

Indigenous Microorganisms for Biodegradation of Household Detergents in Aquatic Bioremediation: A Meta-Scientific Review

Ashhabul Kahfi Khaer*, Putri Nabila Tsabitah Arman, Asri Malisan, Nurul Hikma Ardianto, Ramlawati, Sahrani U

Departemen Pendidikan IPA, Universitas Negeri Makassar, FMIPA, Makassar, Indonesia;

Article History

Received : June 07th, 2026

Revised : July 28th, 2026

Accepted : August 02th, 2026

*Corresponding Author:

Ashhabul Kahfi Khaer.

Pendidikan IPA, Fakultas

Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam, Universitas

Negeri Makassar, Makassar,
Indonesia;

Email:

kahfiisabul@gmail.com

Abstract: Household wastewater containing detergent residues is a major source of aquatic pollution due to synthetic surfactants, particularly Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) and Alkyl Sulfate (AS), which are toxic and resistant to natural degradation. Bioremediation using indigenous microorganisms offers an environmentally friendly and cost-effective alternative for degrading these pollutants. This narrative review evaluated the potential of indigenous microorganisms for biodegradation of household detergent residues and their prospects for aquatic bioremediation. Literature was systematically collected from Google Scholar, PubMed, and Scopus, including primary research articles published in Indonesian or English between 2018 and 2025. Twenty eligible studies were analyzed. The findings showed that *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, and *Corynebacterium* were the most frequently reported indigenous bacteria capable of degrading detergent surfactants and related organic compounds, with degradation efficiencies ranging from 7.7% to 100%, depending on microbial characteristics, substrate type, and environmental conditions. Bacterial consortia and biofilm-based systems consistently achieved higher degradation efficiencies than single isolates. Biodegradation primarily involves extracellular enzymes, including monooxygenases, sulfo-transferases, and amidases, which convert surfactants into less harmful compounds. Despite most studies being limited to laboratory-scale experiments, indigenous microorganisms demonstrate strong potential as sustainable bioremediation agents. Future research should focus on consortium optimization, molecular characterization, and field-scale validation to improve practical implementation in aquatic environments.

Keywords: Biodegradation; Bioremediation; Detergent; Household wastewater; Indigenous microorganism; Surfactant.

Pendahuluan

Inflamasi dalam konteks ekosistem perairan berawal dari introduksi bahan pencemar organik yang mengganggu keseimbangan biologis. Pencemaran pada lingkungan perairan akibat limbah rumah tangga merupakan permasalahan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan di berbagai negara, termasuk Indonesia (Hidayati et al., 2021). Salah satu komponen pencemar utama dalam limbah rumah tangga adalah detergen, dimana detergen mengandung surfaktan yang digunakan secara

luas dalam kegiatan mencuci pakaian, peralatan rumah tangga, dan aktivitas kebersihan lainnya (Bhattacharya et al., 2021). Detergen modern umumnya mengandung surfaktan sintetik, terutama golongan anionik seperti *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dan *Alkyl Sulfate* (AS), yang diketahui bersifat toksik terhadap biota perairan dan sulit terurai secara alami dalam lingkungan (Khotimah et al., 2021). Pembuangan dari limbah detergen secara tidak terkedali ke lingkungan perairan dapat memicu peningkatan konsentrasi surfaktan, khususnya kawasan pesisir yang berdekatan dengan

pemukiman penduduk maupun lokasi akuatik, yang berpotensi mengganggu keberlangsungan organisme akuatik (Eddiwan et al., 2021).

Residu detergen yang terbuang ke badan air menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap ekosistem perairan. Deterjen diketahui menyebabkan pembusukan pada permukaan air, menurunkan produksi oksigen, memicu eutrofikasi, serta membahayakan sumber air minum. Busa yang terbentuk di permukaan badan air menghambat proses aerasi Demand (BOD) sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut secara signifikan (Gouda et al., 2022). Selain itu, kandungan fosfor yang terdapat dalam formulasi detergen turut mempercepat laju eutrofikasi di perairan.

Kondisi ini juga dibuktikan oleh penelitian Chirani et al (2021) yang menemukan tingginya konsentrasi detergen dapat memicu pembentukan busa dalam jumlah besar di permukaan air, yang menghambat laju penetrasi oksigen serta menurunkan kemampuan organisme akuatik dalam menyerap oksigen terlarut, sekaligus memicu proses eutrofikasi yang berdampak pada penurunan kualitas air, terganggunya transmisi cahaya, dan perubahan pH pada tanah maupun perairan di sekitarnya. Keberadaan surfaktan dalam konsentrasi tinggi juga menyebabkan gangguan pada sistem reproduksi dan sistem endokrin organisme perairan (Anwuli U. et al., 2018). Hal ini menjadikan pengelolaan limbah detergen sebagai salah satu prioritas dalam upaya konservasi lingkungan perairan.

Berbagai metode pengolahan limbah detergen telah dikembangkan, mulai dari metode fisik seperti filtrasi dan adsorpsi, metode kimia seperti koagulasi dan oksidasi, hingga metode biologis. Di antara berbagai pendekatan tersebut, bioremediasi menggunakan mikroorganisme dianggap sebagai alternatif yang paling menjanjikan karena sifatnya yang ramah lingkungan, biaya operasional yang lebih rendah, dan kemampuannya untuk mendegradasi senyawa organik secara tuntas hingga menjadi produk akhir yang tidak berbahaya (CO_2 dan H_2O) (Kumari et al., 2025).

Mikroorganisme indigenous, yaitu mikroorganisme yang secara alami terdapat dan telah beradaptasi di lingkungan yang tercemar, menunjukkan potensi yang sangat besar dalam proses biodegradasi residu detergen. Berbeda

dengan mikroorganisme eksogen yang diintroduksi dari luar, mikroorganisme indigenous telah mengembangkan mekanisme toleransi dan enzim spesifik yang mampu menggunakan komponen detergen sebagai sumber karbon dan energi untuk pertumbuhannya. Beberapa penelitian melaporkan bahwa isolat bakteri indigenous dari limbah detergen laundry mampu menurunkan kadar surfaktan hingga lebih dari 90% dalam kondisi laboratorium (Gasperz et al., 2022; Simanjuntak et al., 2024).

Penelitian-penelitian terdahulu telah berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi berbagai spesies bakteri indigenous yang memiliki kemampuan mendegradasi detergen, di antaranya *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus* sp., *Acinetobacter calcoaceticus*, *Aeromonas* sp., dan *Micrococcus* sp. (Alarjani et al., 2021; Lidya Imelda Nelvi Ratu et al., 2023). Namun, pemahaman yang komprehensif mengenai mekanisme molekuler biodegradasi, faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi degradasi, serta penerapannya dalam skala lapangan masih perlu dikaji lebih mendalam. Oleh karena itu, artikel review ini bertujuan memberikan gambaran menyeluruh mengenai potensi mikroorganisme indigenous dalam biodegradasi residu detergen limbah rumah tangga serta penerapannya sebagai strategi bioremediasi lingkungan perairan.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode narrative review untuk mengumpulkan, menyaring, dan menganalisis data ilmiah mengenai potensi mikroorganisme indigenous dalam biodegradasi residu detergen limbah rumah tangga. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui tiga database ilmiah internasional, yaitu *Google Scholar*, *PubMed*, dan *Scopus*.

Proses pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci indigenous microorganism, bioremediation alternative, degrading bacteria, detergent, surfactant, dan household wastewater, baik secara tunggal maupun dalam bentuk kombinasi Boolean. Dari hasil penelusuran awal, diperoleh 100 publikasi yang relevan. Selanjutnya, dilakukan proses penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, sehingga tersisa

72 artikel yang memenuhi kriteria awal. Setelah dilakukan penilaian kelayakan berdasarkan kesesuaian topik, kejelasan metode, dan kelengkapan data, sebanyak 20 artikel penelitian dipilih dan dianalisis secara mendalam dalam kajian ini.

Publikasi yang disertakan merupakan artikel penelitian internasional maupun nasional yang diterbitkan pada periode 2018–2025, dengan fokus pada laporan aktivitas biodegradasi senyawa detergen atau surfaktan oleh mikroorganisme indigenous dari limbah rumah tangga atau domestik. Kriteria inklusi mencakup: (1) artikel ilmiah primer dengan rancangan eksperimental *in vitro* maupun *in vivo*; (2) artikel berbahasa Indonesia atau Inggris yang tersedia secara full text; (3) artikel yang menyajikan data kuantitatif efisiensi degradasi; serta (4) artikel yang dipublikasikan dalam rentang 2018–2025. Artikel berupa opini, editorial, surat pembaca, atau yang tidak relevan langsung dengan topik dikecualikan dari seleksi. Data sekunder yang dianalisis mencakup jenis mikroorganisme, jenis

detergen/surfaktan, metode penelitian, efisiensi degradasi, temuan utama, dan keterbatasan studi.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelusuran literatur, teridentifikasi sebanyak 20 artikel dari berbagai negara yang melaporkan potensi mikroorganisme indigenous dalam biodegradasi residu detergen dan senyawa organik terkait pada lingkungan perairan. Sebagian besar penelitian berasal dari Indonesia ($n = 14$), sementara sisanya berasal dari India, China, Arab Saudi, Jepang, dan Thailand. Mayoritas artikel menggunakan pendekatan eksperimental skala laboratorium, meliputi metode biodegradasi konvensional, bioremediasi, dan teknologi reaktor. Distribusi publikasi terbanyak berada pada tahun 2021–2023, mengindikasikan meningkatnya perhatian ilmiah terhadap isu pencemaran detergen di lingkungan perairan. Ringkasan seluruh artikel yang dianalisis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman Artikel yang Dianalisis dalam Kajian Review ($n = 20$)

Penulis & Tahun	Negara/ Sumber Sampel	Jenis Mikroorganisme	Jenis Detergen/ Surfaktan	Metode Penelitian	Efisiensi Degradasi	Temuan Utama	Keterbatasan
Anggiani (2021)	Indonesia / Lingkungan Laut	Bakteri dan jamur	Polimer mikroplastik	Kajian pustaka	7,7%	Mikroba laut mampu memecah rantai polimer plastik menjadi unit lebih kecil.	Data efisiensi bervariasi karena perbedaan jenis polimer plastik.
Sriweni & Hendrasari (2020)	Indonesia / Limbah Laundry	Biofilm	Polutan laundry	Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	92,1%	Penggunaan media pada reaktor MBBR mempercepat pertumbuhan bakteri pengurai.	Membutuhkan energi listrik untuk operasional reaktor.
Khairunnisa et al. (2021)	Indonesia / Rumah Potong Hewan	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bahan organik (COD/BOD)	Penambahan ekoenzim kulit nanas	81,8%	Kombinasi bakteri dan ekoenzim nanas sangat efektif mengurai limbah cair.	Fokus pada limbah pemotongan hewan, bukan khusus detergen.
Gaspersz & Fitrihidajati (2022)	Indonesia / Limbah Domestik	Mikroba dalam ekoenzim	Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)	Remediasi menggunakan ekoenzim	83,3%	Ekoenzim kulit jeruk/nanas mengandung enzim alami yang memutus rantai LAS.	Waktu pembuatan ekoenzim membutuhkan waktu lama.
Fernianti et al. (2020)	Indonesia / Limbah Cair	Karbon aktif ampas teh	Surfaktan	Adsorpsi	93,2%	Karbon aktif dari ampas teh mampu menyerap residu surfaktan secara fisik.	Bukan proses biologi, melainkan penyerapan fisik.
Siti Khotimah et al. (2021)	Indonesia / Sungai dan Danau	Mikroorganisme Indigenous	LAS dan AS (Alkyl Sulfate)	Bioremediasi	60,0%	Mikroorganisme indigenous memiliki adaptasi tinggi terhadap toksisitas	Efektivitas sangat dipengaruhi faktor lingkungan (suhu, pH, kadar oksigen)

Penulis & Tahun	Negara/ Sumber Sampel	Jenis Mikroorganisme	Jenis Detergen/ Surfaktan	Metode Penelitian	Efisiensi Degradasi	Temuan Utama	Keterbatasan
						detergen dan merupakan alternatif yang lebih ekonomis.	dan keberadaan inhibitor.
Putri Winahyu et al. (2019)	Indonesia / Sampel limbah cair	Bakteri indigenous	Senyawa organik (protein)	Biodegradasi	80,0%	Ditemukan 4 isolat bakteri indigenous berpotensi sebagai agen bioremediasi, mampu menghasilkan enzim protease ekstraseluler.	Belum dilakukan uji kuantitatif BOD/COD atau identifikasi molekuler.
Anwuli U. et al. (2018)	Limbah rumah tangga	<i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Acinetobacter</i>	Sodium Dodecyl Sulphate (SDS)	Biodegradasi	93,0%	SDS adalah yang paling mudah terurai (hampir 100%). Beberapa detergen ladang minyak bersifat persisten.	Beberapa jenis detergen membutuhkan >28 hari untuk terurai sepenuhnya.
Keerthi Katam et al. (2018)	India, Indonesia, Jepang, Thailand	Lumpur aktif (Activated Sludge)	LAS dan FWAs	Biodegradasi	95,0%	Terdapat variasi kemampuan biodegradasi antar detergen dari negara berbeda tergantung komposisinya.	Mineralisasi sempurna belum tentu tercapai karena munculnya produk antara.
Heri Ariadi et al. (2022)	Indonesia / Sampel limbah cair	Bakteri indigenous	Pewarna sintetik	Aerasi	30,0%	Bakteri indigenous efektif menurunkan BOD. Proses aerasi meningkatkan DO sehingga mendukung aktivitas dekomposer.	Kemampuan bakteri belum maksimal karena pekatnya konsentrasi bahan kimia toksik.
Lidya Imelda Nelvi Ratu et al. (2023)	Indonesia / Sungai tercemar limbah domestik	<i>Aeromonas</i> sp., <i>Bacillus</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Cardiobacterium</i> sp., <i>Acinetobacter</i> sp.	Surfaktan campuran; COD & TSS	Biodegradasi skala laboratorium, inkubasi 7 hari	TSS: 53,33%; COD: 37,68%	Kombinasi <i>Aeromonas</i> + <i>Bacillus</i> + <i>Pseudomonas</i> paling efektif menurunkan TSS. <i>Bacillus</i> menunjukkan reduksi COD tertinggi secara individu.	Uji hanya 7 hari; identifikasi bakteri hanya biokimia konvensional (belum 16S rRNA).
Kumari et al. (2025)	India / Limbah industri dan domestik	DS-58, DS-67, DS-72; Konsorsium C4	Polutan organik campuran; BOD & COD	Isolasi & seleksi bakteri; konsorsium; pemantauan stabilitas 6 bulan	BOD: 64,97%; COD: 69,81%	Konsorsium C4 menunjukkan biodegradasi tertinggi. Formulasi cair paling stabil (5×10^7 cfu/mL setelah 6 bulan).	Identifikasi bakteri hanya berdasarkan morfologi koloni; tidak menguji biodegradasi detergen/surfaktan secara spesifik.
Li et al. (2023)	China / Lumpur batu bara	<i>Sphingomonas</i> sp. (strain BRY)	Poliakrilamida/ PAM	Analisis 16S rDNA; isolasi & domestikasi bakteri; uji biodegradasi aerobik	66,4% (76 jam)	<i>Sphingomonas</i> mendegradasi PAM melalui amidase dan monooksigenase. Biodegradasi PAM terbukti menghambat pengendapan coal slurry.	Hanya menguji satu jenis mikroorganisme; kondisi laboratorium, belum divalidasi lapangan.
Liu et al. (2025)	China / Review komprehensif	<i>Bacillus subtilis</i> (berbagai strain)	PAH, herbisida, insektisida, pewarna azo, obat-obatan	Review komprehensif; molecular docking;	PAH: 40–50%; Atrazine: 90%;	<i>B. subtilis</i> memiliki sistem enzim degradatif sangat beragam. Jalur PAH berkonvergensi pada	Review tanpa data eksperimen primer; tidak membahas detergen/surfaktan secara spesifik.

Penulis & Tahun	Negara/ Sumber Sampel	Jenis Mikroorganisme	Jenis Detergen/ Surfaktan	Metode Penelitian	Efisiensi Degradasi	Temuan Utama	Keterbatasan
				analisis enzim kunci	Pewarna azo: 92,3%	catechol. Mekanisme QS meregulasi produksi enzim.	
Alarjani et al. (2021)	Arab Saudi & India / Lumpur limbah kota	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> NU1 & <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> K12	Nutrien anorganik; COD, BOD, TSS	Skrining enzim; MBBR 4 reaktor; identifikasi 16S rDNA	COD: 98,7%; Fosfor: 84,2%	<i>P. aeruginosa</i> dan <i>A. calcoaceticus</i> membentuk biofilm di MBBR. Reaktor aerobik paling efektif dalam removal COD dan nitrifikasi.	Tidak menguji detergen/surfaktan secara spesifik; kedua strain menunjukkan resistensi antibiotik multidrug.
Fan et al. (2023)	China / Lumpur limbah industri plastik	<i>Bacillus</i> sp. LUNF1 (<i>Bacillus velezensis</i>)	Phthalic Acid Esters (PAEs): DBP, DEP, BBP, DMP	Isolasi & skrining; HPLC-MS; sekuensing genom lengkap; karakterisasi enzim	DBP: 100% (7 hari, air limbah)	<i>Bacillus</i> sp. LUNF1 mendegradasi PAE melalui hidrolisis ikatan ester. Enzim DphBL1 aktif pada pH 5–9 dan suhu 10–50°C.	Tidak menguji detergen/surfaktan rumah tangga secara langsung; studi pada skala laboratorium.
Jabbar et al. (2024)	Semarang / Limbah laundry	<i>Spirulina platensis</i>	Linier alkyl sulfonat, ammonium klorida	Deskriptif kuantitatif	COD: 70,6%	Efektif mereduksi parameter pencemar limbah laundry.	Konsentrasi COD akhir masih melebihi ambang batas yang ditetapkan.
Trikurniadewi et al. (2025)	Gresik / Eco-enzyme	<i>Corynebacterium</i> dan <i>Bacillus</i>	Surfaktan alami	Observasional dan eksperimental	Emulsifikasi: 50,4%; tegangan permukaan: 52,2 mN/m	Ditemukan 4 isolat indigenus eco-enzyme potensial penghasil biosurfaktan aman (non-patogen) untuk formulasi farmasi.	Identifikasi mikroba masih menggunakan metode konvensional.
Yusal et al. (2025)	Indonesia / Studi literatur	Fitoplankton, alga	Fosfat	Literature Review	–	Eutrofikasi disebabkan oleh pengayaan unsur hara akibat limbah detergen.	Diperlukan regulasi yang lebih ketat terhadap limbah domestik/pertanian.
Anggraeni et al. (2025)	Madura / Air limbah medis	Bakteri pengurai	Limbah cair rumah sakit	Quasi-experiment	BOD: 81,1%; COD: 78,8%	Metode pembibitan bakteri pada IPAL efektif menurunkan kadar BOD dan COD.	Kondisi lumpur aktif di IPAL awal tidak ideal; penelitian fokus pada optimasi bakteri.

Pembahasan

Jenis dan Karakteristik Mikroorganisme Indigenus.

Hasil analisis terhadap 20 artikel yang dikaji menunjukkan bahwa jenis bakteri indigenus yang paling dominan dan konsisten dilaporkan memiliki kemampuan biodegradasi detergen dan senyawa organik terkait meliputi genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, dan *Corynebacterium* (Tabel 1). Di antara genus-genus tersebut, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus* sp. merupakan yang

paling sering dilaporkan, karena kemampuannya menghasilkan enzim ekstraseluler yang mampu memutus rantai surfaktan anionik seperti LAS dan AS (Anwuli U. et al., 2018; Lidya Imelda Nelvi Ratu et al., 2023).

Selain bakteri tunggal, beberapa penelitian melaporkan potensi komunitas mikroorganisme campuran seperti biofilm, lumpur aktif (activated sludge), alga (*Spirulina platensis*), serta jamur yang diisolasi dari lingkungan tercemar. Keberadaan komunitas mikroorganisme yang beragam memungkinkan terjadinya degradasi sinergistik, di mana masing-masing spesies

berkontribusi pada pemecahan senyawa kompleks secara bertahap menjadi produk akhir yang tidak berbahaya. Hal ini didukung oleh temuan Sriweni & Hendrasarie (2020) yang menunjukkan bahwa biofilm dalam reaktor MBBR mampu mencapai efisiensi degradasi polutan laundry sebesar 92,1%, jauh melampaui pendekatan isolat tunggal dalam kondisi serupa.

Identifikasi berbagai spesies *Bacillus* yang dilaporkan dari berbagai negara, mulai dari *Bacillus velezensis* (Fan et al., 2023) hingga *Bacillus subtilis* (Liu et al., 2025), menunjukkan bahwa genus ini memiliki plasmiditas metabolik yang tinggi dalam mendegradasi berbagai senyawa organik kompleks. Sementara itu, Trikurniadewi et al. (2025) berhasil mengisolasi *Corynebacterium* dan *Bacillus* dari eco-enzyme yang mampu menghasilkan biosurfaktan alami, membuka peluang pengembangan agen bioremediasi yang sekaligus ramah lingkungan dan aman digunakan.

Efisiensi Biodegradasi Detergen dan Surfactan.

Efisiensi degradasi yang dilaporkan dalam artikel-artikel yang dianalisis menunjukkan variasi yang cukup luas, berkisar antara 7,7% hingga 100% (Tabel 1). Efisiensi tertinggi (100%) dilaporkan oleh Fan et al. (2023) pada degradasi Dibutyl Phthalate (DBP) oleh *Bacillus velezensis* dalam kondisi air limbah nyata setelah 7 hari inkubasi. Sebaliknya, efisiensi terendah (7,7%) dilaporkan oleh Anggiani (2021) pada biodegradasi polimer mikroplastik oleh mikroba laut, yang mencerminkan kompleksitas degradasi polimer sintetik jangka panjang.

Perbedaan efisiensi yang signifikan ini mencerminkan kompleksitas faktor-faktor yang mempengaruhi proses biodegradasi, meliputi jenis dan konsentrasi substrat, karakteristik spesifik mikroorganisme, serta kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan ketersediaan oksigen. Secara umum, penelitian yang menggunakan konsorsium bakteri atau sistem biofilm cenderung menunjukkan efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan isolat tunggal. Kumari et al. (2025) melaporkan bahwa konsorsium C4 yang terdiri dari tiga isolat bakteri indigenous (DS-58, DS-67, DS-72) mampu menurunkan BOD sebesar 64,97% dan COD sebesar 69,81% dari limbah industri dan domestik.

Temuan serupa dilaporkan oleh Alarjani et al. (2021) yang menggunakan sistem MBBR dengan *Pseudomonas aeruginosa* NU1 dan *Acinetobacter calcoaceticus* K12, menghasilkan efisiensi removal COD hingga 98,7% dan fosfor 84,2%. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis komunitas mikroorganisme (konsorsium atau biofilm) secara konsisten lebih unggul dibanding isolat tunggal dalam kondisi limbah nyata yang lebih kompleks. Variasi efisiensi yang dilaporkan untuk jenis surfaktan yang sama dari negara berbeda, seperti yang dikaji Keerthi Katam et al. (2018) terhadap LAS dari India, Indonesia, Jepang, dan Thailand dengan efisiensi rata-rata 95%, menegaskan bahwa komposisi formulasi detergen lokal turut menentukan tingkat biodegradabilitas.

Mekanisme Molekuler Biodegradasi.

Kajian terhadap mekanisme molekuler biodegradasi detergen oleh mikroorganisme indigenous mengungkapkan keterlibatan berbagai sistem enzim ekstraseluler yang spesifik. Pada degradasi surfaktan anionik jenis LAS, enzim-enzim kunci yang terlibat meliputi monooksigenase, sulfo-transferase, dan berbagai enzim oksidatif yang mengkatalisis pemecahan rantai alkil dan pelepasan gugus sulfonat (Khotimah et al., 2021). Proses ini mengubah LAS menjadi produk antara yang lebih sederhana sebelum akhirnya termineralisasi menjadi CO_2 dan H_2O .

Salah satu contoh mekanisme kerja yang telah terkarakterisasi dengan baik adalah biodegradasi poliakrilamida (PAM) oleh *Sphingomonas* sp. strain BRY, sebagaimana dilaporkan oleh Li et al. (2023). Degradasi PAM berlangsung melalui dua jalur utama: (1) enzim amidase menghidrolisis gugus amida ($-\text{CONH}_2$) menjadi gugus karboksil ($-\text{COOH}$), dan (2) enzim monooksigenase mengoksidasi rantai utama karbon menghasilkan produk organik kecil yang lebih mudah terdegradasi lebih lanjut. Mekanisme dua jalur ini memungkinkan degradasi yang lebih efisien dan tuntas dibanding jalur tunggal, mencapai 66,4% dalam 76 jam inkubasi aerobik.

Pada tingkat regulasi yang lebih kompleks, Liu et al. (2025) menemukan bahwa *Bacillus subtilis* meregulasi produksi enzim-enzim degradatifnya melalui mekanisme Quorum Sensing (QS) via sistem ComQXPA. Sistem QS

ini memungkinkan bakteri untuk mendeteksi kepadatan populasinya sendiri dan secara kolektif menginduksi ekspresi gen-gen yang mengkode enzim pendegradasi polutan, termasuk jalur catechol untuk degradasi PAH dan enzim esterase untuk hidrolisis ikatan ester pada berbagai senyawa organik sintetik. Temuan ini menunjukkan adanya regulasi molekuler yang canggih yang memungkinkan mikroorganisme indigenous beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan konsentrasi pencemar di lingkungan asalnya.

Bukti eksperimental juga menunjukkan bahwa *Bacillus velezensis* (Fan et al., 2023) mengekspresikan enzim hidrolase DphBL1 yang aktif pada rentang pH 5–9 dan suhu 10–50°C, menandakan adaptabilitas enzimatik yang luas terhadap berbagai kondisi lingkungan perairan. Fleksibilitas kondisi kerja enzim ini menjadi keunggulan komparatif dibanding agen kimia konvensional yang umumnya memerlukan kondisi operasional yang lebih ketat. Sementara itu, mekanisme pembentukan biofilm yang dilaporkan pada *P. aeruginosa* dan *A. calcoaceticus* (Alarjani et al., 2021) dalam sistem MBBR terbukti meningkatkan retensi sel bakteri di media reaktor, memperpanjang waktu kontak antara sel dan substrat pencemar, serta melindungi sel dari fluktuasi kondisi lingkungan yang ekstrem.

Keterbatasan Penelitian dan Prospek Pengembangan.

Hasil-hasil penelitian yang dikaji menunjukkan potensi besar mikroorganisme indigenous dalam biodegradasi detergen. Meskipun demikian, penerapan dari teknologi ini di lapangan masih memerlukan penyelesaian atas beberapa keterbatasan signifikan. Pertama, sebagian besar penelitian masih dilakukan pada skala laboratorium dengan kondisi yang terkontrol, sehingga validasi performa pada kondisi lingkungan nyata yang lebih kompleks dan dinamis masih sangat diperlukan. Kedua, identifikasi mikroorganisme pada beberapa penelitian masih mengandalkan metode biokimia konvensional tanpa konfirmasi molekuler seperti analisis sekuens 16S rRNA, yang dapat mengurangi keakuratan identifikasi dan menghambat pemahaman tentang keragaman fungsional komunitas mikroba tersebut.

Ketiga, konsentrasi awal pencemar yang tinggi pada limbah rumah tangga nyata dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, sebagaimana dilaporkan oleh Heri Ariadi et al. (2022) yang menunjukkan efisiensi degradasi yang relatif rendah (30%) akibat pekatnya konsentrasi bahan kimia toksik dalam sampel limbah tekstil. Keempat, perlu dipertimbangkan potensi risiko ekologis dari beberapa strain yang dilaporkan menunjukkan resistensi terhadap antibiotik multidrug, seperti *P. aeruginosa* NU1 dalam penelitian Alarjani et al. (2021), yang menuntut pertimbangan biosafety secara komprehensif sebelum aplikasi lapangan. Kelima, sebagian penelitian yang dianalisis tidak secara spesifik menguji biodegradasi detergen atau surfaktan rumah tangga, melainkan senyawa organik sintetik lain yang relevan namun berbeda karakteristiknya, sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan kehati-hatian.

Terlepas dari berbagai keterbatasan tersebut, potensi mikroorganisme indigenous sebagai agen bioremediasi lingkungan perairan tetap sangat menjanjikan. Keunggulan utama pendekatan ini meliputi biaya operasional yang lebih rendah, ramah lingkungan, kemampuan mineralisasi sempurna hingga CO₂ dan H₂O, serta adaptasi alami terhadap kondisi spesifik lingkungan setempat yang tidak dimiliki oleh agen kimia konvensional. Temuan-temuan tersebut menegaskan peran mikroorganisme indigenous sebagai kandidat agen bioremediasi alami yang kuat. Pengembangan lebih lanjut melalui optimasi konsorsium mikroba, karakterisasi molekuler berbasis genomik, dan uji validasi skala lapangan diharapkan dapat mempercepat implementasi teknologi bioremediasi berbasis mikroorganisme indigenous dalam pengelolaan limbah detergen rumah tangga secara berkelanjutan.

Kesimpulan

Berdasarkan telaah pustaka, mikroorganisme indigenous terbukti kaya akan kemampuan enzimatik dalam biodegradasi residu detergen, terutama genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, dan *Corynebacterium*, yang menunjukkan efisiensi degradasi signifikan pada berbagai model uji. Pendekatan konsorsium bakteri dan sistem biofilm mampu menekan residu detergen melalui

penghambatan mediator pencemaran, modulasi jalur molekuler utama seperti sistem QS dan jalur enzim oksidatif, serta adaptasi fisiologis terhadap kondisi lingkungan setempat. Keragaman mekanisme degradasi antar spesies mencerminkan perbedaan potensi biologisnya, namun secara umum menegaskan peran penting mikroorganisme indigenous sebagai kontributor utama proses bioremediasi. Temuan ini mendukung potensi besar mikroorganisme indigenous sebagai sumber agen bioremediasi alami yang menjanjikan untuk pengembangan lebih lanjut di bidang lingkungan dan kesehatan ekosistem perairan, khususnya melalui validasi in vivo, kajian toksisitas, dan pengembangan formulasi konsorsium yang stabil.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas yang telah membantu dalam kegiatan *literature review* ini sehingga berjalan dengan lancar.

Referensi

Al-Arjani, K. M., Almutairi, A. M., Raj, S. R. F., Dkk. (2021). Biofilm Producing Indigenous Bacteria Isolated From Municipal Sludge and their Nutrient Removal Ability in Moving Bed Biofilm Reactor from the Wastewater. *Saudi Journal Of Biological Sciences*. 28 (9). <https://doi.org/10.1016/J.Sjbs.2021.06.084>

Anggiani, M. (2020). Potensi Mikroorganisme sebagai Agen Bioremediasi Mikroplastik di Laut. *Oseana*. 45 (2). <https://doi.org/10.14203/Oseana.2020.Vol.45No.2.56>

Anggraeni, Y. F., Yohanan, A., & Joegijantoro, R. (2025). Penurunan BOD dan COD dengan Metode Pembibitan Bakteri pada IPAL Aerob Anaerob. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Media Husada*. 14 (1). <https://doi.org/10.33468/jilkmh.v14i1.115>

Ariadi, H., Linayati, L., & Mardiana, T. Y. (2022). Pengaruh Bakteri Indigenous dalam Degradasi Senyawa Fisika Kimia Limbah Batik dan Tekstil. *Jurnal Litbang Kota Pekalongan*. 20 (2).

<https://doi.org/10.54911/Litbang.V20i2.218>

Ban, Y., Dou, Q., & Wu, Y. (2025). 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*. 13 (4). <https://doi.org/10.1016/J.Jece.2025.117813>

Bhattacharya, R., Chatterjee, A., Chatterjee, S., & Saha, N. C. (2021). Oxidative stress in benthic oligochaete worm, *Tubifex tubifex* induced by sublethal exposure to a cationic surfactant cetylpyridinium chloride and an anionic surfactant sodium dodecyl sulfate. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 240, 108906. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108906>

Chirani, M. R., Kowsari, E., Teymourian, T., & Ramakrishna, S. (2021). Environmental impact of increased soap consumption during COVID-19 pandemic: Biodegradable soap production and sustainable packaging. *Science of the Total Environment*, 796, 149013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149013>

Eddiwan, Sukendi, Siregar, Y. I., & Saam, Z. (2021, March). Toxicity of Alkyl Sulfate Surfactant Detergent (AS) to Larvae of *Vannamei Shrimp* (*Litopenaeus vannamei*) From Marine Waters, District of Lingga Timur, Lingga Regency. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 695, No. 1, p. 012013). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/695/1/012013/meta>

El Sandi, N. M., Rasyidah, R., & Mayasari, U. (2024). Bioremediasi Kromium (Cr) Menggunakan Bakteri Indigenous dari Limbah Cair di Sungai Deli Medan. *Biogenerasi: Jurnal Pendidikan Biologi*. 9 (1). <https://doi.org/10.30605/biogenerasi.v9i1.3656>

- Fan, S., Li, C., Guo, J., dkk. (2023). Biodegradation of Phthalic Acid Esters (Paes) by *Bacillus* Sp. LUNF1 and Characterization of a Novel Hydrolase Capable Of Catalyzing Paes. *Environmental Technology & Innovation*. 32 Artikel 103269. <https://doi.org/10.1016/J.Eti.2023.103269>
- Fernianti, D., Mardwita, M., & Suryati, L. (2017). Pengaruh Jenis Detergen dan Rasio Pengenceran terhadap Proses Penyerapan Surfaktan dalam Limbah Detergen menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Teh. *Distilasi*. 2 (2). <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1147>
- Gaspersz, M. M., & Fitrihidajati, H. (2022). Pemanfaatan Ekoenzim Berbahan Limbah Kulit Jeruk dan Kulit Nanas Sebagai Agen Remediasi LAS Detergen. *Lenterabio: Berkala Ilmiah Biologi*. 11(3). <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n3.p503-513>
- Gouda, A. M., Okbah, M. A., El-Gammal, M. I., & Hagra, A. E. (2022). Linear Alkylbenzene Sulphonate (LAS) in Nile delta lagoon and its effects on hematological and biochemical parameters in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Chemistry and Ecology*, 38(9), 857-872. <https://doi.org/10.1080/02757540.2022.2119224>
- Hidayati, N. V., Asia, L., Khabouchi, I., Torre, F., Widowati, I., Sabdono, A., Doumenq, P., & Syakti, A. D. (2021). Ecological risk assessment of persistent organic pollutants (POPs) in surface sediments from aquaculture system. *Chemosphere*, 263, 128372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128372>
- Jabbar, A., Amalia, A. V., Haris, A., dkk. (2024). Potensi *Spirulina latensis* sebagai Agen Remediasi Air Limbah Laundry. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 22 (5). <https://doi.org/10.14710/jil.22.5.1224-1231>
- Katam, K., Maetani, K., Shimizu, T., dkk. (2018). Study of Aerobic Biodegradation of Surfactants and Fluorescent Whitening Agents in Detergents of a Few Selected Asian Countries (India, Indonesia, Japan, And Thailand). *Journal Of Water And Environment Technology*. 16 (1). <https://doi.org/10.2965/Jwet.17-007>
- Khairunnisa, E., Rasyidah, R., & Nasution, R. A. (2024). Pengaruh Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* dengan Penambahan Ekoenzim Kulit Nanas terhadap Konsentrasi COD dan BOD pada Limbah Cair Rumah Potong Hewan. *BIO-CONS: Jurnal Biologi dan Konservasi*. 6 (1). <https://doi.org/10.31537/biocons.V6i1.1723>
- Kumari, G., Jaiswal, A., Pathak, D., dkk. (2025). Development of Effective Microbial Consortia Based Liquid Formulations for Secondary Treatment of Wastewater. *AATCC Review*. 13 (2). <https://doi.org/10.21276/Aatccreview.2025.13.02.42>
- Li, J., Meng, D., Wang, X., dkk. (2023). First Insight into Indigenous Microorganisms in Coal Slurry Involved in Polyacrylamide Biodegradation. *Fuel*. 332 Artikel 126006. <https://doi.org/10.1016/J.Fuel.2022.126006>
- Liu, M., Chen, W. J., Si, G., dkk. (2025). *Bacillus Subtilis* as a Powerful Weapon in the Removal of Environmental Pollutants. *Journal of Environmental Management*. 396 Artikel 127894. <https://doi.org/10.1016/J.Jenvman.2025.127894>
- Osadebe, A. U., Onyiliogwu, C. A., & Okpokwasili, G. C. (2018). Biodegradation of Anionic Surfactants from Oilfield Detergents in Aquatic Systems. *Universal Journal of Microbiology Research*. 6 (1). <https://doi.org/10.13189/Ujmr.2018.060102>
- Ratu, L. I. N., Seumahu, C. A., & Killay, A. (2023). Biodegradation Test of Polluted River Caused by Domestic Wastewater using Indigenous Bacteria in the way Tomu Watershed Ambon City. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. 15 (1). <https://doi.org/10.15294/Biosaintifika.V15i1.40016>
- Sriweni, D. P., & Hendrasarie, N. (2025). Efektivitas Jenis Media pada Penurunan Kandungan Polutan Air Limbah Laundry

-
- menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor. *Jurnal Serambi Engineering*. 10 (2).
<https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/801>
- Trikurniadewi, N., Nasyanka, A. L., Nur'aini, F., dkk. (2025). Isolasi dan Karakterisasi Mikroba Indigenous Penghasil Biosurfaktan dari Eco-Enzyme. *Jurnal Kesehatan Vokasional*. 10 (1).
<https://doi.org/10.22146/Jkesvo.101533>
- Winahyu, P., Sulistyaningtyas, A. R., & Darmawati, S. (2019). Isolasi Bakteri Indigenous Penghasil Enzim Protease dari Limbah Cair Industri Tempe. *Prosiding Mahasiswa Seminar Nasional Unimus*. 2.
- Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti, H., dkk. (2025). Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 24 (1).
<https://doi.org/10.14710/Jkli.67125>