

**ANALISIS EFEKTIVITAS METODE *SOIL*
WASHING PADA TANAH TERCEMAR
MINYAK BUMI MENGGUNAKAN *LEACHING*
*COLUMN***

TUGAS AKHIR



MUHAMMAD ADERIANSYAH ARRASYID

1800825201016

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2023**

**ANALISIS EFEKTIVITAS METODE *SOIL*
WASHING PADA TANAH TERCEMAR
MINYAK BUMI MENGGUNAKAN *LEACHING*
*COLUMN***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana Teknik



MUHAMMAD ADERIANSYAH ARRASYID

1800825201016

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS EFEKTIVITAS METODE *SOIL WASHING* PADA TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI MENGGUNAKAN *LEACHING COLUMN*

Tugas akhir ini telah dipertahankan pada Sidang Tugas Akhir Komprehensif Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM : 1800825201016
Hari/Tanggal : Kamis, 16 Februari 2023
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua :

1. Monik Kasman, ST, M.Eng.Sc
NIDN. 0003088001

Anggota :

2. Anggrika Riyanti, ST, M.Si
NIDN. 1010028704

3. Marhadli, ST, M.Si
NIDN. 1008038002

4. Siti Umi Kalsum, ST, M.Eng
NIDN. 1027067401

5. Hadrah, ST, MT
NIDN. 1020088802

Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME
NIDN. 10151128501

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Marhadli, ST, M.Si
NIDN. 1008038002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid

NPM : 1800825201016

Judul : Analisis Efektivitas Metode Soil Washing Pada Tanah Tercemar
Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Batanghari untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasi karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Coresponding Author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, Maret 2023



Muhammad Aderiansyah Arrasyid

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN



Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid

NPM : 1800825201016

Judul : Analisis Efektivitas Metode Soil Washing Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Batanghari sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, Maret 2023




Muhammad Aderiansyah Arrasyid

ABSTRAK

ANALISIS EFEKTIVITAS METODE *SOIL WASHING* PADA TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI MENGGUNAKAN *LEACHING COLUMN*

Ade; Dibimbing Oleh Pembimbing I Hadrah, ST, MT dan Pembimbing II Anggrika Riyanti, ST, M.Si

Xci + 91 halaman, 9 tabel, 8 gambar, 14 lampiran

ABSTRAK

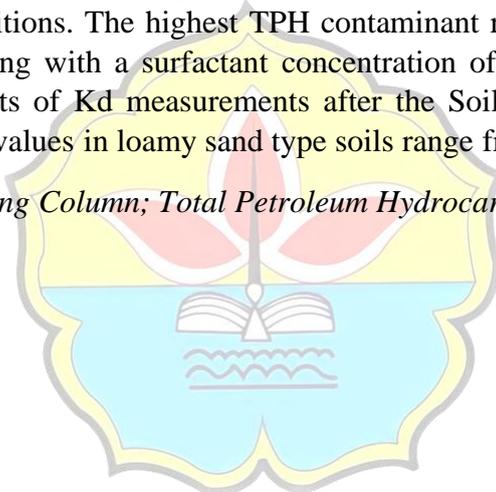
Permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh pengeboran minyak bumi adalah tercemarnya tanah oleh tumpahan minyak. Soil washing adalah metode yang efektif untuk menurunkan kadar *TPH* pada tanah tercemar minyak bumi. Penelitian ini berfokus untuk memulihkan tanah yang terkontaminasi minyak dengan *soil washing*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas *soil washing* dengan metode *leaching column* serta menganalisis pengaruh variasi konsentrasi surfaktan *tween 80* dan variasi pengulangan *leaching* dalam menurunkan konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)* pada tanah tercemar minyak bumi. Metode yang digunakan adalah *soil washing* dengan variasi konsentrasi surfaktan *tween 80* yang digunakan adalah 0,5%, dan 1%, dengan pengulangan *leaching* sebanyak 0, 1 kali, 2 kali. Tanah yang akan dianalisis berjenis loamy sand dengan kandungan *TPH* awal yaitu 3092,75 mg/kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi *TPH* setelah dilakukan *soil washing* mengalami penurunan. Dengan efisiensi penyisihan sebesar 87,69%, 72,45% pada konsentrasi surfaktan 0,5% dan 1% . Pada variasi pengulangan *leaching* efisiensi penyisihannya sebesar 87,69%, 90,40%, dan 84,90% untuk variasi pengulangan sebanyak 0, 1, dan 2 kali. Penyisihan kontaminan *TPH* tertinggi terjadi pada variasi pengulangan *leaching* sebanyak satu kali pengulangan dengan konsentrasi surfaktan 0,5% yaitu sebesar 90,40%. Berdasarkan hasil pengukuran *Kd* setelah proses *Soil Washing* diketahui bahwa nilai *Kd* pada tanah berjenis loamy sand berkisar antara 2,43-9,42.

Kata kunci : *Leaching Column; Total Petroleum Hydrocarbon (TPH); Tween 80.*

ABSTRACT

The environmental problem caused by oil drilling is contamination of the soil by oil spills. Soil washing is an effective method for reducing TPH levels in oil-polluted soils. This research focuses on restoring oil-contaminated soil by soil washing. This study aims to determine the effectiveness of soil washing using the leaching column method and to analyze the effect of variations in the concentration of tween 80 surfactant and variations in leaching repetitions in reducing the concentration of Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in oil-contaminated soils. The method used was soil washing with variations in the concentration of tween 80 surfactant used, 0.5% and 1%, with repeated leaching of 0, 1 time, 2 times. The soil to be analyzed is of the loamy sand type with an initial TPH content of 3092.75 mg/kg. The results showed that the concentration of TPH after soil washing decreased. With a removal efficiency of 87.69%, 72.45% at 0.5% and 1% surfactant concentrations. For variations of leaching repetitions, the removal efficiency is 87.69%, 90.40%, and 84.90% for variations of 0, 1 and 2 repetitions. The highest TPH contaminant removal occurred in one repetition of leaching with a surfactant concentration of 0.5%, namely 90.40%. Based on the results of Kd measurements after the Soil Washing process, it is known that the Kd values in loamy sand type soils range from 2.43 to 9.42.

Keywords : *Leaching Column; Total Petroleum Hydrocarbon (TPH); Tween 80.*



PRAKATA

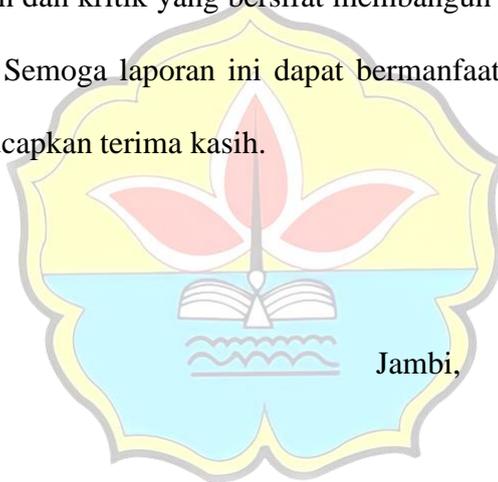
Alhamdulillah rabbil'alamina segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah subhannahu wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul : **“Analisis Efektivitas Metode *Soil Washing* Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Leaching Column* “**. Ditujukan untuk memenuhi persyaratan kurikulum program pendidikan Strata Satu (S-1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi.

Keberhasilan penyusunan ini tidak dapat terlepas dari bantuan, arahan dan petunjuk dari semua pihak, untuk itu penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih pada :

1. Bapak Dr. Ir. H. Fakhrul Rozi Yamali, ME selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi;
2. Bapak Marhadi, S.T. M.Si selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Batanghari Jambi;
3. Ibu Hadrah, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang selalu memberikan arahan serta bimbingan;
4. Ibu Angrika Riyanti, ST, M.Si selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang selalu memberikan arahan serta bimbingan;
5. Ibu Monik Kasman, ST, M.Eng, Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dalam kegiatan perkuliahan;
6. Bapak Adnata, Ibu Fipin arfiany, dan saudara yang telah membantu baik moril maupun materil;

7. Seluruh staf pengajar yang telah memberikan ilmu sejak awal perkuliahan hingga penulis menyelesaikan strata-1 di jurusan Teknik Lingkungan Universitas Batanghari;
8. Seluruh teman-teman yang saling memberikan motivasi dan saran selama proses penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan yang tulus dan ikhlas dari mereka. Laporan ini ditulis dan disusun dengan sebaik-baiknya, namun penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, maka penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk perbaikan laporan ini kemudian hari. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, dan akhir kata penulis ucapkan terima kasih.



Jambi, Maret 2023

Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM. 1800825201026

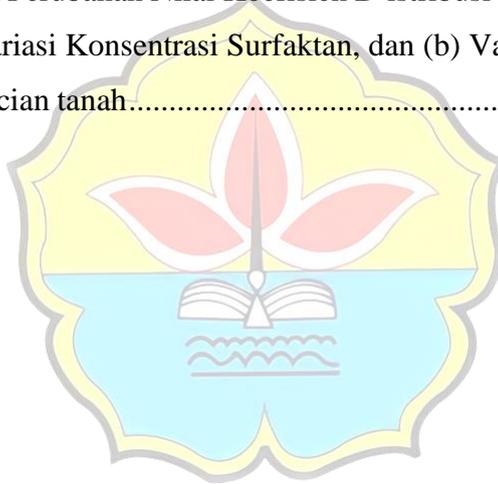
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ISTILAH	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tanah.....	6
2.2 Pencemaran Tanah	9
2.3 Minyak Bumi	10
2.4 <i>Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)</i>	11
2.5 Surfaktan <i>Tween 80</i>	12
2.6 <i>Soil Washing</i> (Pencucian Tanah)	14
2.6.1 Prinsip <i>Soil Washing</i>	15
2.6.2 Penelitian Terdahulu Teknologi <i>Soil Washing</i>	21
2.7 <i>Leaching</i>	23
2.8 koefisien distribusi	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Jenis Penelitian.....	26
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26

3.3 Alur Penelitian.....	26
3.4 Data Penelitian	28
3.4.1 Data Primer	28
3.4.2 Data Sekunder	28
3.5 Variabel Penelitian	28
3.6 Alat dan Bahan	29
3.6.1 Alat.....	30
3.6.2 Bahan.....	30
3.7 Tahapan Eksperimen	30
3.8 Tahapan Pengujian Karakteristik Tanah (<i>Grain Size</i>).....	31
3.8.1 Tahapan Pengujian Berat Jenis	31
3.8.2 Tahapan Pengujian Analisis Saringan.....	32
3.8.3 Tahapan Pengujian Analisis Hidrometer.....	33
3.9 Tahapan Pengujian Kadar Air	34
3.10 Analisis Data	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Karakteristik Tanah	37
4.1.1 Analisis Ukuran Butir (<i>Grain Size Analysis</i>)	37
4.2 Analisis Kadar Air.....	39
4.3 Analisis Kadar TPH awal.....	40
4.4 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan Terhadap Penyisihan Kontaminan TPH	41
4.5 Analisis Pengaruh Variasi Pengulangan <i>Leaching</i> Terhadap Penyisihan Kontaminan TPH	44
4.5 Koefisien Distribusi TPH (Kd).....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	54

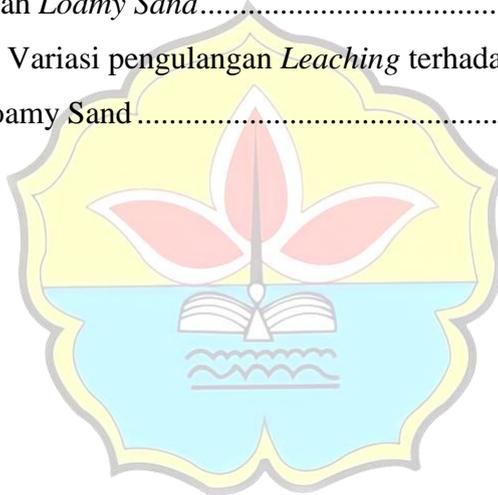
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Tween 80	13
Gambar 2.2 Proses soil washing (Syarah,2019).....	14
Gambar 2.3 Sistem pencucian tanah EPA mobile (Griffiths 1995)	18
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Grafik Distribusi Ukuran Tanah.....	38
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan terhadap Penyisihan TPH pada Tanah Loamy Sand	43
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Variasi pengulangan <i>Leaching</i> terhadap Penyisihan TPH pada Tanah Loamy Sand	45
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Nilai Koefisien D istribusi (Kd) TPH Terhadap (a) Variasi Konsentrasi Surfaktan, dan (b) Variasi pengulangan pencucian tanah.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beberapa Jenis Mineral Primer	7
Tabel 2.2 Beberapa Jenis Mineral Sekunder	8
Tabel 2.4 Daftar Penelitian Terdahulu yang Digunakan sebagai Rujukan dalam Penelitian Ini	22
Tabel 3.1 Variasi Eksperimen Konsentrasi surfaktan	29
Tabel 3.2 Variasi Eksperimen Pengulangan <i>Leaching</i>	29
Tabel 4.1 Kadar Air Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi	40
Tabel 4.2 Konsentrasi TPH Awal pada Tanah Tercemar Minyak Bumi	40
Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan terhadap Penyisihan TPH pada Tanah <i>Loamy Sand</i>	43
Tabel 4.4 Pengaruh Variasi pengulangan <i>Leaching</i> terhadap Penyisihan TPH pada Tanah <i>Loamy Sand</i>	45



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Perhitungan Kadar Air;
- Lampiran 2 : Perhitungan penyisihan kontaminan TPH;
- Lampiran 3 : Perhitungan Koefisien Distribusi (KD) TPH;
- Lampiran 4 : Perhitungan Konsentrasi Minimum Surfaktan Tween 80
berdasarkan Karakteristik Surfaktan Tween 80;
- Lampiran 5 : Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Tercemar Minyak Bumi;
- Lampiran 6 : Reaktor *Leaching* Column;
- Lampiran 7 : Hasil Uji Tekstur Tanah;
- Lampiran 8 : Hasil Uji Kontaminan TPH;
- Lampiran 9 : Dokumentasi Penelitian;
- Lampiran 10 : SK Penunjukan Dosen Pembimbing Tugas Akhir;
- Lampiran 11 : Lembar Asistensi Laporan Tugas Akhir;
- Lampiran 12 : Undangan Sebagai Penguji Tugas Akhir;
- Lampiran 13 : SK Penunjukan Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir;
- Lampiran 14 : Berita Acara Ujian/Sidang Tugas Akhir.

DAFTAR ISTILAH

CMC	: <i>Critical Micelle Concentration</i>
EPA	: <i>Environmental Protection Agency</i>
HLB	: <i>Hidrophile Lipophile Balance</i>
KD	: Koefisien Distribusi
TPH	: <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>
USDA	: <i>United States Department of Agriculture</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan minyak bumi semakin mengalami peningkatan dari waktu ke waktu seiring dengan tingginya kebutuhan energi sebagai akibat dari kemajuan teknologi dan kebutuhan hidup manusia, sehingga proses eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi semakin meningkat yang menyebabkan berbagai permasalahan pencemaran lingkungan khususnya kegiatan pengeboran minyak liar atau biasa dikenal dengan *illegal drilling* (Effendi, A. J., & Indriati, N, 2015).

Permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh pengeboran minyak bumi adalah tercemarnya tanah oleh tumpahan minyak dan kebocoran pipa dalam jumlah, luas dan kondisi tertentu akan terjebak di dalam pori tanah/ partikel tanah. Fraksi minyak tersebut dapat saja menguap ke udara bercampur dengan tanah dan air tanah maka diperlukan treatment khusus untuk memisahkan minyak dari medianya, yaitu tanah. Pemisahan minyak bumi dari tanah dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti metode *capping*, metode *soil washing*, dan metode imobilisasi (Harmesa, 2020). *Soil washing* merupakan proses reduksi volume atau minimisasi limbah dimana partikel tanah yang mengandung mayoritas kontaminan dipisahkan dari fraksi *bulk* tanah atau kontaminan disisihkan dari tanah dengan larutan kimia dan dipulihkan dari larutan dalam bentuk substrat padat (Rahmadani denis bahtiar, 2019).

Metode *leaching* adalah metode alternatif yang bisa diimplementasikan secara ekonomis karena kebutuhan energi yang rendah. Metode ini dapat menyisihkan

berbagai jenis kontaminan pada tanah bergantung pada proses ekstraksi kimia dan fisik tradisional, adapun kontaminan tanah yang dapat disisihkan menggunakan metode ini seperti : *oil & graseI*, TPH, logam berat, sianida (Aritosa Toni Ika, dkk, 2017). Proses remediasi menggunakan *leaching* column memerlukan penambahan kimia berupa surfaktan. Surfaktan memiliki gugus polar dan nonpolar sekaligus dalam satu molekulnya. Salah satu sisinya akan mengikat minyak (nonpolar), di sisi lain surfaktan akan mengikat air (polar). Menurut Clark J (2004), surfaktan nonionik adalah bahan esensial yang tidak beracun dengan konsentrasi ambang batas lebih dari 100g/kg. Adapun surfaktan nonionik di antaranya tween 80 dan bjiir 35 (Charlena et al., 2009).

Pada penelitian ini, proses *leaching* menggunakan surfaktan *Tween 80* bertujuan untuk menyisihkan TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) pada tanah tercemar minyak bumi. Pada penelitian sebelumnya oleh Rahmadani denis bahtiar (2019), metode *leaching* memiliki efisiensi kurang lebih 90% untuk memisahkan tumpahan minyak yang terjebak dalam tanah sehingga dapat memulihkan kembali fungsi dan kondisi tanah yang tercemar oleh tumpahan minyak. Selain itu, metode Soil Washing mampu diterapkan untuk pengolahan tanah terkontaminasi minyak dalam waktu yang singkat serta mampu mengolah tanah tercemar dengan beban pengolahan yang besar.

Mengacu pada permasalahan yang telah diuraikan diatas maka diperlukan penelitian mengenai analisis efektivitas metode *soil washing* pada tanah tercemar minyak bumi menggunakan *leaching column*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana efektivitas metode *soil washing* menggunakan *leaching column* dalam menurunkan kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* pada tanah tercemar minyak bumi ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi dan pengaruh penambahan pengulangan *leaching* menggunakan surfaktan *Tween 80 (Polysorbate 80)* terhadap penyisihan kontaminan *Total Petroleum Hydrocarbon* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji efektivitas metode *soil washing* menggunakan *leaching column* dalam menurunkan kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* pada tanah tercemar minyak bumi;
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi dan pengaruh penambahan pengulangan *leaching* menggunakan surfaktan *Tween 80 (Polysorbate 80)* terhadap penyisihan kontaminan *Total Petroleum Hydrocarbon* pada proses *soil washing* dalam tanah terkontaminasi minyak bumi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi pengambilan sampel tanah tercemar diambil dari salah satu Kawasan bekas penambangan minyak bumi yang berada di Desa Bungku Kecamatan Bajubang Kabupaten Batanghari Kota Jambi;
2. Parameter tanah yang diuji adalah *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*;

3. Pengujian karakteristik sampel tanah (*grain size*) dan pengujian kadar air;
4. Pengujian sampel penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada (LPPT UGM);
5. Penelitian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Batanghari;
6. Reaktor yang digunakan adalah *leaching column*;
7. Surfaktan yang digunakan adalah *Tween 80* dengan konsentrasi 0%, 0,5%, 1%;
8. Pengujian dengan variasi pengulangan 0, 1 kali, 2 kali.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan tugas akhir ini, maka sistematika penulisan disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN, terdiri dari; latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, terdiri dari kajian literatur mengenai; tanah, pencemaran tanah, minyak bumi, *total petroleum hydrocarbon*, surfaktan, *soil washing*, penelitian terdahulu. dan *leaching*.

BAB III METODE PENELITIAN, terdiri dari bagian; jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alur penelitian, data penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan, tahap eksperimen, tahap pengujian karakteristik tanah, tahap pengujian kadar air, dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, terdiri dari analisis mengenai karakteristik tanah, analisis kadar air, efisiensi penyisihan TPH, pengaruh

variasi konsentrasi surfaktan terhadap konsentrasi TPH akhir, pengaruh variasi pengulangan *leaching* terhadap kandungan TPH akhir, dan koefisien distribusi TPH.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, terdiri dari bagian kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah masa yang berasal dari fragmen batuan dan material organik yang mengalami pelapukan kimiawi. Tanah bervariasi dari kedalaman beberapa inci sampai enam kaki atau lebih. Tanah secara kasar terdiri dari 50% ruang pori. Ruang ini membentuk jaringan kompleks pori dari ukuran bervariasi, seperti halnya sponge. Pori tersebut mengandung air atau udara untuk akar tanaman atau mikroorganisme yang hidup di tanah. Mineral tanah adalah mineral yang terkandung di dalam tanah dan merupakan salah satu bahan utama penyusun tanah (Hadrah, 2015)

Mineral dalam tanah berasal dari pelapukan fisik dan kimia dari batuan yang merupakan bahan induk tanah, rekristalisasi dari senyawa-senyawa hasil pelapukan lainnya atau pelapukan (alterasi) dari mineral primer dan sekunder yang ada. Mineral mempunyai peran yang sangat penting dalam suatu tanah, antara lain sebagai indikator cadangan sumber hara dalam tanah dan indikator muatan tanah beserta lingkungan pembentukannya. Jenis mineral tanah secara garis besar dapat dibedakan atas mineral primer dan mineral sekunder (Hadrah, 2015).

1. Mineral Primer adalah mineral tanah yang umumnya mempunyai ukuran butir fraksi pasir (2-0,05 mm). Contoh dari mineral primer yang banyak terdapat di Indonesia beserta sumbernya disajikan dalam Tabel 2.1 Analisis jenis dan jumlah mineral primer dilakukan di laboratorium

mineral dengan bantuan alat mikroskop polarisasi. Pekerjaan analisis mineral primer dilaksanakan dalam dua tahapan, yaitu pemisahan fraksi pasir dan identifikasi jenis mineral.

Tabel 2.1 Beberapa Jenis Mineral Primer

Mineral	Sumber Utama
Olivin	Batuan volkan basis dan ultra basis
Biotit	Batuan granit dan metamorf
Piroksen	Batuan volkan basis dan ultra basis
Amfibol	Batuan volkan intermedier hingga ultra basis
Plagioklas	Batuan intermedier hingga basis
Orthoklas	Batuan massam
Muskovit	Batuan granit dan metamorf
Kuarsa	Batuan massam

Sumber : Balai Penelitian Tanah, 2005

2. Mineral Sekunder atau mineral liat adalah mineral-mineral hasil pembentukan baru atau hasil pelapukan mineral primer yang terjadi selama proses pembentukan tanah yang komposisi maupun strukturnya sudah berbeda dengan mineral yang terlapuk. Jenis mineral ini berukuran halus ($<2\mu$), sehingga untuk identifikasinya digunakan alat XRD. Contoh dari mineral sekunder yang banyak terdapat di Indonesia disajikan pada Tabel 2.2 berikut ini:

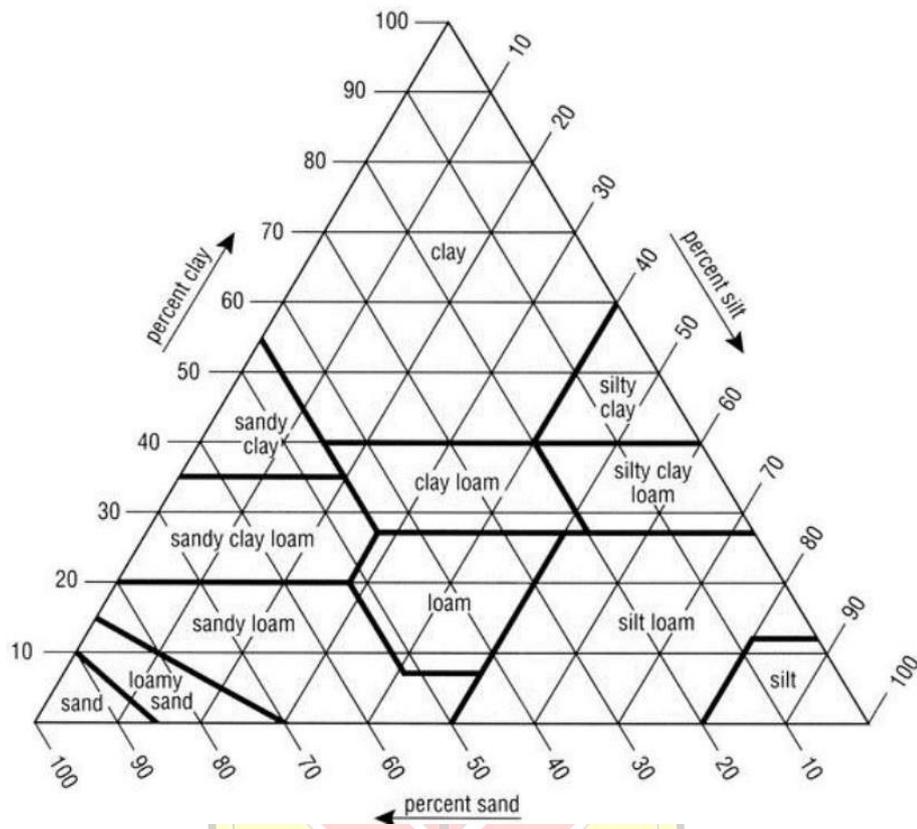
Tabel 2.2 Beberapa Jenis Mineral Sekunder

Mineral	Keterangan
Kaolinit	Mineral utama pada tanah Oxisol dan Ultisol
Haloisit	Mineral utama pada tanah volkan Inceptisol dan Entisol
Vermikulit	Mineral utama pada tanah yang berkembang dari bahan kaya mika
Smektit	Mineral utama pada tanah Vertisol
Alofan	Mineral utama pada tanah Andisol
Goetit/hematit	Mineral oksida besi pada tanah merah Oxisol dan Ultisol

Sumber : Balai Penelitian Tanah, 2005

Tekstur menunjukkan seberapa kasar atau halus ukuran partikel primer tanah. Partikel tanah yang paling besar adalah pasir (*sand*). Liat adalah partikel tanah berukuran terkecil, dan *silt* adalah partikel tanah berukuran sedang (*intermediate*) Partikel pasir adalah seperti batu kecil, dan partikel *silt* seperti batu yang lebih kecil. Partikel *silt* dan pasir tidak terlalu aktif secara kimia. Mereka berkontribusi kecil terhadap daya adsorb (pengikatan) kontaminan (Balai Penelitian Tanah, 2005).

Tekstur mempengaruhi porositas dan juga aktivitas kimia tanah. Sandy soil mengandung pori besar yang dominan. Sandy soil mengandung air sedikit dan meloloskan air dengan mudah. Tanah yang mengandung silt dan clay yang tinggi memiliki pori berukuran kecil yang banyak dan tidak meloloskan air dengan mudah. Loam adalah jenis tanah yang mengandung sand, silt dan clay dalam 20 jumlah yang cukup seimbang (Gambar 2.1). Tanah loam memiliki aktivitas kimia yang lebih banyak daripada tanah berpasir dan mengikat air lebih banyak.



Gambar 2.1 Kelas Tekstur Tanah (Carl F. E. et.al, 2010)

2.2 Pencemaran Tanah

Tanah sangat penting bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya sehingga fungsi dari tanah tidak akan dapat digantikan dengan yang lainnya. Hampir seluruh kegiatan yang dilakukan manusia dilakukan diatas tanah, mulai dari tempat tinggal, pertanian, industri dan aktivitas lainnya (Vyatrawan, 2015).

Menurut Palar (2008), yang dimaksud dengan pencemaran adalah suatu kondisi yang telah berubah dari kondisi asal menuju kondisi yang lebih buruk sebagai akibat masukan dari bahan-bahan pencemar atau polutan. Suatu lingkungan dikatakan tercemar apabila telah terjadi perubahan-perubahan dalam tatanan lingkungan sehingga tidak sama lagi dengan bentuk asalnya, sebagai akibat masuknya atau dimasukkannya suatu zat atau benda asing ke dalam tatanan

lingkungan. Perubahan ini memberikan dampak buruk terhadap organisme yang hidup dalam tatanan tersebut. Pada tingkat lanjut, perubahan ini juga dapat membunuh bahkan menghapuskan satu atau lebih organisme.

Menurut Vyatrawan (2015), pencemaran tanah adalah masuknya bahan atau zat atau unsur lain ke dalam tanah sehingga konsentrasi suatu zat atau unsur hara tersebut menjadi racun bagi tanaman serta mengganggu ekosistem biota tanah. Dengan tercemarnya tanah tersebut, maka tanah tidak dapat berfungsi sebagaimana peruntukannya. Tanah yang telah tercemar dapat mengakibatkan kerugian yang besar bagi manusia. Kerugian ini dapat berupa air yang berada dalam tanah menjadi tidak bermanfaat lagi untuk keperluan industri dan pertanian. Selain itu, tanah yang tercemar dapat menjadi penyebab timbulnya penyakit baik penyakit menular maupun tidak menular.

2.3 Minyak Bumi

Menurut Vyatrawan (2015), minyak bumi adalah suatu campuran yang sangat kompleks terdiri dari senyawa-senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa-senyawa organik di mana setiap molekulnya hanya mempunyai unsur karbon dan hidrogen saja. kandungan air dan 6 garam hampir selalu ada pada minyak bumi dalam keadaan terdispersi.

Menurut Syarah (2019), minyak bumi merupakan campuran kompleks senyawa organik yang terdiri atas senyawa hidrokarbon dan nonhidrokarbon yang berasal dari sisa-sisa mikroorganisme, tumbuhan, dan binatang yang tertimbun selama berjuta-juta tahun. Kandungan senyawa hidrokarbon dalam minyak bumi lebih dari 90% dan sisanya merupakan senyawa nonhidrokarbon seperti sulfur,

nitrogen, oksigen dalam kadar yang bervariasi, volatilitas, *specific gravity*, dan viskositas yang beragam.

Crude oil dan produk *petroleum* merupakan campuran yang sangat kompleks dan bervariasi dari ribuan komponen individual yang memiliki beragam sifat fisik. Memahami komposisi ini penting untuk dapat mengetahui kelakuan tumpahan minyak dan pilihan respon yang sesuai (Syarah,2019).

Menurut Sarasputri Dwi Ajeng (2011), *petroleum* bukanlah material yang seragam, melainkan komposisi *Petroleum* bermacam-macam tidak hanya tergantung dari lokasinya, tapi juga kedalaman dari pengeborannya. Secara umum komposisi dari *Petroleum* adalah sebagai berikut :

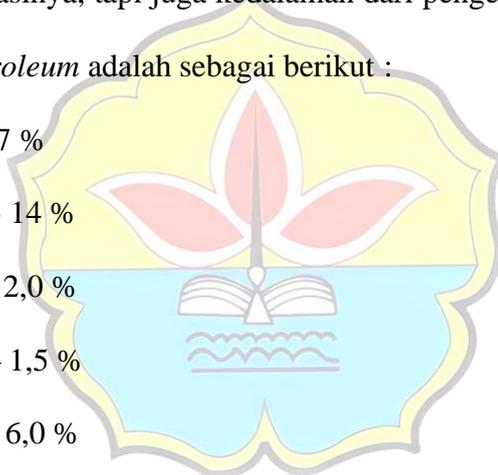
Carbon, 83 - 87 %

Hydrogen, 10 - 14 %

Nitrogen, 0,1 - 2,0 %

Oxygen, 0,05 – 1,5 %

Sulfur, 0,005 – 6,0 %



2.4 Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Menurut *Agency for Toxic Substance and Disease Registry* (1999), *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan ratusan bahan kimia yang secara alami muncul dari *crude oil*. *Crude oil* digunakan untuk membuat produk *petroleum*, yang dapat mengontaminasi lingkungan. Dikarenakan begitu banyaknya bahan kimia yang berbeda-beda di dalam *crude oil* dan produk *petroleum* lainnya, tidak dilakukan pengukuran masing-masing kandungan secara terpisah. Oleh karena itu

pengukuran yang dilakukan di lapangan adalah jumlah *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH).

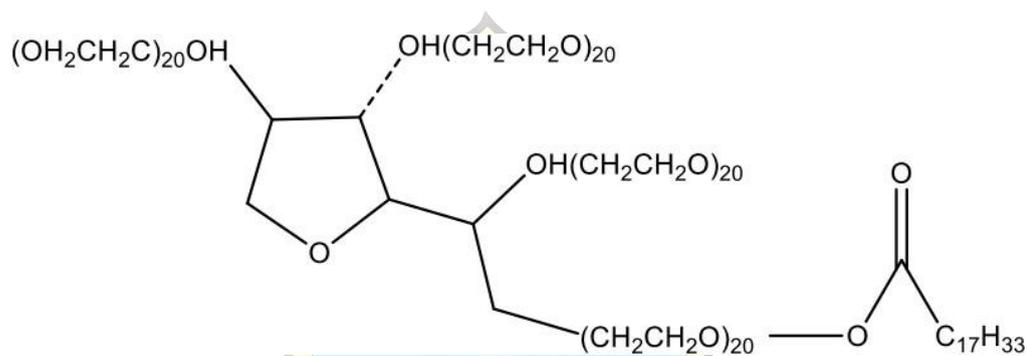
Total Petroleum Hydrocarbon adalah campuran bahan kimia, namun sebagian besarnya berasal dari hidrogen dan karbon, sehingga disebut hidrokarbon. Para ilmuwan membagi TPH ke dalam kelompok *petroleum hydrocarbon* yang serupa pada tanah atau air. Kelompok ini dinamakan *petroleum hydrocarbon fractions*. Setiap fraksi mengandung banyak bahan kimia. Beberapa kandungan bahan kimia yang terdapat di TPH adalah *hexane, jet fuel, mineral oils, benzene, toluene, xylenes, naphthalene*, dan *florene*, seperti halnya kandungan produk *petroleum* dan bensin lainnya (Agency for Toxic Substance and Disease Registry, 1999).

Petroleum merupakan campuran kompleks. Petroleum terdiri dari senyawa hidrokarbon (98%), Sulfur (1-3%), Nitrogen (< 1%), Oksigen (< 1%), logam atau mineral (<1%), Garam (< 1%). Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*), petroleum hidrokarbon berasal dari minyak mentah (*crude oil*). *Crude oil* ini digunakan untuk membuat produk petroleum, yang dapat mencemari lingkungan (Syarah,2019).

2.5 Surfaktan Tween 80

Tween 80 (Polisorbat 80) adalah salah satu golongan surfaktan nonionik yang digunakan luas sebagai agen pengemulsi (emulgator) dalam preparasi emulsi minyak dalam air yang stabil. Tween 80 berwujud cair, berwarna kekuningan dan berminyak, memiliki aroma yang khas, dan berasa pahit. Larut dalam air dan etanol. Tween 80 memiliki nilai *HLB* (*Hidrophile Lipophile Balance*) sebesar 15.

Tween 80 mempunyai berat jenis 1,08 g/cm³ dan, harga KKM 12×10^{-5} M (16 mg/l). Tween 80 memiliki rumus molekul C₆₄H₁₂₄O₂₆ dengan berat molekul 1310 g/mol. Tween 80 dapat bercampur dengan air, alkohol, kloroform, etil asetat, eter dan metil alkohol. Stabil terhadap elektrolit dan asam lemah. Perubahan warna dan presipitasi dapat terjadi dengan adanya fenol dan tannin. Polisorbat telah digunakan luas dalam kosmetik, produk makanan, dan formulasi farmasi oral, parenteral dan topikal. Tidak bersifat toksik dan tidak menimbulkan iritasi (Rowe et al., 2009).



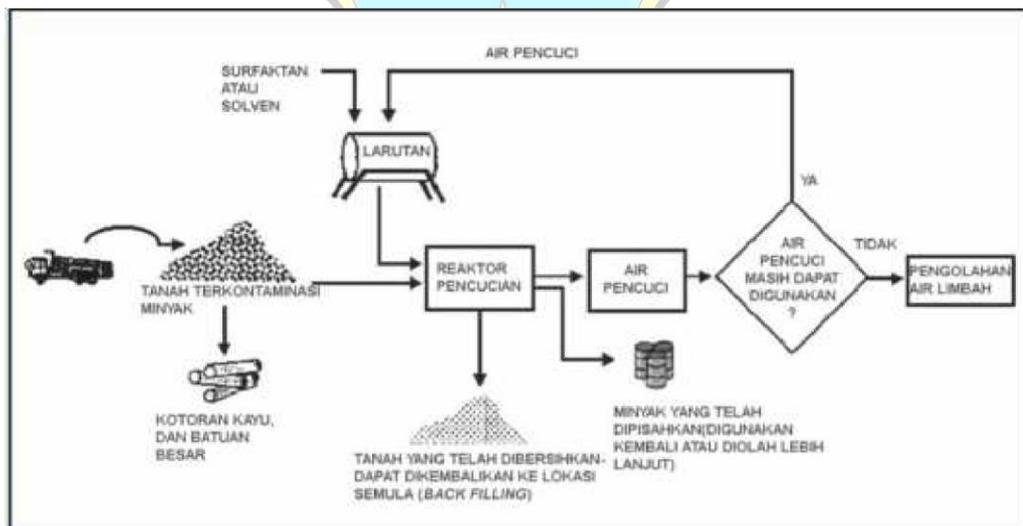
Gambar 2.2 Struktur Tween 80

Konsentrasi Kritis Misel (KKM) merupakan konsentrasi minimum yang diperlukan untuk pembentukan misel. Tiap surfaktan mempunyai harga KKM yang berbeda – beda. Struktur kimia surfaktan menentukan ukuran dan bentuk misel. Untuk misel jenis nonionik, perubahan bentuk misel dari bulat menjadi lamelar terjadi dengan semakin bertambahnya konsentrasi surfaktan. Sedangkan HLB adalah parameter empiris yang menggambarkan jumlah relative bagian hidrofilik terhadap berat molekul surfaktan. Surfaktan dengan nilai HLB 3- 6 merupakan lipofilik dan dapat digunakan untuk membuat emulsi air dalam

minyak, sedangkan surfaktan dengan nilai HLB 10-18 adalah hidrofilik dan dapat digunakan untuk membuat emulsi minyak dalam air (Volkering F. dkk, 1998 dalam Luis G et al., 2004).

2.6 Soil Washing (Pencucian Tanah)

Pencucian Tanah (*soil washing*) dikenal sebagai teknologi pemisahan sederhana yang menggunakan air untuk memisahkan pasir yang tercampur dengan tanah, atau dengan kata lain teknik membersihkan pasir. Dalam perjalanannya diketahui bahwa berbagai jenis kontaminan baik anorganik maupun organik menempel atau teradsorpsi pada partikel tanah yang halus, yaitu partikel debu (*silt*) dan lempung (*clay*). Berbagai kontaminan ini dapat dicuci dengan berbagai jenis larutan pencuci berbasis air, misalnya surfaktan dan zat-zat kimia kelat (*chelating agent*). Proses-proses komersial bermunculan dan yang membedakan mereka adalah pada jenis larutan pencuci dan urutan unit prosesnya, adapun uraian proses pencucian tanah dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.3 Proses *soil washing* (Syarah,2019)

Konsep pencucian tanah didasarkan pada teori bahwasanya kontaminan cenderung mengikat tanah berbutir halus (lumpur dan tanah liat) dan tanah berbutir kasar (Pasir dan kerikil). Oleh karena itu tujuan utama pencucian tanah adalah memisahkan benda dan air bersih yang terkontaminasi ini dari tanah berbutir kasar yang dibersihkan (pasir dan kerikil). Benda dan air bersih yang terkontaminasi dapat diperlakukan atau dibuang seperlunya. Tanah yang dicuci dapat digunakan kembali sebagai tempat pembuangan di tempat jika semua kontaminan dikeluarkan dari tanah. Proses pencucian tanah secara signifikan mengurangi volume tanah yang terkontaminasi di suatu tempat sehingga pencucian tanah *pretreatment* untuk teknik remediasi pencucian tanah berbeda (USEPA, 1996).

2.6.1 Prinsip Soil Washing

Pencucian tanah (*soil washing*) adalah teknologi pengolahan untuk reduksi volume atau minimisasi limbah berdasarkan proses secara fisik atau kimia. Dengan *soil washing* secara fisik perbedaan ukuran partikel, kecepatan pengendapan, *specific gravity*, sifat kimia permukaan dan magnetik yang jarang terjadi digunakan untuk memisahkan partikel-partikel yang mengandung mayoritas kontaminan dari *bulk* tanah yang mengandung kontaminan lebih sedikit (Technical Bulletin, 2007 dalam Hadrah, 2015).

Dengan *soil washing* secara kimia partikel tanah membersihkan dengan pemindahan kontaminan dari tanah secara selektif ke larutan. Hal ini dicapai dengan mencampur tanah dengan larutan asam, alkali, *complexant*, atau surfaktan dan pelarut lainnya. Partikel yang telah bersih kemudian dipisahkan dari larutan

dan larutan tersebut diolah untuk menyisahkan kontaminan contohnya dengan sorpsi menggunakan karbon aktif atau *ion exchange* (Technical Bulletin, 2007 dalam Hadrah, 2015). Pencucian tanah dapat dibagi menjadi enam tahap (USEPA, 1993):

1. *Pretreatment*

Pretreatment selesai setelah tanah galian ditempatkan di area pementasan dan sebelum dicuci melalui proses mekanis. Pada langkah ini, benda berukuran kasar dikeluarkan dari tanah sehingga tanah homogen (diameter kurang dari 2 inci) disiapkan untuk tahap pencucian.

Penghapusan dilakukan melalui *skalping*, *skrining mekanis*, *jigging* dan *tabling*. Bahan berukuran kasar bisa terdiri dari puing-puing konstruksi sampai potongan batu atau kerikil besar. Bahan-bahan ini biasanya tidak terkontaminasi; Namun, jika perawatan diperlukan, penghancuran dan penggilingan mungkin diperlukan untuk mengurangi ukuran bahan (USEPA, 1993; Griffiths, 1995);

2. Pemisahan

Setelah dilakukan pra pengolahan pada tanah. Maka siap untuk dicuci di unit penggosok tanah. Pemisahan bahan kasar dan halus terjadi pada unit ini. Tanah berbutir kasar kemungkinan tidak terkontaminasi, oleh karena itu perlu dikeluarkan dari unit pencuci. Titik potong ukuran partikel biasanya antara 63 (# 230 saringan) dan 74 mikron (# 200 saringan). Pemisahan dilakukan karena tanah berbutir kasar dan halus memerlukan prosedur pembersihan akhir yang berbeda. Pemisahan tanah berbutir

kasar biasanya dilakukan dengan menggunakan skrining mekanis seperti *trommels*, sedangkan tanah berbutir halus diurutkan berdasarkan hidrosiklon atau metode lainnya (USEPA, 1993; Griffiths, 1995);

3. Pemulihan Berbutir Kasar

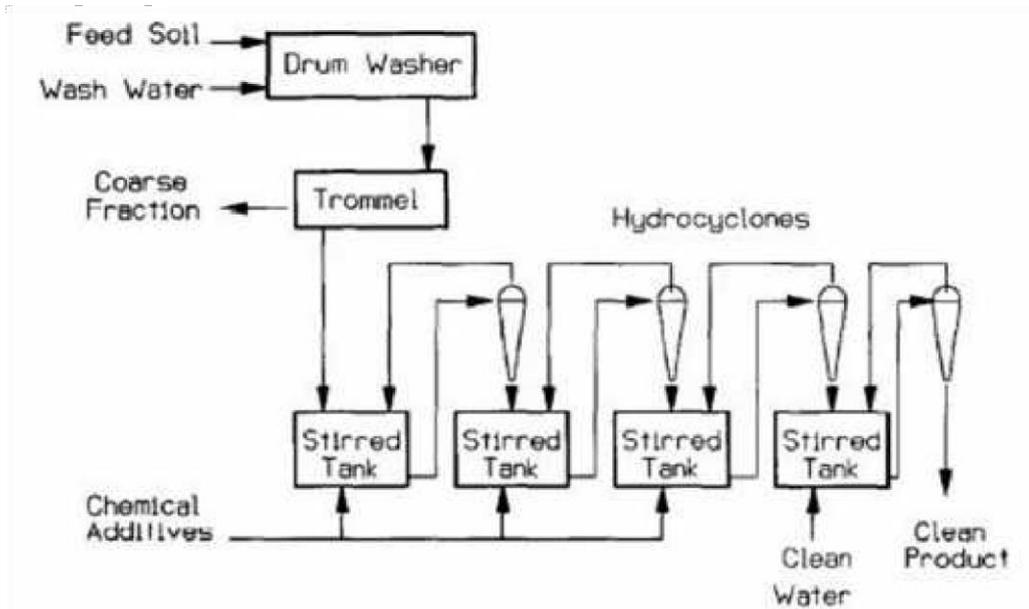
Setelah tanah berbutir kasar dipisahkan dan dikeluarkan dari unit penggosok, mereka mungkin memerlukan pemulihan tambahan jika kontaminan telah menyerap ke tanah. Metode pemulihan yang umum meliputi:

- a. Permukaan gesekan;
- b. Pemulihan dengan asam atau basa untuk solubilisasi;
- c. Pelarut khusus untuk melarutkan kontaminan tertentu.

Air dan bahan halus yang ditemukan dalam fraksi kasar yang masih berada di tanah berbutir kasar dilepaskan dan kemudian ditambahkan ke dalam sistem sehingga dapat dipulihkan dengan tanah berbutir halus (USEPA, 1993).

4. *Fine-Grained Treatment* (pemulihan berbutir halus)

Kontaminan sebagian besar ditemukan di tanah berbutir halus. Bahan kimia tambahan sering ditambahkan ke larutan selama proses penggosokan untuk membersihkan tanah seperti yang ditunjukkan di atas pada Gambar 2.2. Tanah dicampur dengan keras dengan larutan dan kemudian dilepas (USEPA, 1993).



Gambar 2.4 Sistem pencucian tanah EPA mobile (Griffiths 1995)

5. Proses Pengolahan Air

Air pencuci yang digunakan di unit penggosok tanah akan terkontaminasi dan harus dipulihkan. Beberapa kontaminan yang terdapat di air cuci ini yaitu (USEPA, 1993):

- a. Tanah berbutir kasar dan halus;
- b. Garam terlarut;
- c. Daun, ranting, dan akar;
- d. Logam berat terlarut;
- e. Hidrokarbon atau kontaminan lainnya.

Pengadukan air harus dilakukan agar bisa digunakan kembali dalam proses pencucian tanah atau dibuang ke saluran pembuangan (walaupun persyaratan pembuangan lebih ketat, membuat daur ulang air ke sistem menjadi pilihan yang lebih disukai asalkan tidak Mengganggu proses

pencucian). Jenis penanganan air bersih yang paling umum adalah (USEPA, 1993):

- a. Penetralan
- b. Pengolahan karbon
- c. Pertukaran ion
- d. Flokulasi
- e. Sedimentasi
- f. Pelepasan organik yang mudah menguap

6. Manajemen Residu

Jumlah bahan sisa yang dihasilkan selama proses pencucian tanah bergantung pada distribusi ukuran butiran dari bahan aslinya. Tanah dan lumpur berbutir yang terkontaminasi dapat dibuang di tempat pembuangan akhir, jika masih dianggap terkontaminasi oleh peraturan, mungkin memerlukan pemulihan lebih lanjut sebelum dibuang.

Pengolahan lebih lanjut ini bisa mencakup (USEPA, 1993):

- a. Pembakaran;
- b. Desorpsi termal suhu rendah;
- c. Pengambilan bahan kimia / deklorinasi;
- d. Bioremediasi;
- e. Solidifikasi / stabilisasi;
- f. Vitrifikasi.

Bahan pakan yang terkontaminasi bisa mengandung daun, ranting, akar, atau rumput yang harus dilepas karena kemungkinan terkontaminasi

karena bahan vegetatif berpori dan perilaku adsorptif. Hasil dari pencucian tanah juga akan menghasilkan tanah bersih yang bisa dijadikan tempat pembuangan sampah di lokasi. Tanah ini mungkin memerlukan pencucian atau pembersihan tambahan sebelum penempatan (USEPA, 1993). Secara keseluruhan, ada banyak sistem pencucian tanah yang berbeda yang telah dikembangkan dan sistemnya dapat bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lain karena kendala spesifik lokasi untuk tanah atau kontaminan. Pencucian tanah sering juga digunakan bersamaan dengan teknik remediasi lainnya karena dapat digunakan secara efektif untuk mengkonsentrasikan kontaminan ke dalam volume tanah yang lebih kecil yang kemudian dapat dengan mudah dipulihkan dengan teknik lain (USEPA 1996, Sharma and Reddy 2004).

7. *Bulking agent* (Pasir silika)

Pasir kuarsa Atau Pasir Silika mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, titik lebur $17\text{--}150\text{ }^\circ\text{C}$, bentuk kristal hexagonal, panas spesifik 0,185, dan konduktivitas.

Dalam kegiatan industri, penggunaan pasir kuarsa sudah berkembang meluas, baik langsung sebagai bahan baku utama maupun bahan sampingan. Sebagai bahan baku utama, misalnya digunakan dalam industri gelas kaca, semen, tegel, mozaik keramik, bahan baku fero silikon, silikon karbid bahan abrasit (ampelas dan *sand blasting*).

Sedangkan sebagai bahan ikutan, misal dalam industri cor, industri perminyakan dan pertambangan, bata tahan api (refraktori), dan lain sebagainya.

2.6.2 Penelitian Terdahulu Teknologi *Soil Washing*

Daftar penelitian teknologi *soil washing* terdahulu yang digunakan sebagai rujukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut :



Tabel 2.3 Daftar Penelitian Terdahulu yang Digunakan sebagai Rujukan dalam Penelitian Ini

No	Penulis	Judul	Tujuan	Hasil
1.	Monik kasman, Hadrah dan SalmarizaSY (2021)	Remediasi Tanah Terontaminasi Hidrokarbon menggunakan <i>Alkyl Benzen Sulfonate</i>	Penelitian ini bertujuan untuk memulihkan tanah yang terkontaminasi oleh minyak bumi melalui pencucian tanah atau <i>soil washing</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>soil washing</i> dipengaruhi oleh rasio <i>bulking agent</i> . Semakin tinggi rasio perbandingan <i>bulking agent</i> , semakin tinggi reduksi TPH. Reduksi TPH tertinggi didapatkan 92% pada perlakuan konsentrasi surfaktan 0,25% dan rasio tanah/ <i>bulking agent</i> 25 : 75.
2.	Hadrah (2017)	Opimasi Rasio <i>Solid/Liquid</i> Pada Teknik <i>Soil Washing</i> Pasir Terkontaminasi Minyak Dari Proses Eksplorasi Minyak Bumi	Penelitian ini akan dilakukan pengkajian teknik <i>soil washing</i> pada tanah tercemar minyak menggunakan tangki berpengaduk dan mempelajari bagaimana pengaruh variasi rasio <i>solid/liquid</i> terhadap penyisihan kontaminan hidrokarbon (TPH) pada tanah.	Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan TPH pada tanah <i>sand</i> setelah dilakukan pengadukan dengan menggunakan larutan surfaktan <i>Tween 80</i> . Peningkatan volume <i>liquid</i> pada variasi rasio <i>solid/liquid</i> mengakibatkan adanya peningkatan penyisihan pada ketiga jenis tanah namun volume <i>liquid</i> optimum pada ketiga jenis tanah adalah sama yaitu 1:15 (gr/ml) sehingga volume tersebut dianggap cukup untuk penyisihan TPH dari tanah <i>sand</i> . Persen penyisihan terbesar dari proses <i>soil washing</i> terjadi pada <i>sand</i> yaitu 85,32% dengan larutan <i>Tween 80</i> 0,25% (v/v).
3.	Agus Jatnika Effendi dan Narita Indriati (2015)	Remediasi Tumpahan Minyak Menggunakan Metode <i>Soil Washing</i> Dengan Optimal Kondisi Reaksi	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penurunan kandungan TPH dengan metode <i>soil washing</i> terhadap hasil pengukuran COD tanah	Dari studi penyisihan TPH dengan metode <i>Soil Washing</i> diketahui bahwa telah terjadi penurunan kandungan TPH berdasarkan hasil pengukuran COD tanah <i>terleaching</i> . Rata-rata penyisihan TPH Sand, sandy loam, dan loam sebesar 62.8%; 45,3% dan 68.06% serta diperoleh data rata-rata penyisihan COD pada tanah sand, sandy loam, dan loam sebesar 74,8%; 45,08% dan 63,38%.

2.7 Leaching

Ekstraksi padat cair (*leaching*) merupakan suatu peristiwa atau proses ekstraksi suatu konstituen/spesi kimia yang terlarut dari padatan dengan menggunakan pelarut cair (Nugroho, 2018). Metode *leaching* pada proses *soil washing* dapat membantu dalam pendistribusian larutan surfaktan pada lapisan tanah sehingga terjadi kontak antara fase padat dan cair saat larutan surfaktan mengalir ke tanah yang terkontaminasi. Saat pencucian tanah menggunakan *leaching* terjadi permukaan tanah yang terkontaminasi akan terkena larutan surfaktan karena larutan surfaktan tersebut masuk kedalam pori tanah sedikit demi sedikit secara kontinu, sehingga larutan surfaktan dapat mengikat minyak dari permukaan butir tanah. Peningkatan penyisihan minyak dapat dikaitkan dengan pengikatan minyak oleh kutub non-polar (hidrofobik) yang disebabkan oleh adanya ikatan hidrofobik dari larutan surfaktan dan tanah terkontaminasi yang menyebabkan minyak lepas dari tanah, dan diikat oleh larutan surfaktan atau biasa dikenal dengan *attrition scrubbing* (Claire, 2007).

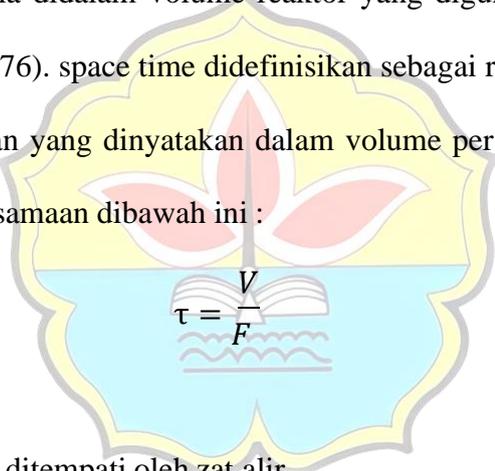
Metode ekstraksi padat-cair (*leaching*) dipengaruhi beberapa hal, antara lain adalah jumlah konstituen/spesi yang tersebar dalam padatan, sifat padatan, dan ukuran konstituen/spesi. Di dalam padatan, konstituen/spesi yang paling dekat dengan permukaan yang kontak dengan pelarut akan lebih mudah terlindih sehingga meninggalkan pori dalam padatan tersebut. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses *leaching* suatu konstituen/spesi dalam padatan antara lain :

1. Ukuran partikel;
2. Pelarut;

3. Suhu;
4. Agitasi fluida dari pelarut dan;
5. Ukuran partikel konstituen.

Ukuran partikel yang kecil memiliki area antarmuka yang lebih besar antara padatan dan larutan dan memiliki laju transfer material yang besar. Besarnya interaksi antara partikel konstituen dan pelarut sebanding dengan laju pelindihan (*leaching*).

Space time (τ) adalah waktu tinggal yang dibutuhkan untuk melakukan suatu proses reaksi kimia didalam volume reaktor yang digunakan pada kondisi tertentu. (Levenspiel, 1976). *space time* didefinisikan sebagai ratio volume reaktor terhadap kecepatan aliran yang dinyatakan dalam volume per satuan waktu, atau dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini :


$$\tau = \frac{V}{F}$$

keterangan :

V : volume reaktor yang ditempati oleh zat alir.

F : Kecepatan pemasukan dalam volume per satuan waktu.

Secara teoritis waktu tinggal tergantung dari harga konstanta kecepatan reaksi dan konversi serta orde reaksi. Konstanta kecepatan reaksi ditentukan dengan cara batch. Waktu tinggal yang diperoleh digunakan untuk menghitung volume reactor disamping oleh pengaruh flow rate. Kalau volume reactor sudah ada, flow rate diatur berdasarkan waktu tinggal sehingga konversi yang dihasilkan bisa ditebak.

2.8 koefisien distribusi

Penentuan nilai koefisien distribusi (K_d) untuk mengetahui penyebaran zat diantara dua pelarut yang dicampurkan, tetapi tidak saling melarutkan. Proses penentuan koefisien distribusi dikenal dengan hukum distribusi Nernst. Dua pelarut yang tidak saling melarutkan, seperti air dan minyak ketika dicampurkan akan terbentuk dua fasa yang terpisah. Jika ditambahkan zat terlarut yang dapat larut di kedua fasa tersebut, seperti surfaktan tween 80 yang dapat larut dalam air dan minyak maka zat terlarut akan terdistribusi di kedua pelarut tersebut sampai tercapai kesetimbangan (Izah aisyah nur, 2020).

Perhitungan koefisien distribusi juga berfungsi untuk mengetahui perpindahan kontaminan TPH dari tanah tercemar minyak bumi (fase solid) ke air effluent pencucian tanah (fase liquid). Perhitungan koefisien distribusi dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut :

$$Kd = \frac{C_l}{C_s} \dots\dots\dots$$

Keterangan :

C_l : Kandungan TPH fase *liquid* (TPH awal tanah – TPH akhir tanah)

C_s : Kandungan TPH pada Tanah

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

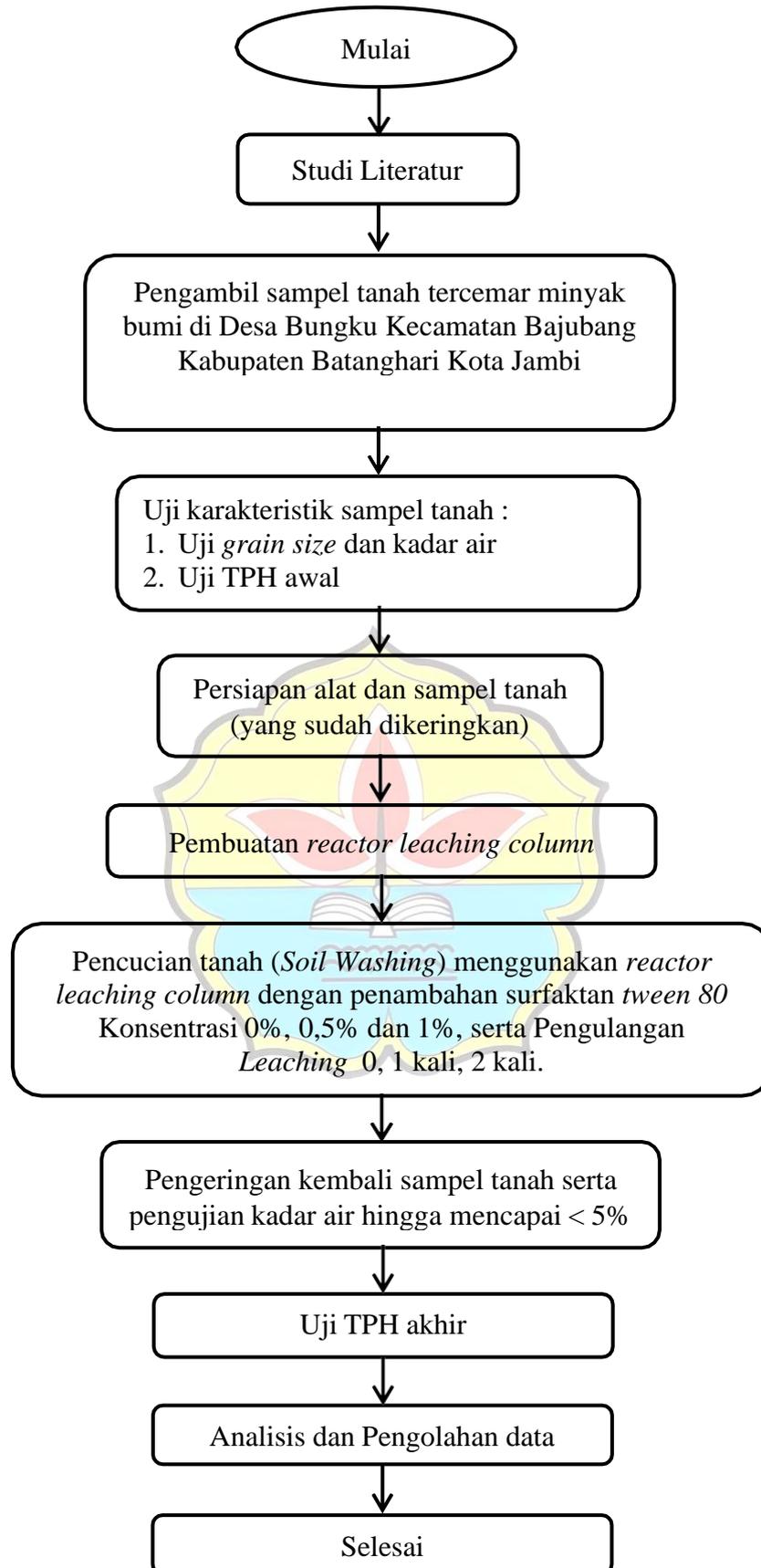
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan sampel tanah tercemar minyak bumi di salah satu bekas penambangan minyak bumi yang berada di Desa Bungku Kecamatan Bajubang Kabupaten Batanghari Kota Jambi. Parameter tanah yang di uji adalah grain size, kadar air tanah, dan TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) pada tanah tercemar minyak bumi. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi, dokumentasi, pengujian tekstur tanah, pengujian kadar air, dan pengujian sampel tanah tercemar minyak bumi sebelum dan sesudah *soil washing* dengan *leaching column* menggunakan surfaktan tween 80.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan sampel tanah tercemar minyak bumi dilakukan di salah satu bekas penambangan minyak bumi yang berada di Desa Bungku Kecamatan Bajubang Kabupaten Batanghari Kota Jambi (Lampiran I). Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2022. Sampel yang diambil di uji di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada (LPPT UGM) dan Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Batanghari.

3.3 Alur Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.4 Data Penelitian

Dalam penelitian kali ini penulis melakukan kegiatan pengumpulan data berupa data primer dan sekunder.

3.4.1 Data Primer

Data primer diperoleh dengan melakukan pengujian tekstur tanah, pengujian kadar air dan pengujian sampel *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) pada tanah tercemar minyak bumi sebelum dan sesudah proses soil washing menggunakan *leaching column*.

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder didapatkan oleh penulis melalui pengkajian yang telah dilakukan dari berbagai sumber seperti; jurnal, artikel yang terdapat pada *website* yang erat kaitannya dengan topik permasalahan penulis.

3.5 Variabel Penelitian

Adapun variabel pengolahan tanah tercemar minyak bumi menggunakan *soil washing* dengan metode *leaching column* adalah sebagai berikut :

1. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah parameter tanah yang diuji yaitu TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*).

2. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah konsentrasi surfaktan *Tween 80* yaitu sebesar 0%, 0,5% dan 1%, serta pengulangan *leaching* 0, 1 kali, dan 2 kali.

Berdasarkan variabel penelitian yang telah ditetapkan terdapat tiga variasi pada eksperimen yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Variasi Eksperimen Konsentrasi surfaktan

	Variasi Konsentrasi (ml/ml) Surfaktan		
	C1 (awal)	C2	C3
Jumlah Tanah	600 gr	600 gr	600 gr
Jumlah Aquades	3000 ml	3000 ml	3000 ml
Jumlah Surfaktan	0	15 ml	30 ml

Tabel 3. 2 Variasi Eksperimen Pengulangan *Leaching*

	Variasi Eksperimen Pengulangan (R) <i>Leaching</i>		
	R1	R2	R3
Jumlah Tanah	600 gr	600 gr	600 gr
Jumlah Aquades	3000 ml	3000 ml	3000 ml
Jumlah Surfaktan	15 ml	15 ml	15 ml
Pengulangan <i>Leaching</i>	0	1 kali	2 kali

Dari Tabel 3.1 dapat diketahui rasio solid/liquid yang digunakan yaitu 1:5 (b/V). Jumlah surfaktan didapatkan dengan cara mengalikan konsentrasi surfaktan dengan jumlah aquades yang akan dipakai. Larutan surfaktan 0,5% (V/V) artinya 0,5% dari jumlah 3000 ml aquades yaitu 15 ml, jumlah surfaktan 15 ml dilarutkan kedalam aquades 3000 ml.

3.6 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.6.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gelas ukur;
2. *Beaker glass*;
3. Cawan;
4. Oven;
5. Neraca analitik;
6. Spatula;
7. Desikator;
8. Pipa akrilik 2.7 inch;
9. Dop pipa 2 inch;
10. Pipa 2 inch;
11. Kran air;
12. Toples 5 liter.

3.6.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Tanah terkontaminasi minyak bumi;
2. Surfaktan *Tween* 80 (Polisorbat 80).

3.7 Tahapan Eksperimen

Tahapan Eksperimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Meyiapkan bahan-bahan yang terdiri dari tanah terkontaminasi minyak bumi, dan surfaktan *Tween* 80;
2. Setelah menyiapkan bahan-bahan, siapkan alat penelitian berupa : gelas ukur, *Beacker glass*, cawan, oven, timbangan, desikator, spatula;
3. Setelah menyiapkan alat dan bahan, dilakukan pengujian tekstur tanah, dan kadar air;
4. Peneliti melakukan uji laboratorium untuk mengetahui TPH pada tanah tercemar minyak bumi sebelum dilakukan proses soil washing dan penambahan surfaktan *Tween* 80;

5. Setelah itu peneliti membuat reaktor *leaching column* sederhana seperti pada gambar (lampiran 2);
6. Setelah reaktor *leaching column* terbentuk, peneliti melakukan proses *soil washing* menggunakan reaktor *leaching column* dengan menggunakan larutan surfaktan *Tween 80* dengan konsentrasi 0%, 0,5%, dan 1%, selain itu dilakukan juga proses *soil washing* dengan variasi pengulangan *leaching* yaitu 0, 1 kali, 2 kali menggunakan konsentrasi surfaktan 0,5%;
7. Tanah yang telah dicuci dikeringkan kembali selama 72 jam atau 3 hari sebelum dilakukan pengujian kembali untuk mengetahui TPH pada tanah tercemar minyak bumi setelah proses *soil washing*;
8. Menganalisis hasil pengujian laboratorium, analisis difokuskan pada konsentrasi larutan surfaktan dan pengulangan *leaching* pada proses *soil washing* dalam mereduksi kontaminan TPH yang terkandung pada tanah tercemar minyak bumi.

3.8 Tahapan Pengujian Karakteristik Tanah (*Grain Size*)

Pada tahap ini ada 3 tahap yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil *Grain Size* antara lain : pengujian berat jenis, analisis saringan, pengujian hidrometer.

3.8.1 Tahapan Pengujian Berat Jenis

Tahapan pengujian berat jenis yaitu sebagai berikut :

1. Menimbang berat cawan kosong;

2. Menimbang berat tanah sebanyak 20 gram dimasukkan ke dalam cawan;
3. Oven selama 12 jam pada 110°C;
4. Menimbang berat piknometer;
5. Tanah dipindahkan dari cawan ke dalam piknometer;
6. Menimbang berat piknometer + tanah;
7. Menentukan suhu piknometer sesuai dengan ketentuan;
8. Piknometer + tanah ditambahkan air 2/3 dari piknometer lalu dipanaskan diatas hotplate selama 30 menit untuk mengeluarkan udara di dalam tanah (tidak boleh di tinggal selama pemanasan dan jika air berkurang harus ditambah);
9. Didinginkan lalu piknometer + tanah diisi air hingga penuh lalu direndam sampai 24 jam ;
10. Ditimbang dan dihitung.

3.8.2 Tahapan Pengujian Analisis Saringan

Tahapan pengujian Analisis saringan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan tanah sebanyak 200 gram direndam dengan air selama 24 jam;
2. Menyiapkan saringan dengan ukuran 2", 1", 3/8", No 4, No 10, No 40, No 200;
3. Menimbang berat cawan kosong;
4. Susun semua saringan sesuai dengan urutan diatas lalu masukan tanah dan dialiri dengan air;

5. Masukkan tanah yang tertahan di setiap masing-masing ukuran saringan ke dalam cawan yang berbeda lalu beri nama cawan sesuai dengan ukuran saringan;
6. Setiap cawan di oven dengan suhu 110°C selama 24 jam;
7. Menimbang berat cawan + tanah yang sudah di oven ;
8. Mencatat hasil timbangan lalu dihitung peresentase tertahan dan lolosnya.

3.8.3 Tahapan Pengujian Analisis Hidrometer

Tahapan pengujian Analisis hidrometer adalah sebagai berikut :

1. Siapkan tanah sebanyak 50 gram dan larutan heksametafosfat 100 ml
2. Masukkan tanah dan larutan heksametafosfat kedalam gelas piala
3. Diaduk dan didiamkan selama 24 jam
4. Pindahkan kedalam gelas ukur 1000 ml lalu tambahkan air suling hingga menunjukkan angka 900 di gelas ukur
5. Diaduk 1 menit sebanyak 60 kali lalu tambahkan air suling hingga angka 1000 ml pada gelas ukur
6. Pembacaan dan pencatatan skala hidrometer dari mulai 30 detik, 60 detik, 2 menit, 5 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 250 menit, dan 1440 menit
7. Disaring menggunakan saringan 200
8. Pindahkan tanah yg tertahan ke dalam cawan lalu di oven selama 1 jam
9. Didinginkan lalu disaring lagi menggunakan saringan 20, 40, 80, 100, dan 200

10. Timbang cawan kosong dan diberi label
11. Pindahkan tiap tanah yang tertahan di masing masing saringan ke dalam cawan yg berbeda lalu dicatat.

3.9 Tahapan Pengujian Kadar Air

Tahapan Pengujian Kadar Air adalah sebagai berikut :

1. Siapkan cawan dan ditimbang
2. Masukkan tiap tanah ke masing masing cawan lalu ditimbang dan diberi label
3. Oven selama 24 jam hingga hasil konstan dengan suhu 105°c
4. Dinginkan menggunakan desikator
5. Menimbang beberapa kali tiap cawan hingga hasil konstan

3.10 Analisis Data

Analisis data pada penelitian menggunakan analisis secara kuantitatif. Analisis data ini berfokus pada pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat, untuk melihat efisiensi variasi surfaktan *Tween 80* dan pengulangan *leaching* dalam mereduksi kontaminan *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)* yang terkandung pada tanah tercemar minyak bumi. Analisis data dilakukan dengan uji *grain size*, uji kadar air dan efisiensi penyisihan pencemar hidrokarbon.

A. Uji *Grain Size*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi butiran tanah dengan mencari persentase berat dari tiap-tiap ukuran butir tanah. Pengujian ini berdasarkan SNI 6371:2015 tentang tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah (ASTM D 2487-06,

MOD). Standar ini menetapkan sistem untuk mengklasifikasikan tanah kedalam 3 kelompok utama yaitu tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir), tanah berbutir halus (lanau dan lempung) dan tanah berorganik tinggi. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Batang Hari Jambi.

B. Uji Kadar Air

Kadar air (*moisture content*) adalah perbandingan berat air terkandung dalam contoh tanah atau agregat dengan berat kering tanah/agregat. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Pengujian kadar air bertujuan untuk mencari besarnya kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering. Pengujian ini berdasarkan SNI 1965:2019 tentang metode uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium (ASTM D2216-10, MOD). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Batang Hari Jambi. Perhitungan kadar air dapat dilihat pada Persamaan 3.1 sebagai berikut :

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_3} \times 100 \% \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3.1)}$$

Keterangan :

- w : Kadar air (%)
- W₁ : Berat cawan dan tanah basah (gr)
- W₂ : Berat cawan dan tanah kering (gr)
- W₃ : Berat cawan (gr)
- W₁- W₂ : Berat air (gr)
- W₁- W₃ : Berat tanah basah (partikel padat) (gr)

C. Perhitungan Efisiensi Penyisihan

Menurut Qizing Zhou (2005) dalam ASTM EPA 9071B, Efisiensi penyisihan pencemar hidrokarbon pada tanah dihitung menggunakan rumus yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2 sebagai berikut :

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \% \dots\dots\dots (Persamaan 3.2)$$

Keterangan :

E : Efisiensi penyisihan (%) C_e : Konsentrasi TPH akhir

C₀ : Konsentrasi TPH awal

D. Perhitungan Koefisien Distribusi (Kd)

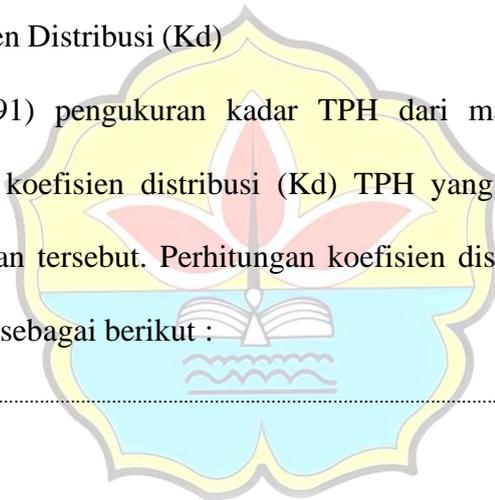
Menurut EPA (1991) pengukuran kadar TPH dari masing-masing tanah dihitung parameter koefisien distribusi (Kd) TPH yang dapat dicapai dari penggunaan surfaktan tersebut. Perhitungan koefisien distribusi dapat dilihat pada persamaan 3.3 sebagai berikut :

$$Kd = \frac{C_l}{C_s} \dots\dots\dots (Persamaan 3.3)$$

Keterangan :

C_l : Kandungan TPH fase *liquid* (TPH awal tanah – TPH akhir tanah)

C_s : Kandungan TPH pada Tanah



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

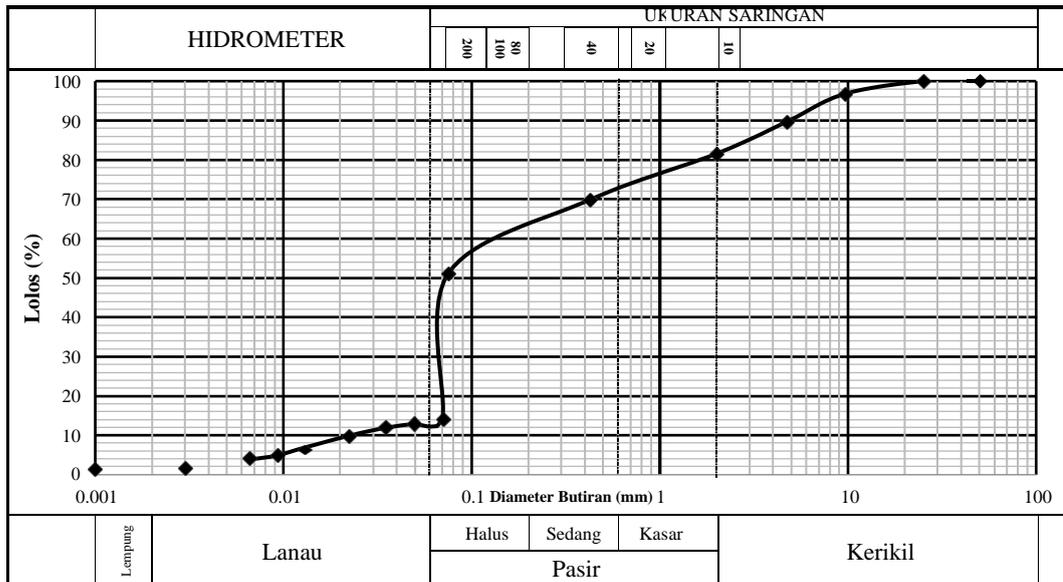
4.1 Karakteristik Tanah

Teknik soil washing merupakan metode pemisahan tanah dari kontaminan pencemar secara kimia-fisik sehingga efektifitasnya juga akan dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah, maupun kandungan kontaminan pada tanah secara spesifik. Untuk itu perlu dilakukan uji karakteristik tanah tercemar minyak seperti tekstur tanah yang meliputi komposisi *sand*, *silt* dan *clay*.

4.1.1 Analisis Ukuran Butir (*Grain Size Analysis*)

Sifat dan karakteristik tanah sangat dipengaruhi oleh komposisi dan ukuran butirnya. Analisis ukuran butir adalah penentuan presentase berat butiran pada ukuran diameter tertentu. Untuk menganalisis ukuran butir tanah, perlu dilakukan dua pengujian yaitu uji saringan (*sieve analysis*) dan uji hidrometer (*hydrometer analysis*). Uji saringan dipergunakan untuk mengetahui distribusi ukuran tanah yang berbutir kasar seperti kerikil (*gravel*) dan tanah (*sand*) sehingga diketahui persentase jumlah butir tanah dengan diameter lebih besar dari 0,075 mm. Uji hidrometer dipergunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butir halus seperti lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) dengan diameter lebih kecil dari 0,075 mm.

Hasil uji saringan dan hidrometer disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Distribusi Ukuran Tanah

Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah, Gambar 4.1 menunjukkan hasil uji saringan dan hidrometer pada sampel tanah tercemar minyak bumi. Grafik distribusi ukuran partikel pada sampel menunjukkan bahwa sampel tanah mengandung 18,41% kerikil (*gravel*), 67,65% pasir (*sand*), 12,52% lanau (*silt*) dan 1,42% lempung (*clay*). Berdasarkan sistem klasifikasi USDA apabila tanah mengandung butiran kasar (berdiameter lebih besar dari 2 mm) maka perlu diadakan koreksi, dikarenakan bahwa dasar untuk menentukan klasifikasi tekstur tanah hanya didasarkan pada persentase pasir, lanau, dan lempung. Komposisi tekstural yang dimodifikasi adalah sebagai berikut:

$$Sand = \frac{\% sand \times 100}{(100 - \% gravel)} = \frac{67,65 \times 100}{(100 - 18,41)} = 81,92\%$$

$$Silt = \frac{\% silt \times 100}{(100 - \% gravel)} = \frac{12,52 \times 100}{(100 - 18,41)} = 15,34\%$$

$$Clay = \frac{\% clay \times 100}{(100 - \% gravel)} = \frac{1,42 \times 100}{(100 - 18,41)} = 1,74\%$$

Berdasarkan pada persentase butiran yang telah dimodifikasi tersebut, dimana pasir (*sand*) 81,92%, lanau (*silt*) 15,34% dan lempung (*clay*) 1,74%, sistem klasifikasi USDA menunjukkan bahwa tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah termasuk jenis *loamy sand* (pasir bertanah liat).

Salah satu parameter fisik utama tanah yang mempengaruhi efektifitas metode *soil washing* sebagai teknik remediasi adalah persentase tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. *Soil washing* akan lebih sulit dilakukan jika tanah yang akan diolah mengandung butiran halus yang lebih tinggi (30%-35%). Hal ini dikarenakan kontaminan akan lebih banyak berikatan dengan partikel yang lebih kecil yaitu lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) (berbutir halus), selanjutnya tanah berbutir halus tersebut akan berikatan dengan partikel yang lebih besar yaitu tanah berbutir kasar kerikil (*gravel*) dan pasir (*sand*). Untuk itu dilakukan pengujian saringan dan pengujian hidrometer untuk mengetahui persentase tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus (Mulyono, 2006). Dari hasil uji yang didapat bahwa tanah sampel yang digunakan pada penelitian ini berjenis *loamy sand* (pasir bertanah liat) yang mengandung persentase tanah berbutir kasar sebesar 81,92%, sehingga untuk melakukan metode *soil washing* tanah berjenis ini dikategorikan efisien untuk teknik remediasi.

4.2 Analisis Kadar Air

Uji kadar air pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang berada pada sampel tanah sebelum dan setelah proses *soil washing* seperti pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Kadar Air Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi

Satuan	Sampel					
	C1	C2	C3	R1	R2	R3
%	0,67	0,72	1,66	0,72	1,09	1,11

Dapat dilihat pada tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian kadar air pada tanah tercemar minyak bumi dimana pada hasil tersebut dari sampel awal hingga sampel setelah treatment (C1-R3) kadar airnya dibawah 5%. Hal tersebut dikarenakan selama preparasi, tanah dijemur dan kandungan air lepas dari tanah. Selain itu dikarenakan golongan tanah yang termasuk *loamy sand* (pasir bertanah liat) berarti persentase pasirnya cukup besar sehingga tanah sedikit mengikat air. Dari hasil pengujian kadar air yang relatif kecil dibawah 5% sehingga pengujian kandungan *Total Petroleum Hydrocarbon* dapat dilakukan.

4.3 Analisis Kadar TPH awal

Setelah dilakukan uji TPH awal pada sampel tanah tercemar minyak bumi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2 Konsentrasi TPH Awal pada Tanah Tercemar Minyak Bumi

Sampel	Konsentrasi TPH (mg/kg)
Tanah Tercemar	3092,75

Berdasarkan hasil uji sampel awal pada tabel diatas menunjukkan hasil uji konsentrasi TPH pada tanah tercemar minyak bumi pada sampel awal sebesar 3092,72 mg/kg diatas 100 mg/kg. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2018 Tentang Pedoman Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, kandungan TPH dengan jenis *petroleum hydrokarbon* yang berada pada

konsentrasi diatas 100 mg/kg, wajib dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non B3 atau dilakukan pengelolaan tanah terkontaminasi dengan metode soil washing untuk kandungan sebesar 15% > TPH .

Berdasarkan hasil uji sampel awal diketahui bahwa terdapat kontaminan hidrokarbon pada titik pengambilan sampel bekas pengeboran minyak sehingga tanah mengandung kontaminan TPH. Oleh karena itu sampel tanah yang diambil dapat digunakan sebagai bahan uji *soil washing* untuk menurunkan parameter TPH sebagai pencemar. Sampel awal diketahui mengandung konsentrasi TPH sebesar 3092,72 mg/kg dimana sampel tanah tersebut memiliki tekstur tanah pasir bertanah liat, dan merupakan tanah yang berbutir kasar memiliki pori yang sangat besar sehingga mudah dilalui air.

4.4 Analisis Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan Terhadap Penyisihan Kontaminan TPH

Surfaktan adalah senyawa yang mampu melepaskan ikatan kontaminan dari tanah dengan menurunkan tegangan permukaan antar fase solid/liquid. Surfaktan *hidrofobik* bekerja dengan cara membentuk misel dari molekul-molekul tunggal (monomer) dan dalam jumlah yang memadai pada air akan mampu mengikat senyawa non-polar (*hidrofobik*) seperti minyak. Saat misel terbentuk, bagian kepala surfaktan yang suka air (*hidrofilik*) akan meposisiikan dirinya terkena air, sedangkan ekornya yang tidak larut pada air (*hidrofobik*) akan dikelompokkan di tengah struktur misel sehingga terlindungi dari air, misel lalu bekerja sebagai unit untuk menghilangkan minyak pada tanah. Ekor yang tidak larut pada air akan tertarik ke minyak dan mengelilinginya, sedangkan kepala surfaktan menarik

minyak dari permukaan tanah ke dalam larutan surfaktan (Sheat dan Foster, 1997).

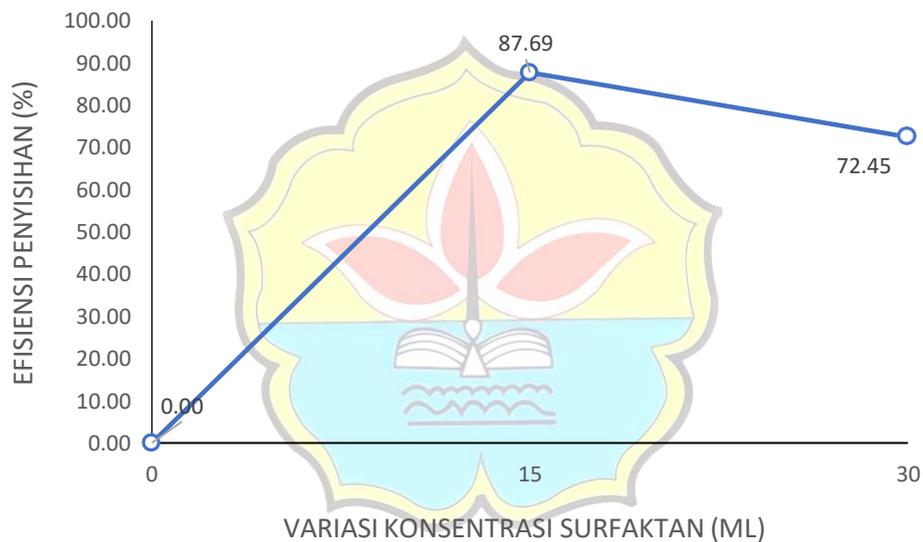
Surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tween 80 yang bersifat nonionik. Tween 80 mempunyai nilai Hidrofilik Lipofilik Balance (HLB) sebesar 15, nilai konsentrasi kritik misel (KKM) sebesar 16 mg/l, dan dapat membentuk misel pada kondisi minyak dalam air (M/A). Surfaktan nonionik lebih mudah membentuk misel pada air bila dibandingkan dengan surfaktan ionik karena proses agregasi terjadi terutama karena ketertarikan komponen hidrofobik antara rantai non-polar, sedangkan rantai hidrofilik mudah dipisahkan dari fase cair.

Surfaktan Tween 80 memiliki berat jenis sebesar 1080 mg/ml. Penambahan konsentrasi surfaktan 0,5% berarti jumlah surfaktan yang dipakai sebesar 15 ml dalam 3000 ml air atau 5 ml/l. Bila dikonversikan berdasarkan berat jenis surfaktan, konsentrasi 5 ml/l setara dengan 5400 mg/l atau sebesar 1080 mg/l untuk 1 ml/l. Tween 80 memiliki nilai KKM sebesar 16 mg/l, pada penelitian ini konsentrasi terkecil yang digunakan adalah 5400 mg/l sehingga nilai tersebut jauh di atas Konsentrasi Kritik Misel (KKM). Pembentukan misel diatas KKM meningkatkan kelarutan kontaminan, sehingga kontaminan TPH terperangkap di dalam inti hidrofobik misel oleh gaya hidrofobik dan akibatnya kelarutannya dalam fasa air meningkat. Penggunaan surfaktan dengan konsentrasi yang terlalu kecil (dibawah KKM), akan mengakibatkan teradsorpsinya surfaktan ke permukaan tanah (C.C. West dkk., 1992 dalam Dengyu Li dkk., 2015). Hasil

penyisihan TPH pada tanah tercemar minyak menggunakan surfaktan tween 80 dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan terhadap Penyisihan TPH pada Tanah *Loamy Sand*

Kode Sampel	Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH (mg/kg)	Efisiensi Penyisihan (%)
C1 (Awal)	0 (0%)	3092,72	0
C2	15 (0,5%)	380,75	87,69
C3	30 (1%)	851,92	72,45



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Konsentrasi Surfaktan terhadap Penyisihan TPH pada Tanah *Loamy Sand*

Dapat dilihat pada gambar 4.2, TPH awal yg bernilai 3092,75 mg/kg ditandai 0 pada grafik. Gambar 4.2 menunjukkan penyisihan kontaminan TPH pada tanah tercemar minyak bumi menggunakan *leaching column* dengan penggunaan surfaktan tween 80 pada konsentrasi 0,5% dan 1%, mengalami Peningkatan penyisihan mencapai lebih dari 70 % pada kedua sampel (C2 dan C3).

Penurunan penyisihan kontaminan TPH pada konsentrasi 0,5% terjadi karena, surfaktan yang digunakan pada konsentrasi 0,5% memiliki nilai diatas KKM yaitu sebesar 5400 mg/l. Pembentukan misel diatas KKM meningkatkan kelarutan kontaminan, sehingga kontaminan TPH terperangkap di dalam inti hidrofobik misel oleh gaya hidrofobik dan mengakibatkan kelarutan TPH dalam fasa air meningkat. Pada variasi konsentrasi 1% penyisihan kontaminan TPH lebih kecil dibandingkan pada variasi konsentrasi 0,5%. Hal ini disebabkan karena konsentrasi surfaktan yang lebih tinggi mengarah pada kondisi berlebih dan menyebabkan terjadinya penumpukan surfaktan (akumulasi). Akumulasi surfaktan menyebabkan munculnya misel dalam jumlah yang banyak dan memaksa molekul yang terbentuk untuk saling berdekatan dan bergabung, maka interaksi antara minyak dan surfaktan lebih mudah terjadi dan dalam hal ini akan banyak terjadi penggumpalan (Mistry, 2016). Berdasarkan variasi konsentrasi surfaktan tween 80, penyisihan TPH pada tanah *loamy sand* memiliki nilai tertinggi dengan konsentrasi surfaktan 0,5%. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu oleh Effendi,dkk (2015), dan Hadrah (2015).

4.5 Analisis Pengaruh Variasi Pengulangan *Leaching* Terhadap Penyisihan Kontaminan TPH

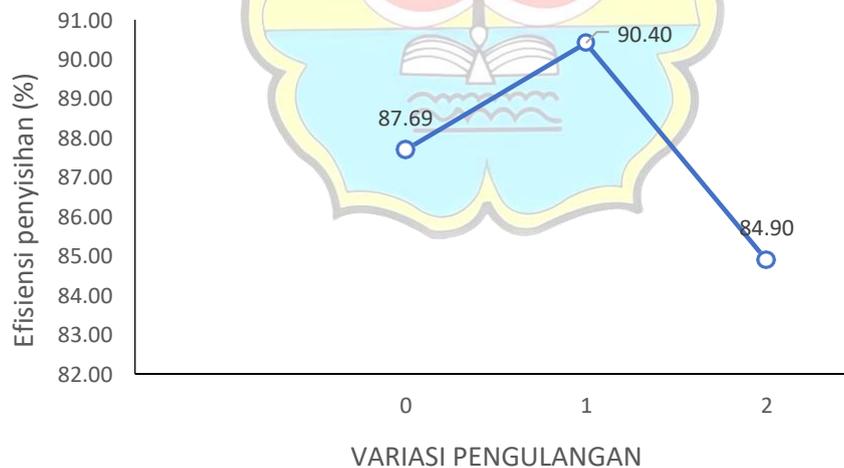
Salah satu bahan untuk menentukan efisiensi penyisihan kontaminan hidrofobik yang dalam penelitian ini adalah TPH, yaitu penggunaan jenis surfaktan yang sesuai dengan pembentukan emulsi minyak dalam air sehingga proses pemindahan kontaminan dari permukaan tanah ke larutan dapat berlangsung. Pada penelitian ini penyisihan TPH menggunakan metode kimia-

fisika dimana tanah terkontaminasi TPH disisihkan (desorpsi) menggunakan surfaktan tween 80 dengan variasi pengulangan *leaching*.

Pada ketiga sampel diberikan beberapa variasi pengulangan *leaching*. Variasi pengulangan *leaching* dilakukan dengan urutan 0 (tidak ada pengulangan), 1 kali, dan 2 kali, dengan tanah 600g dan larutan surfaktan Tween 80 sebanyak 15 ml. Setelah pengaliran larutan surfaktan selesai, dilakukan pengukuran TPH tanah pada masing-masing variasi seperti pada tabel 4.4 dan gambar 4.3

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi pengulangan *leaching* terhadap Penyisihan TPH pada Tanah *Loamy Sand*

Kode Sampel	Pengulangan (kali)	Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH (mg/kg)	Efisiensi Penyisihan (%)
R1	0	15 (0,5%)	380,75	87,69
R2	1	15 (0,5%)	296,79	90,40
R3	2	15 (0,5%)	467,09	84,90



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Variasi pengulangan *leaching* terhadap Penyisihan TPH pada Tanah *Loamy Sand*

Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 pengulangan pencucian menyebabkan peningkatan penyisihan TPH pada tanah. Peningkatan ini terjadi karena waktu kontak antara larutan surfaktan dan tanah lebih lama sehingga memungkinkan larutan surfaktan tween 80 yang tidak mengikat kontaminan pada *leaching*

pertama, memiliki kesempatan untuk mengikat kontaminan pada fraksi partikel tanah pada saat *leaching* kedua dan seterusnya.

Variasi *leaching* tanpa pengulangan menghasilkan efisien penyisihan kontaminan sebesar 87,69%. Variasi *leaching* sebanyak satu kali menghasilkan peningkatan penyisihan sebesar 3% dibandingkan tanpa pengulangan. Hal ini dimungkinkan karena kontaminan TPH sebelumnya tidak sepenuhnya mengalami kontak dengan larutan surfaktan tween 80 sehingga kontaminan belum tersisihkan semuanya. Variasi pengulangan *leaching* sebanyak satu kali menghasilkan penyisihan TPH sebesar 90,40% dibandingkan dengan variasi pengulangan sebanyak dua kali yang hanya sebesar 84,90%. Penurunan penyisihan TPH dengan pengulangan *leaching* sebanyak dua kali dimungkinkan disebabkan karena kontaminan TPH yang telah diikat oleh larutan surfaktan tween 80 lepas kembali kedalam partikel tanah. Berdasarkan variasi pengulangan *leaching*, larutan tween 80 memiliki nilai tertinggi penyisihan pada variasi sebanyak satu kali pengulangan. Pengulangan *leaching* lebih dari satu kali menyebabkan minyak yang telah diikat oleh surfaktan akan terserap kembali ke dalam permukaan partikel tanah dari partikel yang telah tersebar (dispersi) (Rieger,1985).

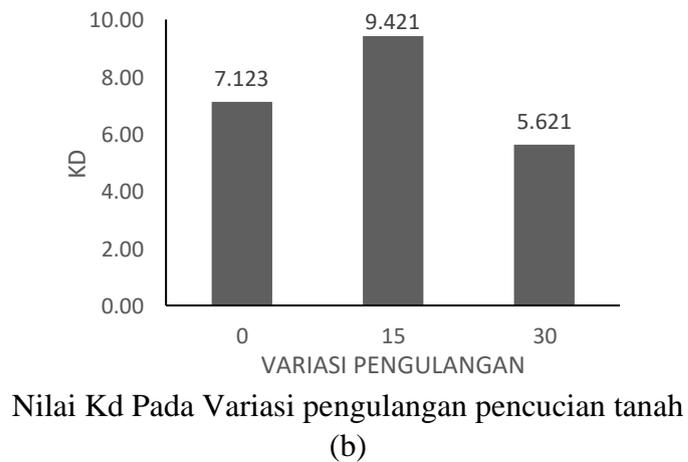
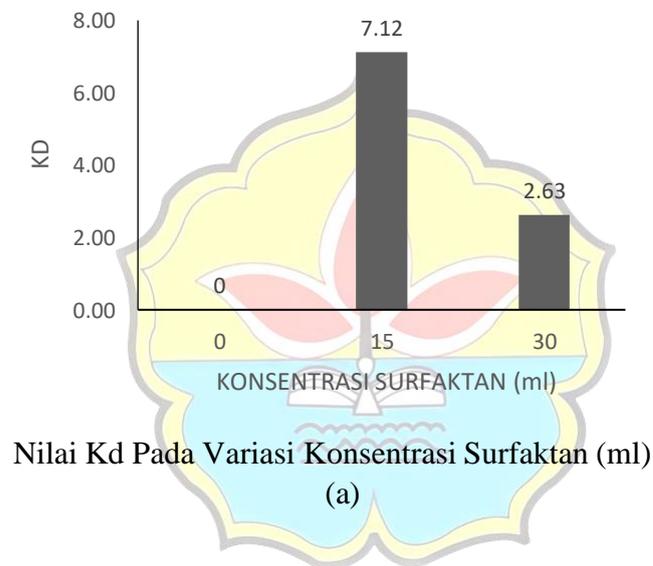
4.5 Koefisien Distribusi TPH (Kd)

Penentuan nilai koefisien distribusi (kd) untuk mengetahui penyebaran zat diantara dua pelarut yang dicampurkan, tetapi tidak saling melarutkan. Proses penentuan koefisien distribusi dikenal dengan hukum distribusi Nernst. Dua pelarut yang tidak saling melarutkan, seperti air dan minyak ketika dicampurkan akan terbentuk dua fasa yang terpisah. Jika ditambahkan zat terlarut yang dapat

larut di kedua fasa tersebut, seperti surfaktan tween 80 yang dapat larut dalam air dan minyak maka zat terlarut akan terdistribusi di kedua pelarut tersebut sampai tercapai kesetimbangan (Izah aisyah nur, 2020).

Peningkatan jumlah konsentrasi surfaktan tween 80 dan waktu kontak (pengulangan) diharapkan dapat meningkatkan jumlah kontaminan yang terlarut pada fase cair karena memungkinkan gradient konsentrasi yang lebih besar. Namun, bila dilakukan perhitungan koefisien distribusi (kd) TPH (lampiran 3) dengan variasi konsentrasi surfaktan dan pengulangan pencucian tanah, diketahui bahwa peningkatan pada kedua variasi tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai kd berdasarkan gambar 4.4. Hal tersebut dikarenakan jenis tanah yang digunakan yaitu *loamy sand* dengan kandungan organik tanah yang tinggi dan kapasitas tukar kation yang rendah, menyebabkan monomer surfaktan dapat bertukar tempat dengan kontaminan/organik yang berada di dalam tanah, sehingga semakin tinggi konsentrasi tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi penyisihan. Selain itu, secara fisik tanah *loamy sand* juga mengandung kalsit (kapur) yang menyebabkan kuatnya interaksi antar partikel-partikel tersebut dengan kontaminan. Kapur yang terdapat pada tanah *loamy sand* bersifat nonpolar sehingga cenderung mengabsorb minyak lebih banyak. Pada saat proses *leaching*, minyak berada pada kapur tidak seluruhnya dapat teraliri oleh surfaktan dikarenakan adanya interaksi antara kapur yang bersifat hidrofobik dengan minyak yang bersifat non polar menyebabkan rendahnya nilai penyisihan minyak dari tanah dan menyebabkan kecilnya nilai Kd pada tanah *loamy sand* (effendi dkk. 2015).

Pengulangan pencucian tanah juga tidak selalu memberikan dampak yang signifikan terhadap nilai koefisien distribusi (kd). Berdasarkan hasil penelitian, pengulangan pencucian lebih dari satu kali justru menurunkan nilai koefisien distribusi TPH. Berdasarkan hasil penelitian, pemilihan rasio variasi konsentrasi surfaktan dan pengulangan pencucian tanah yang optimal terhadap efisiensi penyisihan TPH yaitu, pada konsentrasi 0,5% dan pengulangan pencucian sebanyak 1 kali pada jenis tanah loamy sand.



Gambar 4.4 Grafik Perubahan Nilai Koefisien Distribusi (Kd) TPH Terhadap (a) Variasi Konsentrasi Surfaktan, dan (b) Variasi pengulangan pencucian tanah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

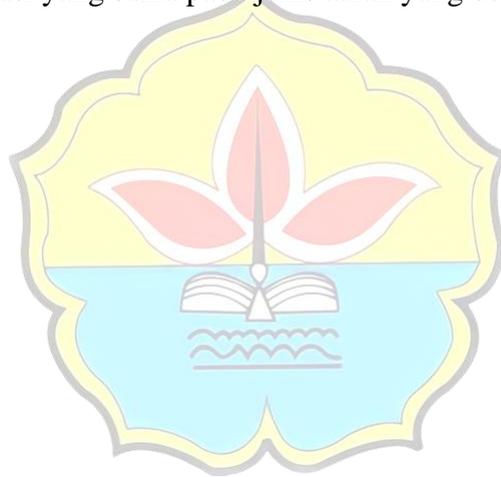
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan :

1. Pada tanah yang berjenis loamy sand, metode *soil washing* menggunakan *leaching* column dengan penambahan surfaktan tween 80 dapat menurunkan kontaminan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dengan efisiensi penurunan sebesar 90,45% menggunakan konsentrasi surfaktan 0,5% dengan pengulangan *leaching* sebanyak 1 kali.
2. Variasi konsentrasi surfaktan tween 80 dapat mempengaruhi penyisihan kontaminan TPH, dimana pada konsentrasi surfaktan yang berbeda akan menghasilkan penyisihan yang berbeda pula. Penambahan konsentrasi surfaktan tween 80 mempengaruhi penyisihan TPH dengan penyisihan optimal sebesar 87,69% pada konsentrasi 0,5%. Selain itu, Penambahan pengulangan *leaching* sebanyak satu kali dapat meningkatkan penyisihan TPH dengan efisiensi akhir sebesar 90,40%.

5.2 Saran

Penulis sadar akan kekurangan dari penelitian ini, sehingga saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk peneliti selanjutnya sebagai berikut, guna melengkapi kekurangan dari penelitian ini yaitu

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan campuran jenis surfaktan yang berbeda untuk menyisihkan kontaminan TPH dengan waktu penyisihan yang lebih singkat.
2. Diperlukan penelitian *soil washing* menggunakan *leaching column* dengan variasi yang sama pada jenis tanah yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1999). *Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)*. USA: Departement of Health and Human Service, Public Health Service.
- Aritosa Toni Ika, dkk. 2017. Operasi Dan Proses Remediasi Lingkungan Menggunakan Metode Fisik Kimia. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Balai Penelitian Tanah. (2005). *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Ououk*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Depertemen Pertanian.
- Carl F. Engle, Craig. G. C., and Robert G. Stevens. (2010) : Role of Soil in Groundwater Protection, CE Publications, 1633, 1-7.
- Charlena et al., 2009. Solubility Profile of Petroleum Waste In Water as Effect of Nonionic Surfactant and Stirring Rate. Institut Pertanian Bogor.
- Claire, 2007. Understanding Soil Washing. *Technical Bulletin*, 13, 1-4.
- Clark J. 2004. Mechanism, chemistry, and physics dispersants in oil spill response. Presentation to NRC committee on understanding oil spill dispersants: efficacy and effects. Exxon Mobile Research ang Engineering.
- Effendi, A. J., & Indriati, N. (2015). Remediasi Tumpahan Minyak Menggunakan Metode Soil Washing Dengan Optimal Kondisi Reaksi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Hal 180-189.
- Griffiths, Richard A. 1995. Teknologi dan praktik pencucian tanah. *Jurnal Bahan Berbahaya*, 40, 175-189.
- Hadrah. 2015. Optimasi Rasio Solid/Liquid Pada Teknik Soil Washing Tanah Terkontaminasi Minyak Dari Proses Eksplorasi Minyak Bumi. *Tesis ITB*.

- Harmesa. 2020. Teknik-Teknik Remediasi Sedimen Terkontaminasi Logam Berat. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (t.thn.). *Petunjuk Teknis Pengujian Tanah*. Jakarta Selatan: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Luis G. Torres, Neftali Rojas, Guadalupe B, and Rosario I. 2004: Effect of Temperature, Surfactant's HLB and Dose Over TPH-Diesel Biodegradation Process in Aged Soil, *Jounal of Process Biochemistry*, Elsevier, 40, 3296- 3302.
- Mistry K.R., Sarker D.K. SLNs. 2016. can serve as the New Brachytherapy Seed: Determining Influence of Surfactans on Particles Size of Solid Lipid Microparticles and Development of Hydrophobised Copper Nanoparticles for Potential Insertion. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*.
- Mulyono, M. 2006. Teknik Cuci Lahan (Soil Washing) untuk Remediasi Lahan Tercemar Minyak Bumi. *Lembaran Publikasi Lemigas*, 3-8.
- Nugroho Priono. 2018. Kinetika *Leaching* Ion Logam Berat Pb^{2+} Pada Geopolimer Berbasis Abu Layang Pt. Ipmomi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Palar, Heryando. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2018 Tentang Pedoman Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah Bahan Berbahaya Beracun.
- Rahmadani denis bahtiar. 2019. Remediasi Tumpahan Minyak Dengan Metode *Soil Washing* Sebagai Upaya Penanggulangan Degradasi Lingkungan. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- Rieger, M.M. (1985) *Surfactant in Cosmetics*. Surfactant science series. New York: Marcel Dekker, Inc, Halaman 488.
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J dan Quinn, M.E. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients, 6 th ed., American Pharmacist Assiciation and Pharmaceutical Press*, Washington DC and London.
- Sarasputri Dwi Ajeng. 2011. *Perbandingan Biostimulasi dan Bioagumentasi Dalam Bioremediasi Pantai Tercemar Minyak Bumi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Sharma, H.D. and Reddy, K.R. 2004. *Geoenvironmental Engineering: Site Remediation, Waste Containment, and Emerging Waste Management Technologies*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Sheats, W. Brad dan Norman C. Foster. 1997. *Concentrated Products from Methyl Ester Sulfonates*.
- Syarah. 2019. *Reduksi Total Petroleum Hydrocarbon (Tph) Pada Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi Melalui Soil Washing Menggunakan Alkyl Benzene Sulfonate (Abs)*. Universitas Batang Hari. Jambi.
- USEPA. 1993. *Clean Water Act*. Washington, D.C.; U.S. Environmental Protection Agency.
- Vyatrawan Lukman. 2015. *Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Metode Soil Washing Dan Biostimulasi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Zein Ririn Farida. 2021. *Pengaruh Variasi Konsentrasi Tween 80 Terhadap Laju Pelepasan Meloxicam Dalam Sistem Solid Lipid Nanoparticle (Sln)*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Kadar Air

Berat sampel = 27,87 gr

Suhu = 105°C

Waktu = 24 jam

Massa cawan kosong (W1) = 3,802 gr

Massa cawan + sampel awal (W2) = 40,642 gr

Massa cawan + sampel akhir (W3) = 40,395 gr

% Kadar Air = $\frac{W2-W3}{W2-W1} \times 100\%$

$$= \frac{40,642-40,395}{40,642-3,802} \times 100\%$$

$$= 0,67 \%$$

	satuan	Cawan					
Nomor Cawan	-	Cst 1	Cst 2	Cst 3	Cst 4	Cst 5	Cst 6
Berat Cawan Kosong	gram	3,802	8,781	3,693	8,781	4,545	5,051
Berat Cawan + Tanah Basah	gram	40,642	39,97	34,63	39,97	36,155	35,7
Berat Cawan + Tanah Kering	gram	40,395	39,746	34,125	39,746	35,815	35,364
Berat Air	gram	0,247	0,224	0,505	0,224	0,34	0,336
Berat Tanah Kering	gram	36,593	30,965	30,432	30,965	31,27	30,313
Kadar Air	%	0,67	0,72	1,66	0,72	1,09	1,11

Lampiran 2 Perhitungan penyisihan kontaminan TPH

A. pengaruh penambahan Konsentrasi

Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH Awal (mg/kg)	Konsentrasi TPH Akhir (mg/kg)	Efisiensi Penyisihan (%)
0	3092,75	3092,75	0
15	3092,75	380,75	87,69
30	3092,75	851,92	72,45

Konsentrasi TPH awal (C_o) = 3092,75 mg/kg

Konsentrasi TPH akhir (C_e) = 380,75 mg/kg

$$\begin{aligned} \% \text{ Penyisihan} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \% \\ &= \frac{3092,75 - 380,75}{3092,75} \times 100 \% \\ &= 87,69 \% \end{aligned}$$

B. Pengaruh penambahan pengulangan *leaching*

pengulangan <i>Leaching</i>	Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH Awal (mg/kg)	Konsentrasi TPH Akhir (mg/kg)	Efisiensi Penyisihan (%)
0	15	3092,75	380,75	87,69
1	15	3092,75	296,79	90,40
2	15	3092,75	467,09	84,90

Konsentrasi TPH awal (C_o) = 3092,75 mg/kg

Konsentrasi TPH akhir (C_e) = 380,75 mg/kg

$$\begin{aligned} \% \text{ Penyisihan} &= \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \\ &= \frac{3092,75 - 380,75}{3092,75} \times 100 \% \\ &= 87,69 \% \end{aligned}$$

Lampiran 3 Perhitungan Koefisien Distribusi (KD) TPH

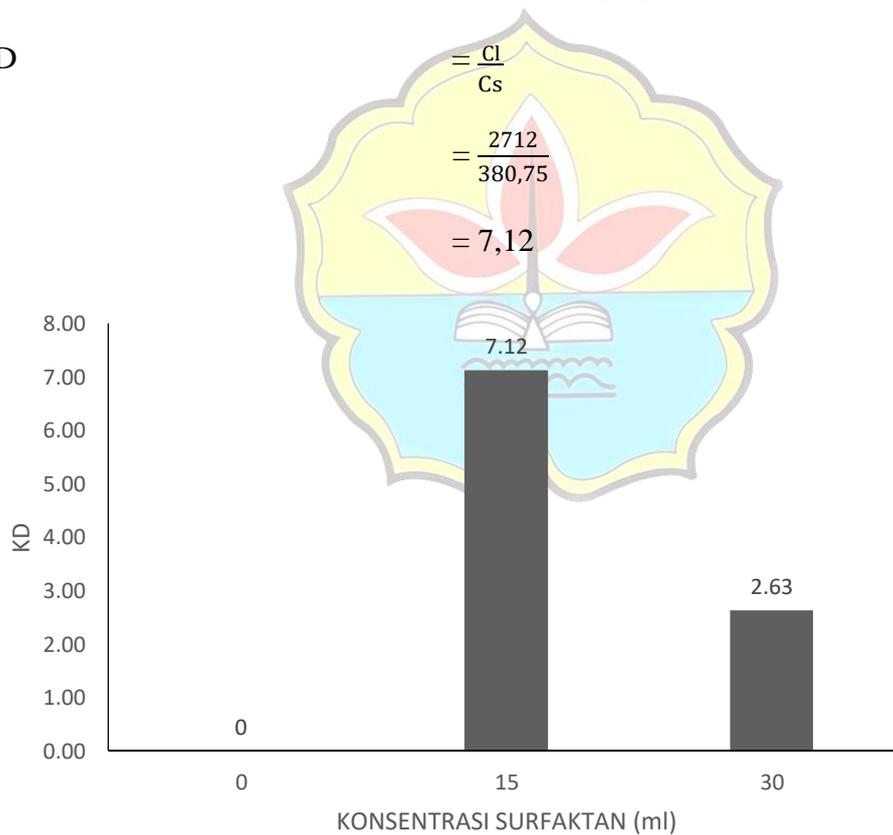
A. pengaruh penambahan Konsentrasi

Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH Awal – Akhir (mg/kg)	Konsentrasi TPH Akhir (mg/kg)	KD
0	0	3092,75	0
15	2712	380,75	7,12
30	2240,83	851,92	2,63

Konsentrasi TPH awal – akhir (C_i) = 2712 mg/kg

Konsentrasi TPH akhir (C_s) = 380,75 mg/kg

KD



B. Pengaruh penambahan pengulangan *leaching*

Pengulangan <i>Leaching</i>	Konsentrasi Surfaktan (ml)	Konsentrasi TPH Awal – Akhir (mg/kg)	Konsentrasi TPH Akhir (mg/kg)	KD
0	15	2712,00	380,75	7,12
1	15	2795,96	296,79	9,42
2	15	2625,66	467,09	5,62

Konsentrasi TPH awal – akhir (C_i) = 2712 mg/kg

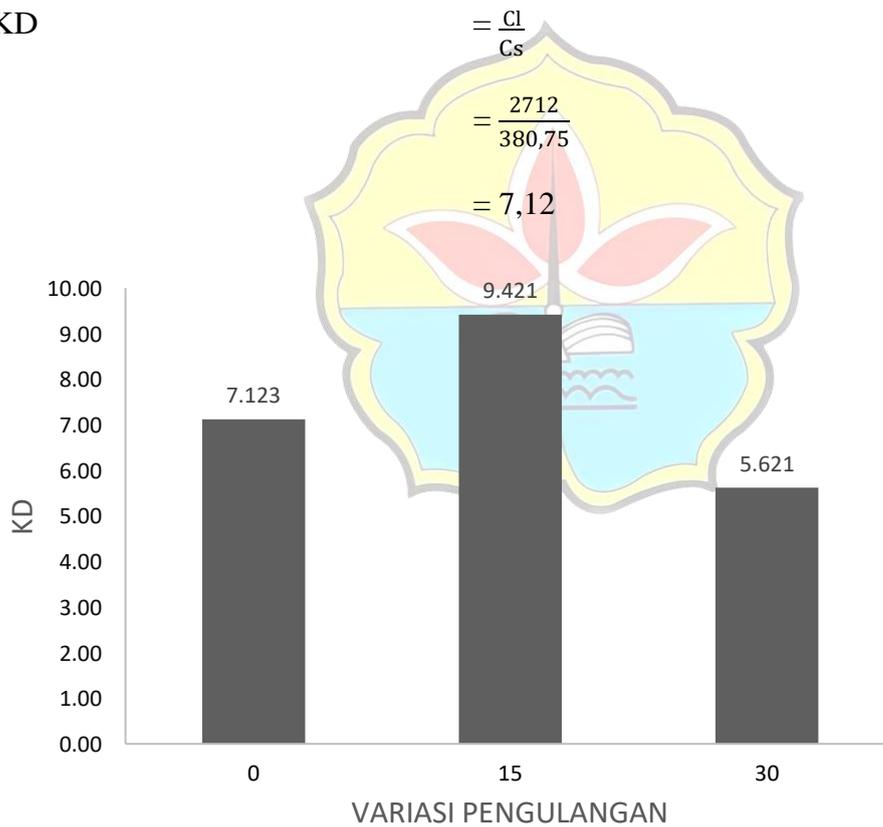
Konsentrasi TPH akhir (C_s) = 380,75 mg/kg

KD

$$= \frac{C_i}{C_s}$$

$$= \frac{2712}{380,75}$$

$$= 7,12$$



**Lampiran 4 Perhitungan Konsentrasi Minimum Surfaktan tween 80
berdasarkan Karakteristik Surfaktan tween 80**

Berat jenis surfaktan tween 80 : 1080 mg/l

KKM surfaktan tween 80 : 16 mg/ml (bubuk)

Volume surfaktan : 1 ml

Surfaktan yang di pakai dalam bentuk *liquid* (ml/l)

Konversi ml/l ke mg/l berdasarkan berat jenis surfaktan

$$\rho = \frac{\text{berat}}{\text{volume}}$$

$$\text{berat} = \rho \times \text{volume}$$

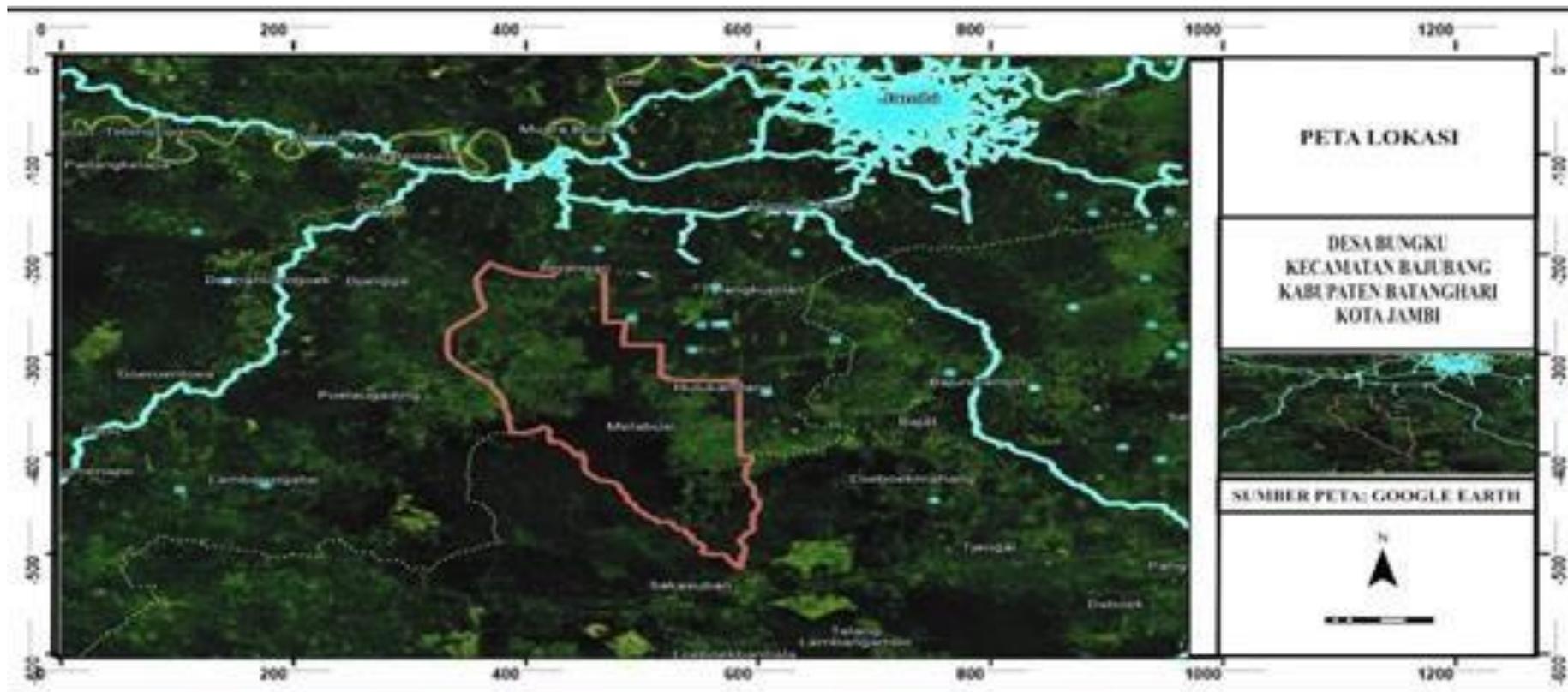
$$\text{berat} = 1080 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \times 1 \text{ ml}$$

$$\text{berat} = 1080 \text{ mg}$$

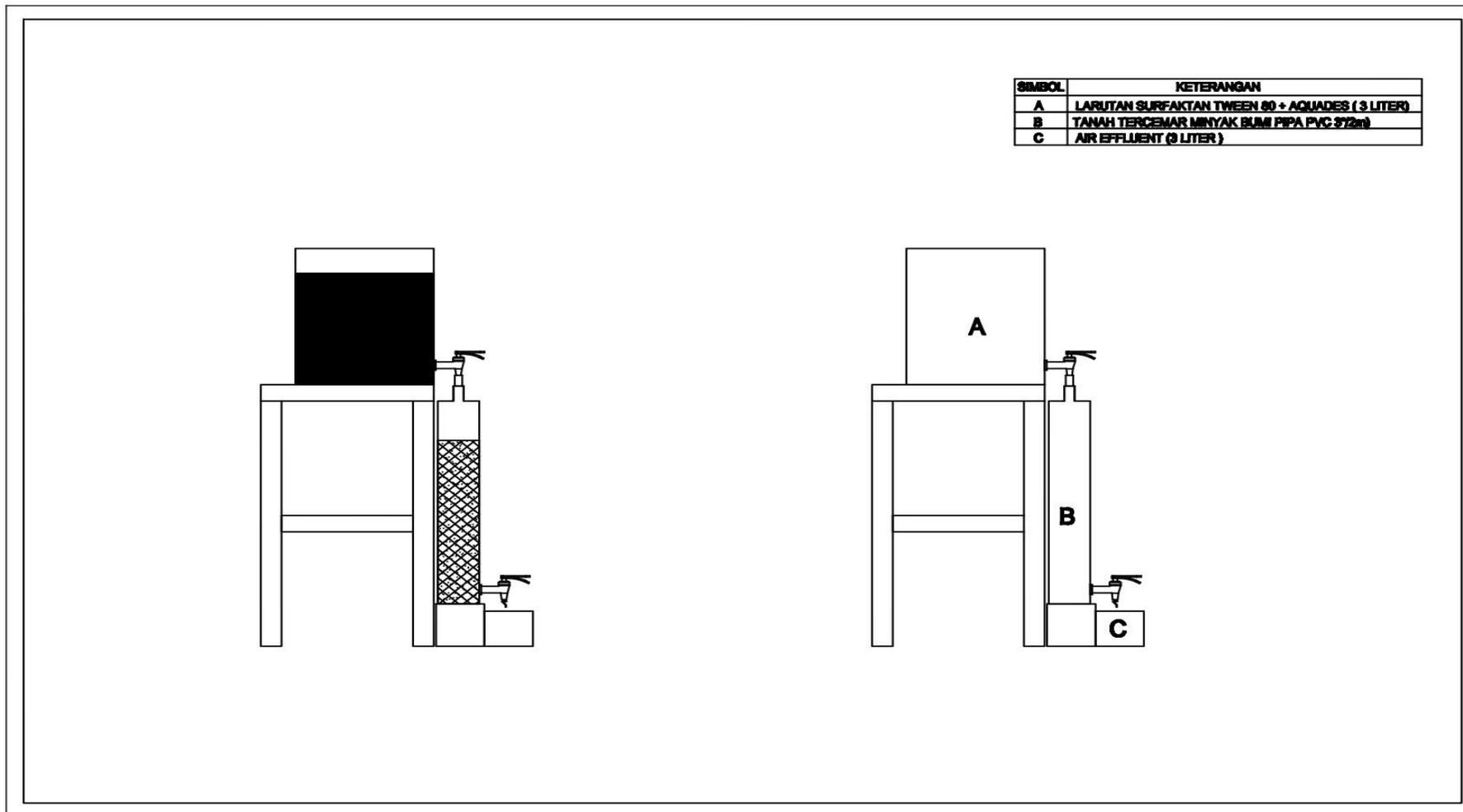
Jadi, dalam 1 ml surfaktan tween 80 terdapat nilai KKM sebesar 1080 mg



Lampiran 5 Peta Lokasi Pengambilan Sampel (Google Earth, 2022)



Lampiran 6 Reaktor *Leaching* Column





LABORATORIUM TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI
 Jalan Siamet Riyadi No.1 Kelurahan Sungai Putri Kec.Danau Sipin Kota Jambi 36122
 Phone : +628 526 940 950 7
 Website : http://labtek.unbari.ac.id/
 E-mail : labtek@unbari.ac.id

ANALISIS HIDROMETER
 SNI 3423 - 2008

Pekerjaan : TUGAS AKHIR MAHASISWA
 : Analisis Efektivitas Metode Soil Washing Pada Tanah
 Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column
 Kedalaman : -
 Tanggal Uji : 12/11/2022

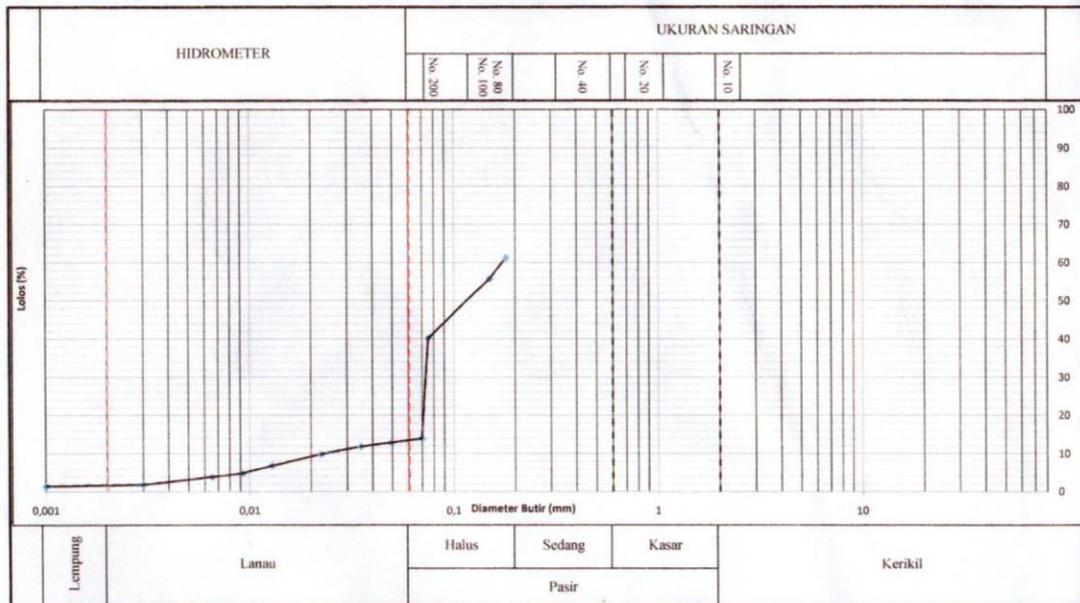
Dikerjakan : M Aderiansyah Arrasyid
 Dihitung : Errick Edison Sitepu, ST
 Penclia : Fadlan, ST, MT

Massa Tanah Kering : 50 Gr
 Berat Jenis : 2,55

# Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persentase (%)	
			Tertahan	Lewat
No. 20	6,17	6,17	12,35	87,65
No. 40	7,20	13,37	26,75	73,25
No. 80	5,98	19,36	38,71	61,29
No. 100	2,71	22,06	44,13	55,87
No. 200	7,83	29,90	59,79	40,21

Waktu (T) (Menit)	Suhu	Pembacaan Hidrometer	Diameter	Koreksi Suhu	Koreksi Pembacaan Terhadap Suhu	Kalibrasi	Persentase Mengendap	Persentase Mengendap Terhadap Seluruh Contoh
	°C	Rh	D	K	Rh.K			
0	28							
0,5	28	7	0,06969215	-0,1	6,90	1,01	13,938	7,13
1	28	6,5	0,04927979	-0,1	6,40	1,01	12,928	6,61
2	28	6	0,03496051	-0,1	5,90	1,01	11,918	6,09
5	28	5	0,02225502	-0,1	4,90	1,01	9,898	5,06
15	28	3,5	0,01289032	-0,1	3,40	1,01	6,868	3,51
30	28	2,5	0,00917308	-0,1	2,40	1,01	4,848	2,48
60	28	2	0,00652727	-0,1	1,90	1,01	3,838	1,96
250	28	1	0,00299117	-0,1	0,90	1,01	1,818	0,93
1440	28	0,8	0,00000000	-0,1	0,70	1,01	1,414	0,72

Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah



Lampiran 8 Hasil Uji Kontaminan TPH



UNIVERSITAS GADJAH MADA
LABORATORIUM PENELITIAN DAN PENGUJIAN TERPADU
Jl. Kaliurang Km. 4 Sekip Utara Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548348, 546868 WA. 0811274565
Email: lppt_info@mail.ugm.ac.id Website: <https://lppt.ugm.ac.id>

RDP/7.8.1/LPPT
Rev. 0
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL UJI

No. Sertifikat : 02204.01/XII/UN1/LPPT/2022
No. Pengujian : 22110102204

Informasi Umum

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
Alamat : Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari
Tanggal Penerimaan : 25 November 2022
Tanggal Pengujian : 25 November 2022
Lokasi Pengujian : Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu

Hasil Pengujian

1. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 1
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	3092,75	mg/Kg	Kromatografi Gas

2. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 2
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	380,75	mg/Kg	Kromatografi Gas

3. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 3
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	851,92	mg/Kg	Kromatografi Gas

4. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 4
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	380,75	mg/Kg	Kromatografi Gas

5. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 5
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	296,79	mg/Kg	Kromatografi Gas

6. Nama Sampel : Tanah
Kode Sampel : Sampel 6
Bentuk Sampel : Serbuk

Parameter Uji	Hasil	Satuan	Metode
TPH (Total Petroleum Hidrokarbon)	467,09	mg/Kg	Kromatografi Gas

Yogyakarta, 13 Desember 2022

Manager Teknik



Dr. med. vet. drh. Hevi Wihadmadyatami, M.Sc.
NIP. 198503092010122006

Perhatian

- LHU ini hanya berlaku pada sampel yang diujikan
- LHU ini dibuat semata-mata untuk penggunaan yang disebutkan dalam LHU ini
- LPPT tidak bertanggung jawab atas setiap kerugian, kerusakan atau tanggung jawab hukum yang diderita oleh pihak ketiga sebagai akibat dari kepercayaan atau penggunaan LHU ini
- Tidak diperkenankan menggandakan LHU ini tanpa izin dari LPPT UGM

Lampiran 9 Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Melakukan Penyaringan basah untuk pengujian *grain size*



Gambar 4. Penambahan volume air 900ml untuk pengujian hidrometer



Gambar 2. Memasukan partikel tanah yang tertahan pada saringan ke cawan



Gambar 5. Pengocokan 60 kali untuk pengujian hidrometer



Gambar 3. Sampel tanah didinginkan menggunakan desikator



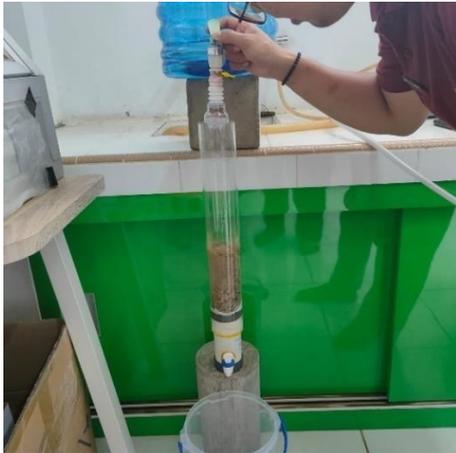
Gambar 6. Penimbangan sampel tanah



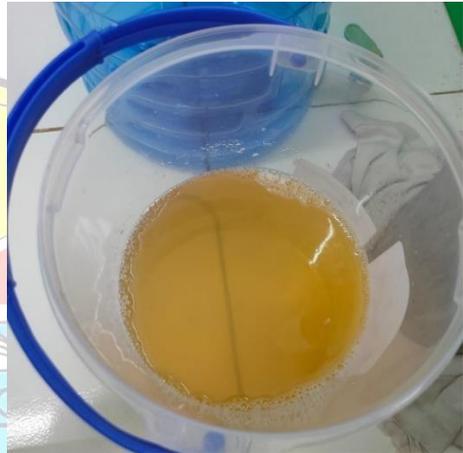
Gambar 7. Pentakaran surfaktan Tween 80



Gambar 10. Air effluent pencucian tanah



Gambar 8. Sampel sebelum dilakukan proses *soil washing*



Gambar 11. Air effluent pencucian tanah



Gambar 9. Sampel saat dilakukan *soil washing* menggunakan *leaching column*



Gambar 12. Pengeringan sampel setelah *soil washing*

Lampiran 10 SK Penunjukan Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Universitas Batanghari FAKULTAS TEKNIK

Jalan Letkol Slamet Riyadi Broni - Jambi 36122 Telp./F ax. (0741) 668280 Website www.unbari.ac.id

SURAT KEPUTUSAN

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI JAMBI
NOMOR : 089 TAHUN 2022

T E N T A N G

PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI :

- MEMBACA** : Usulan Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Tentang Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- MENIMBANG** :
- Bahwa untuk melengkapi syarat-syarat yang diperlukan guna menyelesaikan studi Strata Satu (S-1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari perlu diselenggarakan Tugas Akhir Mahasiswa.
 - Bahwa mahasiswa yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini telah memenuhi syarat dan berhak untuk melaksanakan Tugas Akhir.
 - Bahwa Staf Pengajar yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini dianggap mampu dan memenuhi syarat untuk ditunjuk sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
 - Bahwa untuk pelaksanaan Tugas Akhir Mahasiswa dimaksud perlu dibuat Keputusan Dekan.
- MENINGAT** :
- Undang Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Nasional.
 - Undang Undang Nomor : 14 Tahun 2005 Tentang Guru dan Dosen.
 - Peraturan Pemerintah Nomor : 04 Tahun 2014 Tentang Pendidikan Tinggi
 - Peraturan Akademik Universitas Batanghari Tahun 2018
 - Surat Keputusan Rektor Nomor : 45 Tahun 2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Pejabat wakil Rektor, Dekan, Kepala Biro, Pustaka, Lembaga dan Badan dilingkungan Universitas Batanghari.

MEMUTUSKAN

- MENETAPKAN :**
- Pertama : Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Program Strata Satu (S-1) yang nama dan NPM nya tercantum pada kolom (2) untuk melaksanakan Tugas Akhir dengan Judul seperti pada kolom (3) Lampiran Keputusan ini dan berhak untuk mendapat bimbingan Tugas Akhir.
- Kedua : Menunjuk Staf Pengajar yang namanya tercantum pada kolom (4) menjadi Dosen Pembimbing I dan kolom (5) menjadi Dosen Pembimbing II mahasiswa dalam melaksanakan Tugas Akhir.
- Ketiga : Dosen Pembimbing bertugas memberi petunjuk dan arahan kepada mahasiswa dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- K keempat : Dosen pembimbing bertanggung jawab kepada Dekan melalui Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari.
- Kelima : Program Studi agar menyelenggarakan seminar proposal Tugas Akhir bersangkutan agar judul, tujuan, ruang lingkup, dan metode penelitian Tugas Akhir mahasiswa benar dari kaidah-kaidah ilmiah.
- Keenam : Masa berlaku Surat Keputusan ini adalah 6 (enam) bulan dan setelahnya dapat diperpanjang maksimal dua (2) kali atau diganti dengan pembimbing lain.
- Ketujuh : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila dikemudian hari terdapat kekeliruan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya.

DITETAPKAN DI : JAMBI
PADA TANGGAL : 16 JUNI 2022
Dekan.



Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME

Tembusan Disampaikan kepada :-

- Yth. Rektor Universitas Batanghari
- Yth. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari
- Yth. Dosen Pembimbing yang bersangkutan
- Mahasiswa yang bersangkutan
- Arsip

LAMPIRAN : SK DEKAN NOMOR : 089 TAHUN 2022 TENTANG PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI.

NO	NAMA NPM	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING I	DOSEN PEMBIMBING II
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1.	<i>M. ADERLANSYAH ARRASYID</i> 1800825201016	"ANALISIS EFEKTIVITAS METODE SOIL WASHING MENGGUNAKAN LEACHING COLUMN DALAM MEREDUKSI PENCEMAR HIDROKARBON TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI"	HADRAH, ST, MT	ANGGRIKA RIYANTI, ST, M. Si

DITETAPKAN DI : JAMBI
PADA TANGGAL : 16 JUNI 2022

Dekan,



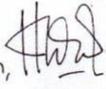
Dr. Ir. H. Fakhrol Rozi Yamali, ME

Lampiran 11 Lembar Asistensi Laporan Tugas Akhir

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari	Form : TLD-05
---	----------------------

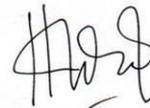
HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM : 1800825201016
Judul Proposal : Analisis Efektivitas Metode *Soil Washing* Pada Tanah
Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Leaching Column*.

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1.	20 Jan 2023	- perbaiki bab III, konsisten penamaan sampel - perbaiki bab IV, narasi agar menjelaskan proses pengikatan kontaminan oleh sorptan, kaitkan dg teknik soil washing leaching, - lanjutkan variasi sirkulasi	
2.	8 Feb 2023	Acc sidang T.A.	

Jambi..... 2022

Dosen Pembimbing I



(Hadrah, S.T, M.T)

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Form : TLD-05

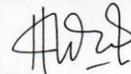
HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM : 1800825201016
Judul Proposal : Analisis Efektivitas Metode *Soil Washing* pada Tanah
Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Leaching Column*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1.	8 Maret 2023	Acc jlid laporan T.A.	

Jambi, 8 Maret 2023

Dosen Pembimbing I



(Hadrah, ST, MT)

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM : 1800825201016
Judul Proposal : Analisis Efektivitas Metode *Soil Washing* pada Tanah
Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Leaching Column*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	2/2-23	- perbaiki perhitungan efisiensi, tabel, dll.	
	4/2-23	- perbaiki abstrak & kesimpulan	
	7/2-23	- perbaiki saran	
	8/2-23	ACC Bab TA	

Jambi..... 2023
Dosen Pembimbing II

(Anggrika Riyanti, ST, M.Si)

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Form : TLD-05

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM : 1800825201016
Judul Proposal : Analisis Efektivitas Metode *Soil Washing* pada Tanah
Tercemar Minyak Bumi Menggunakan *Leaching Column*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	8/3-23	- Abstrak .	
	14/3-23	perbaiki abstrak	
	15/3-23	Acc jkt laporan TA	

Jambi... 15 Maret 2023

Dosen Pembimbing II


(Anggrika Riyanti, ST, M.Si)

Lampiran 12 Undangan Sebagai Penguji Tugas Akhir



Universitas Batanghari Fakultas Teknik

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

JALAN SLAMET RIYADI BRONI JAMBI INDONESIA TELP. (0741) 668280

Nomor : 20 /TL-UBR/II/2023
Lampiran : 1 (satu) TA
Perihal : **Undangan Sebagai Penguji Tugas Akhir**

Jambi, 10 Februari 2023

Kepada Yth,
Ibu Monik Kasman, ST, M.Eng.Sc (Ketua Sidang)
Ibu Angrika Riyanti, ST, M.Si (Sekretaris Sidang)
Bapak Marhadi, ST, M.Si (Penguji I)
Ibu Siti Umi Kalsum, ST, M. Eng (Penguji II)
Ibu Hadrah, ST,MT (Penguji III)

Di
Tempat

Dengan hormat,
Sehubungan dengan telah selesainya pembuatan Laporan Tugas akhir Mahasiswa, maka kami mengundang Bapak/Ibu untuk menghadiri Sidang Kompre Tugas akhir yang akan dilaksanakan pada :

Hari/ Tanggal : Kamis/16 Februari 2023
Jam : 10.30 WIB s/d selesai
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik
Nama Mahasiswa : **Muhammad Aderiansyah Arrasyid**
NPM : 1800825201016
Ujian : **Offline**
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Tugas Akhir : **"Analisis Efektivitas Metode Soil Washing Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column"**

Demikian, atas kesediaan Bapak/ Ibu untuk menguji dan datang tepat pada waktunya diucapkan terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan

Marhadi, ST, M.Si

Tembusan Disampaikan Kepada :

1. Yth. Dekan Fakultas Teknik
2. Yth. Bapak Wakil Dekan I
3. Bendahara
4. Arsip.

Catatan : Untuk Penguji pria, Pakaian memakai kemeja lengan panjang dan dasi kecuali Hari Kamis memakai baju batik

Lampiran 13 SK Penunjukan Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir



Universitas Batanghari FAKULTAS TEKNIK

Jalan Letkol Slamet Riyadi Broni - Jambi 36122 Telp./F ax. (0741) 668280 Website www.unbari.ac.id

SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI NOMOR : 167 TAHUN 2023 T E N T A N G PENUNJUKAN DOSEN PENGUJI UJIAN TUGAS AKHIR MAHASISWA DI LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI :

- MEMBACA** : Surat Ketua Program studi Teknik Lingkungan Tentang usulan Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
- MENIMBANG** : 1. Bahwa Mahasiswa yang namanya tercantum pada Surat Keputusan ini memenuhi syarat untuk mengikuti Ujian Tugas Akhir.
2. Bahwa Dosen yang namanya tercantum pada Surat Keputusan ini memenuhi syarat sebagai Penguji Ujian Tugas Akhir yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Dekan.
- MENGINGAT** : 1. Undang Undang Nomor :12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Nasional.
2. Undang Undang Nomor : 14 Tahun 2005 Tentang Guru dan Dosen.
3. Peraturan Pemerintah RI Nomor : 04 Tahun 2014 Tentang Pendidikan Tinggi
4. Surat Keputusan Rektor Nomor : 27 Thn 2022 ttg Perpanjangan Masa Tugas Pejabat Pada Jabatan Dekan, Kepala Biro, Lembaga dan Badan di Lingkungan Unbari.

MEMUTUSKAN

- MENETAPKAN** :
Pertama : Menunjuk Dosen sebagaimana dalam Surat Keputusan ini, sebagai Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir mahasiswa seperti disebutkan di bawah ini.

Nama Mahasiswa	: Muhammad Aderiansyah Arrasyid
NPM/Program Studi	: 1800825201016/Teknik Lingkungan
Judul Tugas Akhir	: <i>Analisis Efektivitas Metode Soil Washing Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column</i>
No Nama Dosen Penguji	Jabatan
1 Hadrah, ST, MT	: Pembimbing I
2 Anggrika Riyanti, ST, M. Si	: Pembimbing II
No Nama Dosen	Jabatan
1 Monik Kasman, ST, M. Eng, Sc	: Ketua
2 Anggrika Riyanti, ST, M. Si	: Sekretaris
3 Marhadi, ST, M. Si	: Penguji I
4 Siti Umi Kalsum, ST, M. Eng	: Penguji II
5 Hadrah, ST, MT	: Penguji III

- Kedua : Pelaksanaan Ujian Tugas Akhir pada **Kamis/16 Februari 2023** di Ruang Sidang Fakultas Teknik
- Ketiga : Biaya yang timbul akibat keputusan ini dibebankan pada anggaran Ujian Tugas Akhir mahasiswa.
- Keempat : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan akan diadakan perbaikan jika dikemudian hari terdapat kekeliruan.

DITETAPKAN DI : J A M B I
PADA TANGGAL : 10 Februari 2023

Dekan,



Dr. Ir.H. Fakhru Rozi Yamali, ME

Tembusan disampaikan kepada

1. Yth. Bpk Rektor c.q. Wakil Rektor I Unbari
2. Yth. Ketua Prodi Teknik Lingkungan
3. Yth. Dosen Penguji yang bersangkutan
4. Arsip.

Lampiran 14 Berita Acara Ujian/Sidang Tugas Akhir

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Form : TLC-05

BERITA ACARA UJIAN/SIDANG TUGAS AKHIR

Pada hari ini, Kamis, Tanggal 16 Februari, 2023, telah dilaksanakan Ujian Tugas Akhir mahasiswa

Nama : M. Aderiansyah Arrasyid
NPM : 18008252016
Waktu : 11.00 Ya selesai
Tempat : R. Sidang

Judul Tugas Akhir :

Analisis Efektifitas Metode Soil Washing pada Tanah Tercemar
Minyak Bumi Menggunakan Leaching Column

Hasil evaluasi Tim Penguji sebagai berikut :

	Nama Tim Penguji	Nilai	Tanda tangan
Pembimbing I	<u>Hadrah, ST, MT</u>	<u>85</u>	1. <u>[Signature]</u>
Pembimbing II	<u>Anggrita Riyanti, ST, M.Si</u>	<u>84</u>	2. <u>[Signature]</u>
Penguji I	<u>Monik Karman, ST, M.Eng Sc</u>	<u>82</u>	3. <u>[Signature]</u>
Penguji II	<u>Marhab, ST, M.Ti</u>	<u>80</u>	4. <u>[Signature]</u>
Penguji III	<u>Siti Umi Kalsum, ST, M.Eng</u>	<u>80</u>	5. <u>[Signature]</u>
	Jumlah	411	
	Nilai Rata-Rata / Huruf	82,2 / A	

Keputusan Tim Penguji pada Sidang Tugas Akhir :

① **LULUS**, dengan nilai : A (82,2)

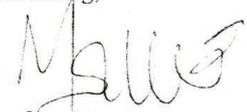
Perbaikan :

Jambi, 16 Februari 2023

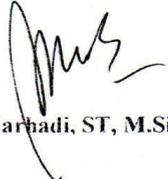
Sekretaris sidang,


(Agusriks Rizanti, ST, M.Si)

Ketua sidang,


(Monik Kasman, ST, M.Eng.Sc)

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Marhadi, ST, M.Si

Kriteria Penilaian

1. 80 - 100	: Lulus, Nilai Huruf: A
2. 75 - 79,99	: Lulus, Nilai Huruf: B
3. 70 - 74,99	: Lulus, Nilai Huruf: B
4. 65 - 69,99	: Lulus, Nilai Huruf: C
5. 60 - 64,99	: Lulus, Nilai Huruf: C
6. < 59,99	: Tidak Lulus