

Volume 3, Nomor 2. Oktober. 2021

e-ISSN 2656-9485



**JURNAL JARING SAINTEK
(JJST)**
Universitas Bhayangkara Jakarta Raya



**Fakultas Teknik
Universitas Bhayangkara Jakarta Raya**



1. Pengaruh Metode *Campbell Dudeck Smith* dalam Penjadwalan Produksi *Table 76-0001-Veneer Mesin Shop* PT. Cegeone
Widya Spalanzani*, Salwiah, Asmuddin 1-7
2. *Holding Time* pada Sifat Fisik Pengelasan SMAW Baja ASTM-A36 melalui Uji Penetran
Yoga Mangun Wirajaya, Nur Yanu Nugroho, Bagiyo Suswasono* 8-12
3. Studi Pemanfaatan Limbah CO₂ menjadi CO₂ Cair dengan Teknologi CO₂ Purification di Industri Baja
Wahyu Kartika* 13-20
4. Optimasi Laju Produksi dengan Cara Desain Ulang *Progressive Cavity Pump* (PCP) pada Sumur “X” Lapangan “Y”
Eko Prastio*, Abdullah Rizky Gusman 21-28
5. Bioremediasi sebagai Alternatif Pengembalian Fungsi Tanah yang Tercemar Minyak Bumi
Zara Zafira* 29-35
6. Sistem Informasi Anggaran pada PT. Ardhi Karya Teknik
Uus Rusmawan* 36-40

Sekretariat Redaksi :

Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

Kampus II : Jalan Raya Perjuangan, Kel. Marga Mulya, Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat 17121, Indonesia. Telp : +62 21 88955882. Email : jaring.saintek.ft@ubharajaya.ac.id

[url : jurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/jaring-sainTek](http://jurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/jaring-sainTek)

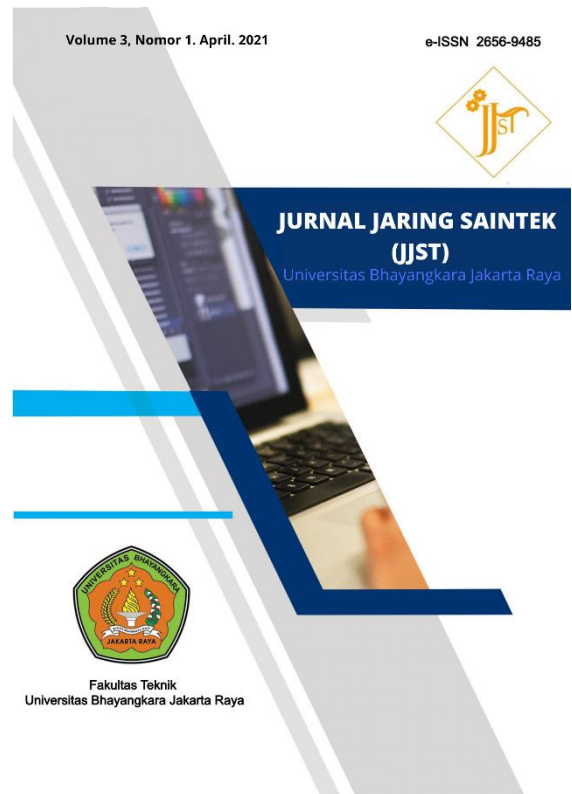


Assalamu 'alaikum Warohmatullohi Wabarokatuh

Segala puji bagi Alloh SWT, Jurnal Jaring SainTek Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya Volume 3 Nomor 2 Bulan Oktober tahun 2021 telah terbit. Jurnal Jaring Sains dan Teknologi (JJST) merupakan kumpulan artikel – artikel ilmiah dari hasil penelitian, ulasan ilmiah, serta kajian berkaitan dengan disiplin ilmu teknologi industri, kimia, perminyakan, lingkungan, dan informatika. Jurnal JJST dikelola Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya dan diterbitkan oleh LPPMP Universitas Bhayangkara Jakarta Raya.

Untuk menjamin berlangsungnya penerbitan Jurnal Jaring SainTek ini, kontribusi tulisan ilmiah sangat dihargai. Tulisan ilmiah yang diterbitkan, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Jurnal Jaring Sains dan Teknologi (JJST) secara konsisten pada bulan April dan Oktober setiap tahunnya.

Assalamu 'alaikum Warohmatullohi Wabarokatuh



Sekretariat Redaksi :

Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

Kampus II : Jalan Raya Perjuangan, Kel. Marga Mulya, Bekasi Utara, Kota Bekasi, Jawa Barat 17121, Indonesia. Telp : +62 21 88955882. Email : jaring.sainstek.ft@ubharajaya.ac.id
url : jurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/jaring-sainstek

BIOREMEDIASI SEBAGAI ALTERNATIF PENGEMBALIAN FUNGSI TANAH YANG TERCEMAR MINYAK BUMI

Zana Zafira*¹

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Semarang 50229, Indonesia

e-mail : *¹zanazafira.zz@gmail.com

Abstract

Oil contamination from field drilling waste is a serious environmental problem worldwide. These oil contaminants must be removed to maintain biodiversity and ecological balance. Bioremediation is a soil cleaning technique that utilizes the metabolic ability of microorganisms to degrade soil contaminants. The use of native bacteria producing biosurfactants and utilization of hydrocarbons increases the effectiveness of bioremediation by making hydrocarbons bioavailable for degradation. Determination of bioremediation microorganisms affects the degradation process of petroleum. This is because each microorganism requires a specific substrate to reduce all the components of petroleum in the soil. A deeper approach is needed to obtain the effectiveness of microorganisms, both nonindigenous and indigenous microorganisms that are applied by researchers in degrading petroleum. However, not all available journal summaries provide a detailed explanation of the method and effectiveness of microorganisms in the bioremediation method. In this review, we will provide several microorganisms and methods used in bioremediation, including adsorptive bioremediation, biopile, in-situ bioremediation, landfarming, biostimulation, and composting in order to find the most effective method in the petroleum bioremediation process.

Keywords : *bioremediation, TPH, effectiveness of microorganism*

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan bahan bakar mengakibatkan naiknya jumlah eksplorasi dan pengolahan minyak bumi. Namun pada umumnya limbah belum dikelola dan dimanfaatkan secara optimum sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Tanah

yang tercemar limbah hidrokarbon akan membahayakan organisme-organisme yang terdapat pada wilayah tersebut (Zam, H., 2011). Lingkungan yang terkontaminasi oleh senyawa organik berbahaya, misalnya minyak mentah, berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (LH) No. 128 Tahun 2003, harus dipulihkan secara biologis (Asep, 2017).

Adapun upaya biologi yang dapat digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat limbah minyak bumi adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan mekanisme perbaikan lahan tercemar yang dilakukan menggunakan cara mengeksploitasi kemampuan mikroorganisme untuk menurunkan senyawa-senyawa organik (Marsandi et al, 2016). Penggunaan mikroorganisme diseleksi untuk dikembangkan pada polutan tertentu sebagai usaha untuk mengurangi kadar polutan. Ketika teknik bioremediasi berjalan, enzim-enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme mengubah komposisi polutan beracun menjadi tidak kompleks sehingga berubah menjadi metabolit yang tidak beracun dan berbahaya dengan produk akhir berupa karbondioksida, air dan energi (Marsandi, 2016: Priadie, 2012).

Bioremediasi tanah yang terkontaminasi minyak bumi merupakan metode restorasi tanah yang ramah lingkungan karena biaya relatif rendah dan dampak berbahaya yang rendah terhadap alam dibandingkan dengan metode restorasi fisik dan kimiawi tanah (Grace, 2011). Teknik bioremediasi ini telah terbukti menjadi pemulihan yang layak untuk meminimalkan efek samping yang disebabkan oleh tumpahan minyak (Kumari, 2012).

METODE PENELITIAN

Terdapat beberapa metode bioremediasi minyak bumi diantaranya yaitu bioremediasi adsorptif, *biopile*, bioremediasi in-situ, *landfarming*, biostimulasi, dan pengomposan.

Tabel 1. Metode, Bahan, Mikroorganisme, dan Hasil Bioremediasi

No	Metode	Bahan	Mikroorganisme	Hasil	Referensi
1.	Bioremediasi adsorptif	Tanah terkontaminasi minyak mentah, adsorben karbon aktif granular dan diatomit dengan kombinasi biopreparasi.	<i>Pseudomonas putida B-2187</i> dan <i>Rhodococcus erythropolis Ac-859</i> .	- Menurunkan TPH sebesar 90-91% dalam waktu 2 tahun - Penurunan fitotoksisitas tanah	(Vasilyeva, 2019)
2.	Bioremediasi ex-situ metode <i>biopile</i>	Tanah terkontaminasi minyak berat, serbuk gergaji kayu lunak, dan pasir sungai.	Konsorsium mikroba zymogenous	- Terjadi penurunan TPH sebesar 94% selama 150 hari - Fraksi alifatik paling banyak terdegradasi yaitu sebesar 69% selama 15 hari	(Beskoski, 2011)
3.	Bioremediasi ex-situ metode <i>biopile</i>	Tanah terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi, dan kompos	Konsorsium mikroba strain bakteri asal Kanada	- Meningkatkan degradasi tanah dalam cuaca dingin dan penghapusan efisiensi 82% selama 94 hari	(Gomez, 2013)
4.	Bioremediasi in-situ	Tanah terkontaminasi tumpahan minyak	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Myroides</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Eurotiomycetes</i> , <i>Saccharomycetes</i> , dan <i>Sordariomycetes</i>	- Nilai TPH terus berkurang hingga batas bawah intervensi - <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Enterobacter xiangfangensis</i> menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi pada degradasi hidrokarbon.	(Chikere, 2019)
5.	Bioremediasi in-situ <i>Landfarming</i>	Tanah terkontaminasi minyak dan ekstrak enzim <i>Eisenia fetida</i> (cacing tanah)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	- Penurunan TPH sebesar 53% selama 16 minggu	(Brown, 2017)

6.	Bioremediasi in-situ Biostimulasi	Tanah terkontaminasi minyak solar dan surfaktan	<i>Bacillus methylothrophicu</i>	-	Tingkat penghilangan minyak solar tertinggi bioremediasi sebesar 60,48% dalam 60 hari	(Machado, 2016)
7.	Bioremediasi ek-situ Pengomposan	Tanah terkontaminasi oli, biochar, kompos, dan semak mesquite (<i>Prosopis articulata</i>)	Mikroba rhizosfer	-	Tingkat degradasi minyak terbesar 44% selama 105 hari.	(Saum, 2018)

Bioremediasi Adsorptif

Bioremediasi adsorptif untuk tanah sangat terkontaminasi dengan berbagai kontaminan organik termasuk kloroanilin, turunan herbisida, bahan peledak 2,4,6-trinitrotoluene, dan polychlorinated biphenyls (PCB). Metode ini didasarkan pada penggunaan adsorben seperti karbon aktif granular (arang) dan diatomit yang menghasilkan lebih baik kondisi degradasi mikroba dari kontaminan dengan mengurangi toksisitasnya. Kehadiran gugus hidroksil aktif pada permukaan diatomit meningkatkan adsorpsi senyawa hidrofobik dan polar seperti logam berat, pewarna dan fenol (Wang et al., 2015) karena struktur berpori tertentu, ia juga dapat menyerap senyawa minyak bumi. Menambahkan diatomit untuk diaktifkan karbon dapat mengurangi ikatan kuat beberapa komponen minyak bumi seperti aromatik, polisiklik, dan senyawa lainnya (Crooks et al., 2017). Bakteri yang digunakan yaitu *Pseudomonas putida B-2187* dan *Rhodococcus erythropolis Ac-859* sebagai pengurai minyak bumi yang efisien dan memanfaatkan hidrokarbon alifatik dan aromatik sebagai substrat pertumbuhan. Konsentrasi TPH sebagian besar berkurang selama tahun pertama dan proses itu melambat selama tahun berikutnya karena laju degradasi yang lebih lambat dari hidrokarbon dengan berat molekul tinggi (Vasilyeva et al., 2020). Total hidrokarbon minyak bumi dalam perlakuan terbaik berkurang 90-91%. Selain itu pengurangan TPH yang lebih cepat di tanah yang diubah oleh ACD (active carbon diatomite), produk minyak bumi yang mengandung sedikit oksigen terbentuk di tanah yang sangat terkontaminasi dibandingkan

dengan tanah tanpa adsorben. Penggunaan adsorben dalam kombinasi dengan biopreparasi ke dalam tanah ini secara signifikan 2-7 kali meningkatkan jumlah degrader. Hal ini sesuai dengan penurunan tajam fitotoksitas tanah dengan adanya ACD, terutama di tanah yang sangat terkontaminasi.

Biopile

Biopile termasuk dalam bioremediasi ex-situ, yang merupakan teknologi remediasi untuk menangani berbagai macam hidrokarbon. Dalam kebanyakan kasus, perawatan tanah yang terkontaminasi melalui bioremediasi ex-situ melibatkan dua strategi utama yaitu bioaugmentasi, dimana mikroorganisme pengurai minyak ditambahkan ke matriks tanah dan biostimulasi, yang memasukkan nutrisi penting atau biosurfaktan untuk merangsang degradasi minyak bumi oleh mikroba (Sayara et al., 2010). Tanah yang digunakan merupakan tanah yang terkontaminasi minyak berat dan menggunakan konsorsium mikroba *zymogenous*. *Biopile* pada jenis ini dilakukan dengan menyalurkan udara untuk aerasi menggunakan pipa. Salah satu keunggulan dari metode ini dapat dijalankan mekanisme aerasi sesuai pada keperluan mikroba aerob sebagai agen biologis yang digunakan, serta menggunakan timbunan limbah yang cukup tinggi sepanjang masih dapat dijalankan penyaluran udara pada pipa untuk aerasi (Diplock, 2010). *Biopile* dengan serbuk gergaji lunak sebagai sumber bahan karbon tambahan dan komponen *bulking* serta pasir sungai yang tidak bergradasi ditambahkan sebagai material peningkat porositas dan *bulking*. *Biopile* disiram, dibalik dan dicampur setiap 15 hari untuk menjaga tingkat kelembaban dan aerasi yang dibutuhkan. *Biopile* juga diinokulasi

ulang setiap 30 hari selama penelitian, dengan konsorsium mikroba yang disiapkan, dengan penyemprotan dan pencampuran. Terjadi penurunan TPH yang sangat jelas yaitu sebesar 94% selama 150 hari dengan fraksi alifatik paling banyak terdegradasi yaitu sebesar 69% selama 150 hari (Beskoki et al., 2011).

Bioremediasi in-situ

Teknik bioremediasi in-situ merupakan perawatan yang melibatkan pengolahan bahan yang terkontaminasi di tempat untuk proses perawatan tergantung pada kapasitas metabolisme mikroorganisme asli dan kondisi lingkungan (Rodrigues et al., 2015) Teknik penanaman lahan untuk remediasi tanah yang tercemar minyak mentah di Delta Niger adalah pilihan tepat karena hal itu memicu peningkatan mikroba pengurai hidrokarbon dan pengurangan secara simultan dalam total hidrokarbon minyak bumi yang dapat diekstraksi dalam 56 hari. Penambahan tanah yang tidak tercemar dan pembajakan tanah memberikan kondisi lingkungan yang memungkinkan untuk meningkatkan biodegradasi yang menghilangkan kebutuhan penambahan unsur hara dalam bentuk pupuk anorganik yang dapat menyebabkan kontaminasi sekunder. Analisis TPH yang dapat diekstraksi pada berbagai kedalaman lokasi tumpahan menunjukkan kisaran 6231 - 9112mg /kg yang berada di luar nilai intervensi 5000mg /kg. PH pra-remediasi situs yang tercemar yaitu antara 6,56 - 6.92 mendekati netral (Krihnan et al., 2017). Dengan demikian diharapkan mendukung proliferasi mikroba *Pseudomonas aeruginosa* dan *Enterobacter xiangfangensis* menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi sehubungan dengan degradasi hidrokarbon (Chikere et al., 2019).

Landfarming

Landfarming merupakan teknik bioremediasi yang dikenal mudah dikerjakan dan relatif lebih murah dimana mekanisme pengolahan tanah mengandalkan mikroba aerobik sebagai agen pengurai (Asep et al., 2017; Sopiah et al., 2012). Dalam penelitian ini pengaruh penambahan unsur hara, biosurfaktan, ekstrak enzim *Eisenia fetida* (cacing tanah), agen bulking dan sorption dan netralisasi tanah diuji. Setelah 110 hari melakukan landfarming, penurunan konsentrasi minyak terbesar terjadi di pengujian 37 hari pertama. Diketahui bahwa perlakuan ini berhasil menghilangkan hingga 53% dari total

hidrokarbon minyak bumi di tanah dalam waktu 16 minggu (Brown et al, 2017). Cara ini sesuai untuk tanah yang mengalami biodegradasi (Grace et al., 2011; Coulon et al., 2012). Penurunan hidrokarbon tanah berkisar antara 15% sampai 53%. Sebagian besar perlakuan menunjukkan penurunan TPH yang lebih besar dibandingkan dengan hanya menggunakan minyak yang menunjukkan peningkatan proses penanaman. Pupuk NPK menghasilkan penurunan konsentrasi TPH sebesar 43%, lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan minyak saja (pengurangan 32%) dengan penelitian lain yang telah menunjukkan nitrogen dan fosfat tambahan dapat meningkatkan biodegradasi di tanah yang terkontaminasi minyak (Coulon et al., 2012).

Biostimulasi

Biostimulasi dapat meningkatkan produksi biosurfaktan in-situ (selama proses bioremediasi) sehingga bisa lebih efisien dan menghasilkan biaya lebih rendah daripada produksi senyawa dalam bioproses, diikuti dengan pemurnian atau pemulihan dan aplikasi di area yang terkontaminasi (Machado et al., 2020; Das et al., 2019). Biosurfaktan dapat meningkatkan kelarutan kontaminan dan mempercepat biodegradasi. Selain itu, penggunaan biosurfaktan dapat dianggap sebagai pendekatan "hijau" untuk bioteknologi di mana penggunaan bertujuan untuk memperbaiki kontaminan dengan metode yang terkait dengan keberlanjutan (Chaprao et al., 2018). Tanah yang terkontaminasi minyak solar ditambahkan dengan surfaktan yang telah dimurnikan. Surfaktan ini sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan mikroba dan tidak menyebabkan penghambatan. Surfaktan adalah lipopeptida yang memiliki komposisi asam amino dan asam lemak (Sabate, 2013; Seydlova et al., 2013) yang merupakan sumber nutrisi bagi mikroorganisme. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah *Bacillus methylotrophicu* tidak menyebabkan efek antimikroba pada strain mikroba yang ada di dalam tanah hingga konsentrasi 4000 mg / kg. Selama percobaan bioremediasi selama 60 hari, suhu rata-rata adalah 26,11 ° C. Pengukuran kelembaban tanah selama waktu itu digunakan dalam perhitungan penghilangan kontaminan. Tingkat penghilangan minyak solar tertinggi yang diperoleh melalui bioremediasi sebesar 60,48% dalam 60 hari. Produksi biosurfaktan in situ yang dievaluasi dengan pengukuran

tegangan permukaan ekstrak tanah menunjukkan adanya kecenderungan penurunan tegangan permukaan pada 30 hari untuk perlakuan bioaugmentasi dan biostimulasi yang menunjukkan adanya pelepasan senyawa tensoaktif dalam medium. Kecenderungan ini tidak terlihat pada atenuasi alami dan perlakuan kontrol. Biosurfaktan tidak dapat diproduksi pada saat awal karena mikroorganisme belum beradaptasi dengan lingkungan dan sumber nitrogen tidak akan digunakan untuk menghasilkan senyawa hayati tersebut (Machado et al., 2020).

Composting (Pengomposan)

Composting adalah teknik bioremediasi menggunakan kombinasi tanah yang terkontaminasi dengan menambahkan kompos limbah organik yang tidak berbahaya (bulk agents), meliputi: serasah, jerami, limbah pertanian, dan kayu (Asep et al., 2017). Tanah yang terkontaminasi oli dicampur dengan biochar dan kompos. Pot berukuran 2 L yang digunakan untuk membudidayakan tanaman berukuran tinggi 11 cm dan diameter 16 cm diisi dengan 1,6 kg tanah. Perawatan termasuk tanaman ditanam dengan sepuluh biji mesquite amargo (*Prosopis articulata*) per pot. Tanah ditempatkan ke dalam pot dan diairi dengan air ledeng setelah itu dibiarkan mengering hingga 50% tanaman tersedia air. Pot didistribusikan secara acak di rumah kaca tempat percobaan pada suhu lingkungan (22-34° C) selama 105 hari. Pot diairi tiga kali seminggu dengan air suling untuk menjaga kelembaban pada 60-70% dari kapasitas lahan. Untuk perawatan yang terkontaminasi minyak, penambahan kompos atau amandemen tanah biochar menghasilkan tanaman dengan akar tunggang 20% lebih pendek dari pada kontrol tanpa amandemen, dan akar 50% lebih pendek jika kompos dan biochar yang ditambahkan secara bersamaan. Tingkat degradasi minyak bumi yang lebih rendah dalam perawatan biochar kemungkinan dapat dikaitkan dengan populasi yang lebih kecil dari mikroba pemetabolisme hexadecane dan polycyclic aromatic hydrocarbon dibandingkan dengan perawatan yang ditanam lainnya. Tingkat degradasi minyak terbesar adalah dicapai di tanah yang ditanami mesquite dan diubah dengan kompos 44% dari hidrokarbon ringan pecahan (Saum et al., 2017).

KESIMPULAN DAN SARAN

Masing-masing metode bioremediasi memiliki tingkat degradasi, lama percobaan, kelebihan, kekurangan, dan mikroorganisme yang berbeda-beda. Akan tetapi, terdapat beberapa metode yang dapat menghilangkan TPH dengan tingkat yang cukup tinggi seperti menggunakan adsorben, serbuk gergaji, kompos, dan bahan organik seperti *Prosopis articulata* sehingga mikroorganisme yang ditambahkan dapat bekerja dengan optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep, H. G. (2017). Telaah Mendalam tentang Bioremediasi : Teori dan Aplikasinya dalam Upaya Konservasi Tanah dan Air. 2017.
- Beškoski, V. P. et al. (2011). Ex situ bioremediation of a soil contaminated by mazut (heavy residual fuel oil) - A field experiment *Chemosphere*, vol. 83, no. 1, pp. 34–40, doi:10.1016/j.chemosphere.2011.01.02.
- Brown, D. M. et al. (2017). Comparison of landfarming amendments to improve bioremediation of petroleum hydrocarbons in Niger Delta soils. *Sci. Total Environ.*, vol. 596–597, pp. 284–292, 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.072.
- Chaprao, M. J. et al. (2018). Formulation and application of a biosurfactant from *Bacillus methylotrophicus* as collector in the flotation of oily water in industrial environment *J. Biotechnol.*, vol. 285, pp. 15–22, doi: 10.1016/j.jbiotec.2018.08.016.
- Chikere, C.D., Tekere, M., & Adeleke, R. (2019). Enhanced microbial hydrocarbon biodegradation as stimulated during field-scale landfarming of crude oil-impacted soil. *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 14, no. May, p. 100177, 2019, doi: 10.1016/j.scp.2019.100177.
- Concetta, M., & Daugulis, A. J. (2013). Ex situ bioremediation of contaminated soils: An overview of conventional and innovative technologies. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 20, pp. 2107–2139 doi: 10.1080/10643389.2012.672056.
- Crooks, R. & Prentice, P. (2017). Extensive Investigation Into Field Based Responses to a Silica Fertiliser. *Silicon*,

- vol. 9, no. 2, pp. 301–304 doi: 10.1007/s12633-015-9379-3.
- Das, A. J. & Kumar, R. (2019). Production of biosurfactant from agro-industrial waste by *Bacillus safensis* J2 and exploring its oil recovery efficiency and role in restoration of diesel contaminated soil. *Environ. Technol. Innov.*, vol. 16, p. 100450, doi: 10.1016/j.eti.2019.100450.
- Diplock, E. E., Mardlin, D. K., Killham, K. S., & Paton, G. I. (2010). The role of decision support for bioremediation strategies, exemplified by hydrocarbons for in site and ex situ procedures. *Methods Mol. Biol.*, vol. 599, no. 1, pp. 201–215. doi: 10.1007/978-1-60761-439-5_13.
- Edwin, T. & Mera, M. (2019). Bioremediasi dengan Metode Komposting untuk Biodegradasi Pestisida Pada Tanah. pp. 1009–1017 [Online]. Available: <https://conference.ft.unand.ac.id/index.php/ace/Ace2019/paper/viewPDFInterstitial/1134/371>.
- F. Coulon *et al.* (2012). Effect of fertilizer formulation and bioaugmentation on biodegradation and leaching of crude oils and refined products in soils. *Environ. Technol. (United Kingdom)*, vol. 33, no. 16, pp. 1879–1893, doi:10.1080/09593330.2011.650221
- Gomez, F. & Sartaj, M. (2013). Field scale ex-situ bioremediation of petroleum contaminated soil under cold climate conditions. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 85, pp. 375–382, 2013, doi: 10.1016/j.ibiod.2013.08.003
- Grace, P. W., et al. (2011). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: Effects of strategies and microbial community shift. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 65, no. 8, pp. 1119–1127, 2011, doi: 10.1016/j.ibiod.2011.09.002.
- Kumari, B., Singh, S. N., & Singh, D. P. (2012). Characterization of two biosurfactant producing strains in crude oil degradation. *Process Biochem.*, vol. 47, no. 12, pp. 2463–2471, doi:10.1016/j.procbio.2012.10.010.
- Krishnan, J. et al. (2017). Effect of pH, inoculum dose and initial dye concentration on the removal of azo dye mixture under aerobic conditions *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, vol. 119, pp. 16–27. doi: 10.1016/j.ibiod.2016.11.024.
- Ma, S. C., Wang, J. L., Zhang, D. H., & Liu X.G. (2015). Detection analysis of surface hydroxyl active sites and simulation calculation of the surface dissociation constants of aqueous diatomite suspensions. *Appl. Surf. Sci.*, vol. 327, pp. 453–461, 2015, doi: 10.1016/j.apsusc.2014.12.006.
- Marsandi, F., & Estuningsih, S. P. (2016) Asosiasi konsorsium bakteri *Pseudomonas pseudoalcaligenes* dan *Micrococcus luteus* dengan lamtoro (*Leucaena leucocephala* (Lamk.) De Wit) dalam upaya meningkatkan bioremediasi minyak bumi. *Proceeding Biol. Educ. Conf. Biol. Sci. Environmental, Learn.*, vol. 13, no. 1, pp. 807–813, 2016.
- Machado, T. S. *et al.* (2020). Effects of homemade biosurfactant from *Bacillus methylotrophicus* on bioremediation efficiency of a clay soil contaminated with diesel oil. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 201, no. May, p. 110798, 2020, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110798
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi Sebagai Alternatif Dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *J. Ilmu Lingkungan.*, vol. 10, no. 1, p. 38, 2012, doi: 10.14710/jil.10.1.38-48.
- Rodrigues, E. M., Kalks, K. H. M., & Tótoła, M.R. (2015). Prospect, isolation, and characterization of microorganisms for potential use in cases of oil bioremediation along the coast of Trindade Island, Brazil. *J. Environ. Manage.*, vol. 156, pp. 15–22, doi:10.1016/j.jenvman.2015.03.016.
- Sabaté, D. C., & Audisio, M. C. (2013). Inhibitory activity of surfactin, produced by different *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* strains, against *Listeria monocytogenes* sensitive and bacteriocin-resistant strains. *Microbiol. Res.*, vol. 168, no. 3, pp. 125–129. doi: 10.1016/j.micres.2012.11.004
- Saum, L., Jiménez, M. D. & Crowley, D. (2018). Influence of biochar and compost on phytoremediation of oil-contaminated soil. *Int. J. Phytoremediation*, vol. 20, no. 1, pp. 54–60.

- doi:10.1080/15226514.2017.1337063.
- Sayara, T., Sarrà, M. & Sánchez, A. (2010). Effects of compost stability and contaminant concentration on the bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting. *J. Hazard. Mater.*, vol. 179, no. 1–3, pp. 999–1006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.104.
- Seydlová, G., et al. (2013). Surfactin production enhances the level of cardiolipin in the cytoplasmic membrane of *Bacillus subtilis*. *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr.*, vol. 1828, no. 11, pp. 2370–2378, doi:10.1016/j.bbamem.2013.06.032.
- Sopiah, N. (2012). Uji coba kinerja bakteri. *J. Teknol. Lingkungan.*, vol. 13, no. 2, pp. 131–140.
- Vasilyeva, G., Kondrashina, V., Strijakova, E., & Ortega-Calvo, J. J. (2020). Adsorptive bioremediation of soil highly contaminated with crude oil. *Sci. Total Environ.*, vol. 706, p. 135739, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135739
- Zam, S. I. (2010). Bioremediasi Tanah Yang Tercemar Limbah Penghilang Minyak Bumi Secara In Vitro Pada Konsentrasi Ph Berbeda (In vitro Bioremediation of Dirtied Soil by Oil Refinery Waste in different pH Concentration) Syukria Ikhsan Zam. *J. Agroteknologi*, vol. 1, pp. 1–7, 2011.