

## Potential of Bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* as Degradation Agent Waste Used Oil

Relina Cindy Octavia Banjarnahor<sup>1</sup>, Dini Izza Angraini<sup>1</sup>, Ratih Dewi Lestari<sup>1\*</sup>, Jaurani Nurul Putri<sup>1</sup>, Rahayu Diyati<sup>1</sup>, Alvi<sup>1</sup>, Selvi Heriani Putri<sup>1</sup>, Ashif Irvan Yusuf<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia;

### Article History

Received : April 02<sup>th</sup>, 2025

Revised : May 05<sup>th</sup>, 2025

Accepted : May 06<sup>th</sup>, 2025

\*Corresponding Author:

**Ratih Dewi Lestari,**

Program Studi Biologi,

Fakultas Sains dan

Teknologi, Universitas Jambi,

Jambi, Indonesia;

Email:

[ratihdewilestari0730@gmail.com](mailto:ratihdewilestari0730@gmail.com)

**Abstract:** Oil is one of the petroleum derivatives that cause environmental pollution. Oil used in the automotive industry such as workshops is often not managed properly, so that it becomes waste that can cause soil pollution and water pollution. One way that can be used to overcome this pollution is by bioremediation by utilizing *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria as bioremediation agents. The purpose of this study was to determine the ability of *E.coli* and *S.aureus* bacteria in degrading oil. The method used was experimental method. The results obtained show that *E.coli* bacteria have the ability to degrade waste oil by bioaccumulation which is characterized by the presence of oil clots in the center of the media. While *S. aureus* bacteria have the ability to degrade waste oil by biodegradation which is characterized by the decomposition and change in the shape of oil oil into white granules.

**Keywords:** Bioremediation, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, waste oil.

### Pendahuluan

Limbah minyak bumi serta limbah lain yang berasal dari minyak bumi baik yang berasal dari proses produksi, transportasi ataupun ceceran serta tumpahan merupakan salah satu masalah pencemaran yang paling menantang bagi lingkungan. Ada banyak tindakan yang diambil untuk mengatasinya. Penanganan pencemaran yang disebabkan oleh limbah minyak bumi dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan agen biologi seperti mikroba. Mikroorganisme memiliki kemampuan untuk menghancurkan senyawa hidrokarbon yang ada di dalamnya menjadi mineral-mineral yang lebih sederhana (Mijaya *et al.*, 2019).

Berdasarkan data terbaru yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan bermotor di Indonesia hingga tahun 2018 mencapai 146.858.759 unit, di mana 120.101.047 unit di antaranya adalah sepeda motor. Peningkatan jumlah kendaraan ini mendorong peningkatan jumlah usaha bengkel, terutama bengkel sepeda motor yang banyak berkembang di kota-kota besar. Meskipun

kegiatan bengkel memberikan dampak positif berupa peningkatan kesejahteraan dan kesempatan kerja bagi masyarakat, ada pula dampak negatif terhadap lingkungan jika limbah oli bekas tidak dikelola dengan baik (Azharuddin *et al.*, 2020).

Oli salah satu turunan minyak bumi yang menyebabkan polusi lingkungan, yang biasanya digunakan pada perbengkelan otomotif untuk memberikan pelumas pada mesin kendaraan. Oleh karena itu, oli yang digunakan pada perbengkelan otomotif seringkali tidak dikelola dengan baik, sehingga menjadi limbah yang dapat menyebabkan pencemaran tanah dan pencemaran pada air (Herakasih & Ahda, 2019). Oli termasuk salah satu kelompok *petroleum hydrocarbon*. Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang tersusun dari ikatan hidrogen dan karbon yang mana senyawa ini tidak dapat larut dalam air. Senyawa hidrokarbon terdiri atas tiga jenis pengelompokan yaitu alifatik, alisiklik dan aromatik. Hidrokarbon jenis alifatik terdiri dari alkana, alkena dan alkuna yang berupa ikatan hidrogen dan karbon yang membentuk rantai seri bentuk homolog. Hidrokarbon alisiklik yaitu

ikatan hidrogen dan karbon membentuk cincin dan hidrokarbon aromatik membentuk ikatan hidrogen yang terbentuk dari 6 atom karbon dan 1 hidrogen seperti benzene.

Oli terdiri dari berbagai hidrokarbon, termasuk alkana, sikloalkana, dan hidrokarbon aromatik. Di samping itu, oli merupakan campuran antara base oil (minyak dasar) dan zat aditif yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas serta daya tahan kinerjanya (Dewi *et al.*, 2024). Limbah oli termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Limbah B3 yaitu zat, energi, atau komponen lain yang, akibat konsentrasi, jumlah, atau sifatnya, dapat mencemari dan membahayakan lingkungan, serta merusak kesehatan dan keberlangsungan hidup makhluk hidup, baik secara langsung maupun tidak langsung (Peraturan Pemerintah No. 101 tahun 2014 mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun).

Lingkungan yang tercemar oli baik sengaja maupun tidak sengaja akan memberikan dampak yang serius. Apabila limbah oli tersebut mencemari tanah maka dapat membunuh tumbuhan atau keragaman mikroba dalam tanah dan dapat menghilangkan unsur hara dalam tanah sehingga tanah tidak subur dan tidak dapat ditanami tumbuhan. Sedangkan apabila limbah oli mencemari perairan dapat merusak kehidupan biota perairan dan membunuh makhluk hidup yang terdapat di perairan (Muafi *et al.*, 2023). Pemulihan pencemaran pada perairan akibat limbah oli dapat menggunakan metode bioremediasi. Bioremediasi merupakan suatu teknik remediasi yang bertujuan untuk menurunkan kadar polutan berbahaya ke tingkat yang tidak membahayakan melalui metode degradasi, detoksifikasi, mineralisasi ataupun transformasi. Biasanya proses bioremediasi dapat dilakukan dengan memanfaatkan agen biologi contohnya ganggang, cendawan, bakteri dan tanaman. (Melati, 2020).

Bakteri menjadi salah satu mikroorganisme yang sering digunakan sebagai agen bioremediasi lingkungan. Bakteri menghasilkan enzim yang memiliki kemampuan untuk memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Semakin tinggi produksi enzim oleh bakteri, maka semakin besar pula kemampuan bakteri dalam menguraikan senyawa hidrokarbon (Puspitasari

*et al.*, 2020). Penelitian yang dilaporkan oleh Sendo *et al.*, (2022), terdapat bakteri *Citrobacter freundii* yang berpotensi pendegradasi limbah oli. Selain itu, Nurjanah *et al.*, (2020), juga melaporkan bahwa terdapat lima isolat bakteri yang berkemampuan untuk mendegradasi hidrokarbon (minyak solar) diantaranya ialah bakteri *Bacillus*, *Citrobacter*, *Enterobacter Klebsiella*, dan *Pseudomonas*. Ainul *et al.*, (2021), dalam penelitiannya menyatakan bahwa bakteri *Providencia*, *Proteus*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Aeromonas*, dan *Serratia* teridentifikasi memiliki kemampuan menghasilkan biosurfaktan yang berfungsi untuk mendegradasi minyak.

Berbagai jenis bakteri telah diteliti sebagai agen pendegradasi minyak, namun sebagian besar penelitian masih terfokus pada bakteri yang sudah umum diketahui kemampuannya. Di sisi lain potensi bakteri *E. coli* dan *S. aureus* dalam proses bioremediasi masih belum banyak dikaji. *E. coli* merupakan bakteri yang biasanya dijumpai di usus besar manusia dan hewan berdarah panas, serta dikenal memiliki potensi patogenik. Namun, bakteri ini juga mampu bertahan hidup di luar tubuh inangnya dan menunjukkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Hal yang sama juga berlaku bagi *S. aureus*, bakteri ini dapat masuk ke tubuh melalui saluran pernafasan, pencernaan atau penetrasi kulit pada saat imun tubuh menurun dan dapat menyebar ke organ tubuh melalui sistem dalam peredaran darah dan menimbulkan berbagai penyakit (Rasmiyana & Prastyo, 2025).

Penelitian oleh Mukherjee *et al.*, (2019) menunjukkan bahwa *E. coli* dapat memanfaatkan senyawa aromatik sebagai sumber karbon dan telah dilaporkan mampu mendegradasi beberapa jenis polutan. Meskipun demikian, penggunaan *E. coli* sebagai agen bioremediasi, khususnya dalam proses pendegradasian minyak, hingga saat ini masih sangat minim. Hal yang sama juga berlaku bagi *S. aureus*, yang meskipun memiliki berbagai kemampuan metabolik, penggunaannya dalam bioremediasi minyak masih jarang ditemukan. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi potensi kedua bakteri ini sebagai agen bioremediasi pendegradasi senyawa hidrokarbon khususnya limbah oli.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei hingga Juni 2024 di Laboratorium Agroindustri Tanaman Obat dan Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi. Jenis penelitian yang diterapkan adalah eksperimental, yang berarti disajikan secara metodis dan dalam keadaan yang terkendali.

### Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cawan petri, labu erlenmeyer, batang pengaduk/*stirrer*, *autoclave*, *Laminar Air Flow* (LAF), gelas ukur, jarum ose, pinset, timbangan analitik, bunsen, plastik wrap, aluminium foil, inkubator, tabung reaksi, pH indikator, *rotary shaker* (modifikasi). Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu isolat bakteri *Escherichia coli*, isolat bakteri *Staphylococcus aureus*, media NA (*Nutrien Agar*), air laut steril, oli bekas, solar, aquades, *yeast extract*, Bahan kimia: CaCO<sub>3</sub> (kalsium karbonat), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (ammonium nitrat), Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (di-sodium hydrogen phosphate heptahydrate), MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (magnesium sulfat heptahidrat).

### Prosedur Penelitian

#### Sterilisasi Alat

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disterilkan dahulu menggunakan autoklaf dengan tekanan 1 atm pada suhu 121°C selama 15 menit. Untuk sterilisasi ose digunakan metode pemijaran.

#### Pembuatan media

Media NA disiapkan dengan melarutkan 20 gram bubuk NA ke dalam 1 liter air suling (aquades). Larutan tersebut dihomogenkan menggunakan *stirrer* dan dipanaskan dengan hot plate, lalu disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

Sementara itu, *media Stone Mineral Salt Solution* (SMSS) disusun dari 0,25 g NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>; 0,1 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0,5 g CaCO<sub>3</sub>; 0,05 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,05 g MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; dan 0,02 g ekstrak ragi (*yeast extract*), yang semuanya dilarutkan dalam 200 mL air laut steril. Selanjutnya di dalam media tersebut ditambahkan 4 mL solar sebagai sumber karbon.

Setelah homogen, media kemudian disterilkan dengan autoklaf.

### Isolasi dan peremajaan bakteri

Proses peremajaan bakteri, diambil sebanyak satu ose biakan murni dan digores pada permukaan media *Nutrien Agar* (NA) padat dalam cawan petri secara aseptis, kemudian cawan petri yang sudah di isi isolat diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

### Uji isolat bakteri pendegradasi oli

Sebanyak 140 mL media SMSS (*Stone Mineral Salt Solution*) dimasukkan ke dalam 3 labu erlenmeyer dan dimasukkan oli bekas sebanyak 3 mL ke dalam masing-masing labu erlenmeyer. Kemudian ditambahkan sebanyak 5 % isolat bakteri *E. coli* serta *S. aureus* ke dalam 2 erlemeyer sebagai perlakuan dan 1 erlemeyer dibiarkan sebagai kontrol, selanjutnya diinkubasi selama 12 hari dalam keadaan shaker. Pengamatan fisik dilakukan setiap 2 hari sekali. Parameter fisik yang diamati yaitu warna media, kekeruhan, perubahan pH dan perubahan minyak.

## Hasil dan Pembahasan

### Warna media

Pengamatan yang dilakukan secara visual terhadap perubahan warna media kultur bakteri *E. coli*, *S. aureus* dan perlakuan kontrol yang sudah ditambahkan oli bekas sebanyak 3 mL. Hasil kultivasi isolat bakteri setelah 12 hari ditampilkan pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Warna Media Awal (H-0)



Gambar 2. Warna Media Akhir (H-12)

Awal pengamatan warna media berwarna coklat gelap namun terang hal ini disebabkan karena komponen media yang digunakan menghasilkan warna coklat. Akhir pengamatan (12 hari), warna media berubah menjadi coklat terang namun lebih keruh. Perubahan warna pada media kultur menunjukkan terjadinya pertambahan jumlah koloni bakteri, yang mengindikasikan bahwa bakteri tersebut dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan yang memiliki kandungan hidrokarbon. Hal ini terjadi karena bakteri memanfaatkan senyawa hidrokarbon dalam oli bekas untuk proses metabolisme dan pertumbuhannya. Selain perubahan warna, struktur oli pada permukaan media kultur juga mengalami perubahan. Oli bekas yang awalnya menutupi lapisan atas media kultur bertransformasi membentuk butiran oli. Butiran oli yang semula kasar dan berada di permukaan, secara bertahap menjadi lebih halus dan menggumpal ke dalam media kultur (Syafitri *et al.*, 2022).

### Kekeruhan

Setelah dilakukan pengamatan kekeruhan pada media mulai dari hari pertama hingga hari ke-12, media menunjukkan perubahan yang signifikan. Gambar 3 dan 4 memperlihatkan perubahan yang terjadi pada media tersebut. Awal pengamatan, media SMSS yang disiapkan tidak terlalu keruh, cenderung berwarna coklat bening namun pada akhir pengamatan menjadi perubahan kekeruhan dengan warna coklat gelap dan keruh.



**Gambar 3.** Kekeruhan Media Awal (H-0)



**Gambar 4.** Kekeruhan Media Akhir (H-12)

Selama 12 hari masa pengamatan, media menunjukkan perubahan tingkat kekeruhan. Peningkatan kekeruhan ini mengindikasikan pertumbuhan populasi bakteri dalam media. Kekeruhan yang dihasilkan pada media setelah diinokulasi dengan bakteri disebabkan oleh akumulasi metabolit sekunder yang dihasilkan selama proses biodegradasi hidrokarbon dari oli bekas dan peningkatan jumlah total sel bakteri. Kekeruhan media awal juga disebabkan oleh keberadaan senyawa organik kompleks dalam limbah, yang kemudian menurun seiring waktu karena bakteri menguraikan senyawa tersebut menjadi senyawa sederhana dan tidak berwarna (Safitri *et al.*, 2025).

### Perubahan pH

Hasil pengukuran pH yang telah dilakukan selama 12 hari pada proses bioremediasi oleh bakteri dapat dilihat pada tabel berikut, yang mencakup data tentang pH awal hingga pH akhir pada setiap perlakuan. Hasil pengamatan mengindikasikan adanya perubahan pH (tingkat keasaman) pada media. Pada pertama kali pengamatan, nilai pH media berada pada angka 7. Nilai ini turun menjadi 5 hingga 6 diakhir pengamatan (Hari ke-12). Perubahan pH yang teramati disebabkan oleh produksi asam organik selama proses degradasi hidrokarbon oleh bakteri.

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran pH

Hari ke	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	Kontrol
H-0	7	7	7
H-2	3	2	5
H-4	4	4	4
H-6	4	4	6
H-8	6	5	6
H-10	6	4	6
H-12	6	5	5

Produk degradasi alkana, seperti asam asetat dan asam propionat, berkontribusi terhadap penurunan nilai pH. Selain itu, perubahan pH yang terjadi disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu kandungan dari beberapa jenis zat kimia yang digunakan pada pembuatan media yang bersifat asam dan asam yang dihasilkan dari metabolisme bakteri. Bakteri *S.aureus* menghasilkan asam-asam amino seperti hialuronidase, stafilokinase, protease, lipase, fosfatase, asam laktat, dan asam

asetat. *E.coli* menghasilkan asam asetat, asam laktat, asam format, dan etanol, dari hasil metabolismenya. (Rahmaniar *et al.*, 2020).

pH yang paling baik untuk proses penguraian senyawa hidrokarbon berada pada kisaran 6-8 (Hossain *et al.*, 2022). Penurunan pH selama proses berlangsung, mengindikasikan terjadinya perubahan kimia pada substrat hidrokarbon disebabkan oleh enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Akumulasi asam karboksilat selama masa inkubasi turut mempengaruhi penurunan pH. Penggunaan *crude oil* sebagai sumber karbon dan energi merangsang proses metabolisme dan pertumbuhan mikroorganisme, di mana produksi asam karboksilat terjadi secara bersamaan. Pembentukan asam karboksilat ini pada waktu proses degradasi berlangsung tidak hanya memengaruhi pH, tetapi bahkan menjadi indikator terjadinya biodegradasi terhadap kontaminan hidrokarbon dalam *crude oil*, termasuk senyawa alkana. Alkana sendiri merupakan komponen utama penyusun hidrokarbon dalam *crude oil* (Novianty & Yuherman, 2023).

### Perubahan Minyak

Hasil perubahan wujud minyak selama 12 hari pengamatan didalam media kultur *E.coli* terlihat pada gambar 5 dan 6. Berdasarkan pengamatan perubahan minyak yang terjadi media kultur yang berisi bakteri *E. coli*, pada kondisi akhir minyak oli menggumpal di atas media dan berwarna kehitaman.



**Gambar 5.** Kondisi Awal Minyak di Dalam Media Kultur *E. coli*



**Gambar 6.** Kondisi Akhir Minyak di Dalam Media Kultur *E. coli*

Hasil perubahan wujud minyak selama 12 hari pengamatan didalam media kultur *S. aureus* pada gambar 7 dan 8. Berdasarkan pengamatan perubahan minyak yang terjadi media kultur yang berisi bakteri *S. aureus*, pada kondisi akhir minyak oli bercampur dengan media, gumpalan kecil berwarna putih, warna oli tidak terlihat lagi di media.



**Gambar 7.** Kondisi Awal Minyak di Dalam Media Kultur *S. aureus*



**Gambar 8.** Kondisi Akhir Minyak di Dalam Media Kultur *S. aureus*

Hasil pengamatan, minyak oli terlihat memisah dengan media. Oli berada di pinggir media dan menempel di labu erlenmeyer. Perlakuan kontrol penggunaan *E.coli* dan *S.aureus* menghasilkan hasil yang berbeda-beda. Perlakuan kontrol pada hasil akhir menunjukkan minyak mengalami pengumpulan dan menyebar di sekitar media dan labu erlenmeyer. Perlakuan *E.coli* menunjukkan minyak mengalami pengumpulan ke tengah media yang mengindikasikan terjadinya proses bioakumulasi. Bioakumulasi merupakan proses penumpukan zat-zat kimia di dalam media yang ditumbuhi mikroorganisme (Suryaningsih *et al.*, 2020). Dalam perlakuan ini, *E.coli* sebagai agen yang mengakumulasi oli diatas media sehingga media terkumpul dan menggumpal di permukaan media. Perlakuan *S.aureus* menunjukkan terjadinya pemecahan dan perubahan wujud dari minyak oli menjadi butiran putih yang mengindikasikan terjadinya proses biodegradasi. Biodegradasi adalah penguraian polutan menjadi senyawa yang kurang berbahaya (Sumiardi, 2022). Perlakuan ini, *S.aureus* menggunakan hidrokarbon oli bekas sebagai sumber nutrisi.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa bakteri *E. coli* dan *S. aureus* memiliki kemampuan dalam mendegradasi limbah oli bekas melalui mekanisme yang berbeda. Bakteri *E. coli* memiliki kemampuan dalam mendegradasi limbah oli bekas dengan bioakumulasi yang ditandai dengan adanya pengumpulan ke tengah media. Bakteri *S. aureus* melakukan biodegradasi yang ditandai dengan terjadinya pemecahan dan perubahan wujud dari minyak oli menjadi butiran putih.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyusunan artikel ini, terutama kepada orang tua yang telah mendukung kami dan kepada dosen mata kuliah Bioremediasi Bapak Ashif Irvan Yusuf, S.Pt., M.Si.

## Referensi

- Ainul, A., Hasbi, M., & Purwanto, E. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penghasil Biosurfaktan Asal Limbah Cair Perbengkelan Isolation and Identification of Biosurfactant Producing Bacteria From. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(1), 31–37. <https://scispace.com/pdf/isolation-and-identification-of-biosurfactant-producing-4xekou4gq5.pdf>
- Azharuddin., Sani, A, A., & Ariasya, M, A. (2020). Proses Pengolahan Limbah B3 (Oli Bekas) Menjadi Bahan Bakar Cair Dengan Perlakuan Panas Yang Konstan. *JURNAL AUSTENIT*, 12(2), 48-53. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/2777>.
- Dewi, E.R.S, A. Nurwahyunani, E.L.Sari, F.K.Nissa, M.Alfina Septiana, D. R. P. A. & V. A., E-mail, C., & Sari, E. L. (2024). Teknik Boremediasi Sebagai Solusi dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan : Literatur Review. *HUMANITIS: Jurnal Humaniora, Sosial Dan Bisnis*, 2(1), 124–135.

<https://humanisa.my.id/index.php/hms/article/view/89>

- Herakhasiuh, M. . & Y. Ahda. (2019). Bioaugmentation Effect of *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp. Isolates on Lowering Used Lubricating Oil- Contaminated Soil pH. *Bio Sains*, 4(1), 29–38. <https://ejournal.unp.ac.id/students/index.php/bio/article/view/5171/2998>
- Hossain, M. F., Akter, M. A., Sohan, M. S. R., Sultana, N., Reza, M. A., & Hoque, K. M. F. (2022). Bioremediation potential of hydrocarbon degrading bacteria: isolation, characterization, and assessment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(1), 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.069>
- Melati, I. (2020). Teknik Bioremediasi: Keuntungan, Keterbatasan Dan Prospek Riset. *Prosiding Seminar Biotik, Rahayu 2005*, 272–286. <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/PBiotik/article/view/9650/5433>
- Mijaya, M. R. S., Yanti, N. A., & Nurhayani, H. M. (2019). Isolasi dan Seleksi Bakteri Pendegradasi Solar Dari Pelabuhan Penyeberangan Kendari – Wawonii. *Jurnal Penelitian Biologi*, 6(2), 995–1006. DOI:10.33772/biowallacea.v6i2.8825
- Muafi, S. M., Oktarini, Y., Ediyan, M., & Karmel, R. (2023). Analisis Pengelolaan Limbah Oli pada Aktivitas Operasional Penambangan Batu Gamping di Area Tambang Bukit Karang Putih PT Semen Padang , Batu Gadang , Padang , Sumatera Barat. *Journal of Geomiintech*, 7(1), 53–63. <https://jim.usk.ac.id/BUMI/article/view/25170>
- Mukherjee, S., A.De., N. K. S. & N. C. S. (2019). Aerobic Degradation of Benzene by *Escherichia* spp . from Petroleum-contaminated Sites in Kolkata , West Bengal, India. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(December), 2353–2362. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.4.51>
- Novianty, R., & Yuherman. (2023). Biodegradasi Hidrokarbon Crude Oil di Kawasan PT. Bumi Siak Pusako-Pertamina Hulu menggunakan

- Konsorsium Bakteri Indigen. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 13(2), 83-90. <https://doi.org/10.37859/jp.v13i2.5053>
- Nurjanah, I., Mauludiyah., & Munir, M. (2017). Potensi Degradasi Minyak Solar oleh Bakteri Hidrokarbonoklastik di Perairan Pelabuhan Tanjung Perak Ika. *Journal of Marine Resources and Coastal Management*, 1(1), 31–38. <https://doi.org/10.29080/mrcm.v1i1.881>
- Puspita, I., Trianto, A., & Suprijanto, J. (2020). Eksplorasi Bakteri Pendegradasi Minyak dari Perairan Pelabuhan Tanjung Mas, Semarang. *Journal of Marine Research*, 9(3), 281–288. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27606>
- Rasmiyana., & Presetyo, A. (2025). Uji Faktor Biotik (Komensalisme Dan Sinergisme) *Escherichia Coli* Terhadap *Bacillus Flexus* Dan *Staphylococcus Aureus*. *Journal Of Food Industrial Technology*, 2(1). 7-14. <https://doi.org/10.25047/jofit.v2.i1.5831>
- Republik Indonesia. (2014). Peraturan Pemerintah No.101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Safitri, D., Reulina, Y., Sebayang, A., Pining, N., Sari, M, N & Febriyosa, A. (2025). Efektivitas Bioremediasi Menggunakan Bakteri *Pseudomonas* Untuk Menurunkan Kadar Cod Limbah Organik Di Pabrik Cincin Kota Medan. *Jurnal Biologi, Pendidikan & Terapan*, 11(2), <https://doi.org/10.30598/biopendixvol11isue2page161-167>.
- Sendo, M. L., Mantiri, F. R., & Rumondor, M. J. (2022). Isolation and Characterization of Potential Bacteria Degrading Used Machine Oil from Several Workshop Locations in Manado City. *Pharmacon*, 11(1), 1222–1230. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/pharmacon/article/view/39123>
- Sumiardi, A. (2022). Laju Degradasi Senyawa Hidrokarbon yang Mencemari Tanah Oleh Salipiger bermudensis (DQ 178660) dengan Stimulasi Fertilizer. *Jurnal Lingkungan Dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 5(1), 35–44. <https://doi.org/10.47080/jls.v5i1.1904>
- Suryaningsih, W. K., & N., I. G. Dirgayusa, I. N. G. P. (2020). Struktur Komunitas dan Bioakumulasi Logam Berat Timbal ( Pb ) pada Teripang di Pantai Tanjung Benoa, Badung, Bali. *Journal Of Marine Research and Teknologi*, 3(2), 108–115. <https://doi.org/10.24843/JMRT.2020.v03.i02.p08>.
- Syafitri, D., Sayuti, I., Mahadi, I., Studi, P., & Biologi, P. (2022). Efektifitas Rasio Nutrien Bakteri *Bacillus cereus* Strain IMB-11 Dalam Mendegradasi Pencemaran Biosolar Sebagai Rancangan Poster Biologi SMA. *Jurnal Biogenesis*. 18(1), 54–67. <http://dx.doi.org/10.31258/biogenesis.18.1.54-67>
- Syafrizal, Rahmaniar, R., Partono, T., Kristiawan, O., ArdhyArini, N., & Handayani, Y. (2020). Biodegradasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Menggunakan Aktifitas Konsorsium Sedimen Laut Dalam. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 54(2), 81–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.29017/LP MGB.54.2.417>