BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi
https://ejournal.umbandung.ac.id/index.php/biodiverse/index
ISSN: 3089-1671

Potensi Bioremediasi Minyak Diesel dengan Menggunakan Bakteri *Bacillus subtilis*: Kajian Literatur

Bioremediation potential of diesel oil using *Bacillus subtilis* bacteria: Literature Review

Aghniya Nur Rizka Fadila[1*], Muhammad Rafi Pratama Shidiq[1], Triani Nur Fitri[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: aghniyanurrizkafadila@gmail.com

2025 BIODIVERSE: Jurnal Biodiversitas dan Bioteknologi

Abstract

Diesel is a pollutant fossil fuel that is used significantly. Its carcinogenic nature is a by-product of petroleum processing, if diesel spills or pollutants are diluted, it will have a dangerous environmental lethal effect. *Bacillus subtilis* is a hydrocarbonoclastic bacterium capable of secreting hydroxylase enzymes, which can degrade hydrocarbons and their derivatives into simpler compounds. So the purpose of this literature review is to determine the potential effectiveness of *B. subtilis* bacteria in bioremediating Diesel Oil. The method used is a literature review sourced from official websites and the like. Bacteria *B. subtilis* has the ability to remediate diesel with enzymes produced, suitable bioremediation techniques namely bioaccumulation, biostimulation, and bioavability that meet the success factors. The results showed that *B. subtilis* was able to degrade diesel to 12.8% diesel content within 12 days. With this ability, this bacterium is a bioremidiation agent that can be used to remediate diesel.

Article info

Article history:
Received : 04 February 2025
Revised : 09 April 2025
Accepted : 20 August 2025
Available online : 22 August 2025

Keywords:
Bacillus subtilis
Bioremediation
Diesel oil
Hydrocarbon

1. PENDAHULUAN

Pencemaran adalah perubahan negatif pada lingkungan yang disebabkan oleh masuknya zat, energi, atau makhluk hidup dalam jumlah yang berlebihan, sehingga mengurangi kualitas lingkungan dan mengganggu fungsinya [1]. Proses eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi berpotensi tinggi mengakibatkan kontaminasi minyak mentah. Aktivitas di industri perminyakan berkontribusi pada pencemaran minyak mentah akibat produksi limbah yang mencemari lingkungan [2]. Limbah minyak terdiri dari beragam senyawa hidrokarbon, mulai dari yang ringan hingga berat, serta komponen pelumas dan bahan hidrokarbon lainnya [3]. Proses pengeboran dan pengolahan minyak bumi juga menghasilkan limbah lumpur minyak dalam skala besar. Teknik bioremediasi menjadi solusi ramah lingkungan yang potensial untuk mengatasi masalah

pencemaran minyak. Proses ini melibatkan penggunaan bakteri untuk memecah molekul hidrokarbon kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya. Bakteri tersebut dapat diperoleh dari lingkungan tercemar atau ditambahkan dari sumber eksternal [4].

Diesel adalah jenis bahan bakar fosil yang terdiri dari campuran hidrokarbon alifatik dengan jumlah atom karbon antara 8 hingga 26, serta senyawa aromatik polisiklik (PAHs). Komposisi yang kompleks ini memberikan karakteristik tertentu pada diesel, seperti viskositas dan titik didih yang lebih tinggi dibandingkan bensin [5]. Diesel, sebagai bahan bakar fosil, sering ditemukan dalam jumlah yang signifikan sebagai polutan di berbagai wilayah perairan laut, bahkan daratan menyebabkan kerusakan ekosistem dan mengancam keberlangsungan hidup biota laut [6]. Komponen-komponen dalam diesel, yang bersifat karsinogenik dan toksik, dapat menyebabkan kerusakan parah pada ekosistem laut jika terjadi tumpahan [7]. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam upaya memulihkan ekosistem laut yang terdegradasi akibat pencemaran adalah melalui penerapan teknologi bioremediasi [8]. Bioremediasi adalah aplikasi bioteknologi yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi atau menonaktifkan polutan [9].

Mikroorganisme indigenous yang diisolasi dari lingkungan terkontaminasi seringkali memiliki adaptasi genetik yang memungkinkan mereka untuk lebih efisien dalam mendegradasi berbagai jenis polutan dibandingkan dengan mikroorganisme yang berasal dari lingkungan yang tidak tercemar [10]. Salah satu dari mikroorganismenya adalah bakteri *Bacillus sp. Bacillus subtilis* merupakan organisme aerob obligat yang memiliki kebutuhan oksigen yang tinggi. Meskipun bersifat aerobik, *B. subtilis* juga memiliki kemampuan untuk tumbuh dalam kondisi anaerob dengan memanfaatkan nitrat sebagai akseptor elektron alternatif. Hal ini menegaskan fleksibilitas metabolisme bakteri ini. Kemampuan adaptasi *B. subtilis* terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk kondisi aerobik dan anaerobik, meningkatkan potensinya sebagai agen bioremediasi untuk berbagai jenis kontaminan hidrokarbon [11]. Sehingga tujuan dari kajian literatur ini adalah mengetahui potensi bioremediasi dengan menggunakan bakteri *B. subtillis*

2. METODE

Tahapan penulisan ini dilakukan dengan metode pencarian literatur, yang bersumber dari pencarian online, melalui Google Scholar, PubMed, dan artikel yang terpublikasi secara resmi. Tahapan pengolahan data dimulai dari skrining kata kunci yang sesuai dengan topik seperti bioremediasi diesel, *Bacillus* sp, *diesel degradation*, dan *hydrocarbon bioremediation*, lalu dilanjutkan dengan melakukan penarikan kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh kemudian dikerucutkan untuk mendapatkan kesimpulan.

Dasar pemikiran artikel ini adalah: Proses bioremediasi diesel oleh bakteri *Bacillus* sp. memiliki potensi besar dalam mengatasi pencemaran lingkungan akibat tumpahan minyak. *Bacillus* sp. diketahui mampu memecah hidrokarbon kompleks yang terkandung dalam bahan bakar diesel (Imran, 2018). Sehingga artikel ini mengkaji potensi bakteri *Bacillus* sp. sebagai agen bioremediasi dalam mendukung upaya pelestarian lingkungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Minyak Diesel sebagai Agen Pencemaran Lingkungan

Minyak diesel merupakan bahan bakar mesin yang terdiri dari hidrokarbon dengan rantai karbon panjang (C8 hingga C26) serta memiliki senyawa aromatik polisiklik (PAHs) [5]. Minyak diesel ini sangat berpotensi menjadi polutan, karena merupakan hasil samping dari proses penyulingan minyak mentah. Fraksi berat dan ringan dari hasil penyulingan ini kemudian diolah menjadi minyak diesel. Komposisi kimia diesel didominasi oleh senyawa hidrokarbon seperti benzena, pentana, heksana, toluena, dan butana [12]. Ketergantungan global yang signifikan terhadap minyak bumi, mencapai 40% dari total konsumsi energi. Sehingga hal ini telah menimbulkan dampak lingkungan yang serius, baik di daratan maupun perairan [13].

Diesel yang tertumpah ke perairan akan mengalami proses degradasi yang kompleks. Proses ini melibatkan beberapa mekanisme, termasuk penyebaran, penguapan, pelarutan dalam air, biodegradasi oleh mikroorganisme, dan pembentukan emulsi. Namun, karena sifat hidrofobiknya, sebagian besar molekul diesel yang lebih besar akan tenggelam ke dasar perairan, menyebabkan pencemaran jangka panjang [12-13]. Diesel yang terpapar lingkungan perairan mengalami transformasi kimia dan fisik yang kompleks, menghasilkan senyawa turunan yang lebih toksik dibandingkan minyak mentah aslinya. Komponen-komponen dalam diesel, terutama hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), bersifat karsinogenik dan mutagenik, serta dapat mengganggu sistem endokrin pada organisme akuatik [14]. Setiap tahunnya, diperkirakan antara 1,7 hingga 8,8 juta

metrik ton hidrokarbon, termasuk diesel, mencemari lingkungan daratan dan perairan [12]. Tingginya tingkat pencemaran ini menuntut upaya restorasi lingkungan yang efektif. Salah satu pendekatan yang menjanjikan untuk memulihkan ekosistem perairan yang tercemar hidrokarbon adalah bioremediasi, sebuah teknologi yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi polutan organik [14].

3.2. Potensi Bakteri Bacillus subtillis sebagai Agen Bioremediasi

Bacillus subtilis adalah bakteri gram-positif berbentuk batang yang bersifat aerob fakultatif. Mikroorganisme ini memiliki ukuran sel berkisar antara 0,5-2,5 µm x 1,2-10 µm dan memiliki kemampuan untuk tumbuh baik dalam kondisi aerob maupun anaerob. Sebagai organisme heterotrof, *B. subtilis* memperoleh energi dan karbon dari senyawa organik. Keunggulan utama bakteri ini adalah kemudahan manipulasi genetik dan potensi pertumbuhan dalam skala industri. [15]. *B. subtilis,* sebagai penghuni lingkungan yang beragam, memiliki kemampuan untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon kompleks. Mekanisme degradasi ini melibatkan sekresi enzim hidroksilase yang mengkatalisis penambahan gugus hidroksil pada molekul hidrokarbon. Reaksi oksidasi ini merupakan langkah awal dalam proses biodegradasi yang memecah rantai hidrokarbon menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil, sehingga dapat diasimilasi oleh sel bakteri [16].

Berdasarkan penelitian, *B. subtilis* telah terbukti memiliki kemampuan biodegradasi terhadap hidrokarbon alifatik yang terkandung dalam minyak mentah dan turunannya seperti diesel. Bakteri ini dapat beradaptasi dengan baik pada lingkungan dengan salinitas 37% dan tidak menunjukkan toksisitas, sehingga berpotensi besar sebagai agen bioremediasi [17]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *B. subtilis* dapat dijadikan kandidat yang potensial untuk bioremediasi minyak mentah. Bakteri ini mampu bertahan hidup dan beraktivitas dalam lingkungan yang tercemar minyak hingga konsentrasi 15% selama periode pengamatan 7 hari [18].

3.3 Metode dalam Teknologi Bioremediasi Diesel

Pencemaran diesel merupakan masalah lingkungan yang serius karena sifat hidrokarbonnya yang sulit diuraikan. Namun, penelitian telah menunjukkan bahwa bioremediasi dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini, baik di darat maupun di perairan:

1. Dalam bioaugmentasi, penggunaan konsorsium mikroba yang terdiri dari berbagai spesies dengan kemampuan degradasi yang berbeda-beda seringkali memberikan hasil yang lebih efektif. Kombinasi ini memungkinkan degradasi polutan yang lebih lengkap dan cepat dibandingkan dengan penggunaan kultur tunggal.
2. Biostimulasi, dengan menambahkan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, biostimulasi dapat mengaktifkan mikroorganisme asli yang ada di lingkungan tercemar untuk menguraikan hidrokarbon minyak mentah [19]. Penelitian telah menunjukkan bahwa rasio C: N:P sebesar 100:10:1 merupakan kondisi yang ideal untuk mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme pengurai [20]. Dengan demikian, teknik biostimulasi dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi masalah pencemaran minyak.
3. Bioavailabilitas hidrokarbon merupakan faktor kunci dalam keberhasilan bioremediasi. Salah satu cara untuk meningkatkan bioavailabilitas adalah dengan menambahkan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor ke lingkungan yang tercemar. Nutrisi ini akan merangsang pertumbuhan populasi mikroba asli yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim yang diperlukan dalam proses degradasi hidrokarbon. Dengan demikian, biostimulasi dapat mempercepat proses pembersihan lingkungan yang tercemar oleh hidrokarbon. Penambahan nutrisi dalam proses bioremediasi dapat secara efektif menurunkan kadar minyak dalam tanah [21]. Hal ini terjadi karena nutrisi seperti nitrogen dan fosfor merangsang pertumbuhan populasi mikroba asli yang mampu mengurai hidrokarbon minyak bumi (TPH). Dengan ketersediaan nutrisi yang cukup, mikroba akan lebih aktif dalam mendegradasi komponen-komponen minyak, sehingga membersihkan tanah yang tercemar [22].

3. 4 Mekanisme Biodegradasi Diesel

Enzim hidroksilase yang dihasilkan oleh *B. subtilis* memainkan peran kunci dalam proses degradasi minyak diesel. Enzim ini berfungsi untuk menambahkan atom oksigen ke molekul hidrokarbon, sehingga mengubah struktur molekulnya. Perubahan struktur ini membuat hidrokarbon menjadi lebih mudah diuraikan oleh bakteri menjadi senyawa yang lebih sederhana [23]. Proses degradasi ini merupakan bagian dari metabolisme bakteri yang bertujuan untuk memperoleh energi dan nutrisi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Imran, 2018 [14] proses degradasi dilakukan sebagai berikut :

1. Lingkungan yang terkontaminasi oleh minyak diesel umumnya telah terkolonisasi oleh populasi mikroorganisme yang mampu mendegradasi hidrokarbon, yang dikenal sebagai mikroorganisme hidrokarbonoklastik. Keberadaan mikroba ini merupakan fenomena alami

sebagai respons terhadap adanya substrat hidrokarbon.

2) Bakteri hidrokarbonoklastik telah berevolusi untuk dapat memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon dan energi, sehingga memungkinkan mereka untuk tumbuh dan berkembang dalam lingkungan yang kaya akan hidrokarbon.

3) Mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon menghasilkan biosurfaktan yang berfungsi untuk mengemulsikan hidrokarbon dalam fase cair, menurunkan tegangan antarmuka minyak-air, dan meningkatkan ketersediaan hidrokarbon bagi proses biodegradasi.

4) Mikroorganisme mampu mengakumulasi hidrokarbon melalui beberapa mekanisme, yaitu dengan menyerap molekul hidrokarbon yang telah larut dalam fase air melalui proses difusi atau transport aktif, atau dengan berinteraksi langsung dengan tetesan hidrokarbon yang telah diemulsikan oleh sel bakteri [23].

5) Efisiensi degradasi hidrokarbon minyak bumi sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisiologis mikroorganisme, termasuk jumlah sel, jenis enzim yang dihasilkan, dan aktivitas metabolisme. Proses degradasi umumnya melibatkan oksidasi dan pemecahan molekul hidrokarbon kompleks menjadi senyawa intermediet yang lebih sederhana seperti aldehida dan asam organik, yang kemudian dapat masuk ke dalam jalur metabolisme seluler seperti siklus Krebs.

6) Sebagai bagian dari respirasi seluler aerob, siklus Krebs berperan penting dalam menghasilkan molekul pembawa elektron (NADH dan FADH2) yang selanjutnya akan digunakan dalam fosforilasi oksidatif untuk menghasilkan ATP. Selain itu, siklus Krebs juga menghasilkan karbon dioksida sebagai produk buangan.

Berdasarkan penjelasan proses tersebut, dapat disimpulkan bahwa bakteri memanfaatkan senyawa hidrokarbon minyak bumi sebagai substrat untuk metabolisme, menghasilkan produk akhir yang tidak beracun berupa karbon dioksida dan air.

3.5 Efektivitas Bacillus subtilis dalam Meremediasi Diesel

Dalam penelitian menemukan bahwa *B. subtilis* memiliki kemampuan yang signifikan dalam mendegradasi minyak diesel. Hasil penelitian menunjukkan pengurangan TPH sebesar 60-80% dalam satu bulan, dengan laju degradasi yang bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan [23]. Dalam penelitian menggunakan media cair untuk menguji kemampuan *B. subtilis* dalam mendegradasi minyak diesel. Hasilnya menunjukkan bahwa bakteri ini dapat bertahan hidup dalam kondisi tersebut selama satu minggu, bahkan pada konsentrasi minyak diesel 10% [24]. Penelitian menunjukkan bahwa konsorsium bakteri *B. subtilis* yang mereka uji mampu menurunkan kandungan karbon dalam diesel hingga 12,06% dalam waktu 14 hari. Hasil ini memperkuat temuan-temuan sebelumnya tentang potensi bakteri dalam bioremediasi. Konsorsium bakteri ini terbukti efektif dalam menguraikan senyawa hidrokarbon dalam minyak diesel, sehingga dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran. Keberhasilan bioremediasi tidak hanya dipengaruhi oleh jenis dan jumlah polutan, tetapi juga oleh kondisi lingkungan. Salinitas dan pH yang sesuai akan menentukan jenis mikroba yang dapat hidup dan berkembang [14]. Selain itu, ketersediaan oksigen sangat penting karena sebagian besar mikroba membutuhkani oksigen untuk mengurai hidrokarbon menjadi sumber energi. Ketersediaan oksigen sangat krusial dalam proses biodegradasi. Mikroorganisme membutuhkan oksigen untuk mengoksidasi senyawa hidrokarbon menjadi senyawa yang lebih sederhana. Jika kadar oksigen rendah, proses oksidasi akan terhambat sehingga biodegradasi tidak berjalan optimal. Oleh karena itu, pengaturan kadar oksigen pada media tercemar merupakan langkah penting dalam bioremediasi [23]

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian Bakteri *Bacilllus subtilis* merupakan agen bioremediasi yang mampu mendegradasi minyak diesel karena kemampuannya dalam meremediasi minyak diesel dengan teknik biaugmentasi, biostimulasi dan bioavability. Selain itu dengan menggunakan enzim hidroksilase, yaitu enzim pengoksidasi hidrokarbon yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi dengan memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek dan sederhana. Kemudian degradasi ini digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan *B.subtiliss*. Hal ini diperkuat dengan beberapa penelitian yang menunjukan kemampuan bioremediasi minyak diesel dengan pengurangan yang hampir strategis dan waktu yang relatif singkat.

5. DAFTAR REFERENSI

[1] Muslimah, 2015. Dampak Pencemaran Tanah dan Langkah Pencegahan. Jurnal Penelitian, vol. 2, no. 1. https://doi.org/10.33059/jpas.v2i1.224

[2] Handrianto, P. (2018). Mikroorganisme Pendegradasi TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) Sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. Jurnal SainHealth. Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo. vol. 2 No. 2.https://doi.org/10.51804/jsh.v2i2.287.35-42

[3] Faputri. A.F, Setiorini. I. A. 2022. Analysis Of Testing Results Of Liquid Samples From Drilling Wells In Oil And Gas Industry. Jurnal Ilmiah Hospitality 1305, no.2 https://doi.org/10.51804/jsh.v2i2.287.35-42

[4] O. Rizka, E. Nurcahyani, S. Wahyuningsih, Sumardi. 2022. Kemampuan Bacillus sp. Sebagai Bioremediasi Bahan Pencemar. Jurnal Bioterdidik, vol. 10, no.2, pp.110-125.http://dx.doi.org/10.23960/jbt.v10i2.23919

[5] Ramasamy, Sugumar, Arumugam Arumugam, and Preethy Chandran. 2017. Optimization of Enterobacter Cloacae (KU923381) for Diesel Oil Degradation Using Response Surface Methodology (RSM). Journal of Microbiology, vol. 2, no. 55, pp. 104-11.

[6] Palanisamy, Nandhini, J. Ramya, S. Kumar, N. S. Vasanthi, P. Chandran, and S. Khan. 2014. Diesel Biodegradation Capacities of Indigenous Bacterial Species Isolated from Diesel Contaminated Soil. Journal of Environmental Health Science and Engineering, vol. 1, no. 12, pp. 1-8.https://doi.org/10.1186/s40201-014-0142-2

[7] Imron, M. Fauzul, and H. S. Titah. 2018. Optimization of Diesel Biodegradation by Vibrio Alginolyticus Using Box-Behnken Design. Environmental Engineering Research, vol. 4, no. 23, pp. 374-82.https://doi.org/10.4491/eer.2018.015

[8] Purwanti, I. Fitri, S. B. Kurniawan, B. V. Tangahu, and N. M. Rahayu. 2017. Bioremediation of Trivalent Chromium in Soil Using Bacteria. International Journal of Applied Engineering Research, vol. 20, no. 12, pp. 9346-50.https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109412

[9] Purwanti, I. Fitri, S. B. Kurniawan, N. I. Ismail, M. F. Imron, and S. Rozaimah, S. Abdullah. 2019. Aluminium Removal and Recovery from Wastewater and Soil Using Isolated Indigenous Bacteria. Journal of Environmental Management, pp. 109412.https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109412

[10] Prathyusha, K. YSYV, J. Mohan, S. Sridevi, and B.V. Sandeep. 2012. Isolation and Characterization of Petroleum Hydrocarbon Degrading Indigenous Bacteria from Contaminated Sites of Visakhapatnam. International Journal of Advanced Research vol. 3, no.4, pp. 357-62.

[11] K. Kusdini, K. Kastilon, R. Gumanti, S. P. Utama. 2024. Kajian Penggunaan Bakteri Bacillus subtilis dalam Penanganan Tumpahan Minyak Mentah. Jurnal Sains dan Teknologi, Universitas Bengkulu, vol. 3, no. 3.https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3483

[12]. Sarikoç, S. Hasan Bakar Mesin Diesel-Bensin dan Sifat-sifatnya. Dalam Mesin Diesel dan Besar, TechOpen: London, UK, 2020, pp. 1-16. 18. 18. Van HammeJD, Singh, A., Ward, OP. Kemajuan Terkini dalam Mikrobiologi Minyak Bumi. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2003, 67, 503-549 (Cronsite] [PubMed] http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89044

[13]. Zhan, X., Liu, W., Fu, J., Cai, Z., O'Reilly, S.E., Zhan, D. Dispersi, sorpsi, dan fotodegradasi hidrokarbon minyak bumi dalam sistem dispersan-air laut-sedimen. Mor. Polhet. Bull. 2016, 109, 526-538. [Crosslte] [PubMed] Mar Set Eng 2821, 8, 15514/191519 https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.064

[14]. Imran, M, F., Kurniawan, S, B. 2018. Biodegradasi Diesel oleh Konsorsium Bakteri Vibrio alginolyticus dan Acinetobacter lwoffi yang Diisolasi dari Area Pengbokahan Kapal di Tanjungjati, Madura, Indonesia. ITS. 2 (1). 1-5. https://doi.org/10.33863/jtm.v4i1.1207

[15]. Suriani , & Muis, A. (2016). Prospek Bacillus subtilis sebagai Agen Pengendali Hayati Patogen Tular Tanah pada Tanaman Jagung. Jurnal Litbang Pertanian, 35 (01), 37-45.https://doi.org/10.21082/jp3.v35n1.2016.p37-45

[16]. Oktavia, R., Nuracahyani, E., Wahyuningsih, S., & Sumardi. 2022. Kemampuan Bacillus sp. Sebagai Bioremediasi Bahan Pencemar. Jurnal Bioterdidik : Wahana Ekspresi Ilmiah, 10 (02), 110-125. https://doi.org/10.23960/jbt.v10i2.23919

[17]. Wardani W., & Titah, H. 2020. Studi Literatur Alternatif Penanganan Tumpahan Minyak Mentah Menggunakan Bacillus subtilois dan Pseudomonas putida (Studi Kasus : Tumpahan Minyak Mentah Sumur YYA-1). Jurnal Teknik ITS, 9 (02), 2301-9271. https://doi.org/.10.12962/j23373539.v9i2.52637

[18]. Imran , M. 2018. "Optimasi Proses Biodegradasi Solar oleh Isolat Bakteri dengan Menggunakan Response Surface Methodology (RSM) Desain Box Behnken" . ITS.

[19]. A. Nzila, S. A. Razzak, and J. Zhu.2016. Bioaugmentation: an emerging strategy of industrial wastewater treatment for reuse and discharge, Int. J. Environ. Res. Public Health, vol. 13, no. 9, p. 846.https://doi.org/10.3390/ijerph13090846
[20]. N. Sakthipriya, M. Doble, J. S. Sangwai.2015. Bioremediation of coastal and marine pollution due to crude oil using a microorganism Bacillus subtilis, Procedia Eng., vol. 116, no. 1, pp. 213–220.https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.284.
[21].R. Rajagukguk.2017. Pengaruh Bakteri Azotobacter, Bacillus Subtilis, Dan Pseudomonas Putida Terhadap Laju Korosi Alumunium 6063," Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
[22]. D. Rachmawani, F. Yulianda, C. Kusmana, M. Boer, and E. Parwati.2016. Dampak Hidrokarbon Aromatik Terhadap Ekosistem Mangrove Di Kawasan Binalatung Kota Tarakan Kalimantan Utara (Impact of Aromatic Hydrocarbon on Mangrove Ecosystem in Binalatung Area Tarakan City North Kalimantan). J. Mns. dan Lingkung., vol. 23, no. 3, pp. 295–303.https://doi.org/10.22146/jml.18801
[23]. Handrianto, p. 2018. Mikroorganisme Pendegradasi TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. Jurnal Sains Health. 2(2). 1-8. https://doi.org/10.51804/jsh.v2i2.287.35-42.
[24] Yani, M. Akbar, Y. 2020. Proses Biodegradasi Minyak Diesel oleh Campuran Mendegradasi Hidrokarbon. Jurnal Teknik Industri Pertanian. 19(1). 40-44.