

Analisis Pencemaran Tanah dari Pertambangan Minyak Rakyat di Jawa Timur

Teknik Lingkungan

SANDRA MADONNA



**Universitas Bakrie
Kampus Kuningan Kawasan Epicentrum
Jl. HR Rasuna Said Kav. C-22, Jakarta, 12920**

**LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN
TAHUN 2024**

1. Judul Penelitian : Analisis Pencemaran Tanah dari Pertambangan Minyak Rakyat di Jawa Timur
2. Peneliti Utama
 - a. Nama Lengkap : Sandra Madonna
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. Pangkat/Golongan/NIDN : Lector/ III D / 0318097402
 - d. Bidang Keahlian : Teknik Lingkungan
 - e. Program Studi : Teknik Lingkungan
3. Jangka Waktu Penelitian dan Pendanaan :
 - a. Jangka Waktu yang Diusulkan : 1 (satu) semester
 - b. Biaya Total yang Diusulkan : Rp 10.000.000
 - c. Biaya yang Disetujui : Rp 10.000.000

Jakarta, 1 Maret 2024

Menyetujui,
**Ketua Lembaga Penelitian dan
Pengembangan**

Peneliti Utama



Deffi Ayu Puspito Sari, Ph.D
0308078203

Sandra Madonna
0318097402

Analisis Pencemaran Tanah dari Pertambangan Minyak Rakyat di Jawa Timur

ABSTRAK

Karakteristik polutan pada tanah tercemar adalah salah satu komponen kunci dalam proses bioremediasi, selain itu bioremediasi tanah juga dapat dipengaruhi faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dan aktifitas mikroba pendegradasi di tanah tercemar. Keberhasilan bioremediasi untuk diaplikasikan pada suatu lokasi perlu diiringi dengan informasi dan pengetahuan tambahan tentang karakteristik polutan dan kondisi lingkungan di lokasi tercemar. Penelitian; “ Analisis Pencemaran Tanah dari Pertambangan Minyak Rakyat di Jawa Timur”, merupakan penelitian eksperimental di laboratorium yang bertujuan; Menganalisis kosentrasi senyawa Hidrokarbon minyak bumi pada tanah yang tercemar, dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses biologi di lingkungan; pH tanah, kandungan air tanah, suhu dan jumlah mikroba di tanah tercemar. yang ke depannya dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan biologi yang sesuai serta dapat meningkatkan efektivitas remediasi pada tanah tercemar hidrokarbon minyak di Desa Wonocoli Jawa Timur. Hasil penelitian diketahui Kosentrasi *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) pada tanah tercemar; 124.265,75 mg/Kg (12%). Jumlah populasi bakteri; 42×10^5 CFU, faktor-faktor lingkungan; pH tanah rata-rata sebesar 6,84 mendekati pH normal pertumbuhan bakteri mesophilic, kandungan air sangat rendah yaitu sebesar: 8,90 % perlu ditingkatkan agar proses bioremediasi berjalan efektif, suhu tanah rata-rata sebesar 25 °C yang masih berada dalam kisaran suhu pertumbuhan mikroba mesofilik. Metoda bioremediasi berpotensi dilakukan dilokasi tercemar / secara *insitu* memanfaatkan mikroba asli / *endogenous* dari lokasi pertambangan minyak rakyat Desa Wonocolo, Jawa Timur dengan pendekatan biostimulasi pemberian nutrisi dan optimasi faktor-faktor lingkungan yang mendukung proses biodegradasi

Kata kunci: bioremediasi, mikroba pendegradasi, remediasi tanah, Total Petroleum Hidrokarbon.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ratusan sumur minyak yang dikelola secara tradisional terdapat di Desa Wonocolo, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Sekitar 70% warga Desa Wonocolo berprofesi sebagai penambang minyak. Sumur minyak di Desa Wonocolo sampai saat ini masih produktif menghasilkan minyak mentah/*crude oil* walaupun jumlahnya sudah mulai berkurang. Namun dalam rangkaian kegiatan eksploitasi, produksi, dan transportasi minyak bumi beserta produk-produknya dapat mengakibatkan tumpahan atau kebocoran minyak yang tidak disengaja, sehingga dampak besar bagi lingkungan. Pengaruh negatif dari pertambangan minyak tradisional ini tidak dapat dibiarkan berlarut-larut, kegiatan ini harus dikelola dengan baik untuk menghindari terjadinya degradasi kualitas lingkungan dan sumber daya alam (Cabral dkk., 2022; Gidudu dan Evans. M.N. C., 2020).

Minyak bumi merupakan senyawa yang kompleks terdiri dari senyawa alifatik (seperti; alkena, alkana, sikloalkana), hidrokarbon monoaromatik (seperti; xilena, toluena, fenol, benzena, etilbenzena), dan hidrokarbon aromatik polisiklik (seperti; antrasena, fluorena, naftalena). Lepasnya senyawa-senyawa tersebut ke lingkungan dapat menyebabkan kerusakan pada organisme dan mengganggu kesehatan manusia.

Kontaminan hidrokarbon minyak bumi bersifat hidrofobik, recalcitrant dan persisten, sehingga sangat sulit diuraikan oleh lingkungan. Pada tanah yang terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi sering terjadi mekanisme penyerapan kontaminan oleh tanaman di lokasi pencemaran, yang selanjutnya kontaminan tersebut akan masuk menuju populasi hewan dan manusia melalui rantai makanan (Patowary dkk., 2018). Tumpahan minyak di tanah dapat mempengaruhi seluruh ekosistem, mengubah vegetasi, satwa liar, aktifitas mikroba, karakteristik tanah dan kesuburan tanah. Dampak ekologis minyak terhadap fungsi tanah paling jelas terlihat melalui perubahan aktivitas mikroorganisme dan enzim-enzim mikroorganisme tanah tersebut (Polyak, 2018). Mengingat dampak yang sangat berbahaya dari pencemaran kontaminan hidrokarbon minyak bumi tersebut,

maka perlu segera dilakukan upaya pengurangan konsentrasinya di lingkungan (Patowary dkk., 2018).

Bioremediasi adalah teknik yang paling umum digunakan untuk remediasi tanah yang terkontaminasi karena biayanya murah dan ramah lingkungan. Selain itu, mikroorganisme sangat melimpah ditemukan di tanah alami, baik dalam bentuk konsorsium yang menempel pada partikel tanah maupun tersuspensi dalam ekosistem pori tanah. Temuan ini menunjukkan potensi besar untuk melakukan bioremediasi tanah terkontaminasi. Namun, bioremediasi memiliki beberapa keterbatasan diantaranya dipengaruhi oleh sifat kontaminan serta kondisi lingkungan untuk pertumbuhan dan metabolisme mikroba. Untuk mengetahui ruang lingkup dan strategi bioremediasi polutan, yang perlu diperhatikan pertama-tama adalah memahami karakteristik minyak mentah, dan faktor-faktor lingkungan yang mengontrol laju biodegradasi (Varjani, 2017; Madonna, S dkk., 2007)

Pada penelitian ini, akan dilakukan karakterisasi minyak bumi dan faktor lingkungan dari salah satu lokasi pertambangan minyak tradisional di Desa Wonocolo, Kabupaten Bojonegoro Jawa Timur sebagai studi kasus. Dari hasil karakterisasi diharapkan dapat diusulkan teknologi bioremediasi yang tepat dalam menanggapi pencemaran tanah akibat tumpahan atau ceceran minyak bumi di pertambangan minyak rakyat.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Permasalahan

Diperlukannya informasi karakteristik minyak bumi sebagai dasar penentuan teknologi bioremediasi yang sesuai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi minyak bumi pada tanah tercemar dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi bioremediasi di lokasi.

1.3 Hipotesis Penelitian

Karakteristik dan konsentrasi minyak bumi pada tiap lokasi tercemar bervariasi dan akan mempengaruhi teknologi bioremediasi yang akan digunakan dalam remediasi tanah.

1.4 Tujuan Penelitian

Menganalisis konsentrasi senyawa Hidrokarbon minyak bumi pada tanah yang tercemar dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi bioproses yang ke depannya dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan bioremediasi yang sesuai.

1.5 Ruang Lingkup dan Pembatasan Masalah

Penelitian ini akan dilakukan pada skala laboratorium untuk menganalisis karakteristik konsentrasi minyak bumi pada tanah tercemar dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi bioproses seperti populasi mikroba pendegradasi, pH tanah, kandungan air tanah, dan suhu tanah . Data hasil analisis dari sampel tanah tercemar minyak bumi kemudian dibandingkan dengan literatur.

1.6 Manfaat Penelitian

Memberikan kontribusi keilmuan mengenai analisis senyawa Hidrokarbon minyak bumi pada tanah yang tercemar di yang ke depannya dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan yang sesuai.

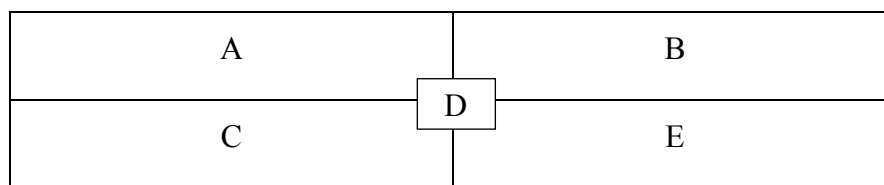
BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan analisis minyak bumi terdiri dari sampling tanah terkontaminasi, teknik preparasi, analisis kuantitatif, serta analisis data.

2.1. Sampling Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang tercemar minyak bumi dari salah satu lokasi kegiatan pertambangan minyak tradisional di Desa Wonocolo, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Perlakuan awal terhadap sampel tanah sebelum proses karakterisasi dilakukan penyaringan tanah untuk memisahkan sampel tanah dari makrofauna, batu-batuan dan material padat yang akan menimbulkan masalah teknis pada saat proses karakterisasi, menggunakan alat *sieve shaker size 4 ASTM Standart Test Sieve (opening 4.75 mm)*. Sementara itu juga dilakukan pengukuran kondisi lingkungan dan konsentrasi pencemar sebelum proses remediasi diketahui dengan mengukur *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*, pH tanah, kandungan air tanah, suhu tanah, dan jumlah populasi bakteri.

Pengambilan sampel tanah untuk dianalisis lebih lanjut dilakukan secara acak menggunakan metode *composite sampling* (gabungan tempat) terstratifikasi, dengan skema sampling seperti pada Gambar 3.1 sebagai berikut;



Gambar 2.1. Skema Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada setiap titik sampel A, B, C dan E (Gambar 1), disetiap pada permukaan tanah dan pada kedalaman tanah kemudian disatukan untuk mendapatkan sampel yang representative (sampel dari 5 titik x 2 sampel dari ke dalaman pada masing-masing grid (10 rata-rata sampel)). Sampel dikemas pada kantong plastik tertutup dan dimasukkan kedalam *coolbox* sebelum dilakukan ekstraksi di laboratorium.

2.2. Teknik Preparasi (Ekstraksi Sampel Tanah)

Analisis *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) diawali dengan ekstraksi tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi, menggunakan metoda gravimetri dengan *Soxhlet Extraction Method* (Standard Method, metode 5520 F). Dengan cara mengekstrak \pm 20gr sampel tanah yang ditambahkan HCL pekat sebanyak 0,5 dan 25 gr $MgSO_4H_2O$ (*anhydrous*) diaduk sampai rata dan dibiarkan selama 15-30 menit kemudian digerus dalam mortal sampai halus kemudian tanah dipindahkan ke dalam kertas thimbles. Tanah di dalam kertas thimbles diekstraksi dengan Soxhlet menggunakan pelarut n-hexan selama 4 jam (20 putaran/jam). Kemudian ekstrak yang berada di dalam labu ditimbang. Penentuan TPH yang terdapat pada sampel menggunakan rumus berikut;

$$\text{Total Petroleum Hidrokarbon (TPH)} = \frac{\text{Berat ekstrak (mg)}}{\text{Berat sampel (Kg)}}$$

(Ajona dan Vasanthi, 2021; Rocha dkk., 2019)

2.3. Perhitungan Jumlah Populasi Bakteri

Jumlah populasi sel bakteri di tanah dilakukan dengan metoda hitung cawan/*Total Plate Count* (TPC) dengan cara menanam bakteri dengan teknik *pour plate* pada medium *Nutrient Agar* (NA). Perhitungan jumlah populasi dilakukan secara duplo setelah 48 jam masa inkubasi pada suhu kamar. Hasil perhitungan di laporkan dalam satuan CFU (Ma dkk., 2020)

Komposisi media *Nutrient Agar* (NA) yang digunakan sebagai medium dasar untuk perhitungan jumlah populasi sel bakteri terdiri dari 3 gr beef ekstrak, 5 gr pepton, 15 gr agar dilarutkan dalam 1 liter akuades yang disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121⁰C tekanan 15 lbs selama 15 menit.

2.4. Analisis Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Bioproses

2.4.1. pH Tanah

Nilai keasaman (pH) tanah diukur secara triplo menggunakan pH meter. Pengukuran pH dilakukan pada 3 lokasi tanah tercemar.

2.4.2. Kandungan air tanah

Kandungan air tanah dianalisis secara gravimetri yang pada prinsipnya mendapatkan berat tanah yang konstan, dengan cara mengeringkan tanah di dalam oven pada suhu 105⁰C sampai mencapai berat yang konstan. Kandungan air tanah ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kandungan Air} = \frac{\text{Berat awal tanah} - \text{berat tanah setelah dikeringkan}}{\text{Berat tanah awal}} \times 100 \%$$

Pengukuran kandungan air tanah dilakukan pada 3 lokasi tanah tercemar

2.4.3. Suhu tanah

Suhu tanah diukur menggunakan thermometer tanah, diukur pada 3 lokasi titik sampling secara acak, dan hasilnya dilaporkan sebagai suhu rata-rata. Sementara itu juga diukur suhu kamar menggunakan thermometer ruang.

2.5. Analisis Data

Analisis data dilakukan konsentrasi *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH), jumlah populasi bakteri dan faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi bioproses seperti, pH tanah, kandungan air tanah, serta suhu tanah metode statistik deskriptif, data hasil analisis kemudian dibandingkan dengan literatur untuk mendapatkan gambaran global keberadaan, sifat, dan pengolahan senyawa hidrokarbon minyak bumi yang berasal dari tanah yang tercemar di lokasi penelitian.

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakterisasi Polutan

Untuk mengetahui karakteristik polutan pada sampel tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi yang akan diremediasi dilakukan analisis *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) secara gravimetri menggunakan metoda gravimetri dengan *Soxhlet Extraction Method* (Standard Method, metode 5520 F) bertujuan mengekstraksi tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi dan menentukan konsentrasinya dalam tanah. Hasil pengujian *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) pada tanah tercemar

Sampel	Konsentrasi <i>Total Petroleum Hidrokarbon</i> (TPH) (mg/Kg)	% TPH
1	105.932,20	10,59
2	142.599,29	14,26
Rata-rata	124.265,75	12,43

Berdasarkan Tabel.3.1 diketahui konsentrasi rata-rata *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) pada tanah tercemar sebesar 12,43%. Kandungan TPH sampel tanah tersebut sebesar 12,43% sudah berdampak terhadap lingkungan. Merujuk pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 tahun 2003 (KEPMEN LH No. 128/2003) tentang Tatacara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis bahwa ; Konsentrasi maksimum TPH awal sebelum proses pengolahan biologis adalah tidak lebih dari 15% dan Konsentrasi TPH yang sebelum proses pengolahan lebih dari 15% perlu dilakukan pengolahan atau pemanfaatan terlebih dahulu dengan mempertimbangkan teknologi yang tersedia dan karakteristik limbah. Dari rujukan tersebut konsentrasi TPH sampel tanah dalam penelitian ini layak untuk direduksi secara biologis. KEPMEN LH No. 128/2003 selanjutnya mengatur bahwa persyaratan nilai akhir hasil pengolahan minyak bumi secara biologis untuk nilai TPH 10.000 µg/gr atau setara dengan 10.000 mg/Kg atau 1% (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 2003)

3.2. Analisis Faktor Lingkungan

Analisis faktor-faktor lingkungan dilakukan untuk mengetahui kondisi awal tanah yang akan mempengaruhi kinerja bioproses ke depannya dan dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan bioremediasi yang sesuai. Pengukuran parameter lingkungan dilakukan pada jumlah populasi bakteri tanah, pH tanah, kandungan air tanah, serta suhu tanah. Hasil analisis faktor-faktor lingkungan tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Faktor-faktor lingkungan Tanah Tercemar

Parameter Uji	Nilai
Jumlah populasi bakteri rata-rata	42×10^5 CFU
pH rata-rata	6,84
Kandungan air tanah rata-rata	8,90 %
Suhu tanah	25 °C
Suhu lokasi	30 °C

Berdasarkan Tabel 3.2. dapat diketahui jumlah populasi bakteri di tanah sebesar 42×10^5 CFU cukup banyak dan keberadaannya ini dapat mendukung biodegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi di lokasi pencemar. Keberadaan bakteri pendegradasi di lokasi pencemar dapat ditingkatkan dengan mengoptimasi faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan aktivitasnya dalam mendegradasi hidrokarbon minyak bumi. Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi remediasi tanah secara biologi diantaranya pH tanah, kandungan air tanah dan suhu tanah di lokasi pencemar.

Dari Tabel 3.2 dapat diketahui pH tanah rata-rata sebesar 6,84 mendekati pH normal pertumbuhan bakteri mesophilic. Bakteri mesophilic pada umumnya tumbuh baik pada kisaran pH antara 6 – 8. Menurut Al-Hawash dkk.(2018), bahwa nilai pH dilingkungan sangat bervariasi, nilai ini harus menjadi pertimbangan dalam meningkatkan metode pengolahan biologis. pH lingkungan mempengaruhi proses seperti transportasi membran sel dan keseimbangan reaksi katalitik serta aktivitas enzim. Sebagian besar bakteri heterotrofik lebih suka tumbuh dalam pH netral hingga basa. Keasaman tanah bervariasi berkisar antara pH 2,5-11 (Al-Hawash dkk., 2018).

Kandungan air tanah di lokasi tercemar sangat rendah yaitu sebesar: 8,90 % sehingga mempengaruhi aktifitas biologi di tanah. Air adalah komponen utama dalam protoplasma bakteri, keberadaan air dalam jumlah yang sangat memadai sangat penting dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidup mikroba tanah. Air berfungsi sebagai media transport bagi nutrient yang masuk ke dalam sel. Kandungan air yang sangat rendah di tanah mengakibatkan terbentuknya zona kering sehingga aktifitas mikroba di daerah tersebut berkurang, sebaliknya terlalu banyak kandungan air tanah dapat menghambat pertukaran gas dan menghambat masuknya oksigen ke dalam tanah sehingga dapat menyebabkan terbentuknya zona an aerobic pada tanah tersebut yang berakibat berkurangnya jumlah bakteri aerob atau anaerob fakultatif yang hidup pada tanah tersebut (Eweis dkk. 1998)

Menurut Cookson (1995), bahwa kandungan air tanah merupakan variabel yang sangat penting untuk bioremediasi. Kandungan air tanah berpengaruh pada *availabilitas* kontaminan, transfer gas-gas, efektifitas tingkat toksisitas kontaminan, pertumbuhan dan distribusi mikroorganisme di tanah. Kelembaban tanah biasa diukur sebagai persentase gravimetric atau dilaporkan sebagai kapasitas lapangan (*field capacity*). Kelembaban sekitar 80% *field capacity* atau sekitar 15% air dari berat dasar merupakan kandungan air yang optimum untuk proses bioremediasi di tanah.

Berdasarkan Tabel 3.2. dapat diketahui suhu tanah rata-rata sebesar 25 °C yang masih berada dalam kisaran suhu dimana proses bioremediasi dapat berjalan dengan efektif atau masih berada pada rentang suhu pertumbuhan mikroba mesofilik. Suhu tanah berpengaruh pada pertumbuhan mikroba. Menurut Cookson (1995), bahwa suhu tanah berpengaruh terhadap laju bioremediasi. Umumnya mikroorganisme berkerja efektif dalam proses bioremediasi pada kisaran suhu antara 10⁰C sampai dengan 40⁰C (Cookson ,1995).

Berdasarkan hasil analisis karakteristik polutan dari sampel tanah tercemar , dan analisis faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses remediasi secara biologi di lokasi tercemar di dapatkan gambaran bahwa metode bioremediasi berpotensi dilakukan dilokasi tercemar / secara *insitu* dengan memanfaatkan mikroba asli / *endogenous* untuk

meremediasi tanah tercemar di lokasi pertambangan minyak rakyat Desa Wonocolo dengan pendekatan biostimulasi pemberian nutrisi dan optimasi faktor-faktor lingkungan yang mendukung proses biodegradasi.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini, beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi rata-rata *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) sebesar 124.265,75 mg/Kg atau 12 %, sudah berdampak terhadap lingkungan dan layak untuk diremediasi secara biologi.
2. Jumlah populasi bakteri pada tanah tercemar sebesar 42×10^5 CFU dapat mendukung biodegradasi senyawa hidrokarbon minyak bumi di lokasi pencemar, dan pertumbuhannya dapat ditingkatkan dengan pendekatan biostimulasi dan optimasi faktor-faktor lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan aktifitas bakteri pendegradasi
3. Analisis faktor-faktor lingkungan di lokasi pencemar dihasilkan pH tanah rata-rata sebesar 6,84 mendekati pH normal pertumbuhan bakteri mesophilic, Kandungan air sangat rendah yaitu sebesar: 8,90 % perlu ditingkatkan untuk proses bioremediasi berjalan efektif, suhu tanah rata-rata sebesar 25°C yang masih berada dalam kisaran suhu pertumbuhan mikroba mesofilik.
4. Metoda metode bioremediasi berpotensi dilakukan dilokasi tercemar / secara *insitu* memanfaatkan mikroba asli / *endogenous* dari lokasi pertambangan minyak rakyat Desa Wonocolo dengan pendekatan biostimulasi pemberian nutrisi dan optimasi faktor-faktor lingkungan yang mendukung proses biodegradasi.

4.2 Saran

Saran yang dapat Penulis berikan dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan bioavailabilitas dan karakteristik tanah dalam remediasi pada tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan kondisi optimal faktor-fator yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba dalam proses remediasi tanah .

DAFTAR PUSTAKA

- Ajona, M., & Vasanthi, P. (2021). Bio-remediation of crude oil contaminated soil using recombinant native microbial strain. *Environmental Technology and Innovation*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101635>
- Al-Hawash, A. B., Dragh, M. A., Li, S., Alhujaily, A., Abbood, H. A., Zhang, X., dan Ma, F. (2018): Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment, *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(2), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2018.06.001>
- Cabral, L., Giovanella, P., Pellizzer, E. P., Teramoto, E. H., Kiang, C. H., & Sette, L. D. (2022): Microbial communities in petroleum-contaminated sites: Structure and metabolisms. *Chemosphere*, 286(March 2021). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131752>
- Eweis, J.B. S.J. Ergas, D.P.Y. Chang, E.D. Schoroeder.(1998):Bioremediation Principles.Mc.Graw-Hill.Malaysia
- Gidudu, B., & Chirwa, E. M. N. (2020). Biosurfactants as demulsification enhancers in bio-electrokinetic remediation of petroleum contaminated soil. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.05.052>
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, Nomor 128 tahun 2003 (KEPMEN LH No. 128/2003) tentang Tatacara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis
- Madonna, S.Effendi, A. J., & Mulyono, M. (2007): Bioremediasi Tanah Terkontaminasi H, *Jurnal Biologi Lingkungan*, 1(2), 78–88.
- Patowary, R. Kaustuvmani Patowary, Mohan Chandra Kalita, Suresh Deka (2018): Application Of Biosurfactant For Enhancement Of Bioremediation, *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*, 129, 50-60.
- Polyak, Y.M. Ludmila G. Bakina, Marina V. Chugunova, Natalya V. Mayachkina, Alexander O. Gerasimov, Vladimir M. Bure (2018): Effect Of Remediation Strategies On Biological Activity Of Oil-Contaminated Soil - A Field Study, *Journal of International Biodeterioration & Biodegradation*, 126, 57-68.
- Rocha, I. M. V., Silva, K. N. O., Silva, D. R., Martínez-Huitle, C. A., & Santos, E. V. (2019). Coupling electrokinetic remediation with phytoremediation for depolluting soil with petroleum and the use of electrochemical technologies for treating the effluent generated. *Separation and Purification Technology*, 208(March), 194–200. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.012>
- Varjani, S. J. (2017a): Microbial degradation of petroleum hydrocarbons, *Bioresource Technology*, 223, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>