

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN
UNIVERSITAS BAKRIE
TAHUN 2022**

**Karakterisasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Tanah
Tercemar di Lapangan Minyak X Indonesia**

Teknik Lingkungan

SANDRA MADONNA (0318097402)



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

**LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN AKHIR PENELITIAN
TAHUN 2022**

1. Judul Penelitian : Karakterisasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Tanah Tercemar di Lapangan Minyak X Indonesia
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

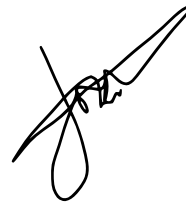
Jakarta, 21 Februari 2023

Menyetujui,
**Ketua Lembaga Penelitian dan
Pengembangan**




Deffi Ayu Puspito Sari, Ph.D
0308078203

~~Peneliti Utama~~



Sandra Madonna
0318097402

Karakterisasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Tanah Tercemar di Lapangan Minyak X Indonesia

ABSTRAK

Bioremediasi adalah teknik yang paling umum digunakan untuk remediasi tanah yang terkontaminasi minyak bumi, karena biayanya murah dan ramah lingkungan, namun bioremediasi memiliki beberapa keterbatasan diantaranya dipengaruhi oleh karakteristik polutan dan karakteristik tanah. Karakteristik tanah adalah salah satu komponen kunci dalam proses bioremediasi, selain itu bioremediasi tanah juga dapat dipengaruhi oleh komposisi dan konsentrasi pencemar seperti *Total Petroleum Hidrocarbon* (TPH) dalam tanah. Keberhasilan bioremediasi untuk diaplikasikan pada suatu lokasi perlu diiringi dengan informasi dan pengetahuan tambahan tentang karakteristik fisika, kimia, dan ekologi di lokasi tercemar. Penelitian; “Karakterisasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Pada Tanah Tercemar di Lapangan Minyak X Indonesia ”, merupakan penelitian eksperimental di laboratorium yang bertujuan; Menganalisis komposisi dan konsentrasi senyawa Hidrokarbon minyak bumi pada tanah yang tercemar, yang ke depannya dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan yang sesuai serta dapat meningkatkan efektivitas remediasi pada tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi di Indonesia. Hasil penelitian diketahui karakteristik sampel tanah didominasi oleh tanah lempung / *clay* sebesar 49,31 %. Konsentrasi *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) pada tanah tercemar sebesar 3,7 %. Komposisi dan jenis senyawa yang terkandung pada tanah terdeteksi sebanyak 47 puncak dan terdapat 36 jenis senyawa yang didominasi oleh senyawa rantai panjang dan senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang sulit terurai secara alami. Metoda bio-elektrokinetik remediasi direkomendasikan sebagai metoda yang relevan untuk tanah tercemar bersifat *clay* / tanah lempung dengan bioavailabilitas yang rendah.

Kata kunci: bioremediasi, bio-elektrokinetik remediasi, remediasi tanah, tanah clay

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN AKHIR PENELITIAN	II
ABSTRAK	III
DAFTAR ISI	IV
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 IDENTIFIKASI DAN RUMUSAN PERMASALAHAN	2
1.3 HIPOTESIS PENELITIAN	2
1.4 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.5 RUANG LINGKUP DAN PEMBatasan MASALAH.....	3
1.6 MANFAAT PENELITIAN.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. KARAKTERISTIK MINYAK MENTAH/ <i>CRUDE OIL</i>	4
2.1.2. HIDROKARBON ALIFATIK	5
2.1.3 HIDROKARBON AROMATIK	5
2.1.4. RESIN	5
2.1.5. ASPAL.....	5
2.2. REMEDIASI TANAH TERCEMAR HIDROKARBON MINYAK BUMI.....	6
2.3. <i>Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi</i>	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1. SAMPLING TANAH	9
3.2. TEKNIK PREPARASI (EKSTRAKSI SAMPEL TANAH).....	10
3.3. ANALISIS KUANTITATIF DAN KUALITATIF	10
3.4. ANALISIS DATA	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1. KARAKTERISASI TANAH.....	12
4.2. KARAKTERISASI PENCEMAR	15
4.3. PEMILIHAN METODA REMEDIASI	17
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	18
5.1 KESIMPULAN	18
5.2 SARAN	19
DAFTAR PUSTAKA	20
LAMPIRAN.....	22
LAMPIRAN 1. HASIL GRAIN SIZE ANALYSIS.....	22
LAMPIRAN 2. HASIL INDEX PROPERTIES ANALYSIS	24
LAMPIRAN 3. HASIL ATTERBERG LIMIT ANALYSIS	26
LAMPIRAN 4. HASIL EKSTRAKSI TANAH	26

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi (migas) masih memegang peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Namun dalam rangkaian kegiatan industri migas seperti eksplorasi, 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 industri migas tidak dapat dibiarkan berlarut-larut, kegiatan migas 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. Kontaminasi air dan tanah dari berbagai jenis produk minyak bumi mengakibatkan migrasi hidrokarbon menuju zona tak jenuh, oleh sebab itu toksisitas polutan ini di lingkungan menjadi perhatian utama selama beberapa dekade terakhir (Cabral dkk., 2022). 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, karakteristik lingkungan, *fate* dari minyak pada lingkungan tersebut, mekanisme biodegradasi dan faktor-faktor yang mengontrol laju biodegradasi (Varjani, 2017)

Pada penelitian ini, akan dilakukan karakterisasi tanah tercemar minyak dan karakterisasi minyak bumi dari salah satu lokasi lapangan minyak di Indonesia sebagai studi kasus. Dari hasil karakterisasi diharapkan dapat diusulkan teknologi remediasi yang tepat dalam menanggapi pencemaran tanah akibat tumpahan atau ceceran minyak bumi di Indonesia.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Permasalahan

Diperlukannya informasi karakteristik minyak bumi sebagai dasar penentuan teknologi remediasi yang sesuai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis dan konsentrasi minyak bumi pada tanah tercemar.

1.3 Hipotesis Penelitian

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

1.4 Tujuan Penelitian

Menganalisis komposisi dan konsentrasi senyawa Hidrokarbon minyak bumi pada tanah yang tercemar yang ke depannya dapat menjadi dasar penentuan teknologi pengolahan yang sesuai.

1.5 Ruang Lingkup dan Pembatasan Masalah

Penelitian ini akan dilakukan pada skala laboratorium untuk menganalisis karakteristik dan konsentrasi minyak bumi pada tanah tercemar . Data hasil karakterisasi dari sampel tanah tercemar minyak bumi kemudian dibandingkan dengan literatur dengan topik yang serupa, yaitu keberadaan senyawa minyak bumi di tanah tercemar dan teknologi bioremediasi. Pendekatan *Qualitative Data Analysis* observasional dengan meta analisis direncanakan akan digunakan untuk mendapatkan gambaran global keberadaan, sifat, dan pengolahan senyawa hidrokarbon minyak bumi yang berasal dari tanah yang tercemar di salah satu lokasi lapangan minyak di Indonesia.

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 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik Minyak Mentah/*Crude Oil*

Polutan hidrokarbon minyak bumi merupakan senyawa rekalsitran dan tergolong polutan prioritas yang bersifat persisten di alam karena reaktivitasnya yang rendah. Polutan organik persisten (POPs) ini menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Varjani, 2017) Minyak bumi adalah kelas senyawa antropogenik yang terdiri dari senyawa alkana, hidrokarbon aromatik, resin, asphaltenes dan bahan organik lainnya (Zhang dkk., 2020). Penyusun utama hidrokarbon minyak bumi terdiri dari berbagai proporsi karbon dan hidrogen, dan mengandung senyawa non hidrokarbon minyak bumi seperti nitrogen, belerang dan oksigen dalam jumlah tertentu (Varjani dkk., 2017). Minyak mentah dapat diklasifikasikan sebagai minyak ringan, sedang atau berat berdasarkan proporsi relatif dari konstituen berat molekul yang ada di dalamnya (Varjani, 2017). Komposisi minyak mentah dapat bervariasi dengan lokasi dan usia ladang minyak serta kedalaman sumur minyak. Sekitar 85% komponen dari semua jenis minyak mentah dapat diklasifikasikan sebagai (a) berbahan dasar aspal, (b) berbahan dasar parafin dan/atau (c) campuran (Varjani, 2017).

Minyak mentah dikategorikan dalam empat fraksi; (a) Saturat (alifatik), (b) Aromatik (hidrokarbon bercincin), (c) Resin dan (d) Asphaltene. Saturat didefinisikan sebagai hidrokarbon tanpa ikatan rangkap dan mewakili persentase tertinggi dari konstituen minyak mentah dan dikategorikan menurut struktur kimianya menjadi alkana (parafin) dan sikloalkana. Hidrokarbon aromatik memiliki satu atau beberapa cincin aromatik yang biasanya tersubstitusi dengan gugus alkil yang berbeda. Dibandingkan dengan fraksi jenuh dan aromatik, resin dan asphaltenes mengandung senyawa polar non-hidrokarbon. Resin dan asphaltenes memiliki struktur karbon yang sangat kompleks dan sebagian besar tidak diketahui dengan penambahan banyak atom nitrogen, sulfur dan oksigen. Setiap komponen memiliki perilaku kimia unik yang mempengaruhi biodegradabilitasnya. Struktur empat komponen utama hidrokarbon minyak mentah tersebut dimulai dengan lapisan terluar adalah senyawa alifatik, sedangkan asphaltenes sebagai komponen massa molar yang lebih besar merupakan bagian terdalam dari minyak bumi (Varjani dkk., 2017).

2.1.2. Hidrokarbon Alifatik

Hidrokarbon alifatik adalah struktur rantai terbuka jenuh atau tidak jenuh dengan rantai lurus atau bercabang seperti n-alkana, iso-alkana, siklo-alkana (naftena), terpen dan steran. n-Alkana dibagi menjadi empat kelompok berdasarkan berat molekul: (a) alkana berbentuk gas, (b) hidrokarbon alifatik dengan berat molekul lebih rendah (C8-C16), (c) hidrokarbon alifatik dengan berat molekul sedang (C17-C28), dan (d) hidrokarbon alifatik dengan berat molekul tinggi (>C28) (Varjani dkk., 2017).

2.1.3 Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon aromatik adalah molekul hidrokarbon yang mempunyai cincin secara umum dikelompokkan menjadi; (a) hidrokarbon aromatik monosiklik (MAHs) yaitu. BTEX (benzena, toluena, etilbenzena dan xilena), (b) hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH) yang mengandung lebih dari satu cincin benzena, terdiri dari dua atau tiga cincin siklik, beberapa berbentuk hexagonal dengan ikatan rangkap seperti naftalena (bercincin dua), fenantrena dan antrasena (bercincin tiga) dengan berat molekul yang rendah atau disebut juga sebagai PAH ringan. PAH yang terdiri dari empat cincin atau lebih seperti pyrene dan chrysenes (bercincin empat), fluoranthene dan benzo[a]pyrene (bercincin lima) disebut sebagai PAH dengan berat molekul tinggi atau berat (Varjani dkk., 2017).

2.1.4. Resin

Resin mengandung banyak gugus fungsi polar yang berikatan dengan N, S, O dan logam (Ni, V, Fe). Resin adalah padatan amorf dan benar-benar larut dalam minyak. Resin mengandung senyawa aromatik dengan rantai alkil yang panjang dan larut dalam n-heptana dan n-pentana, secara struktural mirip dengan molekul aktif permukaan dalam minyak mentah dan bertindak sebagai agen peptisasi (pembentukan koloid stabil dalam medium penyebaran) (Varjani dkk., 2017).

2.1.5. Aspal

Asphaltene seperti resin mengandung banyak gugus fungsi polar, berwarna coklat tua, berat molekul tinggi dan kompleks, terdispersi secara koloid dalam senyawa jenuh dan aromatik, larut dalam hidrokarbon aromatik ringan seperti benzena dan toluena.

Asphaltene terdiri dari gugus polisiklik, yang secara bervariasi tersubstitusi dengan gugus alkil, yang berkontribusi terhadap ketahanannya terhadap biodegradasi. Resin sebagai agen peptisasi menjaga asphaltenes dalam suspensi sehingga meningkatkan stabilitas minyak (Varjani dkk., 2017).

2.2. Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Minyak Bumi

Pencemaran tanah yang disebabkan oleh hidrokarbon minyak bumi telah menarik minat peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Proses biologi, fisika dan kimia dapat digunakan untuk meremediasi lingkungan dari pencemaran hidrokarbon minyak bumi. Remediasi lingkungan yang terkontaminasi oleh hidrokarbon minyak bumi dapat melibatkan beberapa metode yang dapat dilakukan di lokasi tercemar (*in situ*) atau di luar lokasi tercemar (*ex situ*) baik secara biologis, kimia, fisika-kimia, termal, listrik, elektromagnetik, akustik dan ultrasonik. Pemilihan metode remediasi yang tepat dan efektif untuk digunakan di lokasi tercemar, maka sangat penting pemahaman sifat, komposisi polutan, sumber polusi, karakteristik lingkungan tercemar, *fate*, transportasi dan distribusi polutan, mekanisme degradasi, interaksi polutan dengan mikroorganisme, faktor intrinsik dan ekstrinsik yang mempengaruhi remediasi. Lebih dari satu metode remediasi memungkinkan untuk digabungkan ke dalam rangkaian proses remediasi agar lebih efektif dalam menghilangkan atau mendegradasi bahan berbahaya beracun pada lingkungan yang tercemar (Ossai dkk., 2020).

Degradasi hidrokarbon minyak bumi adalah hasil dari efek gabungan dari transformasi kimia dan biodegradasi. Degradasi hidrokarbon minyak bumi merupakan proses kompleks yang tergantung pada sifat, komposisi, dan konsentrasi hidrokarbon pada media tercemar. Proses ini terdiri dari serangkaian langkah yang melibatkan transformasi kimia, mineralisasi kontaminan, melalui aktivitas metabolisme dan enzimatik yang dapat merubah senyawa berbahaya menjadi kurang berbahaya bahkan menjadi tidak berbahaya melalui asimilasi dalam siklus biogeokimia (Ossai dkk., 2020).

Penguraian hidrokarbon minyak bumi di lingkungan diawali secara fotolitik dengan bantuan cahaya matahari, komponen volatil akan terdesorpsi atau menguap segera setelah paparan terjadi. Selama penyerapan energi foton, komponen hidrokarbon minyak bumi

seperti senyawa aromatik sederhana benzena, toluena, etilbenzena, xilena (BTEX) dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) mencapai keadaan terfotoeksitasi yang memfasilitasi disintegrasi senyawa yang mengarah pada degradasi penyerap cahaya dalam campuran. Penguraian terjadi berdasarkan kelarutan komponen yang bervariasi berdasarkan sifat spesifik seperti ukuran molekul, struktur dan polaritas. Elektromagnetik dan energi ultrasound dapat merangsang mekanisme seperti volatilisasi, rembesan, desorpsi, aliran udara dan aktivitas mikroba (Ossai dkk., 2020).

Berbagai teknik penanganan pencemaran minyak bumi seperti; *land filling*, *incineration*, dan *chemical treatments* telah banyak diaplikasikan untuk membersihkan lingkungan yang tercemar minyak bumi, namun kekurangan dari teknik-teknik tersebut memerlukan biaya yang sangat mahal dan dapat menimbulkan risiko tambahan bagi lingkungan karena sifatnya yang beracun dan tidak dapat terurai secara biologi. Salah satu metode yang menjanjikan untuk merehabilitasi lokasi tercemar minyak adalah penggunaan teknologi bioremediasi karena bioremediasi merupakan pendekatan yang ramah lingkungan, hemat biaya dan berkelanjutan. Banyak penelitian telah dilakukan dengan melibatkan mikroorganisme untuk memulihkan lingkungan yang terkontaminasi minyak bumi (Patowary dkk., 2018). Teknik bioremediasi sangat menonjol penggunaannya diantara teknik remediasi lainnya karena polutan senyawa hidrokarbon ini dapat digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme berkontribusi signifikan terhadap stabilisasi lingkungan yang tercemar (Cabral dkk., 2022).

2.3. Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi

Bioremediasi adalah aplikasi teknologi yang dapat mempercepat proses biologi dalam mendegradasi bahan kimia berbahaya pada tanah dan air tanah, dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme tertentu seperti bakteri dan jamur untuk mendegradasi senyawa organik yang berbahaya sehingga berkurang sifat toksiknya atau merubahnya menjadi senyawa tidak berbahaya seperti karbon dioksida, metana, air, garam-garam anorganik dan biomassa. Bioremediasi telah banyak diaplikasikan untuk meremediasi lingkungan yang tercemar hidrokarbon minyak bumi oleh mikroba pendegradasi hidrokarbon minyak bumi, karena sebagian besar hidrokarbon minyak bumi relatif bersifat *biodegradable* di lingkungan (Kardena dkk., 2020; Wang dkk., 2016).

Tantangan dalam proses bioremediasi selain senyawa yang didegradasi merupakan senyawa kompleks juga mengandung senyawa *rekalsitran* yang sulit didegradasi dan bersifat toksik, sehingga menyebabkan laju degradasinya berjalan lambat. Selain itu, pengaruh lingkungan seperti pH, temperatur, dan kelembaban tanah juga sangat berperan dalam menentukan keberhasilan proses bioremediasi pada tanah terkontaminasi (Polyak dkk., 2018; Patowary dkk., 2018).

Karakteristik tanah adalah salah satu komponen kunci dalam proses bioremediasi. Tanah merupakan suatu media yang mendukung pertumbuhan tanaman dan mikroorganisme. Menurut Jasmine dan Mukherji (2015), bahwa bioremediasi tanah dapat dipengaruhi oleh komposisi dan konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dalam tanah, durasi waktu perlakuan dan ketersediaan mikroorganisme pendegradasi di tanah. Selanjutnya Gu (2020), menyatakan bahwa keberhasilan bioremediasi untuk diaplikasikan pada suatu lokasi perlu diiringi dengan pengetahuan tentang reaksi biokimia dari agen biologis di lokasi. Bioremediasi dapat digabungkan dengan teknik rekayasa serta pengelolaannya yang tepat di lokasi tercemar (Gu, 2020).

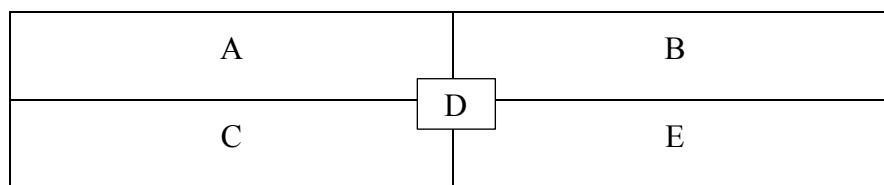
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

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

3.1. Sampling Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah yang tercemar minyak bumi dari salah satu lokasi kegiatan industri Minyak dan Gas Bumi (MIGAS) di pulau Jawa Indonesia. Perlakuan awal terhadap sampel tanah sebelum proses karakterisasi dilakukan penyaringan tanah untuk memisahkan sampel tanah dari makrofauna, 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 kosentrasi pencemar sebelum proses remediasi diketahui dengan mengukur *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*, pH tanah, kelembaban tanah, suhu tanah, jumlah populasi bakteri, dan total nitrogen di tanah.

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 3.1. 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.

3.2. 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) bertujuan untuk mengetahui tingkat degradasi berdasarkan berat minyak awal sebelum proses remediasi. Dengan cara mengekstrak ± 20 gr 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)

3.3. Analisis Kuantitatif dan Kualitatif

Analisis kuantitatif dan kualitatif dari pencemar minyak bumi dengan mengetahui komposisi minyak bumi dilakukan analisis *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) menggunakan alat GS/MS dengan prinsip metoda ekstraksi dan kromatografi.

Analisis menggunakan Kromatografi Gas (KG) dapat digunakan untuk mengetahui komposisi dan jenis senyawa yang terkandung di dalam sampel tanah sebelum proses remediasi dan untuk mengetahui perubahan komponen-komponen yang terdapat pada sampel tanah setelah proses remediasi (Prakash dkk., 2021) Kromatografi Gas (KG) yaitu suatu teknik untuk memisahkan senyawa-senyawa dengan menggunakan fase gerak berupa gas dan melalui suatu kolom sebagai fase diamnya. Pada saat minyak bumi disuntikan ke dalam K, komponen-komponen tunggal dari campuran akan bergerak melalui kolom pada tingkatan yang berbeda secara terpisah diantara fase bergerak dan fase diam. Pemisah komponen diukur oleh suatu detektor yang berperan sebagai penanda dalam kolom. (Prakash dkk., 2021)

3.4. Analisis Data

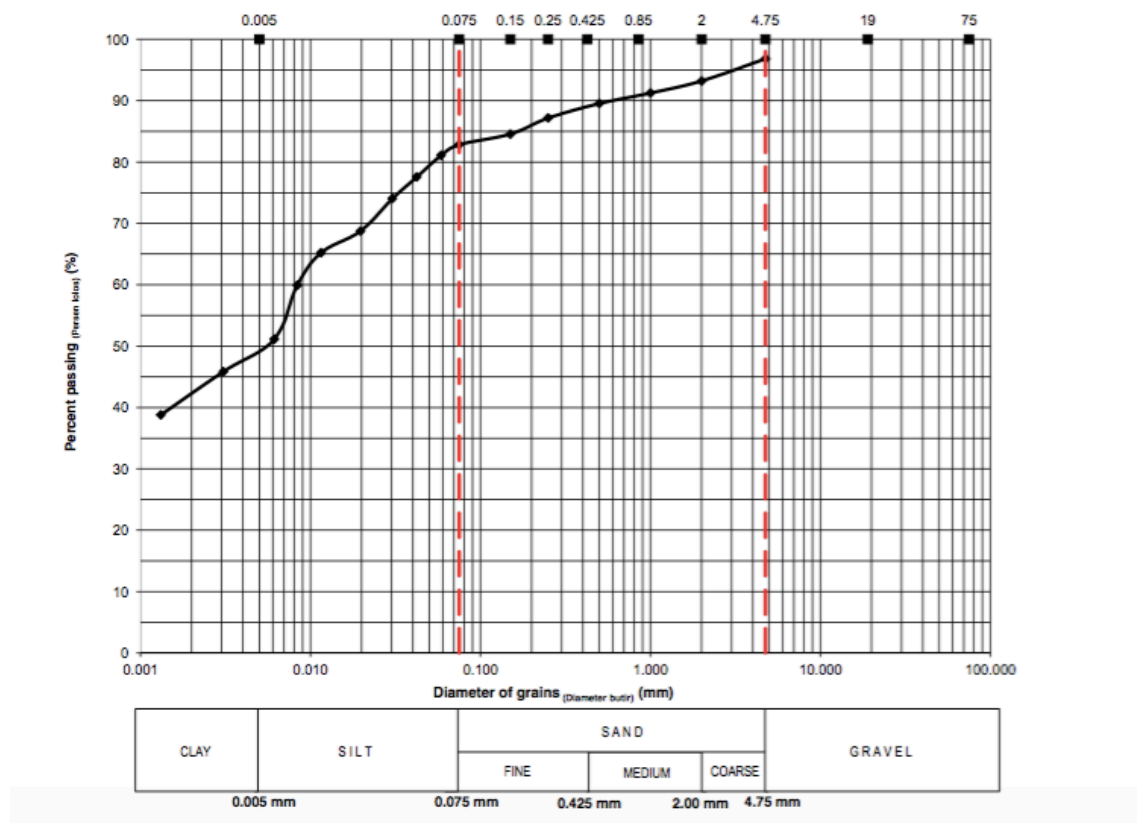
Data hasil karakterisasi dari sampel tanah tercemar minyak bumi kemudian dibandingkan dengan literatur dengan topik yang serupa, yaitu keberadaan senyawa minyak bumi di tanah tercemar dan teknologi bioremediasi. Pendekatan *Qualitative Data Analysis* observasional dengan meta analisis direncanakan akan digunakan untuk mendapatkan gambaran global keberadaan, sifat, dan pengolahan senyawa hidrokarbon minyak bumi yang berasal dari tanah yang tercemar di salah satu lokasi lapangan minyak di Indonesia.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Tanah

Untuk mengetahui karakteristik sampel tanah tercemar hidrokarbon minyak bumi yang akan diremediasi dilakukan beberapa uji karakteristik diantaranya Grain Size Analysis. Grain Size Analysis dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran atau penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Hasil Grain Size Analysis seperti yang tertera pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1. Grafik hasil Grain Size Analysis

Dari Gambar 4.1 diketahui karakteristik tanah sampel atau komposisi tanah sampel didominasi oleh tanah lempung / *clay* dengan persentase sebesar 49,31 %, kemudian diikuti oleh Silt atau lanau sebesar 33,52 %, Sand atau pasir sebesar 10,38% dan tanah gravel sebesar 6,80 % (Lampiran 1).

Kemudian karakterisasi tanah dilanjut dengan pengujian index properties tanah untuk mengetahui sifat-sifat tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (engineering properties) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang, dan permeabilitas. Hasil pengujian index properties tanah tertera pada Tabel 4.1. berikut :

Tabel 4.1. Index Properties Tanah

<i>Properties</i>	Nilai
Tipe dan warna tanah	Lempung, abu-abu
<i>Water Content (%)</i>	26,96
<i>Wet Density (t/m³)</i>	1,76
<i>Dry Density (t/m³)</i>	1,38
<i>Specifik Gravity</i>	2,40
<i>Void Ratio (e)</i>	0,73
<i>Porosity (n)</i>	0,42
<i>Saturated deg (%)</i>	88,06
Volume Udara	5,06 %
Volume Air	37,30 %
Volume Tanah	57,64 %

Berdasarkan Tabel 4.1. dapat diketahui jenis tanah yang akan diremediasi berjenis lempung berwarna abu-abu. Komposisi penyusun tanah beserta sifat fisik mekanik dari sampel tanah yang akan diremediasi lebih rinci tertera pada Lampiran 2.

Kemudian karakterisasi tanah dilanjut dengan Uji Atterberg Limit untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus (lanau atau lempung) dengan memberikan kadar air yang berbeda pada masing – masing sampel tanah. Atterberg Limit adalah batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan air tanah. Batas batas tersebut adalah: Batas cair (liquid limit) Transisi dari plastis ke cair, yaitu kadar air dimana tanah akan mengalir akibat berat sendiri. Hasil pengujian Atterberg Limit tertera pada Tabel 4.2. berikut :

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Atterberg Limit

Uji	Nilai
<i>Liquid limit</i> (batas cair)	52.30
<i>Plastic limit</i> (batas plastis)	22.71
<i>Plasticity index</i> (indeks plastis)	29.60
<i>Soil type (Cassagrande)</i> (klasifikasi Tanah)	CH or OH

Dari Tabel 4.2. dapat diketahui sampel tanah mempunyai *Liquid limit* atau batas cair bernilai 52,30, dan batas plastis atau *Plastic limit* sebesar 22,71 dan *Plasticity index / indeks plasti* sebesar 29,60 (Lampiran 3). Berdasarkan uji karakterisasi tanah disimpulkan karakter tanah yang akan diremediasi berjenis lempung.

Karakteristik tanah lempung diantaranya mempunyai butiran halus dan sulit untuk menyerap air sehingga ini menjadi faktor pembatas untuk pertumbuhan mikroba dalam bioremediasi tanah. Kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap 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 kelembaban 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 karakteristik sampel tanah tercemar yang didominasi oleh *clay* / tanah lempung dengan persentase sebesar 49,31 % yang sulit untuk dilakukan bioremediasi karena bioavailabilitas yang rendah pada tanah lempung maka untuk meningkatkan bioavailabilitas kontaminan pada tanah lempung dapat ditingkatkan dengan menggunakan kombinasi teknologi remediasi menggunakan mikroba dan teknologi lainnya seperti teknologi remediasi elektrokinetik, teknologi remediasi fotokatalitik, nanoteknologi dan teknologi bioreaktor yang merupakan strategi efektif untuk mempercepat remediasi hidrokarbon minyak bumi (Xu dkk., 2018).

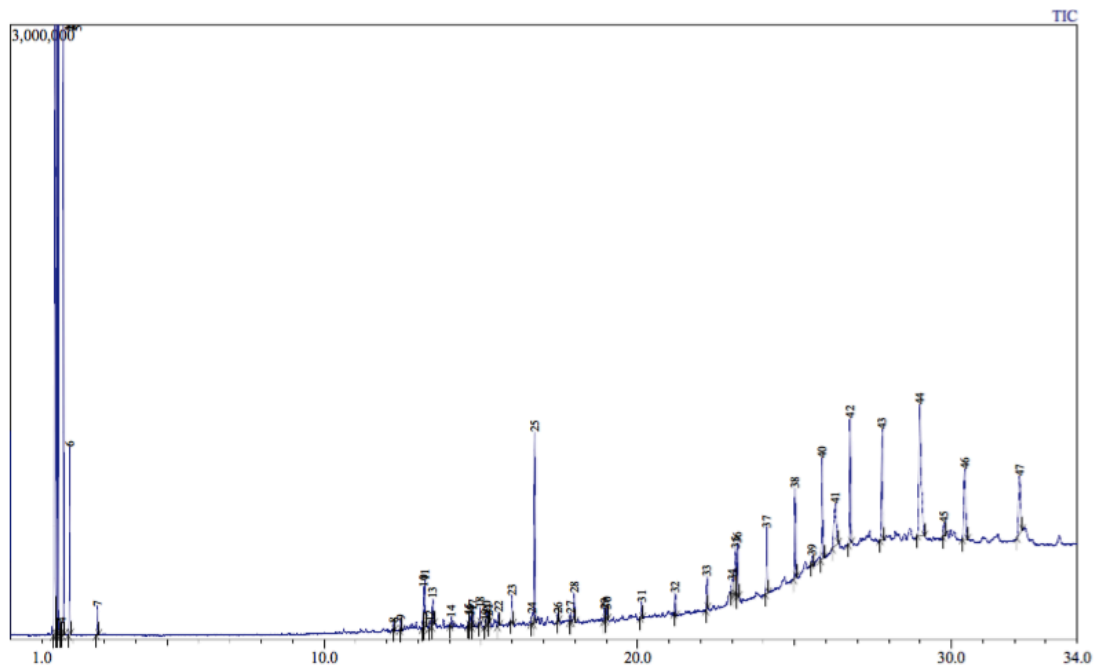
Penggabungan teknik remediasi yaitu elektrokinetik remediasi dan bioremediasi atau Bio-elektrokinetik remediasi merupakan metode yang paling relevan untuk remediasi tanah dan melindungi sumber daya alam di Indonesia dari kontaminasi minyak bumi pada tanah liat. Menurut Saini dkk. (2020) bahwa teknik elektrokinetik dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan bioremediasi tanah lempung. Peningkatan proses elektrokinetik dan bioremediasi dapat dilakukan dengan memberikan nutrisi, akseptor elektron dan donor elektron yang dapat meningkatkan bioavailabilitas polutan untuk mikroorganisme pendegradasi (Saini dkk., 2020)

4.2. Karakterisasi Pencemar

Untuk mengetahui karakteristik dan komposisi pencemar minyak bumi dilakukan analisis kuantitatif dan kualitatif dari pencemar minyak bumi dengan menganalisis *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) menggunakan alat GS/MS dengan prinsip metoda ekstraksi dan kromatografi. Dalam penelitian ini analisis kromatografi gas (KG) digunakan untuk mengetahui komposisi dan jenis senyawa yang terkandung di dalam sampel tanah sebelum proses remediasi. Sebelum dilakukan analisis kromatografi sampel tanah dilakukan ekstraksi secara gravimetri. Hasil ekstraksi tanah secara gravimetri diperoleh 3,7 % TPH terdapat di sampel tanah (Lampiran 4). Kandungan TPH sampel tanah tersebut sebesar 3,7 % TPH 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 $\mu\text{g}/\text{gr}$ atau setara dengan 10.000 mg/Kg atau 1% (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, 2003)

Hasil analisis kromatografi gas (KG) dari sampel tanah terkontaminasi tertera pada Gambar 4.2 berikut :



Gambar 4.2. Grafik hasil analisis kromatografi gas

Berdasarkan Gambar 4.2 diketahui komposisi dan jenis senyawa yang terkandung di dalam sampel tanah sebelum proses remediasi terdeteksi sebanyak 47 puncak/*peak* pada hasil injeksi ekstrak TPH menggunakan alat GC-MS *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* untuk hasil selengkapnya tertera pada Lampiran 5. Terdapat 36 jenis senyawa hidrokarbon pada sampel tanah terkontaminasi hidrokarbon minyak bumi dengan 47 *peak* yang muncul. Senyawa-senyawa organik tersebut didominasi oleh senyawa rantai panjang dan senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang sulit terurai secara alami, demikian rekayasa teknologi bioremediasi sangat diperlukan

dalam meremediasi sampel tanah yang terkontaminasi minyak bumi yang telah berlangsung dalam kurun waktu yang lama.

4.3. Pemilihan Metoda Remediasi

Berdasarkan hasil karakterisasi tanah dan karakterisasi pencemar maka dapat direkomendasikan penggabungan teknik bioremediasi dengan elektrokinetik remediasi merupakan teknologi yang tepat untuk meremediasi tanah yang bersifat lempung. Menurut Cabral dkk.(2022), bahwa pemanfaatan teknologi elektrokinetik secara tersendiri atau dengan kombinasi teknologi lain dalam remediasi telah menarik perhatian para peneliti pada beberapa tahun terakhir, khususnya untuk meremediasi tanah yang terkontaminasi senyawa organik dan logam berat, karena aplikasinya yang spesifik untuk dioperasikan dalam matriks yang halus dan permeabilitas rendah (Cabral dkk., 2022).

Ektrokinetik remediasi pada tanah terkontaminasi merupakan teknologi yang sangat direkomendasikan untuk meremediasi secara *in-situ* pada tanah dengan permeabilitas rendah dengan nilai konduktivitas hidrolis rendah. Remediasi dengan teknik ektrokinetik remediasi dilakukan dengan mengalirkan arus listrik secara langsung melintasi elektroda yang ditempatkan pada tanah yang tercemar. Medan listrik yang timbul menyebabkan mekanisme transpor yang berbeda pada polutan, seperti elektromigrasi (pergerakan ion ke elektroda yang berlawanan), elektroforesis (pergerakan partikel bermuatan, termasuk mikroorganisme ke elektroda yang berlawanan), dan elektro-osmosis (pergerakan air ke elektroda yang berlawanan pada katoda yang disebabkan oleh fenomena bermuatan superfisial). Selain itu, terjadi reaksi elektrokimia yang berbeda, seperti elektrolisis dan elektrodeposisi, sehingga dapat diketahui bahwa proses remediasi yang terjadi merupakan hasil dari serangkaian fenomena transpor massa dan reaksi elektrokimia yang kompleks. Penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa remediasi menggunakan teknik Ektrokinetik remediasi telah berhasil dan menghemat biaya dalam menghilangkan berbagai jenis kontaminan di tanah dengan permeabilitas rendah (Cabral dkk., 2022: Mena dkk., 2016).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Karakteristik tanah sampel atau komposisi tanah sampel didominasi oleh tanah lempung / *clay* dengan persentase sebesar 49,31 %, kemudian diikuti oleh *Silt* atau lanau sebesar 33,52 %, *Sand* atau pasir sebesar 10,38% dan tanah gravel sebesar 6,80%
2. Sampel tanah mempunyai *Liquid limit* atau batas cair bernilai 52,30, dan batas plastis atau *Plastic limit* sebesar 22,71 dan *Plasticity index / indeks plasti* sebesar 29,60. Berdasarkan uji karakterisasi tanah disimpulkan karakter tanah yang akan diremediasi berjenis lempung.
3. Konsentrasi *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) pada tanah tercemar sebesar 3,7 % Konsentrasi TPH sampel tanah tersebut sebesar 3,7 % TPH sudah berdampak terhadap lingkungan.
4. Komposisi dan jenis senyawa yang terkandung di dalam sampel tanah erdeteksi sebanyak 47 puncak/*peak* pada hasil injeksi ekstrak TPH menggunakan alat GC-MS *Gas Chromatography–Mass Spectrometry*. Terdapat 36 jenis senyawa yang didominasi oleh senyawa rantai panjang dan senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang sulit terurai secara alami.
5. Metoda remediasi yang relevan untuk tanah tercemar yang didominasi oleh *clay* / tanah lempung dengan bioavailabilitas yang rendah adalah dengan menggunakan penggabungan teknologi remediasi menggunakan mikroba / bioremediasi dan teknologi lainnya seperti elektrokinetik remediasi yang dikenal dengan bio-elektrokinetik remediasi.

5.2 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 pertumbuhan mikroba dalam proses remediasi tanah menggunakan metoda bio-elektrokinetik remediasi.

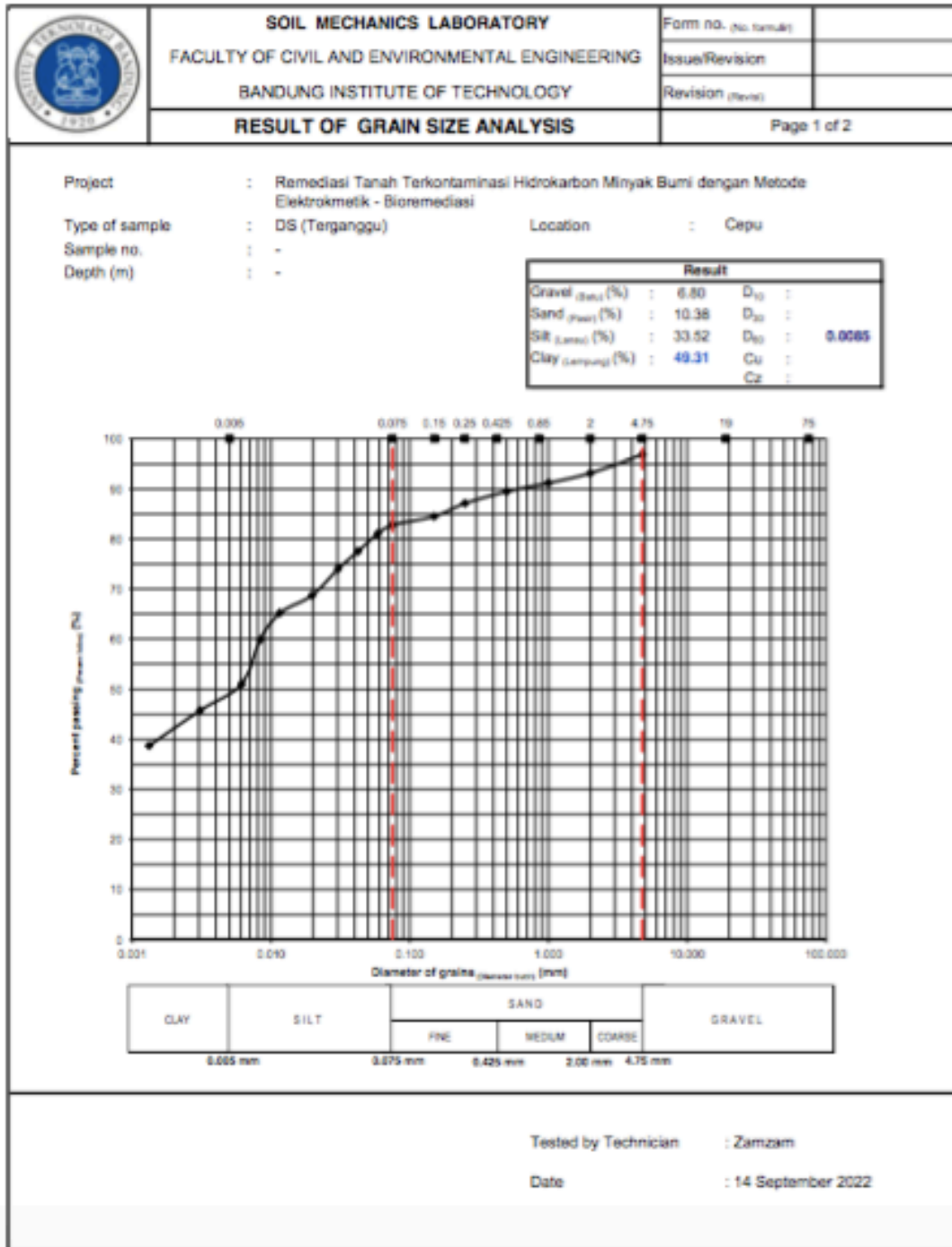
DAFTAR PUSTAKA


- 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>
- 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>
- 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>
- Gu, J. D. (2020): On environmental biotechnology of bioremediation, *Applied Environmental Biotechnology*, 5(2), 3–8. <https://doi.org/10.26789/AEB.2020.02.002>
- Kardena, E., Panha, Y., Helmy, Q., dan Hidayat, S. (2020): Application of mercury resistant bacteria isolated from artisanal small-scale gold tailings in biotransformation of mercury (II)-Contaminated soil, *International Journal of GEOMATE*, 19(71), 106–114. <https://doi.org/10.21660/2020.71.68786>
- 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.
- Mena, E., Villaseñor, J., Rodrigo, M. A., dan Cañizares, P. (2016): Electrokinetic remediation of soil polluted with insoluble organics using biological permeable reactive barriers: Effect of periodic polarity reversal and voltage gradient, *Chemical Engineering Journal*, 299, 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.049>
- Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A., dan Hamid, F. S. (2020): Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review, *Environmental Technology and Innovation*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- Prakash, A. A., Prabhu, N. S., Rajasekar, A., Parthipan, P., AlSalhi, M. S., Devanesan, S., & Govarthanam, M. (2021). Bio-electrokinetic remediation of crude oil contaminated soil enhanced by bacterial biosurfactant. *Journal of Hazardous Materials*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124061>
- 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.
- Ramadan, B. S., Sari, G. L., Rosmalina, R. T., Effendi, A. J., and Hadrah (2018): An overview of electrokinetic soil flushing and its effect on bioremediation of hydrocarbon contaminated soil, *Journal of Environmental Management*, 218, 309–321. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.06>

- 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>
- Saini, A., Bekele, D. N., Chadalavada, S., Fang, C., dan Naidu, R. (2020): A review of electrokinetically enhanced bioremediation technologies for PHs, *Journal of Environmental Sciences (China)*, **88**, 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.010>
- Varjani, S. J. (2017a): Microbial degradation of petroleum hydrocarbons, *Bioresource Technology*, **223**, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
- Wang, S. Y., Kuo, Y. C., Hong, A., Chang, Y. M., dan Kao, C. M. (2016): Bioremediation of diesel and lubricant oil-contaminated soils using enhanced landfarming system, *Chemosphere*, **164**, 558–567. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.128>
- Xu, X., Liu, W., Tian, S., Wang, W., Qi, Q., Jiang, P., Gao, X., Li, F., Li, H., dan Yu, H. (2018): Petroleum Hydrocarbon-Degrading Bacteria for the Remediation of Oil Pollution Under Aerobic Conditions: A Perspective Analysis, *Frontiers in Microbiology*, **9**(December), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885>


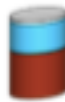
LAMPIRAN


Lampiran 1. Hasil Grain Size Analysis




	SOIL MECHANICS LABORATORY FACULTY OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Form no. (no formulir)																																																																																																											
		Issue/Revision																																																																																																											
		Revision (revisi)																																																																																																											
RESULT OF GRAIN SIZE ANALYSIS		Page 2 of 2																																																																																																											
<p>Project : Remediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon Minyak Bumi dengan Metode Elektroknetik - Bioremediasi</p> <p>Type of sample : DS (Tegap) Location : Cepu</p> <p>Sample no : -</p> <p>Depth (m) : - Date</p> <p>Weight of soil : 500 gr Sample Accepted : 05 September 2022</p> <p>Sample Tested : September 2022</p> <p>Test Finished : 14 September 2022</p>																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sieve no. (No. Ayakan)</th> <th>Diameter (mm)</th> <th>Mass Retained (gr)</th> <th>Percent Retained (%)</th> <th>Percent Cumulative Retained (%)</th> <th>Percent Passing (%)</th> <th>Remarks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>4.75</td> <td>15.90</td> <td>3.18</td> <td>3.18</td> <td>96.82</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>2.50</td> <td>18.09</td> <td>3.62</td> <td>6.80</td> <td>93.20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>1.00</td> <td>9.83</td> <td>1.97</td> <td>8.76</td> <td>91.24</td> <td></td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>0.50</td> <td>8.56</td> <td>1.71</td> <td>10.48</td> <td>89.52</td> <td></td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0.25</td> <td>11.82</td> <td>2.36</td> <td>12.84</td> <td>87.16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.15</td> <td>13.05</td> <td>2.61</td> <td>15.45</td> <td>84.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.08</td> <td>8.62</td> <td>1.72</td> <td>17.17</td> <td>82.83</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">PAN (%)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2" style="text-align: center;">82.83</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Sieve no. (No. Ayakan)	Diameter (mm)	Mass Retained (gr)	Percent Retained (%)	Percent Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)	Remarks	4	4.75	15.90	3.18	3.18	96.82		10	2.50	18.09	3.62	6.80	93.20		18	1.00	9.83	1.97	8.76	91.24		35	0.50	8.56	1.71	10.48	89.52		60	0.25	11.82	2.36	12.84	87.16		100	0.15	13.05	2.61	15.45	84.55		200	0.08	8.62	1.72	17.17	82.83		PAN (%)				82.83																																										
Sieve no. (No. Ayakan)	Diameter (mm)	Mass Retained (gr)	Percent Retained (%)	Percent Cumulative Retained (%)	Percent Passing (%)	Remarks																																																																																																							
4	4.75	15.90	3.18	3.18	96.82																																																																																																								
10	2.50	18.09	3.62	6.80	93.20																																																																																																								
18	1.00	9.83	1.97	8.76	91.24																																																																																																								
35	0.50	8.56	1.71	10.48	89.52																																																																																																								
60	0.25	11.82	2.36	12.84	87.16																																																																																																								
100	0.15	13.05	2.61	15.45	84.55																																																																																																								
200	0.08	8.62	1.72	17.17	82.83																																																																																																								
PAN (%)				82.83																																																																																																									
RESULT OF HYDROMETER ANALYSIS																																																																																																													
<p>A : 1.054 (lihat tabel) Specific gravity (berat jenis) (G_s) : 2.4004</p> <p>k : 0.014 (lihat tabel) Percent Passing No.200 : 82.83 %</p> <p>Berat tanah untuk hidrometer : 50 gr</p>																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elapsed time (minute)</th> <th>R 1000 (r-1)</th> <th>Ra 1000 (Ra-1)</th> <th>Temp. T °C</th> <th>R-Ra</th> <th>Zr</th> <th>$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$</th> <th>D (mm)</th> <th>N (%)</th> <th>N' (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.5</td> <td>44</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>46.00</td> <td>8.80</td> <td>4.195</td> <td>0.0567</td> <td>97.89</td> <td>81.08</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>42</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>44.00</td> <td>9.10</td> <td>3.017</td> <td>0.0422</td> <td>93.63</td> <td>77.55</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>40</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>42.00</td> <td>9.40</td> <td>2.168</td> <td>0.0304</td> <td>89.38</td> <td>74.03</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>37</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>39.00</td> <td>9.90</td> <td>1.407</td> <td>0.0197</td> <td>82.99</td> <td>68.74</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>35</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>37.00</td> <td>10.20</td> <td>0.625</td> <td>0.0115</td> <td>78.74</td> <td>65.21</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>32</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>34.00</td> <td>10.70</td> <td>0.597</td> <td>0.0084</td> <td>72.35</td> <td>59.93</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>27</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>29.00</td> <td>11.50</td> <td>0.438</td> <td>0.0061</td> <td>61.71</td> <td>51.11</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>24</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>26.00</td> <td>12.00</td> <td>0.219</td> <td>0.0031</td> <td>55.33</td> <td>45.83</td> </tr> <tr> <td>1440</td> <td>20</td> <td>-2</td> <td>25</td> <td>22.00</td> <td>12.70</td> <td>0.094</td> <td>0.0013</td> <td>46.82</td> <td>38.78</td> </tr> </tbody> </table>										Elapsed time (minute)	R 1000 (r-1)	Ra 1000 (Ra-1)	Temp. T °C	R-Ra	Zr	$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$	D (mm)	N (%)	N' (%)	0.5	44	-2	25	46.00	8.80	4.195	0.0567	97.89	81.08	1	42	-2	25	44.00	9.10	3.017	0.0422	93.63	77.55	2	40	-2	25	42.00	9.40	2.168	0.0304	89.38	74.03	5	37	-2	25	39.00	9.90	1.407	0.0197	82.99	68.74	15	35	-2	25	37.00	10.20	0.625	0.0115	78.74	65.21	30	32	-2	25	34.00	10.70	0.597	0.0084	72.35	59.93	60	27	-2	25	29.00	11.50	0.438	0.0061	61.71	51.11	250	24	-2	25	26.00	12.00	0.219	0.0031	55.33	45.83	1440	20	-2	25	22.00	12.70	0.094	0.0013	46.82	38.78
Elapsed time (minute)	R 1000 (r-1)	Ra 1000 (Ra-1)	Temp. T °C	R-Ra	Zr	$\sqrt{\frac{Zr}{t}}$	D (mm)	N (%)	N' (%)																																																																																																				
0.5	44	-2	25	46.00	8.80	4.195	0.0567	97.89	81.08																																																																																																				
1	42	-2	25	44.00	9.10	3.017	0.0422	93.63	77.55																																																																																																				
2	40	-2	25	42.00	9.40	2.168	0.0304	89.38	74.03																																																																																																				
5	37	-2	25	39.00	9.90	1.407	0.0197	82.99	68.74																																																																																																				
15	35	-2	25	37.00	10.20	0.625	0.0115	78.74	65.21																																																																																																				
30	32	-2	25	34.00	10.70	0.597	0.0084	72.35	59.93																																																																																																				
60	27	-2	25	29.00	11.50	0.438	0.0061	61.71	51.11																																																																																																				
250	24	-2	25	26.00	12.00	0.219	0.0031	55.33	45.83																																																																																																				
1440	20	-2	25	22.00	12.70	0.094	0.0013	46.82	38.78																																																																																																				
Tested by Technician : Zamzam																																																																																																													
Date : 14 September 2022																																																																																																													

Lampiran 2. Hasil Index Properties Analysis

	SOIL MECHANICS LABORATORY FACULTY OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Form No. (as format)	
		Status/Revisi (as format)	
		Revisi (as format)	
INDEX PROPERTIES		Page 2 of 2	
Project : Remediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon Minyak Bumi dengan Metode Elektroknetik - Bioremediasi Type of sample : DS (Tanggapgu) Sample no. : - Depth (m) : -	Location : Cegug Date : Sample Accepted : 05 September 2022 Sample Tested : September 2022 Test Finished : 13 September 2022		
RESUME Water Content (%) = 26.96 Wet Density (t/m ³) = 1.78 Dry Density (t/m ³) = 1.38 Specific Gravity = 2.43 Void Ratio (e) = 0.73 Porosity (n) = 0.42 Saturated deg (%) = 88.06		Type of soil : lempung Color : abu	Volume Udara = 5.96 % Volume Air = 37.30 % Volume Tanah = 57.04 %
Tested by Technician : Sahuri Date : 13 September 2022			
Project : Type of sample : Sample no. : Depth (m) :	Location : Date : Sample Accepted : Sample Tested : Test Finished :		
RESUME Water Content (%) = Wet Density (t/m ³) = Dry Density (t/m ³) = Specific Gravity = Void Ratio (e) = Porosity (n) = Saturated deg (%) =		Type of soil : Color :	Volume Udara = % Volume Air = % Volume Tanah = %
Tested by Technician : Date :			

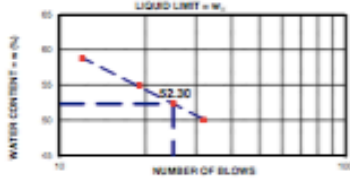
	SOIL MECHANICS LABORATORY	Form No. <i>(see format)</i>	
	FACULTY OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING	Issue/Revision <i>(see format)</i>	
	BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Revision <i>(see format)</i>	
INDEX PROPERTIES		Page 1 of 2	
<p>Project : Remediasi Tanah Terkontaminasi Hidrokarbon Minyak Bumi dengan Metode Elektroknetik - Biotremediasi</p> <p>Type of sample : DS <i>(see page)</i></p> <p>Location : Cempu</p> <p>Date : Sample Accepted : 05 September 2022 Sample Tested : September 2022 Test Finished : 13 September 2022</p>			
Sample No. -			
Depth		m	-
Container No.			
Weight of container + wet soil	w_1	gr	57.13
Weight of container + dry soil	w_2	gr	48.52
Weight of water	$w_3 = w_1 - w_2$	gr	10.61
Weight of container	w_4	gr	3.98
Weight of dry soil	$w_5 = w_2 - w_4$	gr	44.54
Water content	$(w_3 / w_5) \times 100 \%$	%	23.82
Average Water Content		%	23.90
Sample No. -			
Depth		m	-
Ring No.			
Weight of Ring + Wet Soil	w_1	gr	85.63
Weight of ring	w_2	gr	33.62
Weight of Wet Soil	$w_3 = w_1 - w_2$	gr	52.01
Volume of Ring	v	cm ³	23.91
Unit Weight	$\gamma = w_3 / v$	gr/cm ³	1.74
Average Unit Weight		gr/cm³	1.76
Sample No. -			
Depth		m	-
Pycnometer No.			
Temperature		°C	25
Weight of pycno + sample	w_1	gr	74.70
Weight of pycnometer	w_2	gr	52.76
Weight of sample	$w_3 = w_1 - w_2$	gr	21.94
Weight of pycnometer + water	w_4	gr	103.00
Weight of pyc + sample + water	w_5	gr	105.80
Volume of Sample	$v = [w_4 - (w_2 - w_3)] / \rho_w$	cm ³	9.14
Specific Gravity		$G_s = w_3 / v$	2.40
<p>Tested by Technician : Sahuri</p> <p>Date : 13 September 2022</p>			

Lampiran 3. Hasil Atterberg Limit Analysis

	SOIL MECHANICS LABORATORY FACULTY OF CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING BANDUNG INSTITUTE OF TECHNOLOGY	Form No. (No. Formulir)	
		Issue (Dibutuhkan)	
		Revision (Revisi)	
ATTERBERG LIMIT (LIQUID LIMIT AND PLASTIC LIMIT)		Page 1 of 1	

Project : Remediasi Tanah Tokomankesi Hironkaton Minyak Bumi dengan Metode Elektroknetik - Bioremediasi Type of sample : DS No. of sample : - Depth (m) : -	Location : Cepu Date : Sample Accepted : 05 September 2022 Sample Tested : September 2022 Test Finished : 15 September 2022
--	---

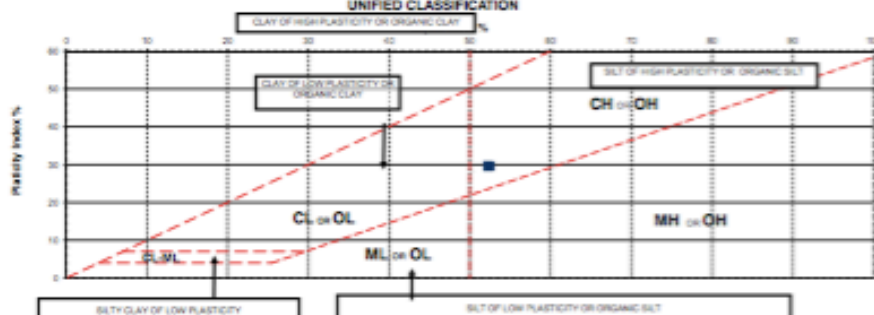
Jenis Test	Liquid Limit <small>(State Clay)</small>				Plastic Limit <small>(State Plastic)</small>	
	(no. uji)					
Test Number						
Container Number	(no. cawan)					
Number of blows	(Jumlah ketukan)	12	19	25	32	-
Weight of container + wet soil = W_1	(gr)	35.74	34.53	35.42	33.30	12.04
Weight of container + dry soil = W_2	(gr)	23.48	23.42	24.08	23.00	10.25
Weight of water = $W_1 - W_2 = W_w$	(gr)	12.26	11.11	11.34	10.30	1.79
Weight of container = W_c	(gr)	2.81	3.18	2.42	2.40	3.32
Weight of dry soil = $W_2 - W_c = W_s$	(gr)	20.67	20.24	21.66	20.60	7.93
Water content = $W_w / W_s \times 100 = w$	(%)	59.74	54.89	52.35	50.00	22.57
Average <small>(rata-rata)</small>					22.71	



LIQUID LIMIT = w_L

RESUME	
Liquid Limit <small>(State Clay) = w_L</small>	52.30
Plastic Limit <small>(State Plastic) = w_p</small>	22.71
Plasticity Index <small>(State Plastic) = $I_p = w_L - w_p$</small>	29.60
Soil Type (Cassagrande) <small>(Klasifikasi Tanah)</small>	CH or OH

UNIFIED CLASSIFICATION



Tested by Technician : Zamzam	Date : 15 September 2022
-------------------------------	--------------------------

Lampiran 4. Hasil Ekstraksi Tanah

KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI
BALAI BESAR PENGUJIAN MINYAK DAN GAS BUMI
LEMIGAS
JL. CILEDUG RAYA KAV. 109, CIPULIR, KEBAYORAN LAMA, JAKARTA SELATAN, 12230 INDONESIA
Telepon : 62-21-7246167 Faksimili: 62-21-7246150 e-mail: pit.lemigas@mdm.go.id

LAPORAN HASIL UJI LABORATORIUM
REPORT OF LABORATORY TEST RESULT

No. Order/ Order Number : 202201480 Satuan Kerja/Unit : DPMP
Nomor PK/Work Order Number : 202201480/PK/7 21X/2022 Kelompok/Group : Teknologi Lingkungan,
Kimia, dan Bioteknologi.

DISIAPKAN UNTUK PELANGGAN/PREPARED FOR CUSTOMER:

Nama/Name : **Sandra Madona, S.Si., M.T.**
Alamat/Address : Komplek Lemigas B-5 Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, DKI Jakarta.
Nomor Telepon/Phone No(s). : -
Nomor Facsimile/Fax. No(s). : -
Nomor Surat Permintaan/No. of service/Work Order Letter : No. 534/IT1.C06.4.II/TA.04/2022.
Tanggal Permintaan/Date of Order : 24 Oktober 2022.

IDENTIFIKASI LAPORAN HASIL UJI/REPORT IDENTIFICATION:

Lokasi Pengujian/Place Of Testing : Laboratorium Uji Komposisi Minyak Bumi dan Produknya
Nomor Laporan (LHU)/Report Number : LHU/5.07.02.4.99/202201314.
Disiapkan oleh/Prepared by : Pasunit Administrasi U & P/ Manajer Administrasi
Disahkan oleh/Authorized by : Kelompok Teknologi Lingkungan, Kimia, dan Bioteknologi.
Tanggal Penerbitan/Date of Issued : 26 Oktober 2022.

DATA PERCONTOH/SAMPLE DATA:

Nomor/Number : 446/22.
Jenis/Type : Tanah
Identifikasi/Identification : Terlampir di halaman 2 dari 2.
Jumlah/Quantity (volume) : 1 (satu).
Tanggal Sampling/Sampling Date : -
PPC/Sampler : -
Metode Sampling/Sampling Method : -
Tanggal Diterima/Received Date : 24 Oktober 2022.
Tanggal Analisis/Date of Analysis : 24 Oktober 2022 s.d 26 Oktober 2022.
Jenis Pengujian/Test Type : Terlampir di halaman 2 dari 2.
Metode Uji/Test Method : Terlampir di halaman 2 dari 2.

LAPORAN HASIL UJI selengkapnya disajikan pada halaman berikut:
The detailed report of the laboratory testing result is presented on the following pages.

Disahkan Oleh/Authorized by
Ketua Kelompok Teknologi Lingkungan,
Kimia, dan Bioteknologi


(Muh Kurniawan)
Tanggal/Date : 26 Oktober 2022.


Disahkan Oleh/Notice by
Kepala,
Katiana Soemanto, S.T. M.T.
Tanggal/Date : _____

Semua rekaman, data, laporan, dan informasi lainnya yang dilakukan pada analisis laboratorium akan dijaga kerahasiannya. Menggandakan sebagian atau keseluruhan laporan hanya bisa dilakukan dengan ijin tertulis dari perusahaan.
All records, data, reports, and other information conducted in the laboratory analysis shall be treated as confidential. Copy of part or hole of the report.

Hasil pengujian hanya berlaku untuk percontohan yang diterima, dan bukan untuk kepentingan iklan maupun promosi
This Result valid only for sample received, and not for promotion or publication

No. Formulir	:	F.8.00K.04-A
No. Revisi	:	V.1
Halaman	:	1 dari 2

H A S I L TEST RESULT

Nomor Seri
Serial Number

: LHU/5.07.02.4.99/202201480

Nomor Contoh/
Sample Number : 466/22

Halaman : 2/2
Page

Identitas	Penetapan	Hasil	Satuan	Metoda
Tanah 446/22	TPH	3,70	%	Gravimetri

Ketua Kelompok Teknologi Lingkungan,
Kimia, dan Bioteknologi



Muh Kurniawan
NIP 19770621 200502 1 001

Personil Laboratorium LEMGAS akan memberikan pelayanan yang terbaik untuk melaksanakan analisis. Kerahasiaan hasil ini terjamin.
Laporan ini hanya berdasarkan sampel yang diuji dan tidak untuk dipertentakan.
*LEMGAS Laboratories personnel will exert its best effort to conduct the analysis. The result obtained are hold in strict confidence.
This report relates only to the sample tested and may not be used for advertising purpose.*

Lampiran 5. Hasil Analisis GC-MS

Peak Report TIC

Peak	R.Time	Area	Area%	Height	A/H	Name
1	1.414	7650405	13.80	5012241	1.53	Pentane, 2-methyl- (CAS) 2-Methylpentane
2	1.466	6369349	11.49	4359420	1.46	Pentane, 3-methyl- (CAS) 3-Methylpentane
3	1.524	11660215	21.03	7010485	1.66	Hexane (CAS) n-Hexane
4	1.635	74683	0.13	58566	1.28	Pentane, 2,2-dimethyl- (CAS) 2,2-Dimethylpentane
5	1.686	7860678	14.18	4915379	1.60	Cyclopentane, methyl- (CAS) Methylcyclopentane
6	1.892	1207341	2.18	914805	1.32	Cyclohexane (CAS) Hexanaphthene
7	2.779	196246	0.35	140688	1.39	Benzene, methyl- (CAS) Toluene
8	12.224	54464	0.10	34577	1.58	Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- (CAS) Phytane
9	12.445	92966	0.17	51200	1.82	1H-Indene, octahydro-2,2,4,4,7,7-hexamethyl-, trans- (CAS) BIC
10	13.171	421341	0.76	201341	2.09	amorphane-A
11	13.218	452366	0.82	227068	1.99	Naphthalene, 1,7-dimethyl- (CAS) 1,7-Dimethylnaphthalene
12	13.375	65027	0.12	26911	2.42	HEPTANE, 6-METHYL-2-P-TOLYL-

Peak	R.Time	Area	Area%	Height	A/H	Name
13	13.465	261565	0.47	130723	2.00	Octadecane (CAS) n-Octadecane
14	14.051	77382	0.14	46357	1.67	1H-Indene, 5-butyl-6-hexyloctahydro- (CAS) 3-N-BUTYL-4-N-
15	14.619	102825	0.19	52051	1.98	1S,CIS-CALAMENENE
16	14.666	85271	0.15	50153	1.70	3-(2-METHYL-PROPENYL)-1H-INDENE
17	14.744	141227	0.25	78698	1.79	3-(2-METHYL-PROPENYL)-1H-INDENE
18	14.973	121019	0.22	76552	1.58	Naphthalene, 1,6,7-trimethyl- (CAS) 2,3,5-Trimethylnaphthalene
19	15.145	59753	0.11	27251	2.19	1H-Indene, 5-decyloctahydro- (CAS) Bicyclo[4.3.0]nonane, 3-di
20	15.185	157169	0.28	61558	2.55	Naphthalene, 1,4,6-trimethyl- (CAS) 1,4,6-Trimethylnaphthalene
21	15.249	47776	0.09	36998	1.29	Naphthalene, 1,4,6-trimethyl- (CAS) 1,4,6-Trimethylnaphthalene
22	15.563	119317	0.22	66313	1.80	Naphthalene, 1,4,6-trimethyl- (CAS) 1,4,6-Trimethylnaphthalene
23	15.990	272915	0.49	132466	2.06	PENTADECANE, 2,6,10-TRIMETHYL-
24	16.640	159021	0.29	49200	3.23	Undecane, 5-ethyl-5-propyl- (CAS) 5-ETHYL-5-N-PROPYLUN
25	16.712	2001257	3.61	931994	2.15	Pentadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- (CAS) Pristane
26	17.463	61523	0.11	36028	1.71	NAPHTHALENE, 1,2,3,4-TETRAMETHYL-
27	17.855	68021	0.12	41081	1.66	Eicosane (CAS) n-Eicosane
28	17.979	316345	0.57	141597	2.23	Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- (CAS) Phytane
29	18.943	134135	0.24	54897	2.44	Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- (CAS) Phytane
30	19.017	107030	0.19	53927	1.98	Eicosane (CAS) n-Eicosane
31	20.128	145750	0.26	78052	1.87	Eicosane (CAS) n-Eicosane
32	21.189	191274	0.35	106809	1.79	Docosane (CAS) n-Docosane
33	22.204	287236	0.52	160974	1.78	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
34	23.005	421732	0.76	62208	6.78	Dotriacontane (CAS) n-Dotriacontane
35	23.124	784685	1.42	230970	3.40	TETRAPENTACOSAN
36	23.177	506877	0.91	258790	1.96	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
37	24.113	657928	1.19	320110	2.06	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
38	25.012	889613	1.60	440486	2.02	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
39	25.558	92829	0.17	42225	2.20	Tetracosane (CAS) n-Tetracosane
40	25.876	1044828	1.88	494650	2.11	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
41	26.298	1105148	1.99	205081	5.39	Dotriacontane (CAS) n-Dotriacontane
42	26.768	1423263	2.57	613845	2.32	Hexacosane (CAS) n-Hexacosane
43	27.789	1478924	2.67	540936	2.73	TETRACONTANE
44	28.994	3117281	5.62	638854	4.88	TETRACONTANE
45	29.765	189628	0.34	63019	3.01	Cholest-23-ene, (5.beta.)- (CAS) .DELTA.23-5.BETA.-CHOLES
46	30.430	1390395	2.51	342714	4.06	Dotriacontane (CAS) n-Dotriacontane