga komponen, yaitu surfaktan (sebagai bahan dasar detergen) sebesar 20-30%, bulders (senyawa fosfat) sebesar 70-80% dan bahan adiktif (pemutih dan pewangi) yang relatif sedikit yaitu 2-8% [3].

*Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) merupakan salah satu proses pengolahan air limbah dengan lumpur aktif yang dimodifikasi dengan penambahan media pembawa untuk memaksimalkan luas permukaan biofilm dalam reactor. Pertumbuhan biomassa akan selaras dengan banyaknya volume reaktor serta tidak memerlukan proses daur ulang lumpur aktif. Pada proses anaerobik maka pergerakan media pembawa dikarenakan agitasi yang diatur oleh udara, sedangkan untuk proses aerobik dialiri oleh sistem aerasi yang menghasilkan gelembung kasar udara. Salah satu hal terpenting dari metode ini yaitu volume isian dari media pembawa harus disarankan dibawah 70% agar media memiliki ruang gerak yang luas saat dialiri oleh udara sehingga memaksimalkan kontak antara media dan air limbah [4].

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan air limbah laundry dari Laundry Excelso yang mengandung parameter COD sebesar 956 mg/L, fosfat sebesar 28 mg/L, detergen sebesar 79 mg/L dan pH sebesar 9,62 yang seluruhnya memiliki kadar di atas baku mutu mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh waktu tinggal dan penambahan variasi starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* untuk menurunkan kadar COD, fosfat dan detergen pada air limbah laundry serta untuk mengetahui jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada biofilm. Pada tahap MBBR ini akan terdiri atas tiga tahapan yaitu tahap *seeding*, tahap aklimatisasi dan tahap running [5] Untuk mengetahui jumlah koloni bakteri menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dengan menguji biofilm yang dihasilkan pada tahap *seeding*. Pada penelitian ini akan ditambahkan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* merupakan bakteri berukuran 0,5 – 1,0  $\mu\text{m}$  termasuk gram negatif areob obligat yang memiliki flagella polar bersifat motil serta memiliki kapsul, bakteri ini dapat membentuk biofilm pada substrat dan media kultur yang dipengaruhi oleh komposisi nutrisi (karbohidrat dan protein), kondisi lingkungan (pH dan suhu pertumbuhan) dan senyawa inhibitor lainnya.

Berdasarkan penelitian oleh (Kurniawan et al, 2020) didapatkan bahwa bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mampu menurunkan kadar *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) sebesar 86,7% dari air ekosistem irigasi sekunder tercemar detergen menggunakan metode biodegradasi serta menurut penelitian oleh (Desica et al., n.d.) didapatkan bahwa penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada bioreactor zeolite bioball dapat menurunkan kadar COD sebesar 72,37% dan BOD sebesar 73,86% pada waktu tinggal 24 jam di air limbah cair rumah sakit studi kasus RSUD Prambanan. Penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mempercepat proses degradasi senyawa organik dalam limbah cair dibandingkan hanya menggunakan mikroorganisme *indigenous* dalam limbah cair tersebut.

Metode *Total Plate Count* (TPC) merupakan metode perhitungan jumlah mikroba yang terkandung pada biofilm saat tahap *seeding*. Metode TPC dibedakan menjadi dua cara yaitu dengan metode tuang (*pour plate*) dan metode permukaan (*surface* atau *spread plate*). *Media Plate Count Agar* (PCA) ialah media padat yang mengandung agar sehingga setelah dingin akan memadat. Media PCA terdiri atas *casein enzymic hydrolysate*, *yeast extract*, *dextrose* dan agar [6].

## 2. Metode Penelitian

### *Peremajaan dan Inokulum Bakteri Pseudomonas aeruginosa*

Proses peremajaan isolate bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menggunakan media Nutrient Agar dengan diambil 1 ose bakteri dari kultur murni agar N/A miring kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Tahap peremajaan bakteri ini bertujuan untuk mendapatkan stok bakteri yang ditumbuhkan dari media satu ke media lain. Isolat bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang akan diremajakan berasal dari kultur murni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* berbentuk agar N/A miring komersil. Peremajaan bakteri ini dengan metode gores pada tabung reaksi yang sebelumnya telah dituangkan pada media Nutrient Agar [7].

### *Pembuatan Media Cair*

Tahap pembuatan media cair menggunakan media Nutrient Broth (NB) yaitu menambahkan 9,03 gram NB dan dilarutkan ke dalam 2000 mL cairan fisiologis kemudian diaduk dan dipanaskan hingga larut

secara sempurna kemudian dilakukan sterilisasi dengan dimasukkan ke dalam autoclave pada suhu 121°C selama 15 menit [7].

#### *Pembuatan Inokulum Bakteri*

Tahap inokulum bakteri merupakan proses pemindahan bakteri dari media lama ke media baru, pada hal ini yaitu memindahkan hasil peremajaan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dalam agar N/A ke dalam media Nutrient Broth (NB) [7]. Prosesnya yaitu memasukkan agar NA ke dalam Nutrient Broth (NB) kemudian diaduk hingga tercampur rata lalu dimasukkan ke dalam incubator suhu 37°C selama 24 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam reactor MBBR tahap seeding sesuai dengan variasi penambahan starter bakteri.

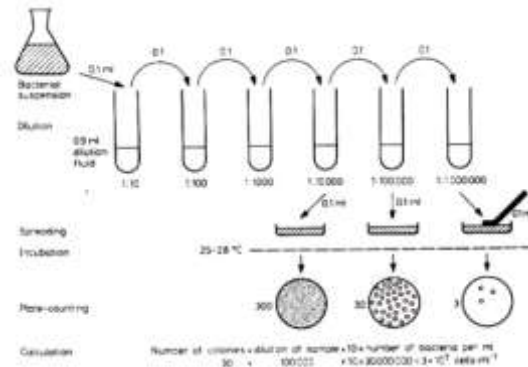
#### *Tahap Seeding*

Tahap seeding merupakan tahap awal MBBR yang bertujuan untuk menumbuhkan biofilm pada media pembawa, tahap ini krusial agar dapat membentuk biofilm yang stabil dan efektif dalam mendegradasi polutan. Pada tahap ini dilakukan secara batch dengan menambahkan 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% inokulum bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ke dalam 5 liter air limbah laundry yang dialiri udara. Selama tahap seeding dilakukan penggantian air limbah setiap 7 hari sekali untuk menghindari terjadinya toksistas mikroorganisme dan memperbanyak koloni bakteri indigenous baru dari air limbah laundry baru. Setiap proses penggantian air limbah dilakukan penambahan nutrient NPK dengan rasio 100 : 5 : 1 serta penambahan inokulum [8]. Pada tahap ini dilakukan pengujian parameter control yaitu MLSS, pH dan Suhu serta pada hari terakhir seeding dilakukan pengujian jumlah koloni bakteri dengan metode Total Plate Count. Tahap seeding pada penelitian ini selama 28 hari.

#### *Uji Total Plate Count (TPC)*

Uji Total Plate Count (TPC) merupakan suatu metode yang dikembangkan oleh Association of Official Analytical Chemist (AOAC) dan American Public Health Association (APHA). Tujuan dilakukan pengujian TPC yaitu untuk menunjukkan jumlah mikroba yang terkandung pada suatu produk dengan menghitung jumlah koloni bakteri yang ditumbuhkan pada media agar. Prinsip dari metode TPC yaitu sel mikroba dari suatu produk ditumbuhkan pada media agar sehingga sel mikroba dapat berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat dan dihitung pada colony counter [9]. Pada penelitian ini, pengujian TPC dilakukan untuk mengetahui jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada biofilm tahap seeding hari ke-28 dari variasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0%, 3%, 5%, 7% dan 10%. Cara pengujian TPC yaitu biofilm yang telah tumbuh pada hari ke-28 diambil 1 media kaldness dari setiap bak reaktor kemudian biofilm yang melekat di media akan dilakukan pengujian. Biofilm yang dihasilkan akan diencerkan dalam 20 mL larutan fisiologis kemudian dilakukan pengenceran  $10^3$ ,  $10^5$  dan  $10^7$ .

Proses pengenceran seperti **Gambar 1** yaitu mengambil 1 mL pengenceran biofilm kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL akuades lalu diambil 1 mL diletakkan pada tabung reaksi kedua yang berisi 9 mL akuades, hal ini dilakukan hingga ke tabung reaksi ke tiga (pengenceran  $10^3$ ), tabung reaksi ke lima (pengenceran  $10^5$ ) dan tabung reaksi ke tujuh (pengenceran  $10^7$ ) [10]. Dilakukan pengenceran 9,04 gr agar N/A dilakukan pengenceran dalam 300 mL larutan fisiologis kemudian dipanaskan di atas heating hingga mendidih. Setelah mendidih agar tersebut dipindahkan ke dalam cawan TPC sebanyak 20 mL dan tunggu hingga agar N/A mengeras, kemudian dituangkan hasil pengenceran biofilm di atas agar N/A yang telah mengeras lalu dimasukkan dalam incubator 37°C selama 24 jam. Setelah proses inkubasi 24 jam dapat dilakukan pembacaan hasil cawan TPC di colony counter dan dilakukan perhitungan sesuai metode TPC.



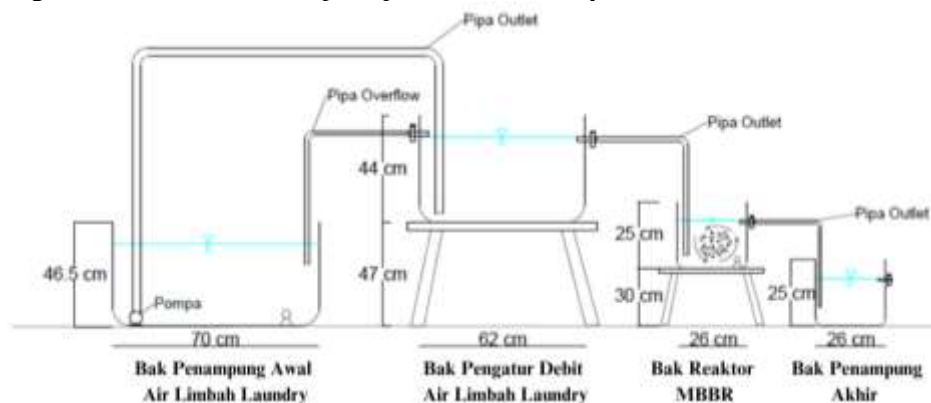
**Gambar 1.** Ilustrasi Pengujian Metode *Total Plate Count* (TPC)  
Sumber : Klement *et al*, 1990 [11]

### Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi merupakan tahap adaptasi mikroorganisme dengan air limbah yang akan diolah setelah tahapan seeding selesai, proses aklimatisasi ini dilakukan dengan cara menambahkan limbah baru secara bertahap sehingga mikroorganisme dapat beradaptasi dengan air limbah baru sebelum dilakukan proses pengolahan. Pada tahap ini, mikroorganisme mulai beradaptasi dengan lingkungan baru dalam reaktor serta mulai menempel pada media dan mulai membentuk biofilm. Proses aklimatisasi memungkinkan mikroorganisme untuk menyesuaikan diri dengan kondisi seperti jenis limbah yang diolah, pH, dan suhu, sambil membangun biofilm yang berfungsi dalam proses degradasi limbah. Biofilm ini penting untuk proses degradasi biologis, karena menyediakan habitat bagi mikroorganisme untuk berkembang biak dan berinteraksi dengan limbah. Pada tahap ini dilakukan secara batch dan bertahap dengan konsentrasi penambahan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% yang bertujuan agar mikroorganisme tidak terkena shock loading yang mengakibatkan kematian pada mikroorganisme [12].

### Tahap Running atau Penelitian Utama

Pada tahap running atau penelitian utama ini sebanyak 5 reaktor dengan volume 5 liter yang dilakukan secara kontinyu. Penelitian ini dilakukan secara oxic dengan suplai udara dari aerator sebesar 3L/menit untuk menggerakkan media K1. Pada penelitian ini memiliki variasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebesar 0%, 3%, 5%, 7%, 10% serta variasi waktu sampling pengolahan selama 7 jam, 14 jam, 21 jam dan 28 jam. Rangkaian reaktor MBBR ini meliputi bak penampung awal, bak pengatur debit, reaktor MBBR dan bak pengendap akhir. Parameter utama yang dilakukan pengolahan yaitu parameter COD, Fosfat dan Detergen dengan parameter control yaitu pH, Suhu, MLSS, COD dan DO. Visualisasi rangkaian reaktor MBBR seperti pada **Gambar 2**, yaitu



**Gambar 2.** Reaktor Penelitian MBBR  
Sumber : Hasil Penelitian, 2025

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Analisis Awal Karakteristik Air Limbah Laundry

Analisis awal karakteristik air limbah Laundry Excelso meliputi COD, Fosfat dan Detergen (MBAS) sebagai parameter utama serta pH, Suhu, MLSS dan BOD sebagai parameter pendukung. Pada **Tabel 1** merupakan hasil analisis karakteristik awal air limbah laundry, yaitu.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Karakteristik Awal Air Limbah Laundry Excelso

No	Parameter	Hasil Pengujian	Satuan	Baku Mutu*	Metode Uji
1	COD	956	mg/L	250	SNI 6989.2:2019
2	Fosfat	28	mg/L	10	SNI 06-6989.27:2005
3	Detergen (MBAS)	79	mg/L	10	SNI 06-6989.12:2004
4	pH	9,62	-	6-9	SNI 6989.11:2019

Sumber : Hasil Analisis Laboratorium, 2025

\*Baku mutu air limbah laundry mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

Berdasarkan hasil analisis awal limbah Laundry Excelso diketahui bahwa kadar COD, fosfat, detergen (MBAS), dan pH melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 sehingga perlu dilakukan proses pengolahan sebelum air limbah tersebut dibuang ke badan air. Oleh karena itu, limbah cair dari Laundry Excelso dipilih sebagai objek penelitian dengan tujuan menurunkan kadar parameter di atas menggunakan metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang memiliki beberapa tahapan yaitu tahap seeding, aklimatisasi dan running.

### 3.2 Tahap Seeding

Pada tahap *seeding* memiliki tujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme indigenus pada air limbah *laundry* serta dalam tahap pembentukan biofilm [12]. Tahap *seeding* ini dilakukan secara *batch* dengan pemantauan setiap hari dan pengujian parameter pH, suhu, MLSS setiap 7, 14, 21, 28 hari hingga terbentuk lapisan lendir berwarna kecoklatan melingkupi media pembawa yang tidak mudah lepas dari media sehingga dipastikan bahwa mikroorganisme telah tumbuh dan membentuk biofilm pada media pembawa [13]. Tahap seeding ini ditambahkan nutrient untuk mendukung pertumbuhan mikroorganisme dengan memperhatikan rasio COD : N : P sebesar 100 : 5 : 1. Ditambahkan sukrosa yang berasal dari gula pasir dengan jumlah gula yang dimasukkan ke dalam reactor bergantung pada karakteristik air limbah laundry karena gula memiliki fungsi sebagai sumber organik bagi mikroorganisme sebelum nantinya akan mengolah polutan dalam air limbah laundry dalam reactor [14].

Pada penelitian ini proses *seeding* dilakukan selama 28 hari dengan penggantian air limbah laundry setiap 4 hari sekali untuk menghindari terjadinya toksisitas mikroorganisme. Pembentukan biofilm terlihat pada hari ke-7 ditandai munculnya lendir putih pada permukaan dan rongga media kaldness 1. Pada hari ke 28 didapatkan lendir putih yang muncul berubah warna menjadi sedikit kecoklatan dan semakin tebal dengan ketebalan biofilm mencapai 0,3 cm dengan berat awal media kaldness 1 sebesar 0,2302 gr/media menjadi 0,6598 gr/media pada variasi 0%; menjadi 0,7598 gr/media pada variasi 3%; menjadi 0,8845 gr/media pada variasi 5%; menjadi 0,9229 gr/media pada variasi 7% dan menjadi 0,9661 gr/media pada variasi 10%.
















Pada tahap seeding hari ke-28 dilakukan pengujian *Total Plate Count* (TPC) dengan N/A Agar untuk mengetahui jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada biofilm berbagai variasi penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% kemudian dilakukan perhitungan menggunakan colony counter yang didapatkan jumlah koloni bakteri seperti pada **Tabel 2** dengan dokumentasi hasil uji TPC pada **Tabel 3**.

**Tabel 2.** Jumlah Koloni Bakteri pada Biofilm Tahap Seeding

Pengenceran	Variasi Penambahan Starter Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Cfu/mL)				
	0%	3%	5%	7%	10%
10 <sup>3</sup>	101.000	110.000	184.000	234.000	338.000
10 <sup>5</sup>	7.300.000	11.300.000	11.600.000	14.800.000	18.800.000
10 <sup>7</sup>	280.000.000	510.000.000	620.000.000	930.000.000	990.000.000

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

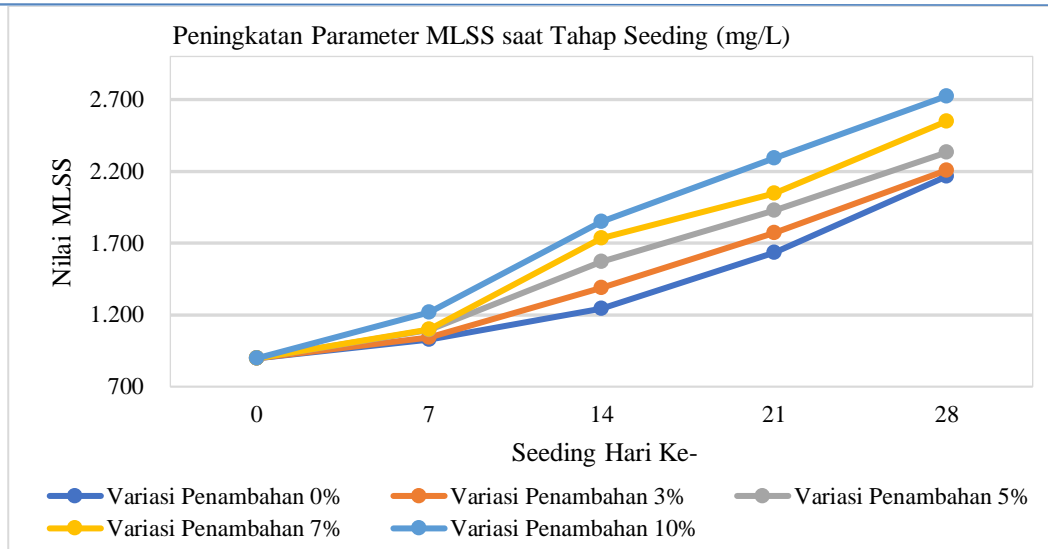
**Tabel 3.** Dokumentasi Hasil Uji *Total Plate Count* (TPC) pada Biofilm

Variasi Penambahan Starter Bakteri <i>P.aeruginosa</i>	Variasi Pengenceran		
	$10^3$	$10^5$	$10^7$
0%			
3%			
5%			
7%			
10%			

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan **Tabel 2** dan **Tabel 3** didapatkan bahwa semakin tinggi kadar persentase bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ditambahkan maka akan semakin banyak jumlah koloni yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan starter bakteri secara signifikan mempercepat pertumbuhan mikroba dalam sistem MBBR dan memperkuat aktivitas biodegradasi biofilm. Penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* meningkatkan konsentrasi biomassa (padatan tersuspensi) dalam reactor biologis dengan pengujian MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) sebagai indikatornya. Pada **Gambar 3** didapatkan hasil pengujian MLSS pada waktu seeding hari ke-7, 14, 21 dan 28.

Semakin lama waktu seeding dan semakin tinggi persentase starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ditambahkan maka meningkatkan kadar MLSS dalam reactor. Hal ini dikarenakan bakteri *Pseudomonas* menghasilkan EPS (*Extracellular Polymeric Substances*) yang bersifat lengket mengakibatkan mikroorganisme dan partikel organik saling menempel kemudian membentuk flok yang lebih besar dan padat sehingga meningkatkan massa padatan tersuspensi (MLSS), EPS yang dihasilkan juga dapat memperkuat struktur biofilm sehingga flok menjadi lebih tahan terhadap shear stress serta biomassa menjadi lebih stabil yang sulit terlarut yang meningkatkan persistensi biomassa aktif dalam system sehingga meningkatkan kadar MLSS [15]. Setelah kadar MLSS mencapai nilai 2000-5000 mg/L maka dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya [16].



Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Seeding dan Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* terhadap Parameter MLSS

### 3.2 Tahap Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi merupakan tahap untuk pengkondisian mikroorganisme terhadap lingkungan yang baru agar mikroorganisme dapat hidup dan menyesuaikan diri sehingga mikroorganisme tidak mengalami shock loading. Aklimatisasi dilakukan bertahap dengan cara menaikkan persentase air limbah secara bertahap dimulai dari konsentrasi 25% kemudian dinaikkan secara berkala menjadi 50%, 75% dan 100%. Dilakukan kenaikan konsentrasi secara bertahap dan perlahan agar mikroorganisme tidak mengalami shock loading dengan kondisi yang baru. Aklimatisasi naik ke konsentrasi selanjutnya jika nilai COD telah mengalami penurunan yang signifikan [14]. Pada Tabel 4 didapatkan hasil pengujian COD pada tahap aklimatisasi.

Tabel 4. Pengaruh Waktu Aklimatisasi dan Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* terhadap Parameter COD

No	Presentase	Hari ke-	Parameter COD				
			Variasi Penambahan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>				
			0%	3%	5%	7%	10%
1	25% Limbah Laundry + 75% Air Minum	0	364,80	364,80	364,80	364,80	364,80
2		1	322,24	310,08	297,92	291,23	282,72
3		2	310,08	267,52	261,44	250,50	238,34
4		3	297,92	243,20	241,98	299,22	206,72
5		4	285,76	224,96	218,88	209,76	182,40
6		5	273,60	206,72	197,60	189,09	152,00
1	50% Limbah Laundry + 50% Air Minum	0	608,00	608,00	608,00	608,00	608,00
2		1	547,20	516,80	492,48	462,08	443,84
3		2	522,88	486,40	468,16	431,68	407,36
4		3	498,56	456,00	437,76	401,28	376,96
5		4	474,24	425,60	407,36	376,96	346,96
6		5	449,92	395,20	370,88	352,64	316,16
1	75% Limbah Laundry + 25% Air Minum	0	729,60	729,60	729,60	729,60	729,60
2		1	674,88	638,40	589,76	553,28	528,96
3		2	638,40	577,60	541,12	504,64	492,48
4		3	595,84	535,04	492,48	462,08	443,84
5		4	553,28	498,56	456,00	422,56	407,36
6		5	516,80	462,08	419,52	389,12	342,40
1	100% Limbah Laundry	0	942,40	942,40	942,40	942,40	942,40
2		1	845,12	802,56	784,32	766,08	735,68
3		2	784,32	723,52	711,36	674,88	614,08
4		3	723,52	674,88	650,56	583,68	516,80
5		4	662,72	614,08	595,84	510,72	431,68
6		5	614,08	553,28	522,88	431,68	246,56

Sumber : Hasil Penelitian, 2025

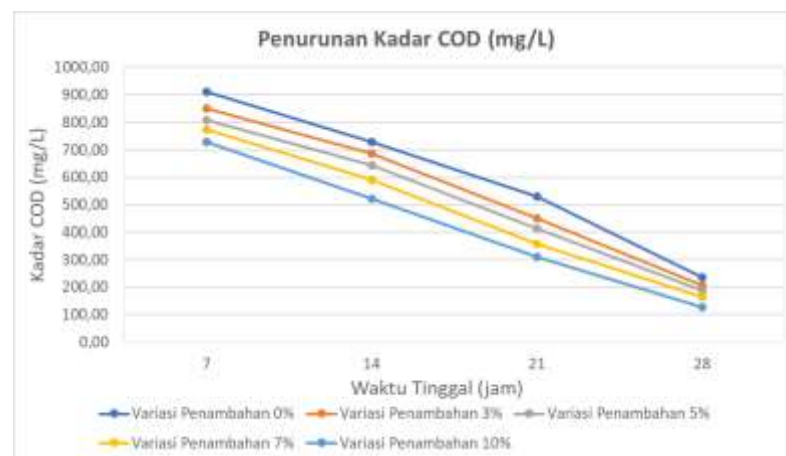
Penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) selama tahap aklimatisasi MBBR dengan variasi pengenceran 25%, 50%, 75%, dan 100% serta variasi penambahan starter *Pseudomonas aeruginosa* (0%, 3%, 5%, 7%, dan 10%) selama 5 hari menunjukkan efektivitas proses adaptasi mikroorganisme terhadap beban organik dalam limbah laundry. Pada hari-hari awal, terutama pada pengenceran 25% dan 50%, penurunan COD lebih cepat karena beban organik relatif rendah dan lebih mudah diuraikan oleh mikroba, terutama pada perlakuan dengan starter bakteri. Semakin tinggi konsentrasi starter (hingga 10%), semakin banyak jumlah bakteri aktif yang tersedia untuk mendegradasi senyawa organik kompleks seperti surfaktan, sehingga laju penurunan COD meningkat [10]. Sebaliknya, pada pengenceran 100% dan perlakuan tanpa starter (0%), laju penurunan COD cenderung lebih lambat akibat beban organik tinggi dan keterbatasan populasi mikroba. Secara keseluruhan, proses aklimatisasi dengan penambahan *P. aeruginosa* mempercepat penurunan COD karena bakteri ini dikenal mampu menghasilkan enzim biosurfaktan yang efektif dalam memecah deterjen. Berdasarkan penelitian Khosravi et al. (2017) didapatkan bahwa *P. aeruginosa* mampu meningkatkan efisiensi degradasi COD pada limbah deterjen melalui aktivitas biosurfaktan dan adaptasi biofilm.

### 3.3 Tahap Penelitian Utama

Pada penelitian utama ini dilakukan pada reactor MBBR yang terdiri dari bak penampung awal, bak pengatur debit, bak reactor dan bak penampung akhir. Langkah awal tahap penelitian utama yaitu dengan mengganti air limbah dari tahap aklimatisasi dengan air limbah baru konsentrasi 100% kemudian ditambahkan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% serta waktu tinggal 7 jam, 14 jam, 21 jam dan 28 jam. Setelah proses pengolahan maka akan dilakukan sampling sesuai waktu tinggal dan dilakukan analisis kandungan polutan *Chemical Oxygen Demand* (COD), Fosfat dan Detergen (MBAS).

#### 3.3.1 Pengaruh Waktu Tinggal dan Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Terhadap Penyisihan COD

Parameter COD awal pada air limbah laundry sebesar 972,8 mg/L yang berarti lebih tinggi dari Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Peraturan Gubernur Nomor 72 Tahun 2013 sehingga dilakukan pengolahan menggunakan MBBR. Berdasarkan **Gambar 4** menunjukkan penyisihan terbesar pada konsentrasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebanyak 10% dan pada waktu tinggal selama 28 jam yang dapat menurunkan kadar COD sebesar 87% hingga menjadi 127,68 mg/L. Penurunan kadar COD dikarenakan mikroorganisme yang tumbuh pada biofilm dapat mendegradasi polutan pencemar di dalam air limbah laundry.



**Gambar 4.** Grafik Pengaruh Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan Waktu Tinggal terhadap Penyisihan Kadar COD

Proses injeksi udara melalui aerator akan menciptakan suasana aerobik dalam reactor sehingga mikroorganisme aerob berperan penting pada proses degradasi, salah satu mikroorganisme aerob yaitu bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang telah ditambahkan starternya pada tahap seeding. Mikroorganisme aerobik menggunakan beban polutan dalam jumlah besar (sekitar 50% COD) untuk produksi massa bakteri, dibandingkan dengan mikroorganisme Anoxic (hanya sekitar 5% COD). Inilah kenapa proses Anoxic menghasilkan 90% lumpur lebih sedikit dibandingkan proses oxic [17].

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dapat memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga dapat mengurangi kebutuhan oksigen kimiawi. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* memiliki enzim yang dapat mendegradasi polutan seperti lipase yang dapat mendegradasi lemak minyak menjadi asam lemak dan gliserol yang lebih sederhana, protease yang dapat mendegradasi protein menjadi asam amino yang lebih sederhana dan amilase yang dapat mendegradasi karbohidrat menjadi glukosa yang lebih sederhana. Senyawa sederhana yang dihasilkan akan dilakukan penguraian oleh bakteri aerobik (*Pseudomonas aeruginosa*) kemudian diubah menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga dapat menurunkan kadar COD [18].

### 3.3.2 Pengaruh Waktu Tinggal dan Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Terhadap Penyisihan Fosfat

Parameter Fosfat awal pada air limbah laundry sebesar 25,78 mg/L yang berarti lebih tinggi dari Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Peraturan Gubernur Nomor 72 Tahun 2013 sehingga dilakukan pengolahan menggunakan MBBR. Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan penyisihan terbesar pada konsentrasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebanyak 10% dan pada waktu tinggal selama 28 jam yang dapat menurunkan kadar COD sebesar 74% hingga menjadi 6,63 mg/L. Penurunan kadar fosfat secara biologis dapat terjadi karena adanya enzim fosfatase dan enzim fitase yang dihasilkan oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang telah ditambahkan saat tahap seeding. Metabolisme bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menyerap fosfat yang akan dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi [14].

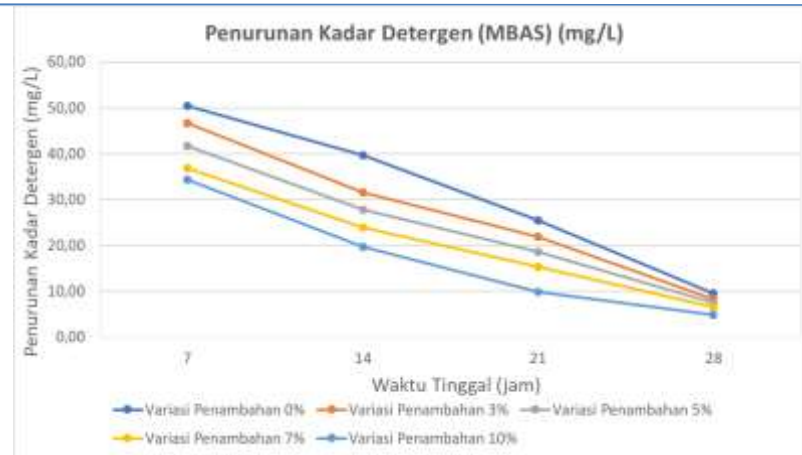


**Gambar 5.** Grafik Pengaruh Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan Waktu Tinggal terhadap Penyisihan Kadar Fosfat

*Pseudomonas aeruginosa* menyerap fosfat dari air limbah sebagai nutrisi untuk pertumbuhan dan metabolisme kemudian fosfat akan diubah menjadi bentuk organik dan disimpan dalam sel dalam bentuk *polyphosphate granules* yang disebut tahap *luxury uptake* yaitu tahap penyerapan fosfat dalam jumlah yang lebih banyak dari yang dibutuhkan dalam konsentrasi tinggi. Proses degradasi fosfat pada kondisi aerob PAO (*Polyphosphate Accumulating Organisms*) akan mengkonsumsi cadangan karbon internal dan substrat yang tersedia untuk menghasilkan energi yang akan menghasilkan akumulasi dan penyerapan fosfat sebagai polifosfat (Comeau Y, 1986).

### 3.3.3 Pengaruh Waktu Tinggal dan Variasi Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Terhadap Penyisihan Detergen

Parameter Detergen awal pada air limbah laundry sebesar 25,78 mg/L yang berarti lebih tinggi dari Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Peraturan Gubernur Nomor 72 Tahun 2013 sehingga dilakukan pengolahan menggunakan MBBR. Berdasarkan **Gambar 6** menunjukkan penyisihan terbesar pada konsentrasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebanyak 10% dan pada waktu tinggal selama 28 jam yang dapat menurunkan kadar detergen sebesar 93% hingga menjadi 4,82 mg/L. Biodegradasi LAS adalah transformasi yang Sulphophenyl Carboxylate (SPC) sebagai hasil biodegradasi awal. Fase ini menunjukkan hilangnya sifat-sifat molekul dasar, aktivitas interfasial, dan toksisitas terhadap organisme akuatik. Biodegradasi lanjutan ditandai dengan pecahnya cincin aromatik LAS dan SPC ke dalam air dan tahap ini dinamakan biodegradasi sempurna [19].



**Gambar 6.** Grafik Pengaruh Penambahan Starter Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan Waktu Tinggal terhadap Penyisihan Kadar Detergen

Seiring bertambahnya waktu kontak dan meningkatnya konsentrasi awal surfaktan LAS, efisiensi penghilangan LAS juga meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa LAS dapat dikonversi menjadi biomassa. Untuk mendukung proses ini, penambahan substrat yang mudah diserap, seperti nutrisi, serta senyawa yang dibutuhkan oleh bakteri sangat penting, khususnya dalam pembentukan biomassa dan sintesis enzim yang diperlukan untuk menguraikan molekul deterjen. Biomassa yang terbentuk, yang kaya akan lemak, karbohidrat, dan protein, memberikan manfaat besar dalam menjaga keberlangsungan proses biologis serta mendukung kehidupan organisme lain. Sebagian dari biomassa ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon atau energi [19].

#### 4. Kesimpulan

Metode *Moving Bed Biofilm Reactor* secara efektif dapat menurunkan kadar COD, Fosfat dan Detergen. Dengan variasi waktu tinggal penelitian 7 jam, 14 jam, 21 jam dan 28 jam didapatkan bahwa semakin lama waktu tinggal maka semakin tinggi persentase removalnya karena akan semakin lama kontak antara mikroorganisme untuk mendegradasi beban pencemar dalam air limbah laundry. Penyisihan tertinggi pada waktu tinggal ke 28 jam didapatkan penurunan kadar COD pada 87% dari 972,80 mg/L menjadi 127,68 mg/L, penurunan kadar Detergen (MBAS) pada 96% dari 73,34 mg/L menjadi 2,61 mg/L dan penurunan tertinggi kadar Fosfat pada 74% dari 25,78 mg/L menjadi 6,63 mg/L. Variasi penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* sebanyak 0%, 3%, 5%, 7% dan 10% didapatkan bahwa semakin banyak penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* maka semakin tinggi persentase removalnya karena semakin banyak jumlah mikroorganisme yang dapat mendegradasi beban pencemar dalam air limbah laundry.

Penyisihan tertinggi pada penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 10% didapatkan penurunan kadar COD pada 87% dari 972,80 mg/L menjadi 127,68 mg/L, penurunan kadar Detergen (MBAS) pada 96% dari 73,34 mg/L menjadi 2,61 mg/L dan penurunan tertinggi kadar Fosfat pada 74% dari 25,78 mg/L menjadi 6,63 mg/L. Jumlah koloni bakteri dari biofilm dengan penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* 0% sebesar 101.000 CFU/mL, 3% sebesar 110.000 CFU/mL, 5% sebesar 184.000 CFU/mL, 7% sebesar 234.000 CFU/mL dan 10% sebesar 338.000 CFU/mL. Hal ini menyatakan bahwa semakin banyak penambahan starter bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ditambahkan saat proses *seeding* maka akan semakin banyak jumlah koloni bakteri yang tumbuh saat proses *seeding* sehingga memperbesar persen removal terhadap beban pencemar pada air limbah laundry.

#### 5. Referensi

- [1] S. K. Bisnis *et al.*, "Business Feasibility Study on Sari Merta Laundry Business in Guwang Village, Sukawati District," *Jurnal Penelitian Ekonomi dan Akuntansi (JPENSI)*, vol. 6, no. 2, 2021, [Online]. Available: <http://jurnalekonomi.unisla.ac.id/index.php/jpensi>
- [2] D. A. Kusuma, L. Fitria, and U. Kadaria, "Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," 2019.
- [3] C. Sawyer, P. McCarty, and G. Parkin, *Chemistry for Environmental Engineering and Science fifth edition*, 5th ed., vol. 5. McGraw-Hill, 2003.

- [4] B. Rusten, B. Eikebrokk, Y. Ulgenes, and E. Lygren, "Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors," *Aquac Eng*, vol. 34, no. 3, pp. 322–331, May 2006, doi: 10.1016/j.aquaeng.2005.04.002.
- [5] G. Supriyanto, D. Trisna, and R. Issa, *Inovasi Dan Pengembangan Teknologi Moving Bed Bioreaktor (MBBR) Untuk Pengolahan Limbah Cair Domestik, Rumah Sakit Dan Industri*.
- [6] R. Y. Wati, "Pengaruh Pemanasan Media Plate Count Agar (PCA) Berulang Terhadap Uji Total Plate Count (TPC) di Laboratorium Mikrobiologi Teknologi Hasil Pertanian Unand," vol. 1, no. 2, 2018.
- [7] A. Anestya and T. Haryo, "Uji Kemampuan Bakteri (*Pseudomonas Aeruginosa*) Dalam Proses Biodegradasi Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb), Di Perairan Timur Kamal Kabupaten Bangkalan", *Juvenil*, vol. 2, No. 3, pp. 176-185, 2021.
- [8] S. Nusa and S. Muhammad, "Penghilangan Amoniak Di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)", *Jurnal Air Indonesia*, vol.7, No. 1, pp. 44-65, 2014.
- [9] L. Nur, A. Indah and J. Abdussalam, Nilai Total Plate Count (TPC) dan Jumlah Jenis Bakteri Air Limbah Cucian Garam (Bittern) dari Tambak Garam Desa Banyuajuh Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan, *Jurnal Juvenil*, vol.3, no.1, 2022.
- [10] R. Zuriani, Fitriana and J. Asri, Identifikasi Jumlah Angka Kuman Pada Dispenser Metode TPC (Total Plate Count), *Jurnal Sago (Gizi dan Kesehatan)*, Vol. 4, No. 1, pp.38-42, 2022
- [11] Klement, Z., Mavridis, A., Rudolph, K., Vidaver, A., Perombelon, M.C.M. and Moore, L.W., 1990. Inoculation of plant tissues. In: Klement, Z., Rudolph, K. and Sands, D.C., eds. : *Methods in Phytobacteriology*, Akademiai Kiadó, Budapest, Hungary, pp. 95- 124.
- [12] O, Zuhria and H. Novirina, Efektivitas Konsorsium Mikroalga *Chlorella* sp dan Mikroba Indigenus dalam Menurunkan BOD, COD dan TN Air Limbah Industri Kecap Menggunakan MBBR, *Jurnal Serambi Engineering*, Vol. IX, No.4, pp. 10724-10730, 2024.
- [13] M. & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th Edition, New York: McGraw Hill Inc, 2003.
- [14] N. Hendrasarie and I. I. Yadaturrahmah, "Pengaruh penambahan impeller pada fase aerobik terhadap efisiensi kinerja sequencing batch reactor pada limbah cair industri tahu," *Jurnal Envirotek*, vol. 13, no. 1, pp. 7–13, 2021.
- [15] Z. Shuaibing and S. Pierre, *Biofilm and Exopolysaccharides in Pseudomonas aeruginosa : pathogenesis, immune evasion and lung brain signaling during pneumonia*, *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2024.
- [16] N. Hendrasarie, N. MYC and F. Kabul, *Restaurant wastewater treatment with a two chamber septic tank and a sequencing batch reactor*, *E3S Web of Conferences*, 2021.
- [17] Schnurer, A., & Jarvis, A. (2009). *Microbiological Handbook For Biogas Plants*.
- [18] Subagyo, A., Arifin, A. and Kadaria, U. (2022) 'Perbandingan Jenis Media Kaldness terhadap Efisiensi Limbah Rumah Makan dengan Metode MBBR', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 10(2), p. 239. doi: <https://doi.org/10.26418/jtlb.v10i2.56415>
- [19] Maharani, Mega and Wesen, Putu. (2021). Degradasi LAS dan BOD dengan Proses Lumpur Aktif Menggunakan Kombinasi Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* dan *Pseudomonas Putida*, *Jurnal Envirotek*, 2021.