BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

https://ejournal.umbandung.ac.id/index.php/biodiverse/index

ISSN: 3089-1671

Biodegradasi Multi-Parameter Limbah *Laundry* oleh Konsorsium Mikroba: Tinjauan terhadap Fosfat, BOD, COD, TSS, Minyak dan Lemak, serta Surfaktan Anionik

Multi-Parameter Biodegradation of *Laundry* Waste by Microbial Consortium: Review of Phosphate, BOD, COD, TSS, Oil and Fat, and Anionic Surfactants

Tabina Khalishah Dzikra Dzakirah[1]*, Syifa Utami Asrianty[1]

[1] Departemen Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung

*Corresponding author: Jalan Soekarno-Hatta No. 752 Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat, 40614, Indonesia.
E-mail addresses: dzikradzakirah0@gmail.com

2026 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

Laundry wastewater is a complex effluent with high organic and inorganic pollutant loads, mainly from detergents containing surfactants, phosphates, and various additives. High levels of parameters such as COD, BOD, TSS, phosphate, and anionic surfactants (LAS) exceed quality standards and have the potential to cause eutrophication and depletion of dissolved oxygen in water bodies. This literature review aims to analyze the effectiveness of the biodegradation approach using microbial consortia in simultaneously treating multi-parameter laundry wastewater. The method used was a systematic literature review, which involved searching for, selecting, and analyzing 28 scientific publications obtained through Google Scholar, the Garuda Portal, and the official websites of national and international journals regarding the use of microbial consortia in laundry wastewater treatment. The review results show that bacterial consortia, particularly from the *Pseudomonas* and Bacillus genera, can degrade various pollutants through metabolic synergy. This consortium has been proven effective in reducing phosphate (through luxury uptake and enzyme activity), COD/BOD (through the oxidation of organic compounds), anionic surfactants (via the desulfonating pathway), as well as oil, grease, and TSS. The success of the process is highly dependent on optimal conditions such as inoculum dose, contact time, pH, and oxygen availability. Although it offers an environmentally friendly and relatively economical solution, the implementation of full-scale biodegradation faces challenges related to long acclimatization times and sensitivity to operational conditions. Therefore, integration with physical-chemical pre-treatment and process optimization are necessary to develop an effective and sustainable laundry wastewater treatment system.

Article info

Article history:
Received : 29 January 2026
Revised : 05 July 2026
Accepted : 28 July 2026
Available online : 31 August 2026

Keywords:
Biodegradation
Laundry waste
Microbil consortium
Multi-parameter

1. PENDAHULUAN

Industri *laundry* di Indonesia semakin berkembang pesat. Pada tahun 2018, jumlah pusat *laundry* hanya sekitar 4.000 unit, namun pada tahun 2021 sudah mencapai lebih dari 30.000 unit. Pertumbuhan bisnis ini mencapai 15–20% setiap tahun [1]. Aktivitas *laundry* menghasilkan limbah air yang mengandung berbagai zat pencemar, seperti *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), fosfat, *Total Suspended Solids* (TSS), minyak dan lemak, serta surfaktan anionik seperti *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) [1][4]. Limbah ini biasanya dibuang langsung tanpa ada pengolahan yang memadai, sehingga berisiko menyebabkan pencemaran lingkungan [5].

Komposisi limbah *laundry* terutama terdiri dari deterjen yang mengandung surfaktan (70–80%), *builder* berupa fosfat (20–30%), serta bahan aditif seperti pemutih dan pewangi (2–8%) [2]. Tingginya kandungan fosfat bisa menyebabkan eutrofikasi dan pertumbuhan alga yang berlebihan, sedangkan surfaktan anionik bisa menghambat proses difusi oksigen ke dalam air dan beracun bagi makhluk hidup air [3][4]. Selain itu, nilai COD dan BOD pada limbah *laundry* di Jawa Timur, seperti COD 956 mg/L, BOD 655 mg/L, fosfat 28 mg/L, dan detergen 79 mg/L, melebihi baku mutu yang telah ditetapkan [1][3]. Oleh karena itu, limbah ini harus diperlakukan dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk memproses limbah *laundry*, seperti biologis, fitoremediasi, fisika-kimia, maupun adsorpsi. Berdasarkan penelitian, metode biologis seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang menggunakan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* telah menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam menurunkan kadar COD hingga 87%, fosfat 74%, dan deterjen 96% dalam waktu 28 jam [1]. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis mikroba memiliki potensi yang bagus. Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa efektivitas konsorsium bakteri *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. tanpa proses pengolahan awal tidak memberikan hasil yang berbeda nyata meskipun dosis inokulum berbeda, sehingga menegaskan pentingnya tahap pra-pengolahan atau *preprocessing* dalam proses bioremediasi [5]. Meski berbagai metode tersebut telah menunjukkan keberhasilan, pengolahan yang hanya fokus pada satu atau beberapa parameter sering kali tidak optimal dalam mengatasi berbagai jenis limbah *laundry* secara menyeluruh. Disisi lain, pendekatan biodegradasi menggunakan konsorsium mikroba memberikan solusi yang lebih menyeluruh karena kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik dan anorganik secara bersamaan. Namun, informasi mengenai efektivitas konsorsium mikroba dalam mendegradasi berbagai parameter limbah *laundry* seperti fosfat, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, serta surfaktan anionik masih terbatas dan memerlukan penelitian lebih lanjut.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meninjau karakteristik limbah *laundry*, mekanisme biodegradasi, serta efektivitas konsorsium mikroba dalam menurunkan berbagai parameter pencemar, yaitu fosfat, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), minyak dan lemak, serta surfaktan anionik. Selain itu, dapat mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja biodegradasi serta interaksi antarparameter pencemar sebagai dasar ilmiah bagi pengembangan teknologi pengolahan limbah *laundry* yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODE

Penulisan artikel dilakukan menggunakan metode studi literatur sistematis dengan mengumpulkan dan menganalisis publikasi ilmiah untuk mengkaji efektivitas konsorsium mikroba dalam mendegradasi multi-parameter limbah *laundry*. Pencarian literatur dilakukan pada Google Scholar, Portal Garuda, serta situs resmi jurnal nasional dan internasional menggunakan kombinasi kata kunci terkait limbah laundry, biodegradasi limbah, konsorsium mikroba, Pseudomonas.

Artikel diseleksi berdasarkan kesesuain judul, abstrak, dan isi. Kriteria inklusi meliputi penelitian mengenai pengolahan limbah *laundry* menggunakan bakteri tunggal, bakteri indigen, atau konsorsium mikroba dengan parameter COD, BOD, TTS, fosfat, atau surfaktan. Kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak relevan, tidak tersedia teks lengkap, atau hanya membahas metode nonbiologis. Hasil seleksi menghasilkan 28 jurnal ilmiah yang digunakan dalam penyusunan lietarature review yang digunakan dalam penyusunan dengan rentang publikasi 2012-2025.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Limbah *Laundry* dan Kompleksitas Polutan

Limbah cair *laundry* merupakan efluen kompleks yang dicirikan oleh kandungan pencemar organik dan anorganik yang tinggi, terutama berasal dari komposisi deterjen yang digunakan dalam proses pencucian. Secara umum, deterjen tersusun atas surfaktan anionik (70–80%), senyawa fosfat sebagai builder (20–30%), serta berbagai zat aditif lain seperti pemutih, pewangi, dan enzim [1]. Komponen utama pencemar meliputi surfaktan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) yang bersifat persisten dan toksik terhadap biota akuatik [5], serta fosfat umumnya dalam bentuk *sodium tripolyphosphate* (STPP) yang berkontribusi besar terhadap proses eutrofikasi di perairan [6].

Berbagai laporan empiris menunjukkan bahwa karakteristik limbah *laundry* sering kali melampaui baku mutu lingkungan. Kadar COD, BOD, fosfat, TSS, dan surfaktan yang tinggi secara konsisten dilaporkan pada limbah *laundry* komersial maupun rumah tangga. Selain parameter utama tersebut, limbah *laundry* juga mengandung nitrogen, amonia, padatan terlarut, serta sisa protein dan senyawa aromatik yang berasal dari kotoran pakaian [7][8]. Kombinasi antara beban organik tinggi (BOD dan COD) dan nutrien berlebih (fosfat) membentuk matriks pencemar yang kompleks dan saling berinteraksi, sehingga limbah *laundry* memerlukan pengolahan khusus sebelum dibuang ke badan air. Dalam konteks ini, pendekatan biologis berbasis mikroorganisme menjadi alternatif yang menjanjikan karena mampu menangani berbagai parameter pencemar secara simultan.

3.2 Peran Konsorsium Mikroba dalam Biodegradasi Limbah *Laundry*

Biodegradasi limbah *laundry* memanfaatkan kemampuan metabolik mikroorganisme untuk mendekomposisi senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana dan kurang berbahaya. Keberhasilan proses ini sangat bergantung pada kesesuaian jenis mikroba dengan karakteristik polutan yang ditargetkan. Bakteri dari genus Pseudomonas, khususnya *Pseudomonas aeruginosa* dan *Pseudomonas putida,* secara konsisten dilaporkan sebagai agen utama dalam pengolahan limbah *laundry*. Bakteri ini memiliki kemampuan mendegradasi surfaktan LAS dan senyawa organik kompleks melalui produksi biosurfaktan serta enzim-enzim spesifik seperti oksigenase dan fosfatase [1].

Pada sistem biologis seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), inokulasi *P. aeruginosa* dengan dosis optimal mampu menurunkan COD, surfaktan MBAS, dan fosfat secara signifikan dalam waktu kontak yang relatif singkat. Temuan ini menunjukkan bahwa pembentukan biofilm meningkatkan stabilitas dan efisiensi degradasi polutan. Selain itu, *P. putida* diketahui efektif dalam menurunkan fosfat melalui aktivitas enzim fosfatase yang memecah senyawa fosfat kompleks menjadi bentuk yang lebih mudah dimanfaatkan oleh sel [6][9].

Biodegradasi limbah kompleks oleh konsorsium mikroba, terutama yang melibatkan genus Pseudomonas bergantung pada jalur metabolik yang beragam dan enzim yang spesifik secara sinergis. Pada limbah *laundry*, polutan utama seperti LAS didegradasi melalui jalur oksidasi dengan proses pemecahan alkana menjadi asam lemak melalui masuknya ke siklus asam trikarboksilat dengan melibatkan enzim-enzim kunci seperti alkana hidroksilase, alkohol dehidrogenase, dan esterasa [28]. Mekanisme ini serupa dengan jalur oksidasi terminal hidrokarbon pada Pseudomonas, dimana alkana pertama kali dioksidasi oleh alkane hidroksilase dan selanjutnya diubah menjadi asam lemak melalui dehidrogenase alkohol dan aldehida [27]. Selain itu, *Pseudomonas putida* mensekresikan enzim fosfatase untuk menghidrolisis senyawa poli fosfat dan mengubahnya menjadi ortofosfat yang lebih mudah tersedia secara biologis [27]. Protease dan lipase dari *Pseudomonas aeruginosa* juga diketahui dapat mendegradasi residu organik, seperti lipid, protein yang khas dari air limbah *laundry* [28].

Penggunaan konsorsium mikroba, baik yang bersifat indigen maupun yang dirancang secara spesifik, sering kali memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan kultur tunggal. Hal ini disebabkan adanya sinergi metabolik antarspesies. Konsorsium *Bacillus sp*. dan *Pseudomonas sp*., dilaporkan mampu menurunkan BOD dan COD secara signifikan pada limbah dengan karakteristik kompleks [10]. Studi menunjukkan bahwa konsorsium Pseudomonas dan bakteri keratinolitik dapat meningkatkan degradasi polutan organik hingga 90%, jauh lebih tinggi dibandingkan kultur tunggal [28]. Selain itu, konsorsium lebih tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan konsentrasi polutan yang fluktuatif dalam limbah *laundry*, serta cenderung menghasilkan produk akhir yang kurang toksik karena jalur metabolik yang lebih lengkap [27][28]. Dengan demikian, pendekatan berbasis konsorsium lebih adaptif dalam menangani limbah *laundry* kompleks serta membuka peluang produksi biosurfaktan yang dapat

meningkatkan bioavailabilitas polutan [28].

Meskipun demikian, efektivitas setiap jenis mikroba atau konsorsium tidak selalu sama karena dipengaruhi oleh karakteristik limbah, parameter pencemar yang menjadi target, kondisi operasional, serta waktu retensi selama proses biodegradasi. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan hasil dari berbagai penelitian untuk memberikan gambaran mengenai kinerja masing-masing mikroba dalam menurunkan parameter limbah *laundry*. Ringkasan efektivitas berbagai jenis mikroba dan konsorsium terhadap beberapa parameter utama limbah *laundry* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan efektivitas berbagai jenis mikroba dan konsorsium mikroba terhadap parameter limbah *laundry* berdasarkan berbagai penelitian

No.	Jenis Mikroba/Konsorsium	Parameter yang Diturunkan	Penurunan (%)	Waktu Retensi/Kontak	Referensi
1	*Pseudomonas aeruginosa* (MBBR)	COD	87%	28 jam	[1]
		Fosfat	74%	28 jam	
		Detergen/MBAS	96%	28 jam	
2	Konsorsium *Bacillus* sp. + *Pseudomonas* sp.	Surfaktan anionik (LAS/SDS)	95,35%	24 jam ekualisasi · proses biodegradasi	[5]
		Fosfat	99,07%	24 jam ekualisasi · proses biodegradasi	
3	Konsorsium *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas* sp.	BOD	89%	72 jam	[10]
		COD	94%	72 jam	
4	Mikroba indigen tangki septik (*Methanogens*, *Clostridium*)	TSS	99%	5 hari	[13]
5	Bakteri indigen (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas pseudomallei*, *Actinobacillus* sp.)	Minyak dan lemak	98,42%	7 hari	[14]
		TSS	73,33%	7 hari	
6	Sistem mikroba ("SM", bakteri pengurai lipid nonpolar)	Minyak dan lemak	≈66%	Tidak disebutkan	[19]
		TSS	Nilai akhir 60 mg/L (persentase tidak dilaporkan)	Tidak disebutkan	
		COD	Nilai akhir 180 mg/L (persentase tidak dilaporkan)	Tidak disebutkan	

Berdasarkan Tabel 1, konsorsium yang melibatkan genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* menunjukkan kinerja paling konsisten dalam menurunkan berbagai parameter pencemar limbah *laundry*. Konsorsium tersebut mampu menurunkan fosfat hingga 99,07% dan surfaktan anionik sebesar 95,35% [5], sedangkan kombinasi *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas* sp. lebih efektif dalam menurunkan beban organik berupa COD (94%) dan BOD (89%) [10]. Di sisi lain, mikroba indigen memperlihatkan efisiensi yang sangat tinggi terhadap parameter tertentu, seperti penurunan TSS hingga 99% serta minyak dan lemak hingga 98,42% [13][14]. Perbedaan efisiensi tersebut menunjukkan bahwa setiap mikroorganisme memiliki spesialisasi metabolik terhadap

jenis polutan tertentu sehingga pemilihan konsorsium perlu disesuaikan dengan karakteristik limbah yang akan diolah.

3.3 Dinamika Fosfat sebagai Nutrien dan Dampaknya terhadap Eutrofikasi

Fosfat merupakan salah satu parameter nutrien utama dalam limbah *laundry* yang sebagian besar berasal dari hidrolisis STPP sebagai *builder* deterjen dan keberadaan fosfat dalam konsentrasi tinggi di badan air dapat memicu eutrofikasi, yang ditandai dengan pertumbuhan alga berlebihan dan penurunan oksigen terlarut, sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik [2]. Oleh karena itu, berbagai regulasi lingkungan menetapkan batas maksimum fosfat yang ketat dalam efluen limbah cair.

Dalam proses pengolahan biologis, penurunan fosfat terjadi melalui penyerapan oleh mikroorganisme sebagai nutrien untuk pertumbuhan sel serta melalui mekanisme *luxury uptake*, yaitu akumulasi fosfat berlebih di dalam sel mikroba. *P. aeruginosa* dilaporkan memiliki kemampuan tersebut, terutama dalam sistem biofilm seperti MBBR [1]. Selain itu, pendekatan fitoremediasi dengan tanaman air seperti *Pistia stratiotes* dan *Salvinia molesta* juga menunjukkan efektivitas tinggi dalam menyerap fosfat melalui sistem perakaran yang didukung oleh aktivitas mikroba rizosfer [2]. Hal ini menegaskan bahwa reduksi fosfat dapat dicapai melalui kombinasi mekanisme biologis yang saling melengkapi.

Keberhasilan penyisihan fosfat secara biologis tidak hanya bergantung pada jenis mikroorganisme, tetapi juga pada kondisi operasional sistem pengolahan limbah [15]. Pada proses *Enhanced Biological Phosphorus Removal* (EBPR), bakteri akumulasi fosfat (*Polyphosphate Accumulating Organisms*, PAOs) bekerja secara optimal melalui siklus anaerob–aerob. Pada fase anaerob, PAOs melepaskan fosfat dan menyimpan karbon dalam bentuk *polyhydroxyalkanoates* (PHA), sedangkan pada fase aerob PHA dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menyerap kembali fosfat dalam jumlah yang melebihi kebutuhan metabolik (*luxury uptake*), sehingga konsentrasi fosfat dalam efluen menurun [16].

Efisiensi proses tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama pH 7–8, suhu 25–35 °C, serta ketersediaan nutrien dengan rasio C:N:P yang seimbang [17]. Kondisi tersebut mendukung aktivitas enzim, pembentukan biomassa, dan dominasi PAOs dalam konsorsium, sedangkan kondisi yang tidak optimum dapat menurunkan kemampuan akumulasi fosfat dan meningkatkan kompetisi dengan mikroorganisme lain. Oleh karena itu, pengaturan aerasi, waktu retensi, dan ketersediaan nutrien menjadi faktor penting untuk memaksimalkan penyisihan fosfat pada sistem pengolahan limbah *laundry* [15].

3.4 COD dan BOD sebagai Indikator Beban Organik

Chemical Oxygen Demand (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) merupakan parameter fundamental untuk menilai beban organik dalam limbah *laundry*. COD menggambarkan kebutuhan oksigen total untuk mengoksidasi senyawa organik, baik yang mudah maupun sukar terurai, sedangkan BOD merepresentasikan fraksi organik yang dapat didegradasi secara biologis oleh mikroorganisme [1]. Tingginya nilai kedua parameter ini pada limbah *laundry* berkaitan erat dengan kandungan surfaktan, *builder*, dan aditif organik deterjen [2].

Nilai COD dan BOD yang tinggi menunjukkan potensi besar terjadinya penipisan oksigen terlarut di badan air penerima apabila limbah dibuang tanpa pengolahan. Berbagai teknologi pengolahan biologis dan fitoremediasi dilaporkan efektif dalam menurunkan kedua parameter tersebut melalui kombinasi aktivitas mikroba dan peningkatan ketersediaan oksigen. Penurunan COD dan BOD tidak hanya mencerminkan berkurangnya beban organik, tetapi juga berimplikasi langsung pada peningkatan kualitas lingkungan perairan, terutama melalui peningkatan kadar oksigen terlarut yang mendukung kehidupan akuatik [2].

3.5 TSS sebagai Parameter Fisik

Total Suspended Solid (TSS) mencakup seluruh partikel padat yang tersuspensi dalam air, baik yang bersifat hidup (biotik) seperti plankton dan bakteri, maupun yang tak hidup (abiotik) seperti detritus dan partikel mineral (pasir, lumpur, tanah liat). Keberadaan TSS berperan sebagai tempat reaksi kimia heterogen, pembentuk endapan utama, serta dapat menghambat produktivitas organik di perairan [11]. Konsentrasi TSS yang tinggi dan melebihi baku mutu pada suatu badan air dapat menimbulkan pencemaran serta mengakibatkan kematian organisme akuatik [12].

Menurut jurnal Doraja *et al.*, biodegradasi limbah domestik dengan inokulum mikroba indigen pada tangki septik (seperti *Methanogens* dan *Clostridium*) dalam bioreaktor anaerob berhasil mendegradasi bahan organik secara signifikan. Selama 5 hari inkubasi (rasio 1:4 v/v), TSS turun

≈99% (dari 20.200 mg/L ke 193,33 mg/L) karena aktivitas mikroba menguraikan padatan tersuspensi [13]. Penelitian lain oleh H.R. Fidiastuti *et al.*, menunjukkan bahwa bakteri indigen asal limbah pabrik kulit (PT Usaha Loka & PT Kasin, Malang)—meliputi *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas pseudomallei*, dan *Actinobacillus* sp.—memiliki kemampuan biodegradasi yang tinggi. Dari kondisi awal TSS ~400-500 mg/L, BOD 180 mg/L, dan lemak 280 mg/L, inkubasi 7 hari berhasil menurunkan konsentrasi lemak secara drastis sebesar 98,42% dan TSS sebesar ~73,33% [14].

Total Suspended Solids (TSS) merupakan parameter kunci untuk mengevaluasi efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Hal ini disebabkan kemampuannya mencerminkan kinerja proses fisik-kimia seperti sedimentasi, koagulasi, dan filtrasi dalam menyingkirkan partikel tersuspensi. Tingkat penyisihan TSS di atas 80-90% menunjukkan kinerja IPAL yang optimal, sejalan dengan standar Qasim. Sebaliknya, efisiensi di bawah 20% mengisyaratkan adanya ketidakefisienan. Pengukuran TSS yang relatif mudah (metode gravimetri SNI), korelasinya yang kuat dengan parameter lain (BOD, COD, kekeruhan), serta dampak langsungnya pada pemenuhan baku mutu limbah (misalnya, ambang batas 100-400 mg/L) menjadikannya indikator yang vital. Pencapaian konsentrasi TSS efluen di bawah 30 mg/L, sebagaimana diatur dalam Peraturan KLHK P.68 Tahun 2016, menjadi bukti bahwa proses pengolahan telah memenuhi standar sebelum dibuang ke lingkungan perairan [18]

3.6 Minyak, Lemak, dan Surfaktan Anionik

Minyak dan lemak menjadi parameter kimiawi untuk mendeteksi keberadaan senyawa *lipid nonpolar* dalam limbah cair *laundry*. Sifat hidrofobik senyawa ini menyebabkan pembentukan lapisan permukaan yang menghalangi difusi oksigen ke dalam air dan berpotensi menyumbat sistem pengolahan. Konsentrasinya dalam efluen *laundry* acapkali melampaui batas baku dengan kisaran tipikal antara 15 hingga 898 mg/L. Kadar tersebut juga menunjukkan korelasi positif dengan parameter *Total Suspended Solids* (TSS) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Secara lebih luas, keberadaan lipid nonpolar ini menurunkan kualitas air baik secara biologis maupun fisik [19].

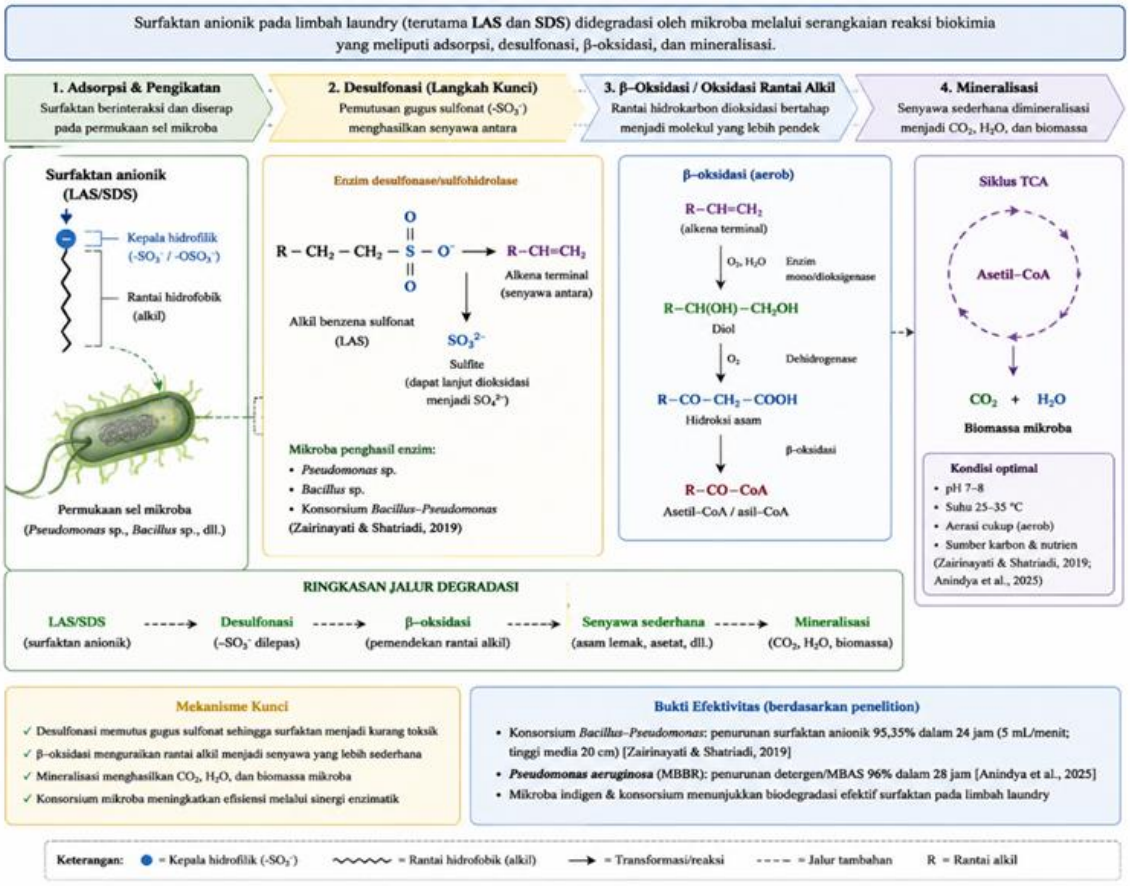
Pada penelitian Mulyasari *et al*. di Poltekkes Semarang gizi, alat pengolah "SM" (sistem mikroba) menurunkan minyak dan lemak dari 15 mg/L (awal) menjadi <5 mg/L setelah pengolahan biologis, menunjukkan efisiensi ~66% melalui aktivitas bakteri pengurai lipid nonpolar. Proses ini bersamaan dengan penurunan TSS (60 mg/L) dan COD (180 mg/L), membuktikan biodegradasi efektif memecah emulsi surfaktan-minyak dari deterjen *laundry* [19].

Surfaktan anionik berperan sebagai parameter spesifik untuk melacak pencemaran dari limbah *laundry*. Hal ini disebabkan oleh dominansinya dalam komposisi deterjen (70-90%), sifatnya yang mudah larut dan membentuk busa stabil, serta ketahanannya terhadap degradasi biologis. Konsentrasinya dalam limbah *laundry* sering kali melampaui baku mutu yang ditetapkan sebesar 0,2 mg/L (PP No. 82 Tahun 2001). Pada rentang tipikal 10-183 mg/L, senyawa ini tidak hanya menjadi penanda pencemaran *laundry*, tetapi juga menimbulkan dampak berbahaya seperti toksisitas bagi organisme air, penurunan oksigen terlarut akibat busa, dan potensi bioakumulasi. Karakteristik ini, ditambah dengan korelasinya yang positif dengan tingginya nilai TSS dan COD, membedakan limbah *laundry* dari limbah domestik pada umumnya [4].

Penelitian oleh Zairinayati & Shatriadi menguji sinergi konsorsium *Bacillus-Pseudomonas* dalam mendegradasi surfaktan anionik dan fosfat pada limbah *laundry* secara bersamaan. Meskipun fokus utama adalah pada penurunan fosfat, mekanisme biodegradasi surfaktan melalui jalur desulfonasi dan ß-oksidasi secara aerob juga dianalisis. Setelah proses equalisasi dengan NPK dan air gula selama 24 jam, konsorsium bakteri tersebut mampu memecah senyawa surfaktan nonpolar (LAS/SDS) menjadi senyawa polar yang lebih sederhana. Pada kondisi operasi debit 5 mL/menit dan tinggi medium 20 cm, efisiensi penyisihan surfaktan mencapai 95,35%, menghasilkan efluen dengan kadar di bawah baku mutu (0,2 mg/L), sementara fosfat turun 99,07%. Hal ini membuktikan efektivitas konsorsium untuk aplikasi bioremediasi limbah deterjen yang kompleks [5].

Efektivitas konsorsium mikroba dalam menurunkan kadar surfaktan anionik tidak hanya dipengaruhi oleh keberadaan mikroorganisme, tetapi juga oleh mekanisme metabolisme yang berlangsung selama proses biodegradasi [20]. Secara umum, surfaktan anionik seperti *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) mengalami serangkaian transformasi biokimia yang melibatkan aktivitas enzim spesifik, mulai dari tahap adsorpsi pada permukaan sel mikroba, pemutusan gugus sulfonat (desulfonasi), degradasi rantai hidrokarbon melalui jalur ß-oksidasi, hingga mineralisasi menjadi senyawa sederhana seperti karbon dioksida

(CO_2), air (H_2O), dan biomassa [21][22]. Sinergi metabolik antara bakteri, terutama dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus*, mempercepat setiap tahapan degradasi sehingga meningkatkan efisiensi penyisihan surfaktan dalam limbah *laundry* [20]. Skema mekanisme biodegradasi surfaktan anionik oleh konsorsium mikroba tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema mekanisme biodegradasi surfaktan anionik (LAS/SDS) oleh konsorsium mikroba pada limbah *laundry*.

Berdasarkan Gambar 2, tahap awal biodegradasi diawali dengan adsorpsi molekul surfaktan pada permukaan sel mikroba yang memungkinkan kontak antara substrat dan enzim ekstraseluler. Selanjutnya, enzim desulfonase mengkatalisis pemutusan gugus sulfonat sehingga terbentuk senyawa antara yang memiliki tingkat toksisitas lebih rendah [23]. Rantai alkil yang tersisa kemudian mengalami oksidasi bertahap melalui jalur ß-oksidasi hingga menghasilkan asetil-KoA yang selanjutnya masuk ke dalam siklus asam sitrat (TCA) untuk menghasilkan energi bagi pertumbuhan sel. Produk akhir proses ini berupa CO_2, H_2O, dan biomassa mikroba, sehingga konsentrasi surfaktan anionik dalam limbah menurun secara signifikan [21]. Mekanisme tersebut menjelaskan tingginya efisiensi penyisihan surfaktan oleh konsorsium *Bacillus* sp.–*Pseudomonas* sp. yang dilaporkan mencapai 95,35%, sebagaimana telah dibahas pada penelitian sebelumnya [20].

3.7 Inteaksi Antar parameter dalam Sistem Limbah *Laundry*

Fosfat, TSS, COD, BOD, minyak dan lemak, serta surfaktan anionik dalam limbah *laundry* membentuk suatu sistem polutan yang saling berkaitan. Sumbernya berasal dari deterjen, sisa organik, dan serat kain, yang bersama-sama menciptakan matriks organik kompleks dengan dampak pencemaran yang bersinergi. Surfaktan anionik berperan sebagai emulgator yang menstabilkan lemak, meningkatkan kelarutannya, dan secara signifikan menaikkan nilai BOD/COD (hingga 2-3 kali). Penurunan konsentrasi surfaktan (MBAS) biasanya berkorelasi kuat dengan penurunan minyak [24].

Partikel tersuspensi (TSS) berperan sebagai pembawa (*carrier*) bagi bahan organik, baik yang larut (COD) maupun yang mudah terurai (BOD). Oleh karena itu, penyisihan TSS sebesar 70-90% melalui sedimentasi dan biodegradasi umumnya diikuti penurunan COD/BOD sebesar 60-95% [25].

Senyawa *builder* fosfat dari deterjen dapat membentuk kompleks dengan surfaktan anionik.

Degradasi surfaktan oleh bakteri sering kali terjadi bersamaan dengan pelepasan atau penguraian fosfat melalui mekanisme adsorpsi dan biodegradasi, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan risiko eutrofikasi [26].

3.8 Kelebihan dan Keterbatasan Pendekatan Biodegradasi

Biodegradasi limbah *laundry* menggunakan konsorsium mikroba menawarkan solusi pengolahan yang alami, ramah lingkungan, dan ekonomis dengan efisiensi penyisihan polutan yang tinggi. Keunggulannya meliputi efisiensi tinggi, contohnya konsorsium bakteri seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas* sp. mampu menurunkan BOD hingga 89% (dari 875 menjadi 95 mg/L) dan COD 94% (dari 1875 menjadi 105 mg/L) dalam 72 jam berkat sinergi metabolisme [10]. Selain itu metode ini memanfaatkan mikroba alami tanpa bahan kimia tambahan, cocok diterapkan pada sistem lumpur aktif atau unit pengolahan skala rumah tangga, serta dapat mendegradasi berbagai jenis polutan (surfaktan anionik, fosfat, minyak) secara bersamaan melalui mekanisme seperti hidrolisis dan desulfonasi, serta meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) setelah proses [5].

Akan tetapi metode ini juga memiliki beberapa kekurangan, seperti membutuhkan periode inkubasi dan aklimatisasi mikroba yang relatif panjang (3-7 hari), sehingga kurang praktis untuk aliran limbah kontinu dengan volume besar; efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi optimal seperti pH 7-8, suhu 30°C, aerasi memadai, serta ketersediaan nutrisi; dan tantangan dalam peningkatan skala dari level laboratorium ke aplikasi nyata di lapangan [1].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaah literatur, biodegradasi limbah *laundry* menggunakan konsorsium mikroba, terutama *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.*, menunjukkan efektivitas tinggi dalam menurunkan berbagai parameter pencemar secara simultan, meliputi fosfat, surfaktan anionik, COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak melalui sinergi metabolik antarspesies. Kinerja biodegradasi dipengaruhi oleh karakteristik limbah, komposisi konsorsium, waktu retensi, serta kondisi operasional seperti pH, suhu, aerasi, dan ketersediaan nutrien. Oleh karena itu, keberhasilan pengolahan limbah *laundry* tidak hanya ditentukan oleh pemilihan mikroorganisme, tetapi juga oleh optimalisasi kondisi proses yang mendukung aktivitas biodegradasi.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dikaji, pengembangan sistem pengolahan limbah *laundry* di masa mendatang perlu diarahkan pada integrasi tahap praperlakuan (*pre-treatment*) dengan proses biodegradasi. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan elektrokoagulasi atau adsorpsi karbon aktif sebagai tahap awal untuk menurunkan konsentrasi surfaktan anionik dan padatan tersuspensi, sehingga mengurangi toksisitas terhadap konsorsium mikroba sebelum memasuki reaktor biologis. Setelah tahap tersebut, penerapan proses biologis berbasis konsorsium *Pseudomonas sp., Bacillus sp.* pada sistem biofilm seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) atau proses *Enhanced Biological Phosphorus Removal* (EBPR) berpotensi meningkatkan efisiensi penyisihan fosfat, surfaktan, dan beban organik secara simultan.

Selain itu, penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada optimasi komposisi konsorsium mikroba melalui pendekatan molekuler, evaluasi pengaruh parameter operasional seperti pH, suhu, rasio C:N:P, aerasi, dan waktu retensi hidraulik, serta validasi performa pada skala laboratorium hingga skala industri. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan sistem pengolahan limbah *laundry* yang lebih stabil, efisien, dan berkelanjutan untuk mendukung penerapan teknologi bioremediasi pada kondisi lapangan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Program Studi Bioteknologi UM Bandung atas serta kepada editor dan *reviewer* Jurnal Biodiverse atas ulasan konstruktif yang telah menyempurnakan manuskrip ini.

6. DAFTAR REFERENSI

[1] A. P. Anindya, F. Rosariawari, C. Nurvita, and M. F. Fadhil, "Pengaruh variasi penambahan starter bakteri Pseudomonas aeruginosa terhadap penurunan kadar COD, fosfat, dan detergen pada air limbah laundry," *Jurnal Serambi Engineering,* vol. 10, no. 3, pp. 13974–13984, 2025.

[2] L. Mukarromah, F. F. Qalam, N. H. Aprilita, S.Suherman, "Laundry Wastewater Treatment by Phytoremediation Utilized Polyculture System of Water Lettuce (*Pistia stratiotes* L.) and Giant Salvinia (*Salvinia molesta*," *Indones. J. Chem.*, vol. 25, no. 6, 1737-1752, 2025

[3] U. K. Amin, H. Setyobudiarso, C. D. Ratna, "Penurunan Kadar COD, BOD dan Fosfat pada Air

Limbah Laundry Menggunakan Metode Aerasi-Filtrasi," *Jurnal Enviro*, pp. 1-7, 2021.
[4] W. P. Utomo, Z. V. Nugraheni, A. Rosyidah, O. M. Shafwah, L. K. Naashihah, N. Nurfitria, and I. F. Ullfindrayani, "Penurunan Kadar Surfaktan Anionik Dan Fosfat Dalam Air Limbah Laundry di Kawasan Keputih, Surabaya menggunakan karbon aktif," *Akta Kimia Indonesia*, vol. 3, no. 1, p. 127, 2018, doi: 10.12962/j25493736.v3i1.3528.
[5] Z. R. Zairinayati and H. Shatriadi, "Biodegradasi fosfat pada limbah laundry menggunakan bakteri konsorsium pelarut fosfat," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 18, no. 1, pp. 57–61, 2019, doi: 10.14710/jkli.18.1.57-61.
[6] A. W. Wijayanti, "Pemanfaatan Bakteri Indigenus dalam Remediasi Limbah Cair Binatu "X" dengan Medium Lumpur Aktif," Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, pp. 1-17, 2016.
[7] A. R. Alifia & R. Ratnawati, "Pemanfaatan Effective Microorganism (EM) Limbah Sayur untuk Pengolahan Limbah Laundry ," *Jurnal Environtek*, vol. 12, no.2, 106-112, 2020.
[8] N. A. Rahmi, O. Finanta, T. R. Febriza, W. Kirantia, Z. Atikah, "Identifikasi Bakteri Indigen Penghasil Enzim Protease sebagai Agen Bioremediasi Limbah Laundry," *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, vol. 1, no. 1, pp. 18-21, 2023.
[9] N. Khadijah, K. Manalu, R. A. Nasution, "Pemanfaatan Bakteri Pseudomonas putida sebagai Agen Bioremediasi untuk Penurunan Kadar Fosfat pada Limbah Cair Jasa Laundry di Medan," *Best Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 542-548, 2023.
[10] R. Sunaryanto, "Kemampuan mikroba konsorsium untuk aplikasi pengolahan limbah tekstil," Prosiding, vol. 2, pp. 144–151, 2022, doi: 10.59134/prosidng.v2i-.122.
[11] M. R. Cordova, M. R. Iskandar, D. Surinati, M. T. Kaisupy, S. P. A. Wibowo, R. Subandi, et al., "Microplastic occurrence in sub-surface waters of the Indonesian archipelago," *Frontiers in Marine Science*, vol. 11, 2024, doi: 10.3389/fmars.2024.1362414.
[12] N. N. Saraswati, R. A. Santoso, and N. D. Siswati, "Penurunan kadar TSS dan BOD pada limbah cair laundry dengan metode elektrokoagulasi," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 17, no. 1, 2022, doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v17i1.3487.
[13] P. H. Doraja, M. Shovitri, and N. D. Kuswytasari, "Biodegradasi limbah domestik dengan menggunakan inokulum alami dari tangki septik," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 44–47, 2012.
[14] H. R. Fidiastuti and E. Suarsini, "Potensi bakteri indigen dalam mendegradasi limbah cair pabrik kulit secara in vitro," Bioeksperimen: *Jurnal Penelitian Biologi*, vol. 3, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.23917/bioeksperimen.v3i1.3665.
[15] E. R. Coats, F. J. Appel, N. Guho, C. K. Brinkman, and J. Mellin, "Interrogating the performance and microbial ecology of an enhanced biological phosphorus removal/post-anoxic denitrification process at bench and pilot scales," *Water Environment Research*, vol. 95, no. 4, p. e10852, 2023, doi: 10.1002/wer.10852.
[16] L. Li, H. Y. Shao, J. H. Huang, M. Ni, Y. Huang, and Y. Pan, "Analysis of environmental factors and mechanism of metabolic shift of phosphorus accumulating organisms," *Zhongguo Huanjing Kexue (China Environmental Science*), vol. 44, no. 5, pp. 2642–2651, 2024.
[17] P. Y. Nguyen, R. Marques, H. Wang, M. A. M. Reis, G. Carvalho, and A. Oehmen, "The impact of pH on the anaerobic and aerobic metabolism of Tetrasphaera-enriched polyphosphate accumulating organisms," *Water Research* X, vol. 19, 2023, doi: 10.1016/j.wroa.2023.100177.
[18] N. Quraini, M. Busyairi, and F. Adnan, "Evaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) komunal berbasis masyarakat Kelurahan Masjid Samarinda Seberang," *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2022, doi: 10.30872/jtlunmul.v6i1.7231.
[19] T. M. Mulyasari and M. Firdaust, "Efektivitas penggunaan alat pengolah air limbah 'SM' terhadap kualitas fisik dan kimia air limbah laundry," *Buletin Kesehatan Lingkungan Masyarakat*, vol. 44, no. 4, pp. 281–290, 2025, doi: 10.31983/keslingmas.v44i4.14015.
[20] J. Arora, A. Ranjan, A. Chauhan, R. Biswas, V. D. Rajput, S. Sushkova, et al., "Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 133, no. 3, 2022, doi: 10.1111/jam.15631.
[21] H. Wang, X. Wang, M. Wang, C. Zhang, J. Li, M. Xue, et al., "Degradation and transformation of linear alkyl-benzene sulfonates (LAS) in integrated constructed wetland–microbial fuel cell systems," *Chemosphere*, vol. 321, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138135.
[22] I. Soares de Lima, I. C. Silveira Duarte, and T. Palladino Delforno, "In Silico Analysis to Define Microbial Common Core Associated with Degradation of Anionic Surfactant Linear Alkylbenzene

Sulfonate (LAS)," *SSRN Electronic Journal*, SSRN 4257409, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4257409.
[23] Y. Ban, Q. Dou, and Y. Wu, "The enhanced removal of linear alkylbenzene sulfonates (LAS) by microorganisms under Fe(II) regulation: A study of sulfur transformation and bacterial metabolic characteristics," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 13, no. 5, 2025, doi: 10.1016/j.jece.2025.117813.
[24]L. Hermida, J. Agustian, and D. S. Anggraini, "Pengolahan limbah cair laundry melalui proses elektrokoagulasi sistem batch recycle menggunakan elektroda aluminium yang disusun secara bipolar," *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri* (JTII), vol. 5, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jtii.v5i2.101.
[25] A. Rinilam, M. Fatimura, R. Masriatini, and R. Fitriyanti, "Pengolahan air limbah laundry untuk menurunkan parameter pencemar menggunakan metode foto-Fenton," *Jurnal Integrasi Proses*, vol. 14, pp. 99–105, 2025.
[26] J. Y. N. Siahaan, "Pengaruh limbah laundry terhadap kualitas air tanah di sebagian wilayah Desa Sinduadi, Kecamatan Mlati, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta," *Jurnal Bumi Indonesia*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2016.
[27] L. Xe, "Microbial Metabolism of Environmental Pollutants: Biodegradation Pathways and Applications," *J. Bioremediat. Biodegrad.*, vol. 7, no. 1, p. 1000152, 2024. doi: 10.4172/jbpy.1000152.
[28] V. Savich and G. Novik, "Waste Biodegradation and Utilization by Pseudomonas Species," *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 851–857, 2016. doi: 10.15414/jmbbs.2016.6.2.851-857.