

Study of the Difference in Biodegradation Rate of LAS (Linear Alkylbenzene Sulfonates) and MES (Methyl Ester Sulfonate) Surfactants by *Pseudomonas putida* and *Bacillus megaterium*

Baiq Dini Najia Dzurrahmi^{1*}, Prapti Sedijani¹, Muhlis¹

¹Program Studi Magister Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Pascasarjana, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : January 05th, 2026

Revised : January 10th, 2026

Accepted : January 19th, 2026

*Corresponding Author:

Baiq Dini Najia Dzurrahmi,
Program Studi Magister
Pendidikan IPA, Pascasarjana,
Universitas Mataram, Nusa
Tenggara Barat, Indonesia;
Email:

bqdininajiadz99@gmail.com

Abstract: Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) is the most widely used surfactant in industrial detergent formulations, generating waste that poses potential risks to environmental quality and human health. As an environmentally friendly alternative, palm oil-based Methyl Ester Sulfonate (MES) has renewable and biodegradable properties, stability in hard water and high salinity, and a faster degradation rate than LAS. However, direct comparative studies on the biodegradation rates of LAS and MES are still limited. Therefore, this study aimed to compare the biodegradation ability of *Pseudomonas putida* and *Bacillus megaterium* toward LAS and MES in vitro using the MBAS method. The experiment employed a Completely Randomized Design with a two-factor factorial arrangement and three replications, resulting in 12 experimental units. Biodegradation rates were determined by measuring surfactant concentrations at days 0, 2, 4, 6, and 8 using UV-Vis spectrophotometry and linear regression analysis. The results showed a decrease in surfactant concentration over time in all treatments. Statistical analysis indicated no significant difference between LAS and MES biodegradation rates, but significant differences between bacterial species and their interaction with surfactant type.

Keywords: Biodegradation, Detergents, Surfactants, Waste.

Pendahuluan

Detergen merupakan campuran bahan kimia yang digunakan untuk membantu proses pembersihan dalam aktivitas domestik maupun industri. Sebagian besar detergen konvensional tersusun atas bahan kimia turunan minyak bumi yang dirancang untuk meningkatkan efektivitas pembersihan, namun memiliki konsekuensi lingkungan karena bersifat persisten dan sulit terdegradasi secara alami (Sabli dan Zahrah, 2015). Limbah detergen yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga dan usaha laundry diketahui menjadi salah satu sumber pencemaran perairan yang dapat merusak organisme akuatik dan menurunkan kualitas lingkungan (Amelia *et al.*, 2023).

Komponen utama dalam detergen meliputi builder seperti Natrium Tripolifosfat ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)

serta surfaktan berbasis petroleum, antara lain Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) dan Sodium Lauryl Sulfate (SLS). Keberadaan fosfat dalam limbah detergen berkontribusi terhadap terjadinya eutrofikasi, sedangkan surfaktan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem tanah dan perairan (Naufal dan A'yun, 2024). Surfaktan merupakan senyawa organik yang sengaja ditambahkan ke dalam detergen untuk meningkatkan proses pembersihan, pembilasan, dan pelunakan kain melalui sifat aktif permukaannya (Farn, 2007; Kosswig, 2008; Burns dan Jelen, 2009). Peningkatan konsentrasi surfaktan dan produk degradasinya dilaporkan dapat mengganggu dinamika mikroba dan proses biogeokimia penting, menghambat pertumbuhan tanaman, serta berdampak pada fungsi organik dan sistemik manusia (Badmus *et al.*, 2021).

LAS merupakan surfaktan yang paling banyak digunakan dalam industri detergen. Berdasarkan survei Frontier Research (2024), sekitar 41,4% produk detergen menggunakan LAS, sementara 57,9% lainnya menggunakan surfaktan berbasis petroleum lainnya. Akumulasi limbah surfaktan di lingkungan tidak hanya berdampak pada kerusakan ekosistem, tetapi juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia, termasuk risiko jangka panjang yang merugikan (Sabli dan Zahrah, 2015). Kondisi ini menunjukkan perlunya upaya untuk menekan dampak negatif surfaktan konvensional, baik melalui pengembangan bahan alternatif maupun melalui pendekatan pengolahan limbah yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif surfaktan ramah lingkungan yang dikembangkan adalah *Methyl Ester Sulfonate* (MES) berbasis minyak kelapa sawit, yang bersifat terbarukan, biodegradable, serta memiliki kinerja optimal pada air sadah dan salinitas tinggi (Sidik, 2009). Selain itu, pendekatan biodegradasi menggunakan mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, merupakan metode alami yang efektif dalam menguraikan senyawa kimia menjadi komponen yang lebih sederhana dan aman bagi lingkungan (Dwicania, 2019). Evaluasi biodegradabilitas surfaktan umumnya dilakukan menggunakan standar internasional seperti ISO, ASTM, dan OECD, serta metode *Methylene Blue Active Substances* (MBAS) untuk analisis surfaktan anionik (Victoria *et al.*, 2022; Sumarwanto dan Hartati, 2018).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Pseudomonas putida* mampu mendegradasi LAS hingga 74,29% dalam waktu 28 hari, didukung oleh keberadaan enzim yang efektif dalam mendegradasi senyawa dengan struktur menyerupai asam lemak (Suriani *et al.*, 2015; Olivera *et al.*, 2001). Sementara itu, *Bacillus megaterium* dilaporkan mampu menguraikan senyawa alkana hingga 99,32% dan dikenal memiliki aktivitas enzimatis yang tinggi dalam proses bioteknologi (Yudono *et al.*, 2010). Maka dari itu, kedua bakteri ini diharapkan mampu mendegradasi kedua senyawa surfaktan yaitu LAS dan MES.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kemampuan biodegradasi surfaktan LAS dan MES oleh bakteri *Pseudomonas putida* dan *Bacillus*

megaterium secara in vitro menggunakan metode MBAS. Kebaruan penelitian ini terletak pada kajian komparatif antara surfaktan konvensional berbasis petroleum dan surfaktan alternatif yang lebih ramah lingkungan menggunakan dua jenis bakteri dengan karakteristik metabolik berbeda. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pemilihan surfaktan yang lebih berkelanjutan serta mendukung pengembangan praktikum sains terapan di bidang mikrobiologi lingkungan.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan berupa: Autoklaf; bunsen; corong pemisah; erlenmeyer; gelas ukur; jarum ose; labu ukur; neraca analitik; pengaduk; pipet volume; *shaker*; spektrofotometer uv vis; aquades; indikator fenoltalien; glass wool; kloroform; media cair msm (*minimal salt medium*); media cair nb (*nutrient broth*); metilen biru; mikroorganisme inoculum bakteri *pseudomonas putida* dan *bacillus megaterium*; surfaktan LAS; dan surfaktan MES.

Metode

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan desain two factorial design yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan pengaruh dua variabel bebas, yaitu jenis surfaktan (MES dan LAS) dan jenis bakteri (*Pseudomonas putida* dan *Bacillus Megaterium*), terhadap laju biodegradasi. Kombinasi kedua variabel menghasilkan empat kelompok perlakuan: LAS + *Pseudomonas putida* (LP), LAS + *Bacillus megaterium* (LB), MES + *Pseudomonas putida* (MP), dan MES + *Bacillus megaterium* (MB), dengan masing-masing perlakuan diulang tiga kali sehingga diperoleh total 12 data. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor sesuai tabel 1 rancangan perlakuan.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini meliputi berbagai jenis surfaktan anionik dan bakteri yang berpotensi mendegradasi surfaktan, sedangkan sampel yang diambil adalah kombinasi spesifik dari dua surfaktan, LAS dan MES, dengan dua

bakteri, *Pseudomonas putida*. dan *Bacillus megaterium*, dipilih berdasarkan relevansi surfaktan dalam deterjen dan kemampuan bakteri dalam biodegradasi senyawa organik kompleks.

Tabel 1. Rancangan Perlakuan

Jenis Surfaktan	Bakteri		n _B	$\sum X_B$
	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus megaterium</i>		
MES	MP – 1	MB – 1	6	
	MP – 2	MB – 2		
	MP – 3	MB – 3		
LAS	LP – 1	LB – 1	6	
	LP – 2	LB – 2		
	LP – 3	LB – 3		
n _A	6	6		
N	12			
$\sum X_A$				
$\sum X_{Total}$	$\sum X_A + \sum X_B$			

Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Persiapan media dan bakteri uji

Persiapan kultur aktif dimulai dengan sterilisasi alat dan media Nutrient Broth (NB) menggunakan autoklaf, kemudian dilakukan inokulasi biakan murni *Pseudomonas putida* atau *Bacillus megaterium* ke media cair NB secara aseptik, diinkubasi pada suhu 25-27°C dengan shaker pada kecepatan 150-200 rpm selama 16-18 jam hingga mencapai fase logaritmik. Kepadatan sel diukur menggunakan spektrofotometer pada OD600 setiap 1-2 jam, dan kultur dengan OD600 sekitar 0,8-1,0 diambil untuk pengujian biodegradasi. Media uji Minimal Salt Medium (MSM) disiapkan dengan komposisi tertentu dan disterilisasi, kemudian ditambahkan surfaktan MES atau LAS 5% (v/v) sebagai sumber karbon tunggal. Inokulasi dilakukan dengan menambahkan 1% (v/v) kultur aktif ke dalam media MSM berisi surfaktan, dengan kontrol negatif (media + surfaktan tanpa bakteri) dan kontrol positif (media + bakteri tanpa surfaktan). Kultur diinkubasi pada suhu 25-27°C dengan shaker selama 8 hari, dan uji MBAS dilakukan setiap dua hari pada hari ke-2, 4, 6, dan 8.

Pembuatan Larutan Uji dan Uji MBAS

MBAS merupakan metode standar dalam penentuan konsentrasi surfaktan anionik di dalam deterjen (Dhani, *et.al.*, 2023). Pembuatan larutan uji dimulai dengan larutan indikator

fenolftalein (0,5 g fenolftalein + 50 mL alkohol 95% + 50 mL aquadest + NaOH 0,02 N hingga merah muda). Larutan metilen biru dibuat dari 100 mg metilen biru dilarutkan, lalu dicampur dengan H₂SO₄, NaH₂PO₄·H₂O, dan aquadest hingga 1000 mL. Larutan pencuci dibuat serupa tanpa metilen biru. Larutan induk surfaktan (LAS/MES) dibuat 1000 mg/L, lalu diencerkan menjadi larutan baku 100 mg/L dan larutan kerja 0,4–2,0 mg/L. Kurva kalibrasi disusun dari larutan standar dengan pengukuran absorbansi menggunakan spektrofotometer pada 652 nm. Ekstraksi dilakukan dengan metilen biru dan kloroform melalui corong pemisah, diikuti pencucian dan pengukuran absorbansi. Hasil digunakan untuk membuat persamaan regresi linear:

$$y = ax + b$$

Keterangan:

- Y** = Nilai absorbansi (hasil bacaan spektrofotometer)
- A** = Konsentrasi surfaktan (mg/L)
- X** = kemiringan (slope) (menunjukkan seberapa besar perubahan absorbansi terhadap tiap mg/L konsentrasi)
- B** = intersep (absorbansi saat konsentrasi = 0)
- R²** = Koefisien Determinasi (Linearitas didapatkan dari nilai koefisien determinasi (R²) yang dihasilkan dari persamaan

Pengujian sampel

Pengujian sampel dilakukan dengan memasukkan media MSM yang mengandung bakteri dan surfaktan ke dalam corong pemisah, ditambahkan indikator fenolftalein dan NaOH 1 N hingga merah muda, lalu dititrasi dengan H₂SO₄ 1 N, ditambah 25 mL metilen biru, dan diukur absorbansinya pada 652 nm menggunakan spektrofotometer (Putri, 2024).

Teknik Analisis Data

Penentuan laju biodegradasi dilakukan dengan mengukur serapan lapisan kloroform menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm untuk memperoleh konsentrasi surfaktan tiap waktu (hari ke-0, 2, 4, 6, dan 8), lalu dianalisis menggunakan regresi linear dengan waktu inkubasi sebagai variabel independen (x) dan konsentrasi surfaktan sebagai

variabel dependen (y). Nilai slope (m) dari persamaan regresi $y=mx+cy = mx + c$ menunjukkan laju biodegradasi (mg/L/hari), di mana nilai absolut slope digunakan sebagai nilai laju degradasi untuk tiap ulangan. Hasil ini kemudian dianalisis secara statistik menggunakan uji ANOVA untuk mengetahui perbedaan signifikan antar perlakuan berdasarkan jenis surfaktan dan bakteri yang digunakan. Persamaan ANOVA yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

Y_{ijk} = Nilai pengamatan untuk faktor bakteri ke-i, factor surfaktan ke-j, dan ulangan ke-k

μ = nilai Tengah umum

α_i = pengaruh faktor bakteri ke-i

β_j = pengaruh faktor surfaktan ke-k

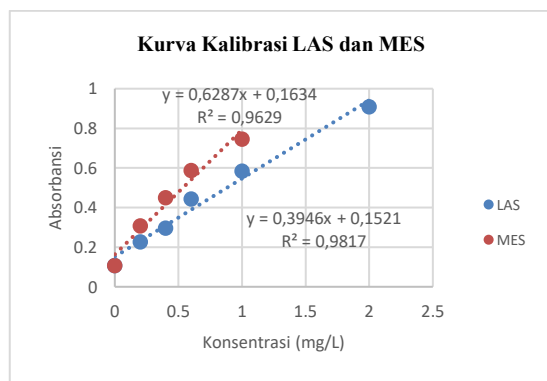
$(\alpha\beta)_{ij}$ = interaksi bakteri - surfaktan

ε_{ijk} = galat percobaan untuk level ke-i (bakteri), dan level ke-j (surfaktan), ulangan ke-

Hasil dan Pembahasan

Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi surfaktan dibuat dengan melakukan uji MBAS pada larutan kerja dengan konsentrasi 0 mg/L; 0,2 mg/L; 0,5 mg/L; 1,0 mg/L; dan 2,0 mg/L. Kemudian nilai absorbansi yang terbaca digunakan untuk menyusun persamaan regresi linear antara konsentrasi dan absorbansi. Hasil pengukuran dan persamaan disajikan pada gambar 1.

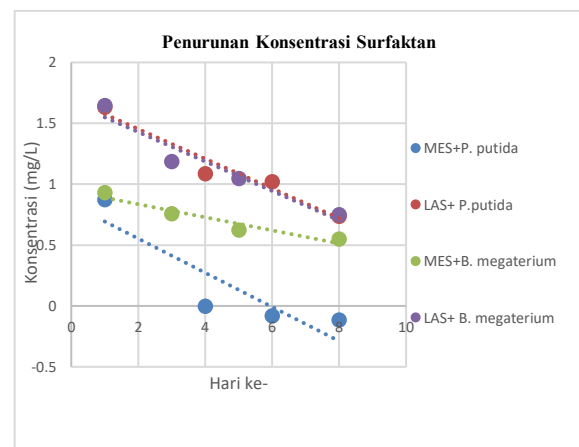


Gambar 1. Kurva Kalibrasi Surfaktan LAS dan MES

Kurva kalibrasi menunjukkan hubungan linear yang kuat antara konsentrasi dan absorbansi. Surfaktan LAS memiliki persamaan regresi $y = 0,3946x + 0,1521$ dengan nilai $R^2 = 0,9817$ sehingga dapat disimpulkan bahwa 98,17% konsentrasi larutan standar memengaruhi perubahan nilai absorbansi, sedangkan 1,83% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain. Adapun MES memiliki persamaan $y = 0,6287x + 0,1634$ dengan nilai $R^2 = 0,9629$ sehingga dapat disimpulkan bahwa 96,29% konsentrasi larutan standar memengaruhi perubahan nilai absorbansi, sedangkan 3,71% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain. Nilai koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan bahwa metode MBAS memiliki linearitas yang baik dan layak digunakan untuk analisis konsentrasi surfaktan dalam penelitian ini.

Penurunan Konsentrasi Surfaktan

Selama masa inkubasi 7 hari, terjadi penurunan konsentrasi LAS dan MES pada seluruh perlakuan. Penurunan konsentrasi ini menunjukkan bahwa kedua surfaktan dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon oleh bakteri *Pseudomonas putida* dan *Bacillus megaterium*. Secara umum, penurunan konsentrasi MES oleh *P. putida* berlangsung lebih cepat dibandingkan oleh *B. megaterium*, sedangkan penurunan konsentrasi LAS relatif serupa pada kedua bakteri. Penurunan tersebut dapat dilihat pada garfik berikut:

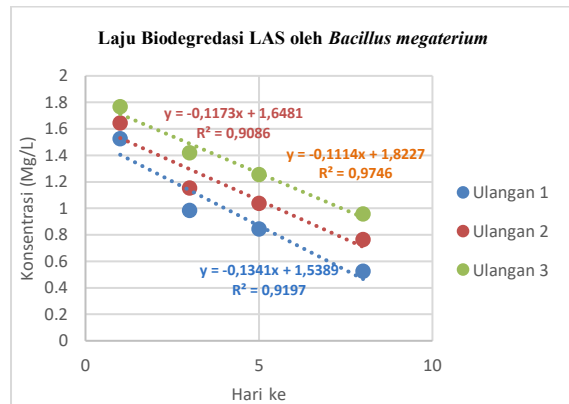


Gambar 2. Grafik Penurunan Konsentrasi Surfaktan

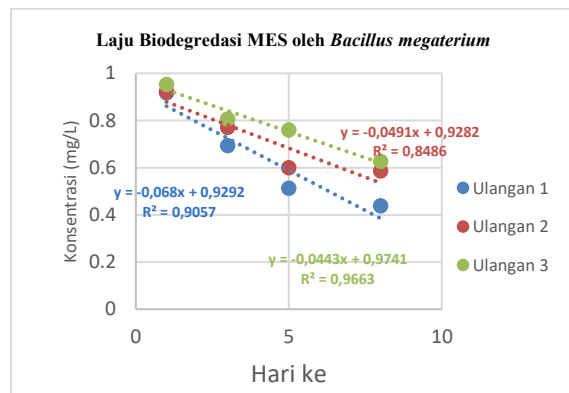
Laju Biodegradasi Surfaktan

Laju biodegradasi ditentukan menggunakan analisis regresi linear. Regresi linear digunakan untuk memodelkan hubungan

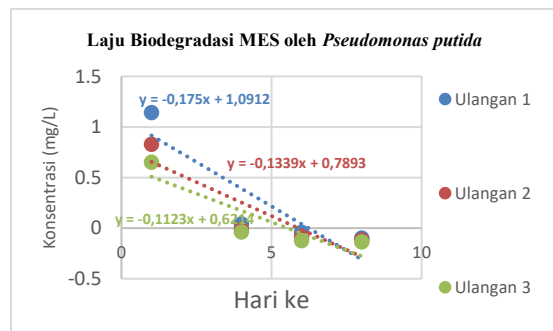
antara variabel independen (waktu) dan variabel dependen (konsentrasi surfaktan). Nilai slope (m) dari persamaan tersebut menunjukkan laju biodegradasi surfaktan per satuan waktu (mg/L/hari). Nilai slope yang diperoleh akan dianalisis secara statistik untuk membandingkan efektivitas degradasi antar perlakuan. Berikut adalah kurva dan persamaan regresi linear serta nilai laju biodegradasi yang didapatkan LAS oleh *B. megaterium*



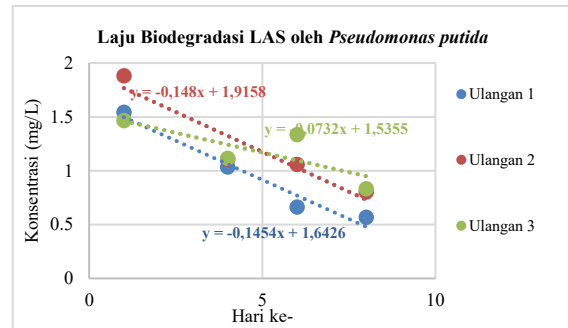
Gambar 3. Grafik Laju Biodegradasi LAS oleh *Bacillus megaterium*



Gambar 4. Grafik Laju Biodegradasi MES oleh *Bacillus megaterium*



Gambar 5. Grafik Laju Biodegradasi MES oleh *Pseudomonas putida*



Gambar 6. Grafik Laju Biodegradasi LAS oleh *Pseudomonas putida*

Hasil Uji Statistik

Hasil analisis data menggunakan ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan laju biodegradasi antara jenis surfaktan LAS dan MES. Namun, terdapat perbedaan kemampuan bakteri *Pseudomonas putida* dan *Bacillus megaterium* dalam mendegradasi surfaktan LAS dan MES. Selain itu, hasil analisis juga menunjukkan adanya interaksi antara jenis surfaktan dan jenis bakteri terhadap laju biodegradasi, yang mengindikasikan bahwa laju biodegradasi surfaktan dipengaruhi oleh kombinasi jenis surfaktan dan bakteri yang digunakan. Adanya perbedaan dan interaksi tersebut kemudian ditelusuri lebih lanjut melalui uji lanjut menggunakan DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) untuk mengidentifikasi perlakuan yang berbeda nyata. Hasil uji lanjut Duncan disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Data Laju Biodegradasi setiap Perlakuan

Jenis Surfaktan	Bakteri	
	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus megaterium</i>
MES	-0,175	-0,068
	-0,134	-0,049
	-0,112	-0,044
Rerata	-0,140	-0,054
SD	0,032	0,013
KV (%)	-22,686	-23,289
Jenis Surfaktan	Bakteri	
	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus megaterium</i>
LAS	-0,145	-0,134
	-0,148	-0,117
	-0,073	-0,111
Rerata	-0,122	-0,121
SD	0,042	0,012
KV (%)	-34,742	-9,739

Tabel 2. Hasil Uji menggunakan ANOVA

Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Grup Surfaktan	0,002	1	0,0018	2,31	0,167	5,31765
Grup bakteri	0,006	1	0,0058	7,44	0,026	5,31765
Antar Grup	0,006	1	0,0055	7,02	0,029	5,31755
Within	0,006	8	0,0008			
Total	0,019	11				

Tabel 3. Hasil Uji menggunakan DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

Perlakuan	Rata-rata	Notasi Duncan
MES + <i>B. megaterium</i>	0,054	B
LAS + <i>B. megaterium</i>	0,121	A
LAS + <i>P. putida</i>	0,122	A
MES + <i>P. putida</i>	0,140	A

Pembahasan

Perbedaan Laju Biodegradasi Surfaktan LAS dan MES oleh Bakteri

Hasil uji menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara laju biodegradasi pada surfaktan LAS dan MES oleh kedua bakteri ($p=0,167$) sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua surfaktan tidak memiliki perbedaan laju degradasi. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Afida *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa MES memiliki biodegradabilitas lebih tinggi dibandingkan LAS, dengan persentase biodegradasi sebesar 73% dalam 6 hari, sedangkan LAS hanya terdegradasi sebesar 60% dalam 8 hari. Perbedaan hasil ini juga didukung oleh Maurad *et al.* (2017) menyatakan bahwa lima deterjen cair berbasis kelapa sawit atau *Five Palm-Based Liquid Detergents* (PBLD) diformulasikan menggunakan MES C 16/18 sebagai surfaktan mencapai tingkat biodegradabilitas 60% dalam 3 hingga 8 hari, sementara deterjen komersial yang mengandung LAS membutuhkan 24 hari.

Kemampuan *Pseudomonas putida* dan *Bacillus megaterium* dalam mendegradasi surfaktan

Laju biodegradasi oleh bakteri *Pseudomonas putida* dan *Bacillus megaterium* terhadap LAS dan MES menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p=0,025$), sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua bakteri tersebut memiliki kemampuan mendegradasi yang

berbeda. Uji lanjut menggunakan DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) yang menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus megaterium* lebih lambat dalam mendegradasi surfaktan dibanding dengan bakteri *Pseudomonas putida*. Terdapat pola yang konsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Eniola (2011) bahwa setiap bakteri memiliki nilai $t_{1/2}$ yang berbeda. *Pseudomonas putida* memiliki nilai $t_{1/2}$ (paruh waktu) paling singkat dalam mendegradasi LAS dibandingkan dengan bakteri lain. Hal ini mengindikasikan bahwa *Pseudomonas putida* memiliki kemampuan mendegradasi yang lebih cepat dibanding bakteri lain.

Interaksi Antara Jenis Surfaktan dan Jenis Bakteri Terhadap Laju Biodegradasi

Adanya interaksi yang signifikan antara jenis surfaktan dan jenis bakteri ($p=0,029$) menunjukkan bahwa respons biodegradasi bersifat spesifik terhadap kombinasi perlakuan. Hasil uji lanjut Duncan *Bacillus megaterium* menunjukkan laju biodegradasi MES yang paling rendah dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri tersebut memiliki keterbatasan dalam mendegradasi surfaktan berbasis ester-sulfonat. Meskipun demikian, *B. megaterium* dilaporkan memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon alifatik dengan efisiensi tinggi (Yudono *et al.*, 2010; Alnuaimi *et al.*, 2020), yang dapat menjelaskan kemampuannya yang relatif lebih baik dalam mendegradasi LAS dibandingkan MES pada penelitian ini. Temuan ini sejalan dengan laporan Dhanya (2019) yang menyatakan bahwa *B. megaterium* mampu mendegradasi senyawa mono-aromatik seperti Benzena, Toluena, Xilen, dan Fenol (BTXP) ketika berada dalam konsorsium mikroba, sehingga menunjukkan potensi bakteri ini dalam mendegradasi senyawa aromatik.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa laju biodegradasi surfaktan LAS dan MES tidak berbeda secara signifikan. Namun, terdapat perbedaan kemampuan biodegradasi antara bakteri *Pseudomonas putida* dan *Bacillus megaterium*. Selain itu, ditemukan adanya interaksi antara jenis surfaktan dan jenis bakteri terhadap laju biodegradasi, yang mengindikasikan bahwa respons biodegradasi masing-masing bakteri bergantung pada jenis surfaktan yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya atas bantuan selama proses penelitian dan analisis data. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada institusi yang telah menyediakan fasilitas dan dukungan untuk terlaksananya penelitian ini.

Referensi

- Abd Maurad, Z., Idris, Z., & Ghazali, R. (2017). Performance of palm-based C16/18 methyl ester sulphonate (MES) in liquid detergent formulation. *Journal of Oleo Science*, 66(7), 677-687. DOI: <https://doi.org/10.5650/jos.ess16190>
- Afida, S., Razmah, G., & Zulina, A. M. (2016). Biodegradation of various homologues of palm-based methyl ester sulphonates (MES). *Sains Malaysiana*, 45(6), 949-954. DOI: <https://www.researchgate.net/publication/306233769>
- Alnuaimi, M. T., Taher, T. A., Aljanabi, Z. Z., & Adel, M. M. (2020). High-resolution GC/MS study of biodegradation of crude oil by *Bacillus megaterium*. *Research on Crops*, 21(3), 650-657. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.101.
- Amelia, S., Jamilatun, S., Shitopyta, L. M., Maryudi, M., Utami, M., & Sriyana, I. (2023). Degradasi Limbah Detergen dengan Metode Fotokatalis Menggunakan TiO₂/Silica Gel. *Eksergi*, 20(3), 131-136.
- Badmus, S. O., Amusa, H. K., Oyehan, T. A., & Saleh, T. A. (2021). Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62085-62104.
- Burns & Jelen (2009). Anaerobic biodegradation of detergent surfactants. *Materials*, 2(1), 181-206.
- Bustami, Abdullah D., Fadlisya. 20014. *Statistika: Terapannya pada Bidang Informatika*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Dhani, P. R. R., Hendrayana, H., Hidayati, N. V., & Haryati, A. (2023). Konsentrasi Limbah Pencemar MBAS (Methylen Blue Active Substance) pada Perairan Muara Kali Ijo, Kabupaten Kebumen. *Maiyah*. 2(3), 181-190. DOI:10.20884/1.maiyah.2023.2.3.9695
- Dhanya, V. (2019). A statistical tool for the optimization of parameters for the degradation of mono-aromatic pollutants by a formulated microbial consortium. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(4), 2251-2260. DOI: <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.4.39>
- Dwicania, E. (2019). Biodegradasi Limbah Plastik Oleh Mikroorganisme. URL: <https://osf.io/yjzu8>
- Eniola, K. I. T. (2011). Effect of additional carbon source on biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate by las-utilizing bacteria. *Journal of Xenobiotics*, 1(1), e2. <https://doi.org/10.4081/xeno.2011.e2>.
- Farn, R. J. (2007). *Chemistry and technology of surfactants*. Blackwell Publishing Ltd.
- Frontier Research. (2024). *Frontier Research – Marketing research based in Indonesia*. Frontier. <https://frontier.co.id/business/frontier-research/>
- Kosswig, K. (2009). Surfactants. In M. Bohnet, C. J. Brinker, H. Clemens, B. Cornils, T. J. Evans, H. Greim, L. L. Hegedus, J. Heitbaum, W. A. Herrmann, U. Karst, et al. (Eds.), *Ullmann's encyclopedia of industrial chemicals*. Wiley-VCH Verlag GmbH.

- Naufal, B. S., & A'yun, D. Q. (2024). Analisis dampak pencemaran tanah akibat limbah deterjen terhadap lingkungan hidup masyarakat di daerah pedesaan. *Student Research Journal*, 2(3), 231-235. DOI:10.55606/srjyappi.v2i3.1320
- Olivera, E., R., Carnicero, D., Garc  a, B., Min  mbres, B., A. Miguel, Moreno, Can  edo, L., DiRusso, C., Naharro, G., dan, Luengo, J. 2001. Two different pathways are involved in the β -oxidation of n-alkanoic and n-phenylalkanoic acids in *Pseudomonas putida* U: genetic studies and biotechnological applications. *Molecular Microbiology*. 39(4), 863-874. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2958.2001.02296.x>
- Putri, Eka, P. (2024). Penentuan Kadar Surfaktan pada Sampel Air Permukaan dengan Metode MBAS (*Methylene Blue Active Substances*) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 8(2). Hal: 27899-27906. DOI. 10.31004/jptam
- Sabli, T. E., & Zahrah, S. (2015). Reduksi kandungan fosfat dalam air limbah deterjen menggunakan sistem rawa bambu. *Dinamika Pertanian*, 30(2), 101-108. <https://journal.uir.ac.id/index.php/dinamikapertanian/article/view/802>
- Schleheck, D. (2004). *Biodegradation of synthetic surfactants: linear alkylbenzenesulfonates (LAS) and related compounds* (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar). <https://kops.uni-konstanz.de/server/api/core/bitstreams/ca6d822d-5067-4e10-a1a6-7af78f5bf938/content>
- Sidik, N. R. (2009). *Kajian Pengaruh Konsentrasi Metil Ester Sulfonat (Mes) dan Konsentrasi Alkali (KOH) Terhadap Kinerja Deterjen Cair Industri* (Doctoral dissertation, IPB (Bogor Agricultural University)). <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/19637>
- Sumarwanto, P., & Hartati, Y. (2018). Penanganan Air Limbah Cucian Alat Gelas Laboratorium dengan Metode Spektrofotometri Menggunakan Pereaksi Biru Metilen. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(1), 10-15. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i1.40964>
- Suriani, S., Suharjono, S., & Soemarno, S. (2015). Potensi Bakteri Genus *Pseudomonas* Pendegradasi LAS di Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen Sekitar Kampus Universitas Brawijaya. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*, 6(1). <https://jpal.ub.ac.id/index.php/jpal/article/view/182>
- Victoria, S., Sitorus, S., & Panggabean, A. S. (2022). Verifikasi Parameter Pengujian Surfaktan Anionik Dalam Air Limbah Dengan Metode Mbas Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Atomik*, 7(2), 15-19. <https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JA/article/view/1113>
- Wikaningrum, T., & Pratamadina, E. (2022). Potensi Penggunaan Eco Enzyme sebagai Biokatalis dalam Penguraian Minyak dan Lemak pada Air Limbah Domestik. *Jurnal Serambi Engineering*. 7(4):3924-32. 10.32672/jse.v7i4.4849