

**REMEDIASI TANAH TERCEMAR HIDROKARBON LIMBAH
OLI DENGAN PERPADUAN METODA *SOIL WASHING*
MENGUNAKAN SURFAKTAN NON-IONIK DAN
BIOSTIMULASI DENGAN FESES KAMBING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

SANTI OKTAFIANI

NIM. 150702088

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**REMEDIASI TANAH TERCEMAR HIDROKARBON LIMBAH
OLI DENGAN PERPADUAN METODA *SOIL WASHING*
MENGUNAKAN SURFAKTAN NON-IONIK DAN
BIOSTIMULASI DENGAN FESES KAMBING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-
Raniry Banda Aceh Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan Oleh

**SANTI OKTAFIANI
NIM. 150702088**

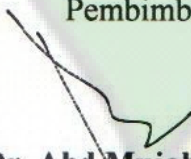
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Banda Aceh,

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh:

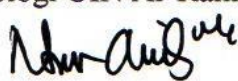
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901


Bhayu Gita Bhernama, M.Si
NIDN. 2023018901

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
Teknologi UIN Ar-Raniry


Dr. Eng Nur Aida, M.Si
NIDN. 2016067801

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**REMEDIASI TANAH TERCEMAR HIDROKARBON LIMBAH OLI
DENGAN PERPADUAN METODA *SOIL WASHING* MENGGUNAKAN
SURFAKTAN NON-IONIK DAN BIOSTIMULASI DENGAN FESES
KAMBING**


TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Univesitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Serta diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

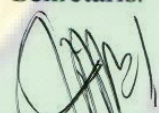
Pada Hari/Tanggal: Kamis, 13 Januari 2022
11 Jumadil akhir 1443

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

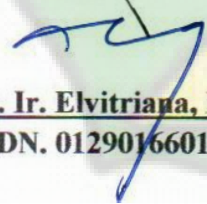
Ketua.


Dr. Abd Mujaheed Hamdan, M.Sc
NIDN. 2013128901

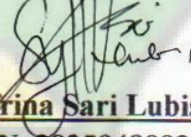
Sekretaris.


Bhayu Gita Bhernama, M.Si
NIDN. 2023018901

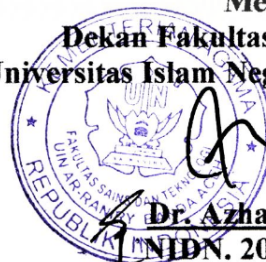
Penguji I.



Dr. Ir. Elvitriana, M.Eng.
NIDN. 0129016601

Penguji II.


Syafrina Sari Lubis, M.Si
NIDN. 2025048003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Azhar Amsal, M.Pd
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Santi Oktafiani
NIM : 150702088
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli dengan Perpaduan Metoda *Soil Washing* Menggunakan Surfaktan Non-Ionik Dan Biostimulasi Dengan Feses Kambing

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembagkan dan mepertanggungjwabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggung jawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, Januari 2022
Yang Menyatakan,




Santi Oktafiani

ABSTRAK

Nama : Santi Oktafiani
NIM : 150702088
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli Dengan Perpaduan Metoda *Soil Washing* Menggunakan Surfaktan Non-Ionik Dan Biostimulasi Dengan Feses Kambing
Tanggal Sidang : 13 Januari 2022
Tebal Skripsi : 84 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Pembimbing II : Bhayu Gita Bhernama, M.Si
Kata Kunci : Remediasi, Biostimulasi, Limbah Oli, Pencemaran Tanah, *Soil Washing*, TPH

Limbah oli termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dapat merusak lingkungan jika dibuang langsung ke alam tanpa pengolahan. Remediasi tanah tercemar oli menggunakan metoda Biostimulasi dengan feses kambing sebagai nutrien. Sebelum dilakukan biostimulasi, dilakukan *soil washing* dengan surfaktan non-ionik untuk menurunkan kandungan TPH dengan variasi 0 %, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%. Variasi yang dilakukan adalah kadar pemberian feses kambing sebagai nutrien kedalam tanah tercemar oli (kontrol, 40 gram). Parameter yang diuji meliputi nilai TPH, pH, dan suhu dalam sampel tanah tercemar limbah oli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pre-treatment soil washing dapat membantu menurunkan TPH hingga mencapai 5.94%. pada biostimulasi hasil yang didapatkan menunjukkan penambahan nutrien 40 gr menghasilkan tingkat degradasi TPH paling tinggi (turun hingga 4.53%) pada sampel tanah tercemar, hasil uji statistik anova two-way menunjukkan nilai signifikansi waktu pengomposan terhadap kadar TPH sebesar 0,000. Dimana nilai probabilitas tersebut < dari 0,05 nilai ini berarti bahwa waktu pengomposan berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.

ABSTRACT

Name : Santi Oktafiani
NIM : 150702088
Study Program : Environmental Engineering
Title : Remediation of Waste Oil Hydrocarbon Polluted Soil with Combination of Soil Washing Methods Using Non-Ioni Surfactants and Biostimulation with Goat Feces
Session Date : 13 January 2022
Thesis Thickness : 84 Pages
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc
Advisor II : Bhayu Gita Bhernama, M.Si
Keywords : Remediation, Biostimulation, Waste Oil, Soil Pollution, Soil Washing, TPH

Oil waste includes hazardous and toxic waste (B3) which can damage the environment if disposed of directly into nature without processing. The content of hydrocarbons in waste oil is not only damaging to the environment but also harmful to humans, because it is a carcinogen. Remediation of oil contaminated soil using biostimulation method with goat feces as nutrient. Prior to biostimulation, pre-treatment of soil washing with non-ionic surfactants was carried out to reduce the TPH content with variations of 0%, 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%. The variation that is done is the level of giving goat feces as a nutrient into oil-contaminated soil (control, 20 gr, 40 gr, 60 gr, 80 gr, 100 gr). Parameters tested include TPH, pH, and temperature values in soil samples contaminated with waste oil. The results showed that the presence of pre-treatment soil washing can help reduce TPH by up to 5.94%. In biostimulation the results obtained showed that the addition of 100 g of nutrients resulted in the highest level of TPH degradation (down to 4.53%) in the polluted soil sample, the results of the two-way ANOVA statistical test showed a significant value of composting time to TPH levels of 0.000. Where the probability value is < 0.05 , this value means that the composting time affects the decrease in the TPH value.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Remediiasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli Dengan Perpaduan Metoda *Soil Washing* Menggunakan Surfaktan Non-ionik Dan Biostimulasi dengan Feses Kambing”**. Shalawat dan salam teruntuk Muhammad SAW, sebagai pencetus kebaikan dan ilmu pengetahuan dimuka bumi. Tugas Akhir disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik (S1) pada Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalam nya kepada:

1. Ayahanda Mahmudin (Alm) dan Ibunda Nurwani serta kakak Husnawati S.Pd, abang Mursid dan adik Sofia Muziatun Nahria yang telah memberikan dukungan dan untaian doa nya selama ini serta telah memberikan banyak pengorbanan dan juga terimakasih sudah memberikan cinta dan sayangnya yang tak henti-hentinya.
2. Dr. Azhar Amsal, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi serta para Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Dr. Eng, Nur Aida. M.Si., selaku ketua prodi Teknik Lingkungan dan juga Penasihat Akademik atas kesempatan dan arahan kepada penulis.
4. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku sekretaris prodi Teknik Lingkungan yang telah meluangkan waktu untuk membimbing menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc., selaku pembimbing I selalu bersedia memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Ibu Bhayu Gita Bhernama, M.Si., selaku pembimbing 2 selalu bersedia memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh dosen dan staf prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmunya selama ini.
8. Kepada Farina, Arsiti Kodel Delia, Sarti Ayani, Ridayani yang sudah banyak memberikan dukungan agar terselesaikan Tugas Akhir serta membantu dari awal sampai akhir.
9. Teman seangkatan Teknik Lingkungan Angkatan 2015 terima kasih atas dukungan dan semangat kalian serta yang telah membantu saya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir penelitian ini dengan limpah berkah dan rahmat-Nya. Semoga penulisan ini bermanfaat untuk pengembangan keilmuan dan pengetahuan masa depan.

Banda Aceh, Januari 2021
Penulis,

Santi Oktafiani

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pencemaran Tanah	7
2.2 Limbah Oli	7
2.3 Senyawa Hidrokarbon.....	10
2.3.1 Sumber Pencemaran Hidrokarbon	10
2.3.2 Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah.....	11
2.3.3 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon	12
2.4 Pengertian <i>Soil Washing</i>	14
2.5 Senyawa Surfaktan.....	15
2.5.1 Mekanisme Kerja Surfaktan	16
2.6 Bioremediasi	17
2.6.1 Teknik Proses Bioremediasi	19
2.6.2 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Proses Bioremediasi.....	20
2.7 Kotoran Kambing.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tahapan Penelitian.....	23
3.2 Lokasi Penelitian.....	25
3.3 Sampel.....	26
3.3.1 Teknik Pengambilan Sampel Tanah	26
3.3.2 Preparasi Sampel Tanah.....	26
3.3.3 Teknik Pengambilan Feses Kambing	27
3.4 Ekperimen	27
3.4.1 Desain Ekperimen.....	27
3.4.2 Soil Washing	28

3.4.3	Biostimulasi	29
3.5	Uji Parameter	30
3.6	Pengolahan Data	32
3.6.1	Analisis Statistik	32
3.7	Jadwal Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Hasil Penelitian	33
4.1.1	Soil Washing	33
4.1.2	Biostimulasi	33
4.2	Pembahasan.....	34
4.2.1	Hasil Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Setelah Ekperimen <i>Soil Washing</i>	34
4.2.2	Pengaruh Waktu Pengomposan Terhadap Efektivitas Parameter TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>)	36
4.2.3	Pengaruh Konsentrasi Feses Kambing dan Waktu Biostimulasi Terhadap Penurunan TPH.....	41
4.2.4	Hasil Analisa Parameter PH pada Biostimulasi.....	43
4.2.5	Hasil Analisa Parameter Suhu pada Bioremediasi	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN		54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Mekanisme Kerja Surfaktan	16
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	24
Gambar 3.2 Pengambilan Sampel	25
Gambar 3.3 Bengkel Matang Service	25
Gambar 3.4 Pengambilan sampel	26
Gambar 3.5 Pengambilan Feses kambing	27
Gambar 3.6 Desain Eksperimen	28
Gambar 3.7 Reaktor biostimulasi	30
Gambar 4.1 Grafik Nilai TPH Soil Washing	36
Gambar 4.2 Grafik Laju Degradasi TPH	38
Gambar 4.3 Grafik Nilai TPH Biostimulasi	40
Gambar 4.4 Grafik Efektivitas Penurunan TPH	44
Gambar 4.5 Grafik Nilai pH	45
Gambar 4.6 Grafik Nilai Suhu	46

DAFTAR TABEL

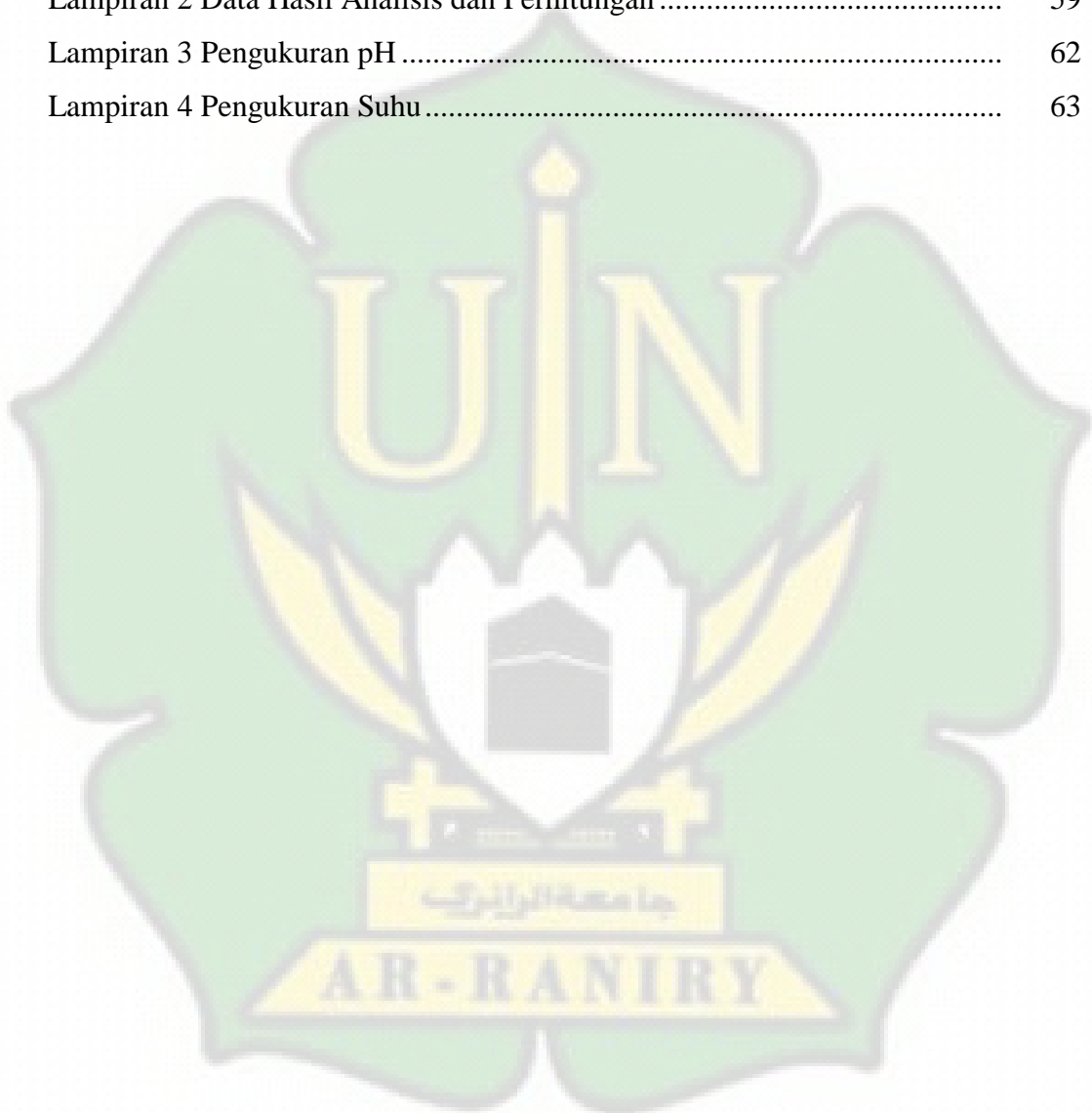
Halaman

Tabel 4.1 Hasil pengujian TPH pada sampel tanah tercemar oli <i>soil washing</i> ...	34
Tabel 4.2 Hasil pengujian TPH pada sampel tanah tercemar oli biostimulasi....	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian.....	55
Lampiran 2 Data Hasil Analisis dan Perhitungan	59
Lampiran 3 Pengukuran pH	62
Lampiran 4 Pengukuran Suhu	63



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran lingkungan adalah masalah yang paling utama, dan harus segera diatasi seiring dengan peningkatan aktivitas industri untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah. Aktivitas ini dapat menghasilkan banyak limbah, dan jika dikelola secara tidak benar dan bertanggung jawab akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Pencemaran adalah biologi, material, energi dan/atau komponen lain yang masuk atau terkandung dalam lingkungan, dan/atau perubahan tatanan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau proses alam, sehingga mengurangi kualitas lingkungan sampai batas tertentu. Akibatnya kualitas lingkungan menjadi semakin berkurang dan tidak dapat lagi berfungsi sesuai dengan tujuannya (Rasyid, dkk. 2021)

Penggunaan oli yang semakin meningkat akan menghasilkan limbah oli yang semakin banyak juga, sehingga tingkat pencemaran pada tanah juga semakin besar. Limbah oli yang terdapat pada bengkel motor biasanya dikumpulkan di dalam drum dan dijual kepada pihak pengolah limbah B3 (Putri, 2020). Oli atau pelumas merupakan produk olahan dari minyak bumi yang masih terkandung komponen senyawa aromatik dan memiliki tingkat kekentalan yang tinggi. Dalam penggunaan jangka lama, mesin motor membutuhkan oli secara terus menerus agar dapat beroperasi dengan optimal. Sehingga akan menghasilkan limbah oli yang semakin banyak (Alijero, 2018). Oli bekas yang tidak terpakai atau terbuang akan menjadi limbah terhadap lingkungan. Oli memiliki sifat yang susah terdegradasi sehingga perlu dilakukan pengolahan secara biologis dalam mengurangi limbah oli. Semakin bertambahnya jumlah kendaraan bermotor yang menghasilkan limbah dapat mencemari tanah dan ekosistem air. Oli bekas yang masuk ke dalam tanah dapat menyebabkan kehilangan unsur hara pada tanah tersebut (Algusri, 2019).

Minyak pelumas terdiri dari komposisi *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) serta alkana. Isi senyawa PAH dalam jumlah besar dapat mengakibatkan karsinogen (faktor kanker) untuk manusia. Bahaya pada manusia bisa terjaln secara langsung dengan mengonsumsi air ataupun makanan yang telah terkontaminasi zat pencemar. Senyawa hidrokarbon ini bisa memunculkan pencemaran apabila tumpah ke tanah serta menyebabkan matinya mikroba-mikroba yang terletak di dalam tanah. Keberadaan senyawa hidrokarbon dalam oli sisa tersebut dapat merubah struktur serta guna tanah sehingga produktivitas tanah menyusut dan kehabisan faktor hara (Bano dkk., 2020). Tanah yang tercemar oli umumnya bercorak gelap serta berminyak dengan bau oli yang menyengat (Putri, 2020).

Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) adalah pengukuran sejumlah zat pencemar hidrokarbon dalam tanah atau sampel tanah yang dinyatakan dalam satuan mg hidrokarbon/kg tanah. Limbah oli yaitu campuran kompleks senyawa organik yang terdiri dari senyawa hidrokarbon dan non hidrokarbon. Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang mengandung atom karbon (C) dan hidrogen (H). Minyak pelumas memiliki jumlah atom karbon (C) yang sangat besar. Minyak pelumas memiliki jumlah atom C₂₀-C₇₀ dengan kandungan alkana dan PAH yang tinggi (Handrianto, 2018). Hal ini tercantum dalam Kepmen LH No. 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis, bioproses adalah proses pengolahan limbah minyak bumi yang berasal dari kegiatan minyak dan gas bumi dengan memanfaatkan makhluk hidup termasuk mikroorganisme, tumbuhan atau organisme lain untuk mengurangi konsentrasi atau menghilangkan daya racun bahan pencemar.

Pencemaran minyak pada tanah, diatasi dengan metoda *soil washing* dengan surfaktan. Tidak hanya itu, metoda ini dapat diterapkan pada pengolahan tanah terkontaminasi minyak dengan waktu yang singkat, serta mampu mengolah tanah tercemar dengan beban pengolahan yang besar. Metoda *soil washing* merupakan metoda ramah lingkungan dimulai dari proses awal hingga tanah dikembalikan ke site (Zulkifliani, 2018). Dalam proses *soil washing*, larutan surfaktan digunakan

sebagai bahan pelarut pada proses desorpsi kontaminan tanah. Volume larutan surfaktan dalam melakukan perpindahan massa yang lebih besar pada tanah perlu dilakukan peningkatan volume larutan surfaktan sehingga persen penurunan kontaminan juga meningkat. Pemakaian surfaktan mampu membebaskan hubungan kontaminan organik hidrofobik dari tanah dengan menurunkan tegangan permukaan antar fase solid/ liquid.

Bioremediasi adalah salah satu alternatif pengolahan limbah beresiko yang relatif lebih murah, mudah serta ramah lingkungan. Teknologi ini menggunakan kegiatan mikroba untuk mendegradasi limbah yang berbahaya. Sehingga lebih rendah bahayanya ataupun tidak beresiko sama sekali (Any dkk., 2018). Akumulasi nutrisi dikenal dapat meningkatkan kegiatan dari mikroorganisme yang tercantum di organisme pendegradasi hidrokarbon. Akumulasi nutrisi pada metoda biostimulasi sudah berkontribusi terhadap kenaikan degradasi hidrokarbon yang sudah mulai kelihatan dalam tiga pekan awal proses inkubasi (Makadia dkk., 2020). Kotoran kambing ialah bahan aktif yang banyak mengandung mikroba. Kotoran kambing juga mempunyai nutrisi yang baik untuk perkembangan mikroba. Komposisi kotoran kambing dan kuda memiliki faktor hara yang lebih besar dibanding dengan kotoran hewan yang lain (Carlena, 2019).

Hasil dari riset Lukman (2018) menjelaskan bahwa bioremediasi tanah tercemar minyak bumi dengan metode *soil washing* serta biostimulasi memakai pupuk NPK. Pada riset tersebut didapatkan hasil total *petroleum hidrokarbon* (TPH) dalam tanah tercemar hingga 4,55% ataupun dapat merendahkan konsentrasi minyak sampai menjadi 12,31% (b/b). Alterasi paling tinggi penyusutan TPH ialah pengulangan pencucian memakai konsentrasi surfaktan 0,02% (v/v) dengan rasio perbandingan tanah serta larutan surfaktan sebesar 50 gram/ L. Pada proses bioremediasi, akumulasi nutrisi berbentuk pupuk NPK mempengaruhi hasil penyusutan nilai TPH dalam tanah. Akumulasi pupuk NPK sebesar 20% sanggup merendahkan TPH hingga dengan 4,23%.

Pada metoda *soil washing* dan biostimulasi mempunyai kekurangan serta kelebihan masing-masing metoda. Pada metoda *soil washing* mempunyai kelebihan proses yang dilakukan dengan cepat, sedangkan kekurangannya mahal

yang disebabkan harga dari surfaktan sangat mahal. Pada penelitian ini penggunaan surfaktan konsentrasinya dikurangi dari penelitian sebelumnya agar lebih mengurangi pemakaian larutan surfaktan. Sedangkan pada metoda biostimulasi memiliki kelebihanannya murah, akan tetapi kekurangannya lambat dikarenakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pengolahan tergantung pada faktor jenis dan polutan yang akan diolah. Jenis minyak mentah ringan memerlukan waktu 4-6 bulan sedangkan minyak mentah berat akan memerlukan waktu dari 1 tahun atau lebih. Kondisi ini bervariasi dari satu area tercemar dengan area lainnya, sehingga waktu yang diperlukan dalam rentang waktu 4 bulan sampai 1 tahun sesuai dengan KEPMEN LH 128/2003.

Maka dari itu perlu dilakukannya *soil washing* untuk menurunkan konsentrasi TPH awal sebelum dilakukannya proses biostimulasi, karena jika konsentrasi hidrokarbon terlalu tinggi, akan menyebabkan mikroba sulit untuk memecahkan molekul minyak. Dengan demikian, perlu adanya perpaduan metoda *soil washing* dengan biostimulasi agar mendapatkan hasil penurunan TPH lebih tinggi, biaya yang lebih murah dan prosesnya lebih cepat. Menurut pengamatan di lapangan dan telah dilakukan studi pendahuluan didapatkan bahwa nilai hidrokarbon yang terkandung dalam tanah tercemar oli sebanyak 10.53 telah melebihi baku mutu sesuai dengan peraturan Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2003 dan limbah oli yang ada di bengkel Matang Service Cadek Baitussalam Aceh Besar, sebagian besar limbah oli dikumpulkan di dalam drum penampungan limbah oli yang diletakkan diluar dan dikhawatirkan rembesan air hujan yang mengenai oli akan mengalir dan meresap ke tanah, dan sebagian limbah oli juga ada yang di buang ke lingkungan langsung. Oleh karena itu, diperlukan penanganan yang efektif dalam memperbaiki pencemaran atau kualitas tanah yang tercemar limbah oli agar tidak meluas.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efektivitas metoda *soil washing* terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar limbah oli?
2. Bagaimana efektivitas metoda biostimulasi terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar oli?
3. Bagaimana efektifitas perpaduan *soil washing* dan biostimulasi terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar limbah oli?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui bagaimana efektivitas metoda *soil washing* terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar limbah oli.
2. Untuk Mengetahui bagaimana efektivitas metoda biostimulasi terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar oli.
3. Untuk mengetahui bagaimana efektifitas perpaduan *soil washing* dan biostimulasi terhadap penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar limbah oli.

1.4 Manfaat penelitian

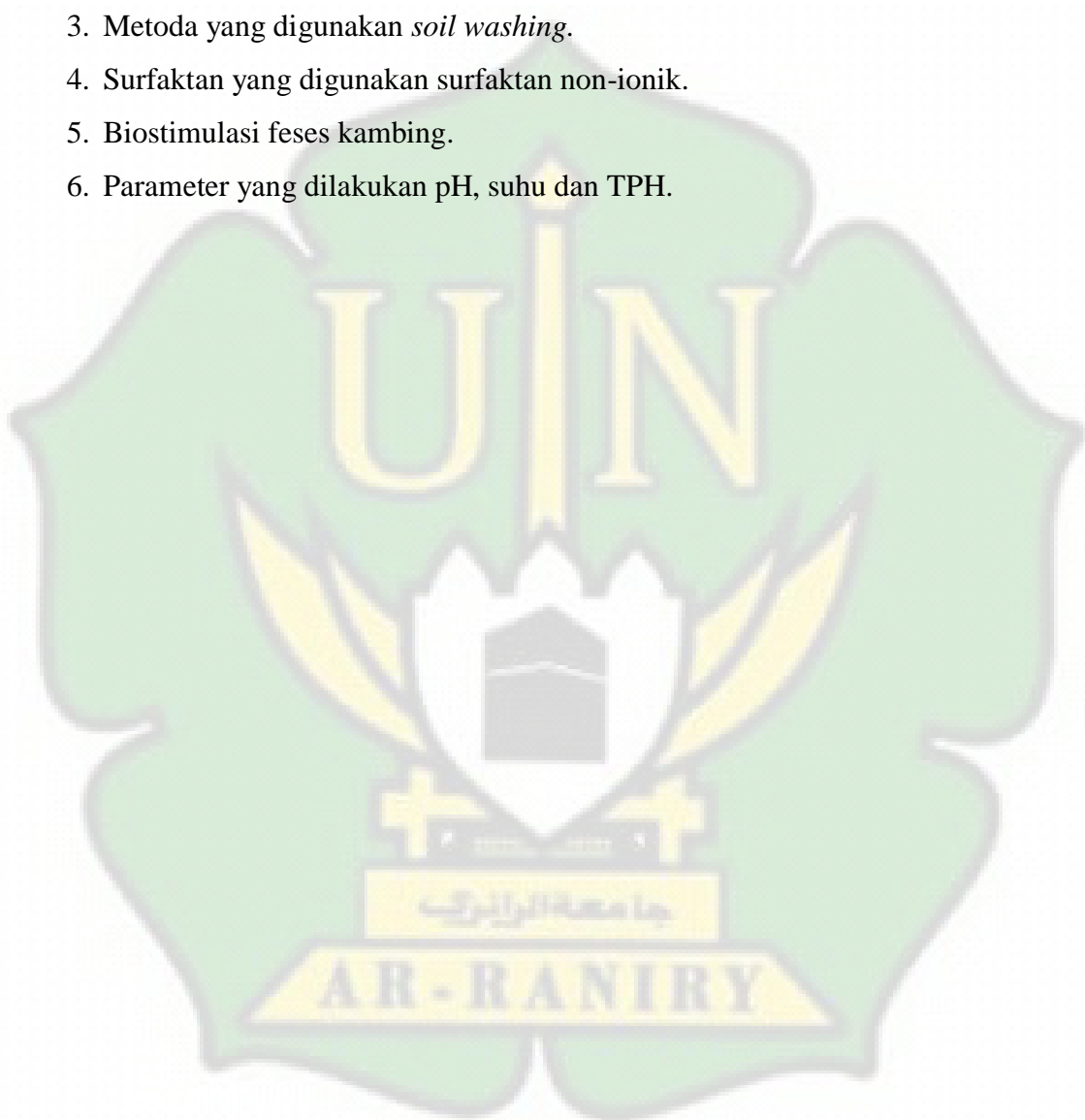
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk pengelolaan lingkungan hidup yang lebih baik, beberapa manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi masyarakat, penelitian ini memberikan informasi tentang status pencemaran pada tanah yang tercemar limbah oli. sehingga memberikan edukasi untuk selalu menjaga lingkungan.
2. Bagi Pemerintah, penelitian ini dapat memberikan informasi kepada dinas terkait, mengenai pencemaran tanah, sumber pencemaran, dan pengembangan metode dalam monitoring lingkungan hidup, khususnya pada tanah yang tercemar limbah oli. Sehingga menjadi referensi untuk pengendalian pencemaran lingkungan hidup pada tanah.
3. Bagi ilmuwan dan teknokrat, penelitian ini dapat dijadikan referensi keilmuan untuk penelitian selanjutnya dalam melakukan pengembangan analisis hidrokarbon pada tanah tercemar oli.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Reaktor yang digunakan dalam skala laboratorium saja.
2. Tanah remediasi yang digunakan adalah tanah yang tercemar limbah oli.
3. Metoda yang digunakan *soil washing*.
4. Surfaktan yang digunakan surfaktan non-ionik.
5. Biostimulasi feses kambing.
6. Parameter yang dilakukan pH, suhu dan TPH.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah

Pencemaran lingkungan menjadi perihal yang sangat utama, bersamaan dengan kenaikan jumlah pabrik-pabrik yang bertujuan memenuhi kebutuhan penduduk yang terus meningkat semakin harinya. Pabrik- pabrik tersebut menciptakan limbah yang lumayan besar, apabila tidak di kelola dengan baik akan berdampak negatif kepada lingkungan (Zhang., dkk 2017). Pencemaran merupakan masuknya ataupun di masukkannya makhluk hidup, zat, tenaga ataupun komponen lain ke dalam lingkungan, serta berubahnya tatanan lingkungan oleh aktivitas manusia ataupun proses alam, sehingga mutu lingkungan turun hingga ke tingkatan tertentu yang menimbulkan lingkungan menjadi kurang ataupun tidak bisa berperan lagi sesuai dengan peruntukannya (UU Republik Indonesia Nomor. 4 tahun 1982).

Pencemaran tanah merupakan masuknya bahan tercemar berbentuk zat, energi ataupun komponen area hidup lain yang dicoba oleh manusia ataupun secara natural ke dalam tanah, dampaknya mutu tanah menjadi menyusut dan tidak sesuai dengan peruntukannya (Amir dkk, 2019). Pencemaran tanah terjalin jika terdapatnya zat ataupun barang asing yang masuk serta tercampur ke dalam tanah sehingga mengganti keadaan awal pada kondisi yang lebih kurang baik. Salah satu bahan pencemaran tanah yang banyak tersebar diruang lingkup warga merupakan oli sisa pada aktivitas usaha bengkel kecil sampai besar yang tersebar di Indonesia.

2.2 Limbah Oli

Bagi PP 101 tahun 2014 limbah merupakan sisa sesuatu usaha ataupun aktivitas. Maka dari itu, limbah oli merupakan sisa minyak pelumas ataupun oli yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang paling utama pada bidang otomotif ataupun perbengkelan. Limbah oli bersumber pada peraturan pemerintah tercantum kalangan limbah bahan beresiko serta beracun (B3) yang mudah

dibakar sehingga wajib dikelola dengan baik sesuai dengan kaidah- kaidah yang ada di dalam peraturan tersebut serta dilarang untuk membuang sembarangan karena dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Bahan- bahan tersebut berasal dari gesekan mesin, karatan pada kendaraan serta gas buang kendaraan dari hasil pembakaran yang tidak sempurna. Setelah itu bahan- bahan tersebut melayang sehingga memunculkan polusi hawa serta mengendap di permukaan tanah. Emisi gas buang kendaraan bermotor cenderung mempunyai keadaan tanah serta air jadi asam. Tetapi pengalaman di negeri maju meyakinkan keadaan semacam ini dapat menimbulkan terlepasnya jalinan tanah ataupun sedimen dengan sebagian mineral serta logam, sehingga bisa mencemari area serta mengusik kesehatan manusia (Yuliatri dkk., 2019). Minyak pelumas umumnya digunakan untuk menyelimuti komponen mesin agar tidak terkena benturan dikala mesin dijalankan. Kurniawan (2018) menjelaskan bahwa minyak pelumas ataupun oli merupakan hasil olahan minyak bumi ataupun minyak mineral yang memiliki hidrokarbon yang berperan untuk menghindari benturan antara logam dengan logam pada komponen mesin agar menghindari keausan pada komponen tersebut. Minyak pelumas bekerja melumasi mesin, pada umumnya ada pergantian pada kandungannya, sehingga mutu serta gunanya menyusut. Minyak pelumas yang sudah ditahap penyusutan daya gunanya biasanya disebut oli sisa, sehingga tidak bisa digunakan kembali bekerja pada mesin (Latifah dkk., 2020).

Fungsi utama pelumas untuk kendaraan bermotor adalah untuk melindungi, mengatur friksi serta keausan. Akan tetapi pelumas juga mempunyai fungsi lain tergantung di mana pelumas tersebut diaplikasikan, awal: menghindari terbentuknya korosi dimana pelumas berperan selaku pengawet. Saat mesin bekerja pelumas menyelimuti bagian mesin dengan susunan pelindung yang memiliki aditif untuk menetralkan bahan korosif. Kedua: pengurangan panas, pelumas tersebut sanggup melenyapkan panas yang dihasilkan baik dari gesekan ataupun sumber lain semacam pembakaran ataupun kontak dengan zat besar (Sukirno, 2018).

Minyak pelumas yang sudah digunakan memiliki lebih banyak logam serta *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) yang bertabiat mutagenik serta karsinogenik (Basuki, 2016). Perihal ini bisa menimbulkan matinya mikroorganisme dalam tanah akibat dari tumpahan oli sisa pada tanah (Zam, 2017). Kontaminasi PAH pada manusia dalam jangka waktu yang lama serta jumlah yang besar bisa menimbulkan penyakit hati ataupun ginjal, kehancuran sumsum tulang serta tingkatan efek kanker (Ahda dkk., 2018). Bagi Hafiluddin (2018) lebih dari 90% hidrokarbon tercantum dalam minyak bumi. Isi hidrokarbon bisa menyebabkan minyak bumi yang tumpah dari kegiatan pengeboran pada tanah jadi susah terdegradasi.

Senyawa hidrokarbon adalah salah satu senyawa yang keberadaannya dapat membatasi produktivitas tanah. Limbah oli kendaraan bermotor menjadi salah satu sumber pencemaran hidrokarbon di perkotaan. Pencemaran oli sisa ini terjalin karena tidak efektifnya peraturan yang mengendalikan tentang pengelolaan oli sisa. Perihal ini diprediksi karena tidak baiknya pengelolaan limbah industri yang menimbulkan kerugian jutaan rupiah. Pihak pemerintahan telah mengendalikan peraturan kewenangan dalam pengelolaan serta pengendalian lingkungan hidup. Tetapi, spesial penindakan oli sisa diserahkan pada pemerintah pusat, sebaliknya pemerintah wilayah hanya berfungsi sebagai selaku pelaporan (Mukhlisoh, 2018).

Limbah minyak bumi bisa berasal dari tumpahan maupun buangan dari minyak bumi ataupun bahan- bahan yang dihasilkan, minyak sisa digunakan dari minyak yang tercantum dalam limbah dari sesuatu aktivitas industri. Limbah tersebut hendak memunculkan permasalahan apabila mempunyai isi TPH lebih besar dari 1% yang jika dibiarkan mengusik serta mengganggu ekosistem area, dan apabila terbakar akan memunculkan pencemaran hawa serta apabila didaur ulang membutuhkan teknologi serta bayaran yang besar. Oleh sebab itu limbah minyak bumi apabila terbuang ke area butuh ditanggulangi semaksimal mungkin (Kementrian Lingkungan Hidup, 2003).

Salah satu alternatif penanggulangan lingkungan tercemar minyak bumi yang dapat diterapkan salah satunya ialah dengan metode bioremediasi. Bioremediasi ialah sesuatu teknologi yang ramah lingkungan, efisien serta murah

dengan menggunakan kegiatan mikroba semacam kuman. Lewat teknologi ini diharapkan minyak buangan yang terdapat bisa direduksi serta menemukan produk samping dari kegiatan tersebut (Lukman., 2018).

2.3 Senyawa Hidrokarbon

TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) merupakan jumlah hidrokarbon minyak bumi yang terukur dari media area. Hidrokarbon minyak bumi (*PHC-Petroleum Hydrocarbon*) merupakan bermacam tipe senyawa hidrokarbon yang ada dalam minyak bumi. Dalam satu tipe kombinasi minyak bumi hendak ada rantai hidrokarbon dengan rantai C3- C35. Dengan demikian, TPH didefinisikan selaku metoda analisis yang digunakan untuk mengukur jumlah hidrokarbon minyak bumi dalam sesuatu media (Mendrova dkk, 2013 dalam Tamzil, 2019).

Total petroleum hydrocarbon (TPH) ialah merupakan pengukuran konsentrasi pencemar hidrokarbon minyak bumi dalam tanah atau serta seluruh pencemar hidrokarbon minyak dalam suatu sampel tanah yang sering dinyatakan dalam satuan mg hidrokarbon/ kg tanah. Senyawa hidrokarbon berasal dari sumber minyak bumi, tercantum bahan bakar universal semacam bensin, solar, minyak tanah, minyak pelumas, serta lemak. Dengan demikian, walaupun hidrokarbon merupakan zat organik yang cuma terdiri dari karbon serta hidrogen, tetapi hidrokarbon ini tercantum senyawa dengan tipe yang berbeda, bersumber pada perbandingan jumlah rantai karbon penyusunnya sehingga memiliki watak kimia serta fisika yang berbeda pula (Baldan dkk., 2020)

2.3.1. Sumber Pencemaran Hidrokarbon

Kepmen LH No. 128, (2003) menjelaskan bahwa pencemaran hidrokarbon dalam tanah dapat disebabkan oleh terlepasnya berbagai bahan kimia yang terbuat dan digunakan dalam aktivitas manusia ke permukaan maupun ke dalam tanah. *Crude oil* ialah salah satu produk yang sangat umum penggunaannya di bidang industri. Pencemaran hidrokarbon dalam tanah bersumber dari minyak dan gas bumi dapat disebabkan oleh kegiatan yang bersumber dari:

- a. Tangki pemisah maupun penimbun minyak mentah dan maupun produk bahan minyak, baik di darat maupun di laut (*tanker, floating storage, storage tank*, dan lain- lain).
- b. Instalasi pengolah air limbah (*separator, oil catcher, dissolved air floatation* (DAF), chemical unit, free water knock out/ separator minyak dari sumur penciptaan) yang mengolah mencerna air limbah pada kegiatan usaha minyak.
- c. Hasil pembersihan alat- perlengkapan proses pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi dan/ maupun aktivitas lain yang berhubungan dengan pengelolaan limbah minyak bumi.
- d. Timbunan kumulatif limbah minyak dari hasil kegiatan usaha minyak dan gas bumi maupun aktivitas lain yang telah beroperasi dikala saat sebelum adanya peraturan pengelolaan limbah.
- e. Limbah pemboran berbentuk limbah lumpur bor serta serbuk bor (*cutting*) mempunyai residu minyak bumi.
- f. Tumpahan minyak pada lahan akibat dari proses pengangkutan minyak melalui pipa, peralatan angkut, proses pemindahan (*transfer*) minyak maupun dari cecceran minyak pada tanah terkontaminasi.

2.3.2. Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah

Pencemaran tanah merupakan keadaan dimana bahan kimia buatan manusia masuk dan mengubah bentuk tatanan tanah alami (Holifah, 2018). Bersumber pada Peraturan Pemerintah No. 150 tahun 2000, disebutkan jika kehancuran tanah untuk penciptaan biomassa yaitu berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kehancuran tanah. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi yang meliputi pengeboran, penciptaan, pengilangan, dan transportasi berpotensi memunculkan terjadinya pencemaran tanah. Mengenai ini disebabkan oleh adanya tumpahan maupun cecceran dari berbagai kegiatan tersebut. Minyak bumi memiliki komponen hidrokarbon yakni senyawa organik (Kautsar dkk, 2021). Wang dkk, 2011 dalam hendrianto 2020) menjelaskan bahwa terjalin pencemaran tanah di Delta Yellow River di Cina karena daerah tersebut merupakan kawasan

penciptaan *petroleum*. Selama bertahun-tahun terjalin kontaminasi hidrokarbon akibat petroleum pada tanah di tempat ini karena penciptaan, tumpahan, kebocoran pipa minyak, dan transportasi. Baldan dkk., (2020) menjelaskan tanah terkontaminasi hidrokarbon akibat dari tumpahan bahan bakar diesel secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama yakni 20- 25 tahun terjalin di Italia Timur bagian Utara. Pencemaran tanah oleh hidrokarbon pula terjalin di sebagian daerah di Indonesia. Pencemaran tanah oleh hidrokarbon terjalin di dekat tambang minyak Minas PT CPI, Riau akibat tumpahan crude oil disaat proses pengeboran, penciptaan, dan transportasi (Karwati, 2017). Kasus pencemaran tanah akibat hidrokarbon misalnya di PT. UNILEVER Jakarta seluas 2. 2 Ha, di PT. CALTEX seluas 8 Ha, kebocoran pipa minyak mentah di PT. CONOCOPHILLIPS sepanjang 300 meter dan masih banyak kasus pencemaran yang lain (Ali, 2020).

2.3.3. Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon

Isi senyawa hidrokarbon dalam minyak mentah diklasifikasikan selaku hidrokarbon alifatik, sikloalkana, hidrokarbon aromatik, serta hidrokarbon poliaromatik. Berikut penjelasan senyawa berikut:

1. Senyawa Alifatik

Cincin atom karbon dari hidrokarbon alifatik tersusun secara linier, bercabang, ataupun melingkar tertutup (alisiklik). Alifatik dibagi menjadi sebagian kalangan, ialah:

- a. Alkana (lilin) yang mempunyai jalinan atom C jenuh. Alkana merupakan hidrokarbon alifatik jenuh berikatan tunggal serta normal terhadap respon kimia dengan rumus empiris C_nH_{2n+2} . Alkana adalah petroleum hidrokarbon yang sangat gampang terdegradasi. Tetapi alkana pada range C5 sampai C10 merupakan penghambat dalam proses degradasi hidrokarbon. Pada konsentrasi besar, senyawa ini bertabiat toksik karena sanggup merobek membran lipid pada sel mikroorganisme.
- b. Alkena (olefin) merupakan hidrokarbon alifatik tidak jenuh yang mempunyai minimum satu jalinan rangkap 2 dengan rumus empiris C_nH_{2n} .

- c. Alkana merupakan hidrokarbon alifatik tidak jenuh yang mempunyai minimum satu jalinan rangkap 3 dengan rumus empiris C_nH_{2n-2} .

2. Senyawa Sikloalkana

Sikloalkana merupakan hidrokarbon alisiklik (cincin siklis) tunggal serta banyak dengan rumus empiris C_nH_{2n} . Senyawa ini sangat normal tetapi lebih reaktif daripada alkana. Sebagaimana pada senyawa alkana, terus menjadi besar jumlah atom C terus menjadi besar pula Sg (*specific gravity*) serta titik didihnya. Degradasi sikloalkana umumnya pula dioksidasi pada gugus halte metil serta jadi alkohol.

3. Senyawa Aromatik

Hidrokarbon aromatik pula tercipta dari 1 molekul benzena dimana 6 buah atom tersusun menyamai cincin dengan jalinan tunggal serta ganda. Volatilitas yang besar serta kelarutan yang rendah biasanya dipunyai oleh hidrokarbon aromatik ini. Tetapi, isi hidrokarbon aromatik pula bisa memastikan tingkatan toksisitas minyak bumi. Contohnya benzena, toluena, etilbenzena, serta xilena yang kerap diucap selaku senyawa BTEX. Senyawa hidrokarbon aromatik ini susah didegradasi serta pula bisa menciptakan senyawa intermediet yang tidak di idamkan. Tata cara bawah penyerangan mikroba pada komponen aromatik bercincin tunggal membentuk senyawa dihidrodiol. Dihidrodiol dioksidasi menjadi alkil katekol yang senyawa intermediate. Hasil oksidasi pemecahan cincin merupakan terjadinya aldehid dan asam yang siap untuk digunakan mikroorganisme untuk sintesis sel serta tenaga.

4. Senyawa Poli Aromatik

Senyawa poliaromatik disebut juga dengan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) yang terdiri dari sebagian senyawa aromatik yang menyatu, misalnya seperti naftalena, asenaften, serta fluorena. PAH bertabiat karsinogenik, dan menjadi banyak jumlah molekul aromatik yang menyatu hingga senyawa PAH ini terus menjadi susah terurai.

2.4. Pengertian *Soil Washing*

Teknik *soil washing* merupakan salah satu teknik yang praktis dalam pemulihan pencemaran tanah oleh minyak di lingkungan industri migas. Keunggulan lain dari teknik *soil washing* adalah memiliki efisiensi ekstraksi yang baik terhadap kontaminan, bersifat spesifik diperolehnya kembali minyak dalam jumlah yang maksimal, tanah hasil olahan dapat dikembalikan kembali ke lingkungan (*backfill*), berkurangnya volume limbah tanah yang terkontaminasi, dan waktu proses pengolahan limbah relatif lebih cepat dibandingkan dengan teknik yang lain (Zulkifliani, 2017).

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. *soil washing* merupakan metode yang ramah lingkungan mulai dari proses awal hingga tanah dikembalikan ke site (Agus dkk., 2018). Keunggulan lain dari teknik *soil washing* ini adalah memiliki efisiensi ekstraksi yang baik terhadap kontaminan bersifat spesifik diperolehnya kembali minyak dalam jumlah yang maksimal, tanah hasil olahan dapat dikembalikan kembali ke lingkungan (*backfill*), berkurangnya volume limbah tanah yang terkontaminasi, dan waktu proses pengolahan limbah relatif lebih cepat dibandingkan dengan teknik yang lain (Karthika dkk., 2021).

Berbagai zat aktif permukaan, diantaranya zat-zat surfaktan sebagai larutan pencuci, telah banyak dikembangkan untuk mendapatkan proses pencucian yang lebih efektif (Desrina, 2020). Dalam KEPMEN LH No 128 Tahun 2003 tentang tata cara persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis, dikatakan konsentrasi *total petroleum hidrokarbon* (TPH) maksimum yang diijinkan untuk mengolah tanah tercemar dengan bioremediasi adalah sebesar 15%. Jika terdapat konsentrasi hidrokarbon minyak bumi melebihi 15%, maka perlu dilakukan pengolahan. *Soil washing* dapat menjadi salah satu pengolahan untuk menurunkan tingkat pencemar hidrokarbon hingga mencapai 15% sehingga dapat dikembalikan ke site.

2.5 Senyawa Surfaktan

Surfaktan mempunyai struktur molekul yang khas terdapatnya gugus yang memiliki tarikan yang sangat kecil terhadap pelarut, diketahui selaku gugus liofobik, bersama- sama dengan gugus yang memiliki tarikan yang kuat terhadap pelarut disebut gugus liofilik. Ini diketahui sebagai struktur amfifolik ataupun amfifilik. Apabila surfaktan terlarut dalam sesuatu pelarut, terdapatnya bagian liofobik di bagian dalam pelarut yang menimbulkan terbentuknya distorsi struktur cairan pelarut tersebut, ialah menaikkan tenaga kebebasan dari sistem tersebut. Di dalam larutan air, surfaktan distorsi air diakibatkan oleh bagian liofobik (hidrofobik) surfaktan, serta menciptakan peningkatan tenaga kebebasan sistem (Buana, 2018).

Proses yang diperlukan untuk membawa molekul surfaktan ke permukaan lebih kecil daripada proses yang diperlukan untuk membawa molekul air ke permukaan. Hal inilah yang menimbulkan senyawa surfaktan pada sesuatu sistem cairan cenderung terkonsentrasi pada permukaan. Diakibatkan proses yang dibutuhkan untuk membawa molekul surfaktan ke permukaan lebih kecil. Dengan demikian terdapatnya surfaktan merendahkan proses yang dibutuhkan untuk membawa unit luas permukaan (tegangan permukaan). Terdapatnya gugus liofilik (*hidrofilik*) yang menghindari keluarnya surfaktan secara sempurna dari pelarut sebagai fasa terpisah (Salvager, 2002 dalam Buana, 2018).

Surfaktan dipecah jadi 4 bagian digunakan secara meluas pada nyaris seluruh zona industri modern. Porter, (2000) dalam Buana, (2018) menjelaskan bahwa jenis- jenis surfaktan diantaranya sebagai berikut:

1. Surfaktan anionik, merupakan senyawa yang bermuatan negatif dalam bagian aktif permukaan (*surface- active*) ataupun pusat hidrofobiknya (misalnya $\text{RCOO}^- \text{Na}^+$, R merupakan *fatty hydrophobe*).
2. Surfaktan kationik, merupakan senyawa yang bermuatan positif pada bagian aktif permukaan (*surface- active*) ataupun gugus antar muka hidrofobiknya (*hydrofobic surface- active*).
3. Surfaktan nonionik, merupakan surfaktan yang tidak bermuatan ataupun tidak terjalin ionisasi molekul.

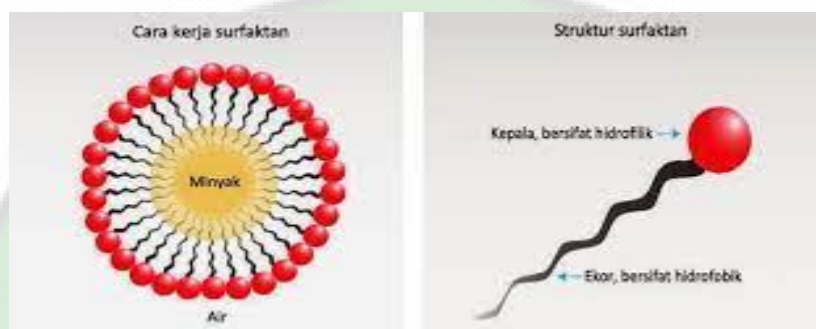
4. Surfaktan amfoterik, merupakan surfaktan yang memiliki gugus anionik serta kationik, dimana muatannya tergantung kepada pH, pada pH besar bisa menampilkan watak anionik serta pada pH rendah bisa menunjukkan watak kationik.

2.5.1 Mekanisme Kerja Surfaktan

Surfaktan berfungsi untuk meningkatkan daya pembasahan air sehingga senyawa hidrofobik atau berlemak dapat dibasahi, meringankan tegangan permukaan, dan mensuspensikan zat yang telah terlepas. Surfaktan yang biasa digunakan dalam deterjen adalah linear alkilbenzene sulfonat, etoksisulfat, alkil sulfat, etoksilat, senyawa amonium kuarterner, imidazol, dan betain. Linear alkilbenzene sulfonat, etoksisulfat, alkil sulfat apabila dilarutkan kedalam air akan berubah menjadi partikel bermuatan negatif, memiliki daya bersih yang sangat baik, dan biasanya berbusa banyak (pada umumnya digunakan untuk pencuci kain dan pencuci piring). Penambahan surfaktan dalam larutan akan menyebabkan turunnya tegangan permukaan larutan. Setelah mencapai konsentrasi tertentu, tegangan permukaan akan konstan walaupun konsentrasi surfaktan ditingkatkan. Bila surfaktan ditambahkan melebihi konsentrasi ini, maka surfaktan mengagregasi membentuk misel. Konsentrasi terbentuknya misel ini disebut *Critical Micelle Concentration* (CMC). Tegangan permukaan akan menurun hingga CMC tercapai. Setelah CMC tercapai, tegangan permukaan akan konstan yang menunjukkan bahwa antar muka menjadi jenuh dan terbentuk misel yang berada dalam keseimbangan dinamis dengan monomernya (Putra, 2019).

Mekanisme penurunan tegangan permukaan oleh surfaktan dapat dipelajari dari mekanisme penetrasi molekul surfaktan ke dalam fase hidropobik dan hidropilik. Bagian kepala bersifat hidropilik masuk ke fase hidropil dan bagian ekor bersifat hidropobik masuk ke fase hidropobik. Interaksi dua gugus kedalam dua fase menyebabkan penurunan tegangan permukaan antar fase. Penurunan tegangan permukaan dapat diamati pada perubahan bentuk tetesan minyak di permukaan yang bersifat hidropilik. Minyak bersifat hidropobik, apabila minyak ditetaskan dipermukaan benda padat yang bersifat hidropilik, bentuk tetesan

adalah bulat karena tegangan permukaan tetesan minyak tidak sama dengan permukaan benda padat. Hal ini disebabkan karena gaya kohesi molekul minyak lebih besar dibandingkan dengan gaya adhesi antara permukaan minyak dan padatan. Setelah surfaktan ditambahkan ke permukaan antar fase, tetesan minyak akan terdistribusi di permukaan padatan (Renung dkk, 2020).



Gambar 2.1. Mekanisme kerja surfaktan
(Sumber :Edubio, 2014)

2.6. Bioremediasi

Remediasi adalah proses yang bertujuan untuk menghilangkan, merusak, atau mengubah bentuk dari zat pencemar (kontaminan) sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Agamuthu, 2017). Pengolahan yang dapat dilakukan terhadap tanah terkontaminasi dapat dilakukan melalui proses fisik-kimia maupun biologis. Remediasi ada tiga bentuk, yaitu remediasi fisik (isolasi dan pewadahan ke suatu tempat cemar), remediasi kimia, dan remediasi biologi. Teknik remediasi yang paling umum dikenal dengan istilah bioremediasi (Pulungan, 2017).

Bioremediasi adalah penghilangan, pemutusan, maupun perubahan ikatan kimia dari kontaminan sehingga berubah menjadi senyawa yang lebih aman oleh bantuan mikrobia (Agamuthu, 2017). Bioremediasi merupakan proses yang paling menguntungkan karena biaya yang lebih murah serta waktu yang dibutuhkan tidak terlalu lama (Haghollahi, 2021). Bioremediasi tanah tercemar minyak bumi telah diatur dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 128 Tahun

2003 tentang tatacara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologi. Bioremediasi merupakan suatu teknologi yang ramah lingkungan, yang mana bakteri memegang peranan yang sangat penting dalam proses degradasi limbah biologi ini. Tahapan proses bioremediasi tanah terkontaminasi minyak bumi mengalami dua fase. Fase pertama bakteri mampu dengan cepat mendegradasi limbah sebagai substrat sedangkan pada fase kedua dimana limbah tersebut diubah menjadi senyawa transisi berupa senyawa intermediate yang sulit didegradasi yang menjadikan kinerja bakteri tersebut mengalami penurunan. Dengan menurunnya kinerja bakteri ini dapat menyebabkan bertambah panjangnya masa bioremediasi.

Ada beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja mikroba dalam meremediasi lahan tercemar minyak yaitu memperbaiki kondisi mikro lingkungan (*intrinsic*) dan menambahkan strain-starin unggulan (*bioaugmentation*). Perbaikan kondisi lingkungan dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tertentu (umumnya nutrient) atau dengan cara memperbaiki suplai oksigen (Nida., dkk, 2019). Proses degradasi minyak di dalam tanah secara alami membutuhkan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu, teknologi bioremediasi banyak digunakan untuk mempercepat proses pemulihan lahan tercemar minyak dengan cara menyesuaikan kondisi lingkungan, penambahan unsur hara (*biostimulasi*) dan penambahan mikroorganisme dari luar (*bioenhancement*), serta pengujian mikroorganisme yang tercemar minyak dan pengujian kinerja jenis mikroorganisme yang diperoleh. Jenis mikroorganisme yang banyak digunakan dalam bioremediasi tanah tercemar minyak adalah *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Azotobacter* (Prayitno, 2017).

Bioremediasi tanah tercemar minyak bumi telah diatur dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 128 Tahun 2003 tentang tatacara dan persyaratan teknis pengolahan limbah minyak bumi dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologi. Bioremediasi merupakan suatu teknologi yang ramah lingkungan, yang mana bakteri memegang peranan yang sangat penting dalam proses degradasi limbah biologi (Nida dkk., 2019).

Meskipun bioremediasi ini merupakan teknologi yang efektif dalam upaya menangani pencemaran minyak bumi, namun untuk memastikan hasil akhirnya harus tetap dilakukan pemantauan seperti kadar TPH, BTX, dan beberapa logam berat yang tergolong berbahaya (Prasetyo, 2018).

Teknologi proses bioremediasi dipilih karena cukup potensial untuk diterapkan di Indonesia. Kondisi iklim tropis dengan sinar matahari, kelembaban yang tinggi serta keanekaragaman mikroorganisme yang tinggi sangat mendukung percepatan proses pertumbuhan mikroba untuk aktif mendegradasi minyak. Selain itu, teknik bioremediasi memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah biaya lebih murah, sederhana, serta dapat menghilangkan toksisitas dari senyawa pencemar berbahaya secara biologis (Hafiludin, 2018).

2.6.1 Teknik Proses Bioremediasi

Saat ini ada beberapa teknik bioremediasi yang mampu menurunkan kadar pencemaran hidrokarbon minyak. Berdasarkan tempat berlangsungnya, terdapat dua macam teknik bioremediasi yaitu :

- a. Bioremediasi *in situ* merupakan bioremediasi didasari pada bahan tercemar setempat, mikroba yang telah ada disitu selanjutnya yang aktif melakukan degradasi.
- b. Bioremediasi *ex situ* merupakan proses bioremediasi yang dijalankan dengan mengambil limbah di suatu tempat yang terkontaminasi bahan pencemar kemudian diberi perlakuan di tempat lain, kemudian setelah selesai perlakuan dikembalikan ke tempat awal. Cara *ex situ* dapat berlangsung cepat dan pengontrolannya lebih baik dibanding dengan cara *in situ*. Cara ini pun mampu meremediasi jenis kontaminan dan jenis tanah yang lebih dari bermacam-macam (Wigyanto, 2020).

Dikenal dua cara menstimulasi pertumbuhan dan metabolisme mikroba, selama proses bioremediasi, terdapat dua teknik bioremediasi yaitu :

1. Bioremediasi Augmentasi (Bioaugmentasi) adalah mikroba yang telah di isolasi dari lahan tercemar kemudian mengalami penyesuaian

dilaboratorium guna diperbanyak. Selanjutnya dikembalikan. Baru dapat dimulai proses bioremediasinya.

2. Bioremediasi Stimulasi (Biostimulasi) adalah mikroba yang sudah tumbuh pada bahan pencemar diperbanyak dan dipercepat pertumbuhan dan aktivitas metabolismenya dengan cara menambahkan nutrisi yang cukup misalnya dengan menambah sumber nitrogen dan fosfor serta oksigen hingga terlarut untuk dapat memenuhi pertumbuhan mikroba. Jika jumlah mikroba yang ada sangat sedikit, maka harus ditambahkan mikroba sampai mencapai jumlah mikroba rata-rata 10^3 cfu/gram bahan tercemar barulah bioremediasi dapat dimulai (Wignyanto, 2020).

2.6.2 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Proses Bioremediasi

a. Kadar Oksigen

Bakteri yang biasa digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon adalah bakteri aerob, yaitu bakteri yang membutuhkan oksigen dalam aktivitasnya. Oksigen dalam tanah dapat diperoleh dari proses difusi antara udara dengan tanah. Oksigen ini mudah habis terutama jika jumlah mikroorganisme yang memanfaatkan oksigen tersebut sangat banyak sedangkan proses difusi sendiri membutuhkan waktu yang lama. Keterbatasan jumlah oksigen diperkirakan dapat menjadi faktor penghambat biodegradasi minyak bumi di bawah tanah (Nugroho, 2017).

b. Kadar Air

Air sangat diperlukan oleh mikroba sebagai media asupan oksigen terlarut dan ion mineral. Air yang mengandung ion garam dalam jumlah yang banyak akan menghambat pertumbuhan populasi mikroba, dan mengakibatkan turunnya laju degradasi. Pada kondisi di mana kandungan garam dilarutan tanah cukup tinggi, maka pemilihan jenis mikroba harus disesuaikan, yaitu dengan memilih mikroba yang sangat tahan dan membutuhkan garam untuk hidupnya (halophilic). Kelembapan akan memengaruhi laju penguapan, kandungan air tersedia dan pertumbuhan mikroba. Pada kondisi di mana kelembapan udara berkisar 60–90%, dengan kandungan air tanah 23,1%, masih dimungkinkan bagi mikroba untuk

mendegradasi cecceran minyak dari konsentrasi awal 5000 ppm menjadi 500 ppm selama 30 hari (Asep, 2021).

c. Suhu

Suhu tanah dapat memberi efek pada aktivitas mikroorganismen dan laju degradasi kontaminan senyawa hidrokarbon. Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganismen tanah umumnya pada kisaran 10-40°C, walaupun ada beberapa yang dapat hidup hingga suhu 60°C (bakteri termofilik) (Retno dkk., 2013). Bioremediasi umumnya terjadi pada suhu yang moderat atau sedang. Suhu optimal selama proses degradasi sangat ditentukan oleh sifat dan karakteristik mikroba. Ketika mikroba mengsekresikan enzim peroxidase, dan ketika itu juga, seandainya enzim peroxidase dipercaya sebagai enzim yang paling bertanggung jawab dalam proses penguraian, maka suhu optimal harus dipilih agar enzim tersebut dapat secara optimal bekerja (Asep, 2021).

d. pH

Kondisi pH di tanah atau air sangat memengaruhi aktivitas mikroba dan laju bioremediasi. pH netral sangat cocok untuk berkembang dan tumbuh subur mikroba kisaran pH 6.5–7.5 sangat cocok bagi mikroba pengurai hidrokarbon. Secara spesifik mikroba hanya akan aktif tumbuh pada satu kisaran pH tertentu, seperti: pH asam (*acidophiles*), netral (*neutarophiles*), dan basa (*alkaliphiles*). Lahan terkontaminasi biasanya mengalami perubahan sifat dan karakteristik kimia dari kondisi awalnya. Perubahan sangat ekstrem sering terjadi di lapangan, pH menjadi sangat asam atau sangat basa. Hal ini mengakibatkan mikroba lokal sangat sulit untuk berkembang sehingga tidak jarang laju degradasi menjadi sangat lambat atau bahkan tidak terjadi. Keadaan pH tanah juga memengaruhi keterlarutan fosfor dan nutrisi lain yang diperlukan oleh mikroba, reaksi biotik kontaminan, dan transformasi unsur berbahaya dalam koloid tanah (pengendapan atau mobilisasi). Perubahan pH juga mengakibatkan polutan pencemar menjadi mudah terjerap kuat pada partikel liat tanah dan proses penguraian menjadi terhambat (Ajoku dkk., 2019).

e. Nutrien

Secara umum komposisi sel mikroba terdiri karbon (C), nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), belerang (S), besi (Fe), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan klorida (Cl) dengan rasio rata-rata 50% C: 14% N: 3% P: 2% K: 1% S: 0.2% Fe: 0,5% Ca, Mg, dan Cl. Unsur-unsur tersebut berada dalam molekul yang berbeda dan secara alamiah terdistribusi untuk semua jenis kehidupan pada sebuah ekosistem. Keragaman metabolisme yang ada dalam mikroba memastikan bahwa unsur-unsur tersebut tersedia dalam bentuk yang tepat. Apabila salah satu unsur tidak tersedia maka keadaan tersebut akan membatasi pertumbuhan mikroba dan menyebabkan laju penguraian menjadi lambat (Singh dkk., 2018). Beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan mikroorganisme adalah karbon, nitrogen, dan fosfor. Nutrisi yang paling sering ditambahkan untuk bioremediasi adalah nitrogen. Nitrogen biasanya ditambahkan sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhan sel, tetapi juga dapat berfungsi sebagai akseptor elektron alternatif. Sebagai sumber nutrisi, nitrogen biasanya ditambahkan dalam bentuk urea atau garam ammonia (Wulan dkk., 2021).

2.7. Kotoran Kambing

Kotoran kambing merupakan bahan aktif, yang banyak mengandung mikroba. Selain kaya akan mikroba perombak, kotoran hewan juga memiliki kandungan nutrisi yang cukup bagi pertumbuhan mikroba. Secara umum, kotoran segar hewan mengandung 70% - 80% air, 0,3 – 0,6 % nitrogen, 0,1 – 0,4% fosfor dalam bentuk P_2O_5 , 0,3 – 1,0% kalium dalam bentuk K_2O . Beberapa jenis bakteri yang terdapat dalam limbah kotoran kambing antara lain *Nitrosococcus sp*, *Pseudomonas striata*, *Nitrosomonas sp*, *Mikoriza*, *Pseudomonas flourescens*, *Streptomyces sp*, dan *Tricoderma sp*. Bahan organik penting dalam meningkatkan produktivitas tanah dan merupakan sumber kehidupan bagi bermacam-macam mikroba. Komposisi kimia kotoran kuda dan kambing ditemukan kandungan hara pada kedua kotoran tersebut memiliki jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan kotoran hewan yang lain (Holifah, 2018).

BAB III

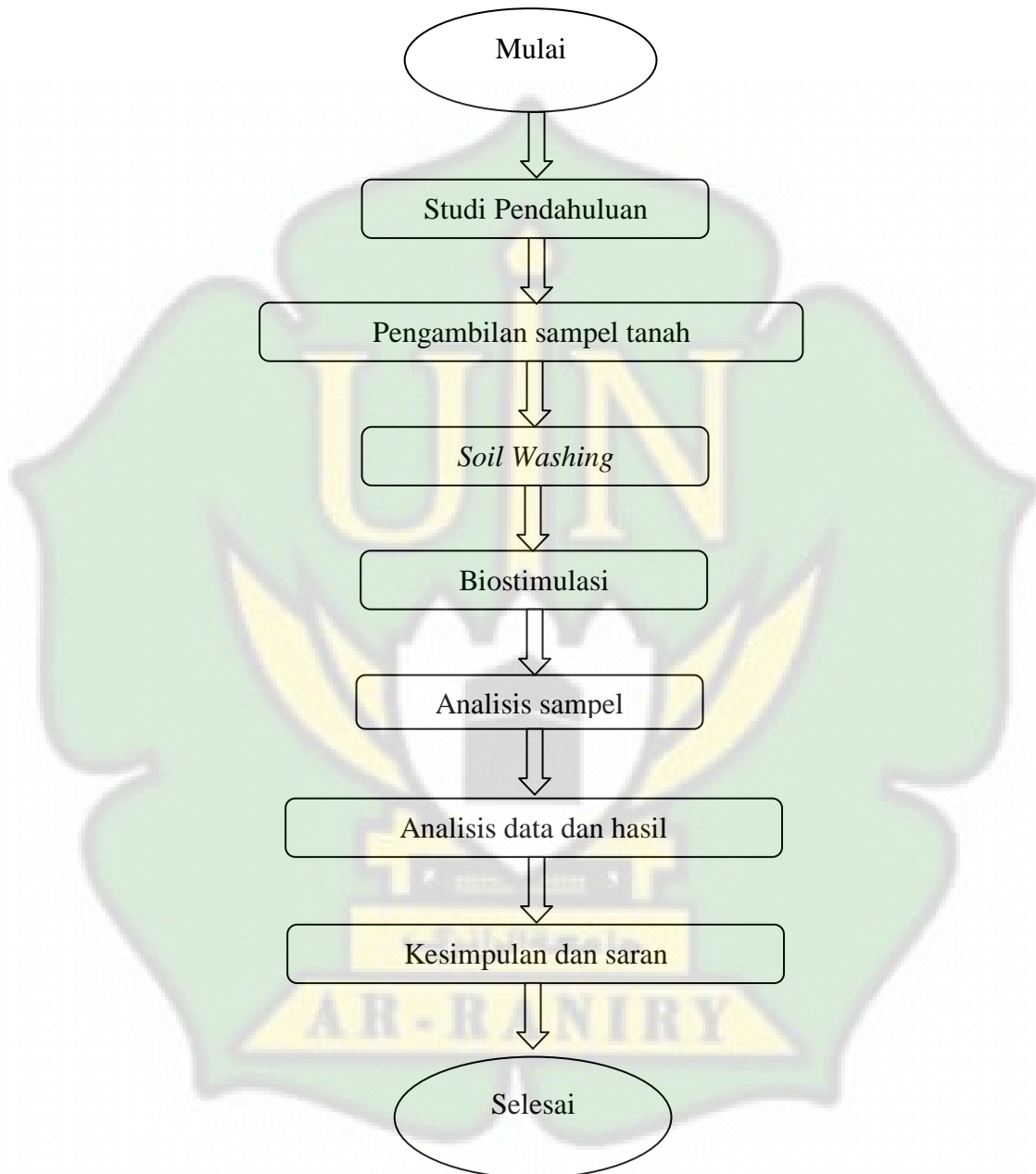
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian secara umum dibagi menjadi beberapa tahapan yang dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Tahapan studi pendahuluan. Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan data yang diperlukan sebelum melaksanakan penelitian. Penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal tanah terkontaminasi hidrokarbon tanah tercemar limbah oli dan bahan yang digunakan. Parameter yang diuji meliputi konsentrasi TPH, pH dan suhu.
2. Pengambilan sampel tanah, dilakukan dengan menggunakan sekop. Sampel tanah yang diambil adalah lapisan atas tanah permukaan *top soil*. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak.
3. Tahapan *soil washing*, dilakukan penambahan surfaktan pada tanah tercemar limbah oli
4. Tahapan biostimulasi, dilakukan dengan penambahan nutrisi (kotoran kambing) dalam media plastik yang berukuran diameter 20 tinggi 6 cm.
5. Tahapan analisis sampel, dilakukan analisis sampel untuk mengetahui nilai TPH, pH, dan suhu di laboratorium multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
6. Tahapan analisis data dan hasil, dilakukan apabila keseluruhan tahapan analisis sampel telah selesai, data yang telah diperoleh kemudian dianalisis menjadi informasi sehingga data tersebut bisa dipahami dan bermanfaat untuk solusi permasalahan, terutama menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan dalam mengambil kesimpulan.
7. Tahapan penarikan kesimpulan, merupakan tahapan dimana menjawab pertanyaan yang timbul dari rumusan masalah dalam penelitian ini yang dijelaskan berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh.

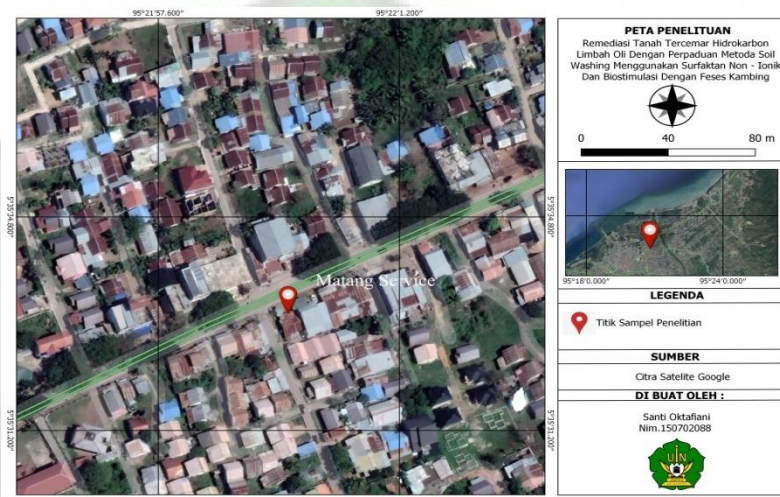
Tahapan dan alur penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel tanah tercemar limbah oli diambil dari lokasi perbengkelan otomotif yang berada di Cadek, Baitussalam Aceh Besar. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Gambar 3.2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel di bengkel Matang Service Cadek, Baitussalam Aceh Besar.

(Sumber : Citra Satelit Google)



Gambar 3.3. Bengkel Matang Service

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

3.3 Sampel

3.3.1 Teknik Pengambilan Sampel Tanah

Setelah dilakukan studi pendahuluan di Bengkel Matang Service, limbah oli dibuang langsung ke tanah dan sebagian besar limbah oli dikumpulkan kedalam drum dan diletakkan di luar begitu saja yang dikhawatirkan akan merusak lingkungan. Berdasarkan studi pendahuluan diketahui bahwa tanah di Matang Service telah tercemar dan memiliki kadar hidrokarbon telah melebihi baku mutu sebanyak 10,8 %.

Sampel tanah diambil di beberapa titik pada lokasi pengambilan sampel, tanah yang diambil merupakan tanah yang mewakili beberapa titik lokasi pengambilan sampel. Pengambilan sampel tanah mengikuti metode Zhang, (2017) yang dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan sekop kecil.
2. Sampel tanah yang diambil adalah lapisan atas tanah permukaan topsoil.
3. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak pada masing-masing titik.
4. Sampel tanah yang telah diambil dimasukkan kedalam plastik klip sebelumnya telah diberi label, plastik dilipat rapat lalu plastik di rekat menggunakan selotip agar tidak ada udara yang masuk kedalam plastik.

3.3.2 Preparasi Sampel Tanah

Preparasi sampel pada tanah dijelaskan oleh Zang, (2017) dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Tanah yang telah diambil terlebih dahulu dijemur di bawah sinar matahari selama 8 jam. Proses penjemuran bertujuan untuk menghilangkan kandungan air berlebih pada tanah.
2. Setelah selesai proses penjemuran sampel tanah dihaluskan untuk memisahkan tanah dengan batu, kerikil kecil lainnya.
3. Tanah yang telah dihaluskan kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan.

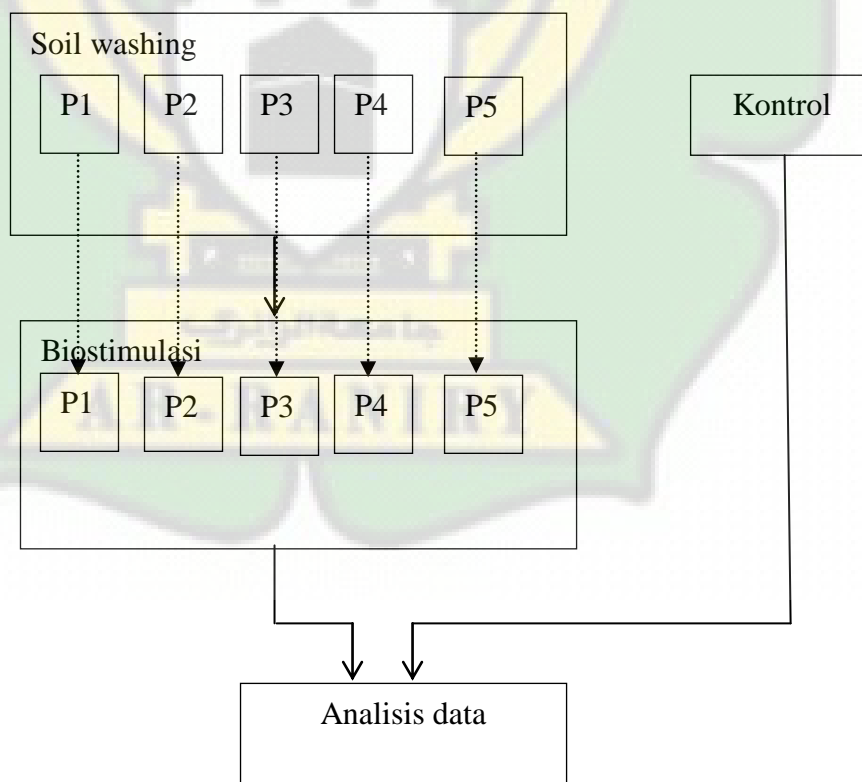
3.3.3 Teknik Pengambilan Feses Kambing

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari kandang kambing Limo Form yang berada di Jln. Lamnyong, Lamreung Kota Banda Aceh. Menurut Nuricha (2018) menjelaskan bahwa proses pengambilan sampel feses kambing sebagai berikut:

1. Disiapkan wadah yang bebas minyak untuk tempat sampel feses kambing.
2. Sampel feses kambing diambil sebanyak 300 gram menggunakan sekop kecil kemudian dimasukkan ke dalam wadah.
3. Pengambilan sampel dilakukan di pagi hari sebelum kotoran kambing dibersihkan oleh peternak.
4. Selanjutnya, sampel dibawa ke laboratorium.

3.4 Ekperimen

3.4.1 Desain Ekperimen



Gambar 3.6. Desain Ekperimen

Soil washing: P1 adalah 200 gram tanah ditambahkan larutan surfaktan 0,01%, P2 adalah 200 gram tanah ditambahkan 0,02%, P3 adalah 200 gram tanah ditambahkan 0,03%, P4 adalah 200 gram tanah ditambahkan 0,04%, P5 adalah 200 gram tanah ditambahkan 0,05%, biostimulasi : P1, P2, P3, P4, P5 adalah 200 gram tanah ditambahkan 40 gram feses kambing.

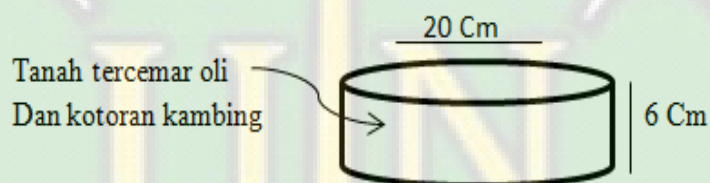
3.4.2 Soil Washing

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah tercemar oli, n-heksana, surfaktan non-ionik *alkilbenzena sulfonat linier* (LAS) tween 80 yang bersifat *biodegradable* dan aquades. Charlena (2017) menjelaskan bahwa perlakuan *soil washing* pada sampel tanah yang tercemar limbah oli adalah sebagai berikut:

1. 200 gram tanah tercemar limbah oli ditimbang kemudian dimasukkan kedalam *beaker glass* yang berukuran 2 L.
2. Larutan surfaktan 0,01% sebanyak 1000 ml ditambahkan ke dalam beaker glass yang telah berisi tanah tercemar oli.
3. Pencucian tanah dilakukan menggunakan jar test dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit setiap variasi perlakuan.
4. Setelah pengadukan selesai, didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan antara endapan dan cairan.
5. Airnya di sisihkan kemudian tanah dimasukkan ke oven selama 30 menit dengan suhu 105°C untuk menghilangkan kandungan air yang berlebih.
6. Dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit untuk mempertahankan kondisi tanah agar tetap kering.
7. Diulangi perlakuan 1 sampai 6 untuk variasi penambahan surfaktan 0.02%, 0.03%, 0.04% dan 0.05%.
8. Sampel hasil pencucian disiapkan untuk pengukuran TPH dan eksperimen biostimulasi.

3.4.3 Biostimulasi

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah tercemar oli, merk ka pro analysis n-hexsana, feses kambing dan air. Penelitian ini merupakan pengujian biodegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar oli dengan metode biostimulasi menggunakan kotoran kambing. Rancangan percobaan yang digunakan adalah media plastik. Lukman (2018) menjelaskan bahwa prosedur kerja biostimulasi dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3.7. Reaktor biostimulasi

(Sumber : Lukman, 2018)

1. Reaktor dengan diameter berukuran 20 cm dan tinggi 6 cm disiapkan sebanyak 6 buah.
2. Kotoran kambing masing – masing 0 gram sebagai kontrol dan 40 gram ditambahkan dengan tanah sebanyak 200 gram ke dalam reaktor sehingga diperoleh 6 perlakuan.
3. Tanah dan kotoran kambing diaduk sampai tercampur merata.
4. Pengolahan dilakukan selama 21 hari.
5. Sampel diaduk dan disiram setiap 3 kali sehari sebanyak 25 mL untuk menjaga homogenitas dan kelembaban tanah.
6. Nilai pH, suhu dan TPH diukur setiap 3 hari sekali pada masing-masing perlakuan.

3.5 Uji Parameter

Parameter yang akan diamati pada penelitian bioremediasi tanah tercemar oli ini adalah:

a. Pengukuran suhu

Pengukuran suhu pada sampel tanah juga bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol suhu, serta dapat mengetahui pengaruh suhu terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi pada setiap variasi perlakuan. Pengukuran suhu dilakukan bersamaan dengan pengukuran pH, yaitu setiap 3 hari sekali selama 28 hari. Suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah umumnya pada kisaran 10-40°C. Retno., dkk, (2016) menjelaskan bahwa suhu optimum yang diperlukan bagi pertumbuhan bakteri dalam biodegradasi lumpur minyak adalah 20-30°C. Prosedur kerja pengukuran suhu sebagai berikut:

1. Masukkan termometer ke bagian tengah reaktor kompos.
2. Diamkan beberapa saat hingga termometer menunjukkan suhu yang stabil dan tepat.
3. Ukur suhu ruangan tempat reaktor kompos diletakkan.
4. Diamkan beberapa saat hingga termometer menunjukkan suhu yang stabil dan tepat.
5. Catat suhu dalam reaktor kompos dan suhu ruang yang ditunjukkan oleh termometer.

b. Pengukuran pH

Pengukuran pH pada sampel tanah bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol nilai pH, serta dapat mengetahui pengaruh pH terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi pada setiap variasi perlakuan. Pengukuran pH dilakukan setiap 3 hari sekali selama 28 hari. Menurut Eweis., dkk. (1998) menjelaskan bahwa pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat apabila pH berada pada kisaran 6-9. Pengukuran suhu dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Dimasukkan Soil Tester Takemura DM-15 ke bagian tengah kompos.

2. Ditekan tombol pengukuran pada Soil Tester Takemura DM-15 lalu ditahan dan didiamkan beberapa saat hingga Soil Tester Takamura DM15 menunjukkan nilai pH yang stabil dan tepat.
3. Dicatat pH yang ditunjukkan oleh Soil Tester Takamura DM-15

c. Dilakukan pengukuran *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH)

Pengujian TPH sudah kurang atau sama dengan 1% tanah dapat dipindahkan dari lokasi pengolahan dan dinyatakan aman bagi lingkungan (Kementrian Lingkungan Hidup, 2003). Menurut Juliani (2019), prosedur pengukuran TPH dilakukan dengan prinsip gravimetri dengan cara sebagai berikut:

1. Sampel tanah sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam *erlenmeyer* tertutup, kemudian diekstraksi menggunakan 10 ml *n-hexane* sebagai zat pengekstraksi dengan cara di *shaker* selama 2 jam hingga padatan dan supernatan terpisah.
2. Cairan disaring dengan menggunakan kertas saring untuk menghindari terbawanya partikel-partikel tanah.
3. Cairan disaring ke dalam vial yang sebelumnya telah di timbang beratnya.
4. Vial yang berisi cairan dipanaskan dalam oven $T = 70^{\circ}\text{C}$ sampai seluruh *n-hexane* menguap (tinggal ekstraknya yang berupa minyak).
5. Total berat minyak (TPH) yang diekstrak dapat diperoleh dengan menghitung selisih berat vial awal dan akhir.

$$\text{TPH (\% b/b)} = ((B - A) \text{ gr} / 5 \text{ gram}) \times 100\%, \dots\dots\dots(i)$$

dengan: A= berat vial awal (sebelum ekstraksi)

B = berat vial akhir (dengan minyak hasil ekstraksi)

6. Total degradasi hidrokarbonnya diukur dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{(\text{TPH}_0 - \text{TPH}_n)}{(\text{TPH}_0)} \times 100\%, \dots\dots\dots (ii)$$

dengan: $\text{TPH}_0 = \text{TPH awal (gram)}$

$\text{TPH}_n = \text{TPH akhir (gram)}$

7. Nilai gradien dihitung sebagai laju degradasi nilai TPH, menggunakan persamaan dibawah ini

$$\text{Nilai Gradien} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \dots\dots\dots(iii)$$

dengan y adalah nilai TPH (%), dan x adalah waktu pengolahan (hari).

3.6 Pengolahan Data

3.6.1 Analisis Statistik

Analisis data berfungsi untuk memberi nilai, arti dan makna yang terkandung dalam data yang diperoleh dari hasil eksperimen. Hal ini berdasarkan pendapat bahwa dalam analisis inilah data yang diperoleh peneliti bisa diterjemahkan menjadi hasil yang sesuai dengan kaidah ilmiah. Analisis data yang digunakan adalah uji statistik ANOVA two-way dengan aplikasi SPSS (*Statistical products and solution services*) Versi 25.

Analisis data merupakan salah satu proses paling penting dalam sebuah eksperimen. Hal ini dikarenakan dalam melakukan analisis data, peneliti perlu melakukan pengolahan agar dapat diterjemahkan dalam hasil yang sesuai dengan kaidah ilmiah dan mudah dipahami. Maka dari itu, perlu daya kreatifitas dan kemampuan analisa yang tinggi agar mendapat hasil yang memuaskan. Analisis data berasal dari hasil pengumpulan data. Analisis data dalam eksperimen ini berfungsi untuk memberi nilai, arti dan makna yang terkandung dalam data itu sendiri. Proses pengolahan data analisis dilakukan dengan menggunakan beberapa aplikasi seperti Microsoft Word untuk pelaporan hasil, Microsoft Excel untuk analisis data, Power Point untuk pelaporan hasil, Photoshop untuk mengolah gambar, aplikasi SPSS untuk analisis statistik, dan aplikasi ArcGIS untuk mengolah peta lokasi pengambilan sampel.

3.7 Jadwal Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni – Oktober tahun 2021 di laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Pengukuran dilakukan setiap tiga hari sekali untuk mengetahui penurunan kadar TPH pada tanah tercemar limbah oli.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Soil Washing

Hasil uji parameter TPH dapat dilihat pada Tabel 4.1. Diketahui penurunan TPH tertinggi berada pada perlakuan P5 dengan rasio perbandingan tanah 200 gram/Liter dengan konsentrasi larutan surfaktan sebesar 0,05% (v/v). Pada variasi tersebut, nilai TPH yang tersisa pada sampel tanah adalah sebesar 5,94 turun sebanyak 4,66 dari TPH awal 10,6.

Tabel 4.1 Hasil pengujian TPH pada sampel tanah tercemar oli dengan beberapa perlakuan.

Variasi Perlakuan	Berat sampel (g)	TPH(%)
P1	5	9,15
P2	5	8,53
P3	5	7,17
P4	5	6,60
P5	5	5,94

4.1.2. Biostimulasi

Hasil uji parameter TPH dapat dilihat pada Tabel 4.2. Dapat dilihat bahwa nilai TPH terus mengalami penurunan seiring lamanya waktu pengolahan. Pada perlakuan P4 dan P5 yaitu penambahan 40 gram kotoran kambing dengan waktu pengolahan 18-21 hari, nilai TPH sebesar 1,00%, 0,08% dan 0,06% yang berarti kotoran kambing mencapai batas optimal dalam menurunkan nilai TPH yang berada pada sampel tanah yang tercemar oli dan telah memenuhi baku mutu.

Tabel 4.2. Hasil pengujian TPH pada sampel tanah tercemar oli dengan beberapa perlakuan

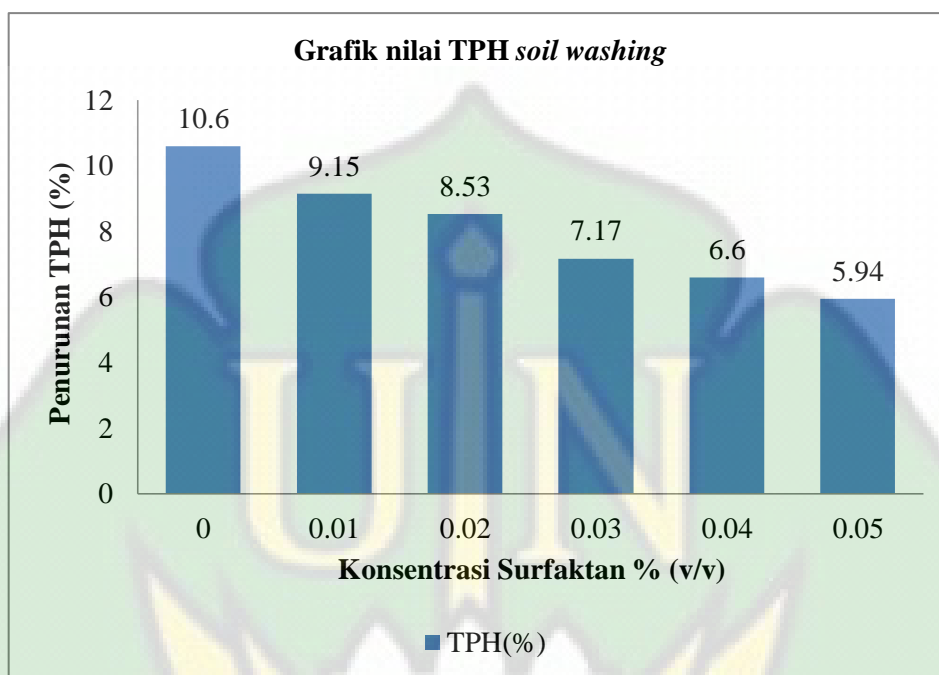
Waktu (Hari)	TPH (%)					
	Kontrol	P1	P2	P3	P4	P5
0	10,42	9,15	8,53	7,17	6,60	5,94
3	10,48	9,06	8,12	6,62	5,95	4,86
6	10,17	8,51	7,25	5,83	5,00	4,11
9	10,16	7,31	6,47	5,05	4,32	3,08
12	9,66	6,60	5,13	4,63	4,12	2,04
15	9,20	5,63	4,11	3,06	3,02	1,40
18	8,02	4,29	3,40	2,64	2,00	0,08
21	7,26	3,82	2,60	1,63	1,00	0,06

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hasil Analisa Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Setelah Ekperimen *Soil Washing*

Dapat dilihat pada gambar 4.1. Penambahan konsentrasi larutan surfaktan menunjukkan bahwa adanya peningkatan penurunan TPH pada masing-masing perlakuan. Penurunan nilai TPH tertinggi berada pada pencucian pada perlakuan P5 yang menggunakan rasio perbandingan tanah dan larutan surfaktan sebesar 200 g/L dengan konsentrasi surfaktan sebesar 0,05 % (v/v). Pada variasi tersebut, nilai TPH turun sebanyak 4,59 % dari nilai TPH awal, dikarenakan penggunaan surfaktan semakin banyak maka TPH semakin turun. Penggunaan larutan surfaktan ini sangatlah efektif digunakan dikarenakan surfaktan memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik pada molekul yang sama sehingga dapat menyatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air. Interaksi gugus hidropobik dan gugus hidropilik dengan fluida, menyebabkan surfaktan dapat menurunkan tegangan permukaan antar fase. Surfaktan dalam jumlah sedikit apabila ditambahkan ke dalam suatu campuran dua fase yang tidak saling bercampur seperti minyak dan air dapat mengemulsikan kedua fase tersebut menjadi emulsi yang stabil (Renung dkk, 2020). Selain itu surfaktan akan terserap kedalam permukaan minyak atau air sebagai penghalang yang akan menghambat

penggabungan dari partikel terdispersi sehingga hidrokarbon yang ada di limbah oli dapat di hilangkan oleh surfaktan (Aziz, 2018).



Gambar 4.1. Hubungan konsentrasi surfaktan (%) dengan penurunan TPH (%)

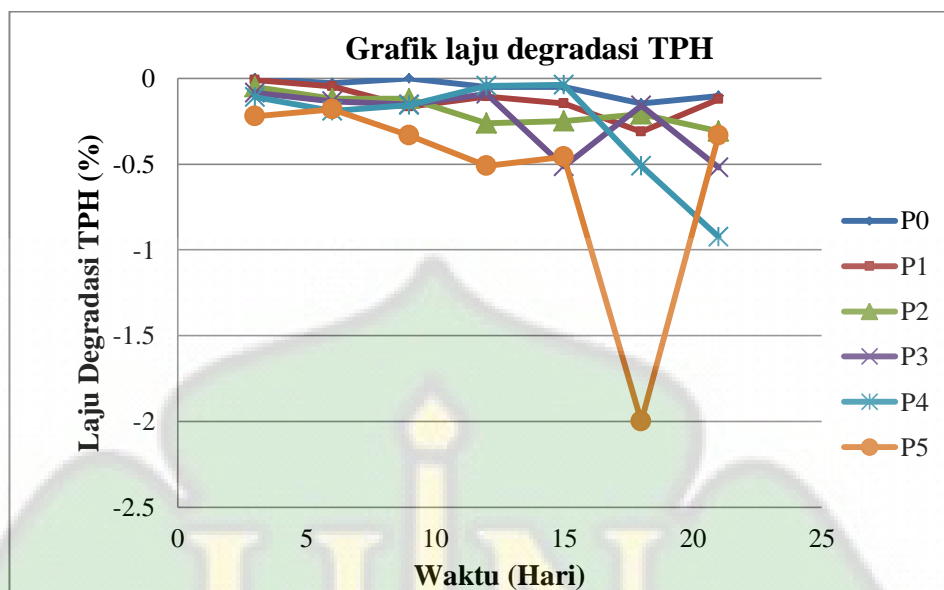
Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan Syarah (2019) yaitu reduksi *total petroleum hydrocarbon* pada tanah terkontaminasi minyak bumi melalui *soil washing* menggunakan *alkyl benzena sulfonate* (ABS) surfaktan yang digunakan yaitu 0,5 %, hasil persen yang didapat setelah melakukan pengujian pada limbah minyak bumi atau TPH yaitu sebesar 2,86 % TPH. Jumlah tersebut cukup efektif dalam penurunan TPH pada limbah minyak bumi yaitu mampu menurunkan TPH sebesar 60%. Penelitian yang dilakukan Agus & Hadrah (2017) menjelaskan bahwa variasi rasio *solid/liquid* mengakibatkan adanya peningkatan penyisihan TPH pada ketiga jenis tanah namun volume *liquid* optimum tidak berbeda dari ketiga tekstur tanah sehingga rasio *solid/liquid* sebesar 1:15 dapat digunakan untuk *sand*, *loam* maupun *sandy loam*. Persen penyisihan TPH terbesar terjadi pada *sand* yaitu 85,32% sedangkan penyisihan pada tanah *loam* dan *sandy loam* adalah 47,65 % dan 72,94%. Kemudian Lukman

(2018) menjelaskan bahwa pada penelitian tersebut variasi tertinggi penurunan TPH yaitu pengulangan pencucian menggunakan konsentrasi surfaktan 0,02 % (v/v) dengan tanah 50 gram mampu menurunkan TPH sebanyak 4,55 %. Maka hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa larutan surfaktan berpotensi digunakan sebagai larutan dalam meremediasi hidrokarbon minyak pelumas dari tanah.

4.2.2. Pengaruh Waktu Pengomposan Terhadap Efektivitas Parameter TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*)

Waktu pengomposan sangat berpengaruh terhadap penurunan TPH. Laju degradasi kadar TPH ditunjukkan pada gambar 4.2, pada gambar tersebut terlihat gradien nilai positif dan negatif, nilai positif menandakan bahwa tidak terjadinya penurunan kadar TPH pada tanah tercemar oli sedangkan nilai negatif menandakan bahwa adanya penurunan kadar TPH pada tanah tercemar oli. Penurunan yang paling tinggi terjadi pada hari 18-21 hari pada perlakuan P5. Tingginya laju degradasi pada perlakuan P5 dikarenakan bakteri yang mendegradasi kadar hidrokarbon sudah mampu beradaptasi dan juga mampu mendegradasi hidrokarbon bila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pertumbuhan bakteri selain P1, P2, P3 dan P4 masih menunjukkan kelemahan dalam memutuskan rantai hidrokarbon, hal ini diduga karena tidak semua bakteri mampu menguraikan hidrokarbon.

Penambahan kotoran kambing dapat menjadi sumber nutrisi bagi bakteri karena dalam kotoran kambing terdapat unsur nitrogen dan fosfor. Ketersediaan nutrisi yang semakin tinggi akan memicu pertumbuhan bakteri, dimana dengan penambahan kotoran kambing yang semakin banyak maka jumlah kadar nitrogen dan fosfor juga semakin tinggi, semakin banyak sumber nutrisi maka aktivitas bakteri semakin meningkat dan laju degradasi juga meningkat. Oleh karena itu, semakin banyak sumber nutrisi dalam tanah maka pertumbuhan bakteri juga semakin meningkat sehingga bakteri mampu menurunkan kadar hidrokarbon dalam tanah tercemar oli.



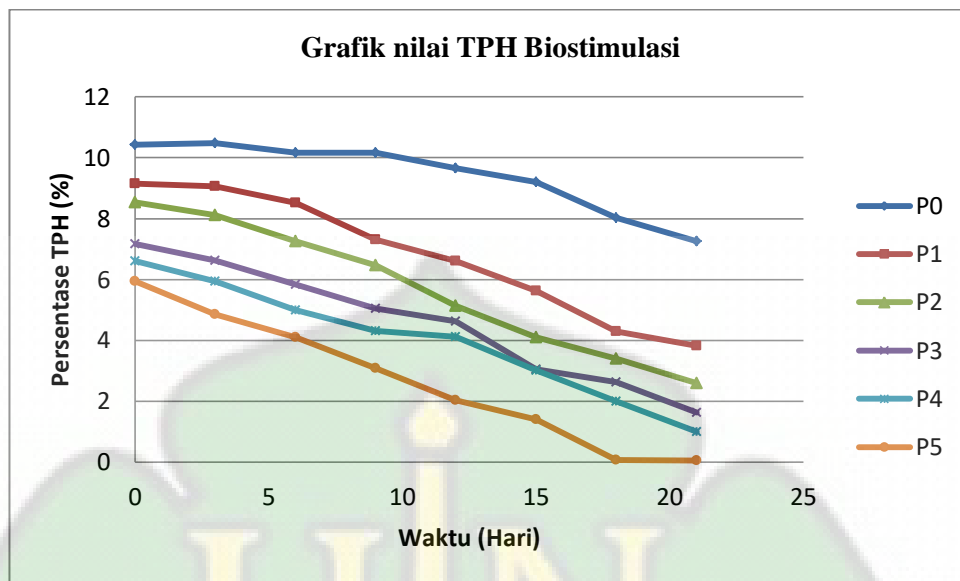
Gambar 4.2. Hubungan waktu (hari) dengan laju degradasi TPH (%)

Degradasi senyawa hidrokarbon yang dilakukan oleh mikroorganisme, dipengaruhi oleh banyaknya senyawa hidrokarbon yang terkandung di dalam substrat limbah. Maka semakin sedikit senyawa hidrokarbon pada zat tercemar maka semakin mempermudah mikroorganisme dalam melakukan degradasi senyawa hidrokarbon tersebut (Umar, 2018).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kautsar & Naniek (2021), hasil yang diperoleh penurunan nilai TPH pada titik A yang optimum yaitu dengan pemberian nutrisi NPK 20% dapat menurunkan nilai TPH dengan persentase penurunan sebesar 64%. Sedangkan pemberian kompos hara 20% hanya mampu menurunkan nilai TPH dengan persentase penurunan sebesar 32%. Penelitian yang dilakukan Sandi & Desi (2017), konsentrasi kompos jerami padi yang paling baik dalam dalam proses bioremediasi pada tanah tercemar oli bekas selama 30 hari masa inkubasi adalah konsentrasi 20 g dengan persen degradasi sebesar 91.88%. Berdasarkan hasil penelitian Yaneva (2021), kompos memberikan pengaruh positif terhadap proses bioremediasi. Reaktor yang diberi kompos lebih banyak yaitu sebanyak 10% memberikan angka penurunan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) yang lebih baik dibandingkan dengan reaktor yang hanya diberi 5% kompos. Hasil terbaik juga diberikan oleh reaktor dengan proporsi

crude oil paling banyak, yaitu 25% atau 75 gram dari 300 gram campuran tanah dan crude oil. Efisiensi penurunan TPH tertinggi adalah sebesar 41,087% selama 28 hari. Berdasarkan penelitian yang dilakukan selama 21 hari diperoleh hasil yang menunjukkan penambahan feses kambing sebagai nutrient pada tanah tercemar hidrokarbon limbah oli berpotensi digunakan sebagai meremediasi hidrokarbon limbah oli pada tanah dengan waktu yang lebih singkat dari penelitian sebelumnya.

Berdasarkan gambar 4.3. Penambahan feses kambing pada tanah yang tercemar hidrokarbon limbah oli efektif dilakukan dikarenakan feses kambing menjadi sumber nutrisi bagi bakteri yang ada dalam tanah tercemar oli karena dalam feses kambing terdapat unsur nitrogen dan fosfor. Ketersediaan nutrien yang semakin lama pengomposan akan memicu pertumbuhan bakteri, dimana dengan penambahan feses kambing yang semakin banyak maka jumlah kadar nitrogen dan fosfor juga semakin tinggi, semakin banyak sumber nutrisi maka aktivitas bakteri semakin meningkat dan laju degradasi juga meningkat. Penurunan konsentrasi TPH terjadi dalam waktu 21 hari termasuk reaktor kontrol (0%) tanpa adanya penambahan kompos. Penurunan konsentrasi TPH disebabkan oleh adanya bakteri *indigenous* dalam sampel tanah tercemar limbah oli namun belum bisa mendegradasi hidrokarbon dengan efektif. Penurunan konsentrasi TPH juga dapat disebabkan oleh pengadukan dan penyiraman selama proses bioremediasi (Juliani dkk, 2019). Namun, penurunan nilai TPH per 3 hari tidak terlalu berbeda jauh dikarenakan penurunan nilai TPH dalam tanah membutuhkan waktu yang lama dalam memutuskan rantai hidrokarbon. Pada hari ke 18 sampai 21 dengan penambahan kompos 40 gram penurunan TPH sudah mulai terlihat dikarenakan bakteri yang terdapat dalam kotoran kambing sudah dapat beradaptasi dan mampu mendegradasi hidrokarbon.



Gambar 4.3. Hubungan antara waktu (hari) dengan penurunan TPH (%)

Penelitian ini menggunakan uji statistik ANOVA two-way dengan program SPSS versi 25 untuk menguji adanya pengaruh signifikan dari variasi penambahan feses kambing terhadap degradasi nilai TPH bioremediasi menyatakan bahwa nilai signifikansi waktu pengomposan terhadap kadar TPH sebesar 0,000. Apabila nilai probabilitas tersebut < dari 0,05 nilai ini berarti bahwa waktu pengomposan berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.

Gambar 4.3 terlihat bahwa dengan menambahkan konsentrasi feses kambing pada tanah tercemar oli penurunan nilai hidrokarbon pada setiap perlakuan mulai terlihat, meskipun terjadi penurunan sedikit. Terjadinya degradasi hidrokarbon diduga karena bakteri sudah mulai tumbuh dalam media pengomposan. Sehingga bakteri ini sudah mulai beradaptasi dengan limbah hidrokarbon dan menjadikan karbon menjadi sumber nutrisinya. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa status nutrisi tanah merupakan faktor penentu aktivitas mikroba (Komar dkk, 2018).

Selain nutrisi yang berperan dalam proses penurunan rantai hidrokarbon, bakteri juga mampu menghasilkan enzim dan enzim tersebut mampu memutuskan rantai hidrokarbon. Setiap mikroorganisme memiliki metabolisme dalam siklus kehidupannya, metabolisme ini selalu berkaitan dengan kerja enzim. Menurut

Aryulina (2020) enzim adalah suatu zat yang mempercepat suatu reaksi tetapi tidak ikut bereaksi. Begitu bakteri yang mengalami pertumbuhan, sehingga metabolismenya selalu didukung oleh kerja enzim. Hal ini sesuai dengan pernyataan Susanti (2021), yang menjelaskan bahwa berkurangnya hidrokarbon terjadi karena adanya pemecahan rantai hidrokarbon oleh bakteri melalui reaksi enzimatik. Kebanyakan bakteri memproduksi enzim oksigenase sehingga dapat mendegradasi hidrokarbon dan menjadikan hidrokarbon sebagai donor elektronnya serta mengubah hidrokarbon menjadi H₂O dan CO₂.

Bakteri mampu menghasilkan enzim yang berfungsi sebagai biokatalisator reaksi enzimatik proses biodegradasi hidrokarbon bumi seperti alkana monooksidase, alkohol dehidrogenase, dan formaldehid dehidrogenase. Satu molekul induser pada bakteri akan menstimulasi bakteri untuk memproduksi enzim alkana monooksigenase, enzim ini akan menyebabkan oksidasi awal dari hidrokarbon dan menghasilkan satu molekul alkohol, kemudian satu molekul induser menstimulasi bakteri untuk memproduksi enzim alkohol dehidrogenase, yang akan menyebabkan oksidasi alkohol untuk menghasilkan aldehyd, selanjutnya satu molekul induser akan menstimulasi pembentukan enzim formaldehid dehidrogenase yang akan menyebabkan oksidasi dari aldehyd dan menghasilkan asam lemak yang kemudian akan dioksidasi lagi menjadi CO₂ dan energi (Yudono, 2019).

Karakteristik mikroba yang dimanfaatkan dalam proses degradasi yaitu bakteri yang mampu menghasilkan enzim oksigenase yang dapat mengoptimalkan hubungan fisik antar permukaan sel mikroba dengan bahan polutan melalui interaksi hidrofobik, dengan demikian sifat hidrofobik dari permukaan sel mikroba akan menempel pada zat pencemar. Hal ini terjadi pada kondisi aerob dimana pada awal degradasi hidrokarbon secara aerob yaitu memasukkan molekul oksigen ke dalam hidrokarbon oleh enzim oksigenase (Nirmala, 2018).

Feses kambing merupakan bahan aktif yang banyak mengandung mikroba. Selain kaya akan mikroba feses kambing juga memiliki kandungan nutrisi yang cukup bagi pertumbuhan mikroba. Feses kambing mengandung 70% - 80% air,

0,3 – 0,6 % nitrogen, 0,1-0,4 fosfor dalam bentuk P₂O₅. Beberapa jenis yang terdapat dalam limbah feses kambing antara lain *Nitrosococcus sp*, *Pseudomas striata Nitrosomons sp*, *Mikoriza*, *Pseudomas flourescens*, *Streptomyces sp*, dan *Tricoderma sp*. Bahan organik penting dalam meningkatkan produktivitas tanah dan merupakan sumber kehidupan bagi bermacam-macam mikroba. Komposisi kimia feses kambing dan kuda memiliki kandungan hara yang cukup besar dibandingkan dengan feses yang lain (Zulkifliani, 2017).

Penelitian Holifah, (2018) menjelaskan tentang analisis penambahan kotoran kambing dan kuda pada proses bioremediasi *oil sludge* di pertambangan Desa Wonocolo menyatakan hasil penelitian dengan menggunakan kotoran kambing dan kuda dapat menurunkan kadar TPH pada limbah *oil sludge* dalam waktu 5 minggu dengan persentase penurunan mencapai 68,83%.

4.2.3. Pengaruh Konsentrasi Feses Kambing dan Waktu Biostimulasi Terhadap Penurunan TPH

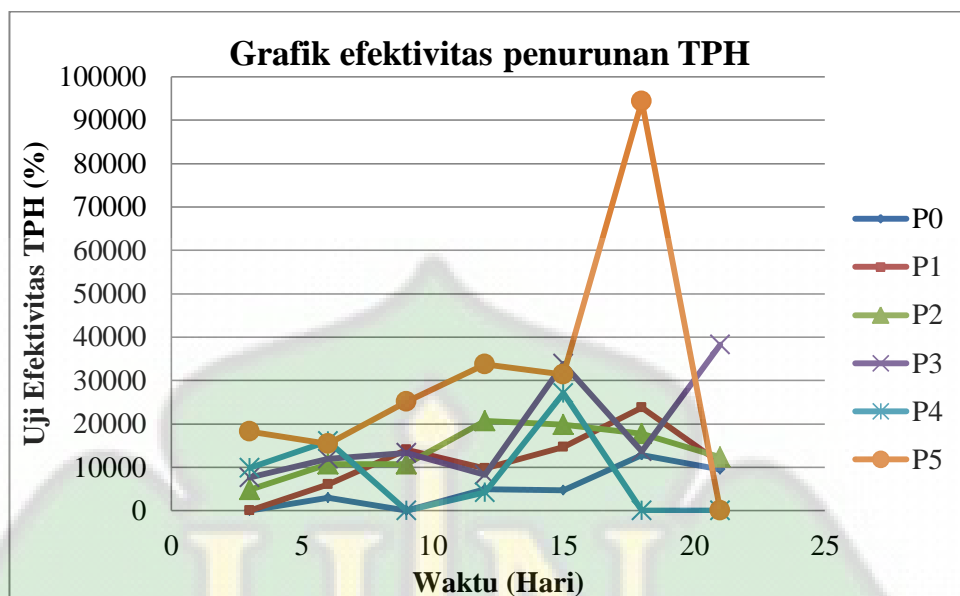
Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa adanya penurunan konsentrasi hidrokarbon dalam waktu 3 minggu. Nilai konsentrasi TPH menunjukkan kecenderungan penurunan. Kecenderungan penurunan ini diperlihatkan pada perlakuan P5 dengan tanah 200 gram dan penambahan feses kambing 40 gram semakin lama proses pengomposan pada tanah tercemar oli maka semakin kecil persen TPH yang dihasilkan. Hal ini menjelaskan bahwa penambahan nutrisi mampu berperan sebagai *bulking agent* yang dapat mempengaruhi transfer oksigen yang dibutuhkan mikroba. *Bulking agent* mampu memberikan porositas tanah lebih besar untuk pertukaran oksigen sehingga kebutuhan oksigen yang diperlukan mikroba dapat terpenuhi. Oksigen dibutuhkan oleh mikroba sebagai akseptor elektron dalam proses oksidasi hidrokarbon untuk menghasilkan energi dan reaksi enzimatik tertentu (Munawar dkk., 2018).

Berdasarkan penelitian Munawar, (2018) menjelaskan pengaruh penambahan nutrisi organik pada bioremediasi tumpahan minyak mentah (*crudeoil*) dengan metode biostimulasi di lingkungan pantai Surabaya Timur

dalam waktu 30 hari. Bioremediasi dengan metode ini menurunkan konsentrasi hidrokarbon sampai dengan 88,25%. Trihadiningrum (2018) menjelaskan bahwa komposisi penyusun limbah oli salah satunya adalah alkana. Alkana merupakan golongan senyawa hidrokarbon alifatik yang bersifat jenuh, yang terdiri dari ikatan rangkap satu. Menurut Lingga dkk. (2017) alkana berdampak buruk terhadap lingkungan dikarenakan sifatnya yang sulit terdegradasi dan tidak dapat larut di dalam air.

Menurut keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.128/2003, limbah akan menimbulkan masalah apabila memiliki kandungan TPH lebih besar dari 1 % bila dibiarkan akan mengganggu dan merusak ekosistem lingkungan, bila dibakar akan menimbulkan pencemaran udara. Oleh karena itu limbah minyak bumi bila terbuang ke lingkungan perlu ditanggulangi semaksimal mungkin. Pada penelitian ini nilai TPH pada tanah tercemar oli sudah memenuhi baku mutu dengan penambahan feses kambing sebanyak 40 gr pada 200 gram tanah selama 18 - 21 hari sudah mampu menurunkan kadar TPH dari 10,53 % menjadi 0,06 %, maka tanah tercemar oli pada penelitian ini yang telah dilakukan dengan metode *soil washing* dan biostimulasi dinyatakan aman bagi lingkungan.

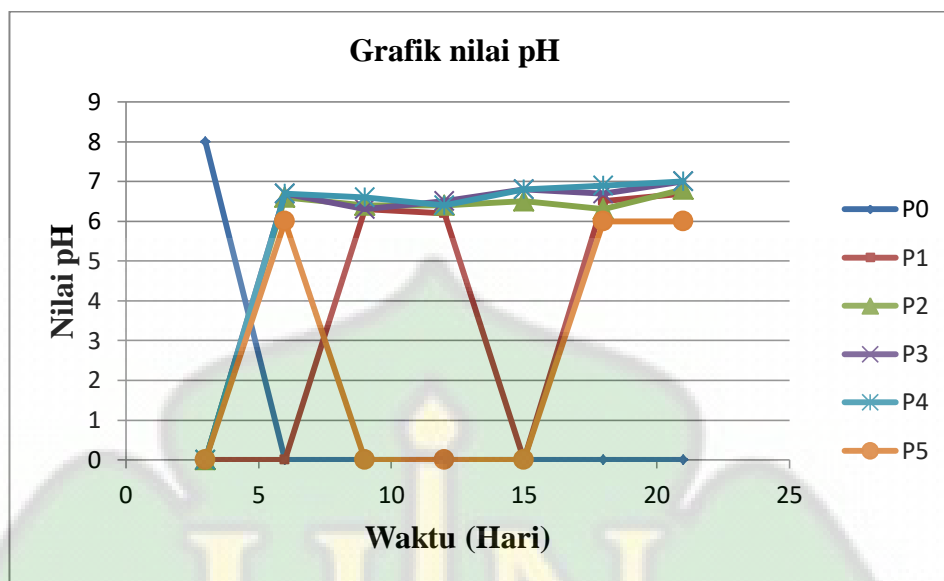
Berdasarkan gambar 4.4. Pengaruh penambahan feses kambing terhadap persentase bioremediasi limbah oli terbaik terjadi pada waktu 21 hari pada perlakuan P5 yaitu penambahan feses kambing sebanyak 40 gram dengan tanah 200 gram. Bakteri mampu menurunkan kadar TPH pada tanah tercemar oli, dapat dilihat dari visualisasi grafik menunjukkan bahwa setiap perlakuan mengalami penurunan persentase TPH. Menurut Manalu (2018), penurunan kadar TPH dapat terjadi karena pertumbuhan bakteri berada pada fase puncak dan bakteri terus melakukan degradasi pada tanah tercemar oli. Fase puncak ini terjadi pada hari ke 18 dan bakteri sudah mampu menurunkan kadar TPH sebesar 96%, dengan konsentrasi feses kambing sebanyak 40 gr pada tanah sebanyak 200 gr, sedangkan pada perlakuan lain bakteri belum mampu mencapai masa puncak sehingga penurunan kadar TPH masih sedikit.



Gambar 4.4. Hubungan waktu (hari) dengan efektivitas TPH (%)

4.2.4 Hasil Analisa Parameter PH pada Biostimulasi

Berdasarkan gambar 4.5. selama penelitian ini dilakukan, nilai pH pada semua variasi perlakuan menunjukkan pada keadaan awal pH masih berkisaran 8. Akan tetapi setelah diberi perlakuan, pH mengalami perubahan penurunan mikroorganisme beraktivitas dalam membentuk degradasi terlihat dari faktor media tanah tersebut. Data hasil analisis menunjukkan bahwa nilai pH degradasi pada berbagai jenis perlakuan berkisar antara 6 – 7,9. Hal ini sesuai dengan pH optimum karena menurut Nghia (2020) pH optimum untuk biodegradasi berada pada kisaran 6 sampai 8.



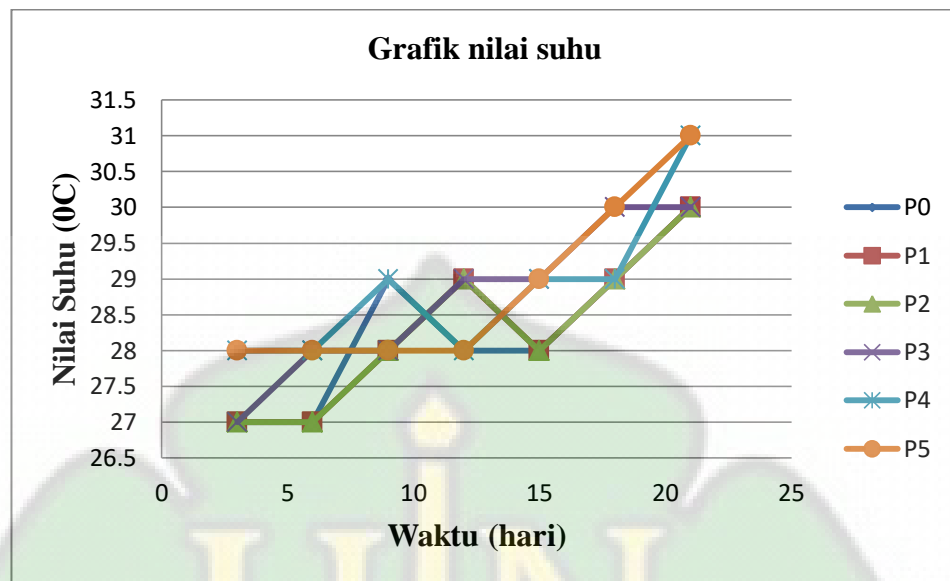
Gambar 4.5. Hubungan waktu (hari) dengan pH

Pengukuran pH dilakukan setiap 3 hari sekali selama 21 hari. Pengukuran dilakukan menggunakan alat soil tester alat ini bekerja secara otomatis dalam mendeteksi nilai pH pada tanah. Hasil analisis pada sampel tanah, lama komposting serta interaksi kedua perlakuan berpengaruh terhadap nilai pH hasil pengomposan limbah oli. Perbedaan pH pada masing - masing perlakuan juga disebabkan oleh faktor lingkungan, seperti suhu, intensitas cahaya matahari dan curah hujan.

Pengukuran pH pada sampel tanah bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol nilai pH, serta dapat mengetahui pengaruh pH terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak pada setiap variasi perlakuan, pH optimum bagi pertumbuhan mikroba adalah pada kisaran 6.5 – 7.5.

4.2.5 Hasil Analisa Parameter Suhu pada Bioremediasi

Berdasarkan gambar 4.6. Pada 6 variasi perlakuan, suhu tanah berkisar antara 27-31 °C. suhu tanah menunjukkan angka yang sesuai dengan suhu optimum untuk mikroorganisme baik dalam pertumbuhan maupun dalam mendegradasi sampel tanah.



Gambar 4.6. Grafik Nilai suhu

Pengukuran suhu pada sampel tanah juga bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol suhu, serta dapat mengetahui pengaruh suhu terhadap proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi pada setiap variasi perlakuan. Pengukuran suhu dilakukan setiap 3 hari sekali selama 21 hari. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat thermometer yang dapat membaca nilai suhu tanah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada tahapan 1 metoda *soil washing* mampu menurunkan kadar TPH dalam tanah tercemar oli dengan konsentrasi larutan surfaktan sebesar 0,05% (v/v) dengan nilai TPH tersisa 5,94%
2. Tahapan ke II menggunakan metoda biostimulasi dengan penurunan kadar TPH dalam tanah tercemar oli dengan penambahan feses kambing mencapai 0,06%.
3. Perpaduan metoda *soil washing* dengan biostimulasi sangatlah efektif dikarenakan surfaktan memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik pada molekul yang sama sehingga dapat menyatukan campuran yang terdiri dari minyak dan air sedangkan penambahan kotoran kambing dapat menjadi sumber nutrisi bagi bakteri karena dalam kotoran kambing terdapat unsur nitrogen dan fosfor, sehingga dapat menurunkan kadar TPH lebih cepat.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan, diantaranya:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan *pre-treatment soil washing* dilakukan dengan pengulangan pencucian untuk mendapatkan nilai optimum penurunan nilai TPH.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bioremediasi (biostimulasi) dengan penambahan nutrisi yang lain dan konsentrasi lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahda, Y., & Fitri, L. (2018). Karakteristik Bakteri Potensial Pendegradasi Oli Bekas pada Tanah Bengkel di Kota Padang, *Journal Of Saintek*, 8(2), 98-103
- Aziz. (2018). *Removal* Logam Berat dari Tanah Terkontaminasi dengan menggunakan *Chelating Agent* (edta) *Jurnal Teknik Kimia*, 2 (21).
- Ali, M. (2020). *Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Tanah Tercemar Minyak*, Surabaya : UPN Press.
- Agus J.E & Hardah. (2018). Optimasi Rasio Solid/Liquid pada Teknik Soil Washing Tanah Terkontaminasi Minyak dari Proses Eksplorasi Minyak Bumi, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1) :57-65
- Agamuthu P, Tan YS, Fauziah. (2017) *Bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soil Using Selected Organic Waste. International Symposium on Environmental Science and Technology*.
- Amir H. & Rosyida P, (2019) Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat, UNITRI Press : Malang.
- Any, J & Fudhola, R. (2018). Bioremediasi Lumpur Minyak (Oil Sludge) dengan Penambahan Kompos sebagai Bulking Agent dan Sumber Nutrien Tambahan, *Jurnal Sains dan teknologi Lingkungan*, 3 (1), 001-018.
- Ajoku GAO, Oduola MK. (2019). Kinetic Model of pH effect on Bioremediation of Crude Petroleum Contaminated Soil Model Development. *American Journal of Chemical Engineering*. 1: 6-10.
- Asep H, Chairil AS. (2018). *Teori dan Aplikasinya Upaya Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press: Bogor
- Aryulina, D., Muslim, C., Manaf, S., dan Winarni, E. W. (2020). *Biologi 3*. Jakarta: Erlangga.
- Benny H. (2018). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Dengan Menggunakan Biochar, *Jurnal Pertanian Tropis*, 2(1), 32-41.

- Basuki, W. (2018). Biodegradasi Limbah Oli Bekas oleh *Lysinibacillus sphaericus* TPC C 2.1. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(2). 111-119.
- Basuki, W. & Ronaldo, H, N. (2021), Optimalisasi Pemberian Pupuk Kandang Sapid an Arang Kayu Terhadap Pertumbuhan Salam (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walp.) pada Tanaman Tercemar Oli Bekas. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 12 (1) : 67-77.
- Bano EH, Natalia V, Hasiati W, Salu F, Soleman IS (2020) Pemanfaatan Oli Bekas sebagai Bahan Bakar Alternative pada *Redesigned Stove* dengan menggunakan *Blower* dan Pipa Besi. *Jurnal Kesehatan* 13(1):67-70.
- Buana. (2018). *Pengaruh Penambahan Surfaktan Anionik Sodium Dodesil Sulfat terhadap Karakteristik Membran Selulosa Asetat*, Tugas akhir.
- Baldan. (2020). *Development, Assesment, and evalution of a biopile for hydrocarbons soil remediation, International Biodeterioration and Biodegradation*, 98, 66-72.
- Charlena. (2019). *Bioremediasi Tanah Tercemar Limbah Minyak Berat Menggunakan Konsorsium Bakteri*. Tesis Magister IPB. Bogor.
- Charlena., Mas'ud, Zainal Alim., Syahreza, Ahmad., Purwadayu, Asriqa Sary. (2019). Profil Kelarutan Limbah Minyak Bumi dalam Air akibat Pengaruh Surfaktan Nonionik dan Laju Pengadukan. *Journal Chemistry Progress Institut Pertanian Bogor* 2 (2): 69-78.
- Desrina, R. (2020). *Reklamasi Daerah Bencana Semburan Lumpur melalui Remediasi Cuci Lahan. Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*. 46 (3) : 117-123.
- Eso, R., Bio Wallacea. (2020). Identifikasi Antropogenik Pencemaran Tanah oleh Sampah Domestik: *Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research)*, Vol. 7 (2), Hal. : 1119-1125.
- Edubio, S. (2014). *Kimia Fisika Untuk Universitas*. Jakarta: Erlangga
- Fahrudin. (2019). *Dampak tumpahan minyak pada biota laut*, Harian Kompas, 17 Maret 2004.

- Handrianto, P., Rahayu, S. Y., dan Yuliani. (2018). *Teknologi Bioremediasi dalam Mengatasi Tanah Tercemar Hidrokarbon*. Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012, Surabaya: FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 25 Februari 2012, hal. 22-30.
- Hidayat, B. (2019). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar, *Jurnal Pertanian Tropik*, Vol. 2, No. 1, Hal. 51-61.
- Hafiludin. (2018). Bioremediasi Tanah Tercemar dengan Teknik Bioaugmentasi dan Biostimulasi, *jurnal Embryo*, 8(1).
- Haghollahi A, Fazaelpoor MH, Schaffie M. (2021). *The Effect of Soil Type on the Bioremediation of Petroleum Contaminated Soils. Journal of Environmental Management. Mineral Industries Research Center, Iran.*
- Holifah, S., Supartono, Harjono. (2018). Analisis Penambahan Kotoran Kambing dan Kuda pada Proses Bioremediasi Oil Sludge di Pertambangan desa Wonocolo. *Indo. J. Chem. Sci.* 7(1).
- Indri Berliani, (2019), *Isolasi dan Identifikasi Fungi Yang Berpotensi Sebagai Remediator Tanah Tercemar Oleh Oli Bekas Kendaraan Bermotor*, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Juliani, A., dan Rahman, F. (2019). Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Dengan Penambahan Kompos Sebagai *Bulking Agent* Dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3(1), 001, 018.
- Kirk, J. L., Beaudette, L. A., Hart, M., Moutoglis, P., Klironomos, J. N., Lee, H., dan Trevors, J.T. (2019). Methods of Studying Soil Microbial Diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 58, 169-188.
- Kurniawan F. H. (2018). Pengaruh Tumpahan Bahan Bakar Minyak dan Oli Terhadap Kinerja Campuran *Lataston-WC* dengan Menggunakan Metode *Marshall*, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3) : 553-559.

- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis.*
- Kautsar, D.S, Naniek R.J, 2021, Bioremediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Dengan Metoda Biostimulasi Di Woncolo, Bojonegoro, *Jurnal Teknik Lingkungan*, V. 2, No. 1
- Lukman Vyatrawan. (2018). *Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Metode Soil Washing dan Biostimulasi.* Tugas Akhir, Surabaya.
- Lingga, R. C., Thontowi, A., Yetti, E., Budiharjo, A., Rukmi, I., & Yopi, Y. (2017). Optimasi Pertumbuhan Bakteri Laut *Salinicola peritrichatus* LBF1-0025 dalam Senyawa Alkana. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 12(2), 107-116.
- Makadia, Tanvi H., Adetutu, Eric M., Simons, Keryn L., Jardine, Daniel., Sheppard, Petra J., Ball, Andrew S. (2020). *Re-used of Remediated Soils for Bioremediation of Waste Oil Sludge.* *Journal of Environmental Management.* 92 : 866- 871.
- Mangkoedihardjo, S. (2018). *Seleksi Pemilihan untuk Ekosistem Laut Tercemar.* *Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan.* Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Nida S, Mulyono & Susi. S. (2019). Kajian Potensi Biosurfaktan Isolat Bakteri Terseleksi untuk dimanfaatkan dalam Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi, *Jurnal Ecolab*, 5 (1) : 1-44.
- N. Karthika, K. Jananee, and V. Murugaiyan. (2021). *Remediation of Contaminated Soil Using Soil Washing-a review*, 6(1) : 13–18.
- Nurdiyanto. (2019). *Makalah Surfaktan, Industrialisasi Menuju Kehidupan yang Lebih Baik.* Bogor : Akademi Kimia Analisa Bogor.
- Nugroho, A. (2017). Biodegradasi Sludge Minyak Bumi Dalam Skala Mikrokosmos, *Makara, Teknologi*, 10(2) : 82-89

- Palar, Heryando. (2018). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Prayitno, J. (2017). Ujicoba Konsorsium Mikroba Dalam Upaya Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Menggunakan Teknik Landfarming Skala Bangku, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 208–215.
- Pemerintah Republik Indonesia. (1999). *Peraturan Pemerintah No 85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Putra, I. K. S. (2019). *Penurunan Kadar COD, Surfaktan dan Fosfat Limbah Laundry dengan Biosistem Tanaman*, Skripsi, Fmipa, Universitas Udayana, Denpasar.
- Prasetyo, H. (2018). Mikroorganisme Pendegradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi, *Jurnal Sain Health*, 2(2).
- Retno A. (2018). Usaha Pengendalian Pencemaran Lingkungan, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3 (1), 95-106.
- Retno, Tri D.L., Mulyana, Nana. (2020). Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Menggunakan Campuran Bulking Agents yang Diperkaya Konsorsia Mikroba Berbasis Kompos Iradiasi. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*.9 (2) : 139-150.
- Renung R, Mahreni. (2020). Biosurfaktan, *Jurnal Eksergi*, Vol 7, No. 2.
- Rifadillah Ar Rasyid, Natasya A.C, Mardiah, 2021, Remediasi Tanah Tercemar Oleh Aktivitas Industri, *Jurnal Chemurgy*, V.05, No 1, Hal. 1-7.
- Subardja, D., S. Ritung, M. Anda, Sukarman, E. Suryani, dan R.E. Subandono. (2019). Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional. Edisi Ke-2. Balai Besar *Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian*, Bogor : 60 hal
- Suganda, Dkk, Contoh Pengambilan Tanah

Sandi, F. P & Dezi, H. (2017). Pengaruh Isolat *Pseudomonas, Sp.* Dan *Bacillus* dengan Biostimulasi Kompos Jerami Padi (*Oryza Sativa L.*) Terhadap Penurunan TPH Tanah Tercemar Oli Bekas, *Journal Biosains*, Vol. 1, No. 2.

Singh AD, Vikineswary S, Abdullah N, Sekaran M. (2018). Enzymes from spent mushroom substrate of *Pleurotus sajor-caju* for the decolourisation and detoxification of textile dyes. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 27: 535–545.

Susanti, W. I., dan Trinanda, R. (2021). Potensi Bakteri Asal Tanah Rizosfer, Sedimen Tanah, dan Pupuk Kandang Sapi untuk Biodegradasi Minyak Berat dan Oli Bekas. *Jurnal Tanah dan Iklim Vol. 41 No. 1*, Hal: 37-44.

Trihadiningrum, Y. (2018). *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)*. Yogyakarta: Teknosa.

Tamzil A, Ayu P dan Anita P. S. (2018). Pengaruh Pencucian Dengan Deterjen Terhadap Komposisi Dan Nilai Tph Pada Tanah Yang Terkontaminasi Oil, *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1): 54.

Undang- Undang Republik Indonesia, 1982 Ketentuan- ketentuan pokok pengelolaan lingkungan hidup No.4/1982.

Vincent O. A., Steven O., Felix E., Weltime O. Medjor, Imohimi O. Asia, Osaro K. I. (2012). *Surfactant Enhanced Soil Washing Technique and Its Kinetics on the Remediation of Crude Oil Contaminated Soil*. The Pacific Journal of Science and Technology, 13, 443-456

Wardhana, A.W. (2018). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi Offset.

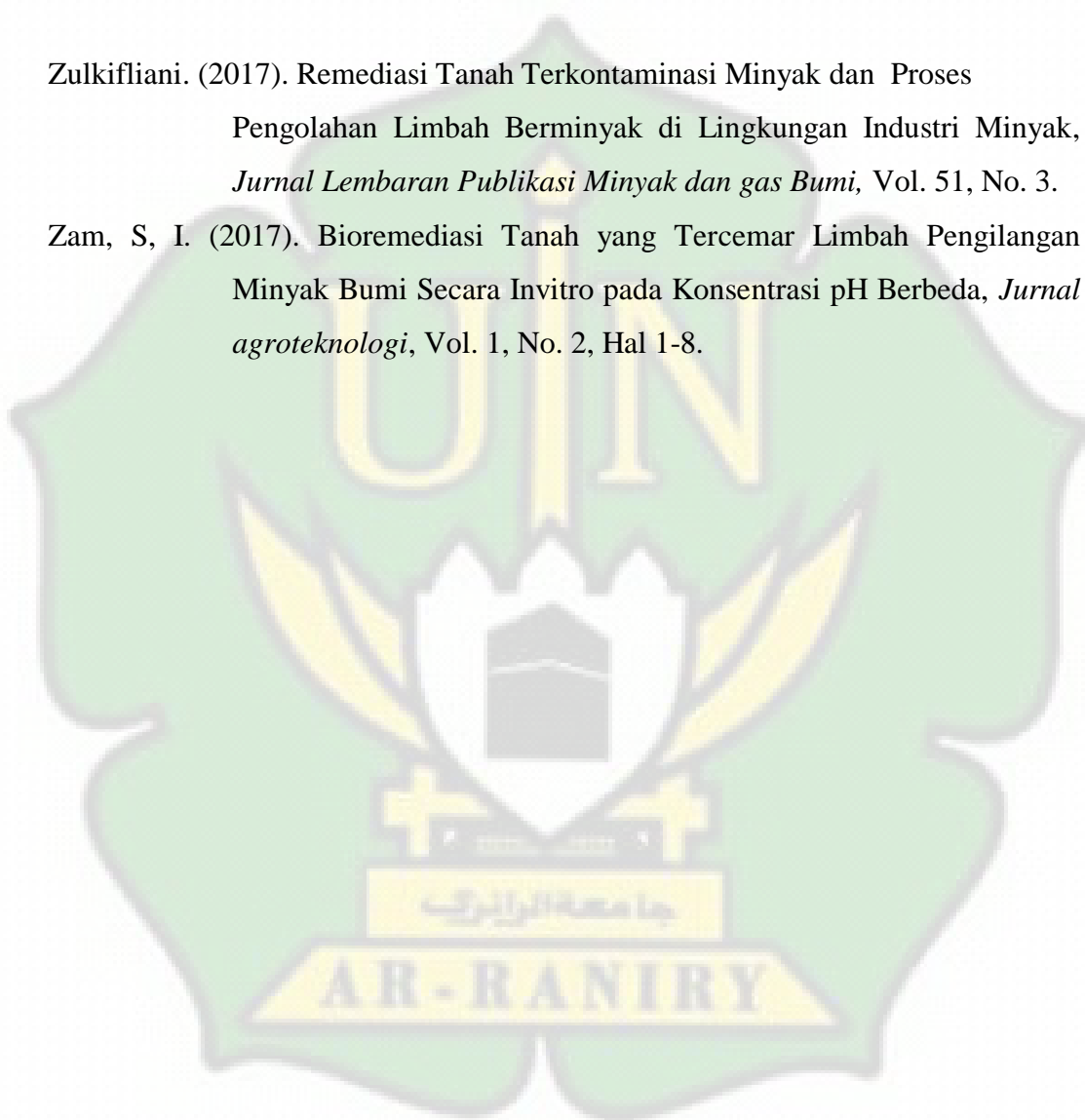
Wignyanto. (2020). *Bioremediasi dan Aplikasinya*, UB Press : Malang

Yolantika H, Periadnadi, Nurmiati. (2018). Isolasi bakteri pendegradasi hidrokarbon di tanah tercemar lokasi perbengkelan otomotif. *Jurnal Biologi Universitas Andalas* 4(3):153-157.

Yudono, B., Estuningsih, S. P., Said, M., Sabaruddin, dan Napoleon, A. (2019). Eksplorasi Bakteri Indigen Pendegradasi Limbah Minyak Bumi Di Wilayah PT Pertamina Ubep Limau Muara Enim. *Prosiding Semirata Fmipa Universitas Lampung*, Hal: 127-134.

Zulkifliani. (2017). Remediasi Tanah Terkontaminasi Minyak dan Proses Pengolahan Limbah Berminyak di Lingkungan Industri Minyak, *Jurnal Lembaran Publikasi Minyak dan gas Bumi*, Vol. 51, No. 3.

Zam, S, I. (2017). Bioremediasi Tanah yang Tercemar Limbah Pengilangan Minyak Bumi Secara Invitro pada Konsentrasi pH Berbeda, *Jurnal agroteknologi*, Vol. 1, No. 2, Hal 1-8.



LAMPIRAN I
DOKUMENTASI PENELITIAN



L1.1



L.1.2



L.1.3



L.1.4



L.1.5



L.1.6



L.1.7



L.1.8



L.1.9



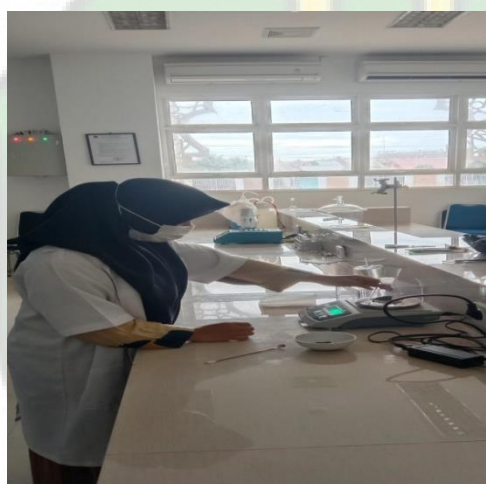
L.1.10



L.1.11



L.1.12



L.1.13



L.1.14



L.1.15



L.1.16



L.1.17



L.1.18



L.1.20



L.1.21

Keterangan:

- | | |
|---|---|
| L.1.1 = Lokasi pengambilan sampel | L.1.11= Sampel ditimbang |
| L.1.2 = Preparasi sampel tanah | L.1.12= Erlenmeyer ditimbang |
| L.1.3 = Pengambilan feses kambing | L.1.13= Timbang erlenmeyer dan sampel |
| L.1.4 = Sampel tanah dihaluskan | L.1.14= Ditambah N-heksana 10 ml |
| L.1.5 = Penambahan surfaktan dalam sampel | L.1.15= Dimasukkan magnetik stirer |
| L.1.6 = Pengadukan sampel dengan jartest | L.1.16= Diaduk selama 120 menit |
| L.1.7 = Sampel didiamkan | L.1.17= Penyaringan sampel |
| L.1.8 = Sampel dimasukkan ke oven | L.1.18= Oven selama 1 jam dengan suhu 105°C |
| L.1.9 = Biostimulasi dengan feses kambing | L.1.20= ditimbang residu tersisa |
| L.1.10= pengambilan sampel uji TPH | L.1.21= Pengukuran pH sampel |

LAMPIRAN 2

DATA HASIL ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Data Analisis TPH Awal Untuk *Soil Washing*

Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)
5	32.94	33.47	10.6%

Data Hasil Analisis *Soil Washing*

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
200 g/L-0.01	5.008	25.09	25.55	9.15	1.43
200 g/L-0.02	5.028	31.40	32.53	8.53	1.35
200 g/L-0.03	5.025	33.66	34.22	7.17	2.76
200 g/L-0.04	5.036	29.49	29.82	6.60	3.32
200 g/L-0.05	5.016	31.43	31.73	5.94	4.59

Data Hasil Analisis Biostimulasi

Hari ke-3 biostimulasi (6 Oktober 2021)

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.007	32.94	33.47	10.48	0.12
P1	5.008	25.09	25.55	9.06	0.09
P2	5.047	33.86	34.37	8.12	0.12
P3	5.042	33.47	33.80	6.62	0.55
P4	5.071	29.49	29.79	5.95	0.65
P5	5.012	25.08	25.33	4.86	1.08

Hari ke-6 biostimulasi (9 oktober 2021)

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.012	29.49	30.00	10.17	0.31
P1	5.003	33.47	33.89	8.51	0.55
P2	5.056	35.60	35.96	7.25	0.87
P3	5.010	29.49	29.78	5.83	0.79
P4	5.036	33.47	33.72	5.00	0.95
P5	5.002	32.92	33.12	4.11	0.75

Hari ke-9 biostimulasi (12 oktober 2021)

Variasi Perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.013	33.87	34.37	10.16	0.01
P1	5.006	35.60	35.96	7.31	1.2
P2	5.032	33.86	34.19	6.47	0.78
P3	5.018	32.92	33.17	5.05	0.78
P4	5.024	25.09	25.30	4.32	0.68
P5	5.032	32.93	33.12	3.08	1.08

Hari ke-12 biostimulasi (15 oktober 2021)

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.010	25.09	25.57	9.66	0.5
P1	5.003	29.49	29.82	6.60	0.71
P2	5.043	31.42	31.68	5.13	1.34
P3	5.012	33.47	33.70	4.63	0.42
P4	5.021	32.92	33.13	4.14	0.18
P5	5.010	25.09	25.20	2.04	1.04

Hari ke-15 biostimulasi (18 oktober 2021)

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.010	25.09	25.55	9.20	0.46
P1	5.003	33.86	34.15	5.63	0.97
P2	5.043	32.92	33.12	4.11	1.02
P3	5.012	25.09	25.27	3.06	1.57
P4	5.021	3.70	33.86	3.02	1.12

P5	5.010	31.35	31.42	1.4	0.64
----	-------	-------	-------	-----	------

Hari ke-18 biostimulasi (21 Oktober 2021)

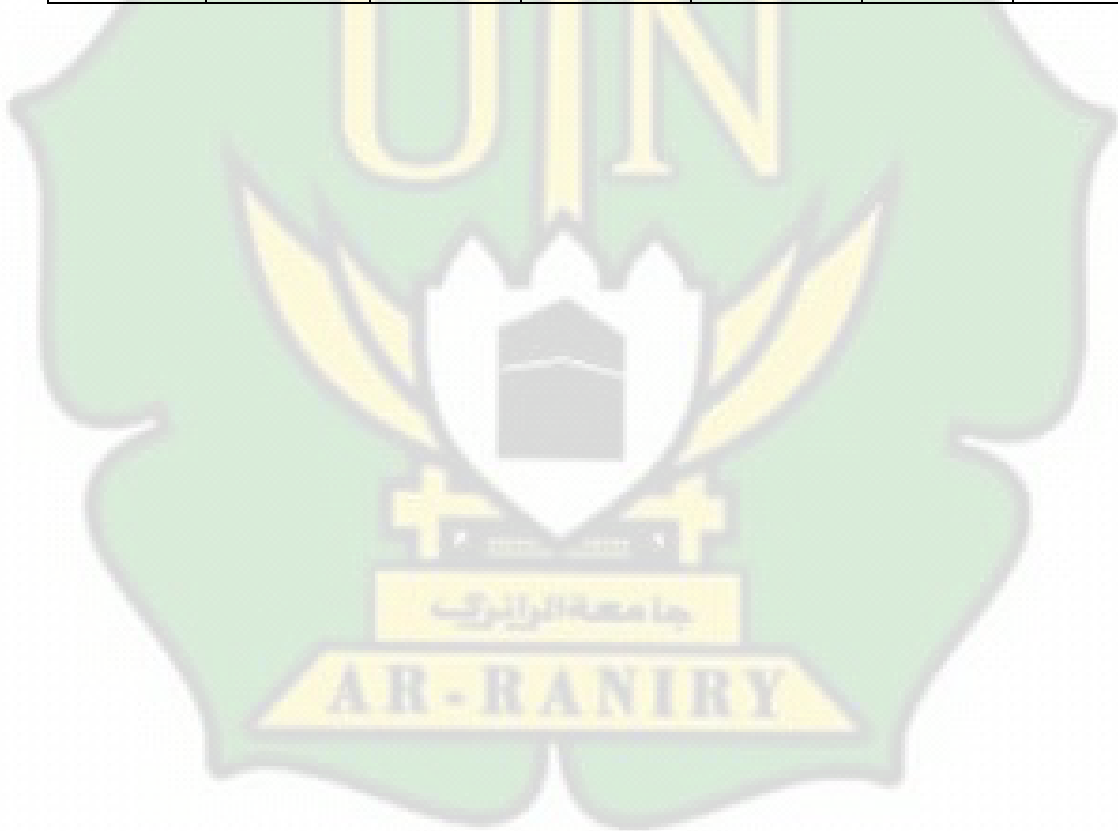
Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.010	31.42	31.82	8.02	1.18
P1	5.003	25.08	25.30	4.29	1.34
P2	5.043	32.96	33.19	3.40	0.71
P3	5.012	24.20	25.52	2.64	0.42
P4	5.021	25.10	25.20	2.0	1.02
P5	5.010	29.69	29.73	0.8	0.6

Hari ke-21 biostimulasi (24 Oktober 2021)

Variasi perlakuan	Berat sampel (g)	Berat erlenmeyer kosong (g)	Berat erlenmeyer + residu (g)	TPH(%)	Efisiensi penurunan TPH(%)
Kontrol	5.010	32.92	33.29	7.26	0.76
P1	5.003	31.49	31.68	3.82	0.47
P2	5.043	33.63	33.76	2.60	0.98
P3	5.012	33.35	33.47	2.42	0.22
P4	5.021	29.70	29.77	1.43	0.57
P5	5.010	33.17	33.20	0.08	0.06

LAMPIRAN 3
PENGUKURAN pH

Waktu (hari)	P0	P1	P2	P3	P4	P5
3	8	7,2	6,7	6,9	6,3	6,2
6	7,9	6,9	6,6	6,7	6,7	6
9	7,8	6,3	6,4	6,3	6,6	5,9
12	7,8	6,2	6,4	6,5	6,4	6,2
15	7,8	6,4	6,5	6,8	6,8	5,8
18	7,2	6,5	6,3	6,7	6,9	6
21	7,2	6,7	6,8	7	7	6



LAMPIRAN 4
PENGUKURAN SUHU

waktu (hari)	P0	P1	P2	P3	P4	P5
3	27	27	27	27	28	28
6	27	27	28	28	28	28
9	29	28	29	28	29	28
12	28	29	28	29	28	28
15	28	28	28	29	29	29
18	29	29	29	30	29	30
21	30	30	30	30	31	31

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: TPH (P0)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.925 ^a	.855	.831	.49105

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8.519	1	8.519	35.327	.001 ^b
	Residual	1.447	6	.241		
	Total	9.965	7			

a. Dependent Variable: TPH (P0)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10.998	.317		34.696	.000

Waktu (hari)	-.150	.025	-.925	-5.944	.001
--------------	-------	------	-------	--------	------

a. Dependent Variable: TPH (P0)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8.519	1	8.519	35.327	.001 ^b
	Residual	1.447	6	.241		
	Total	9.965	7			

a. Dependent Variable: TPH (P0)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: TPH (P1)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.987 ^a	.973	.969	.36751

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29.593	1	29.593	219.108	.000 ^b
	Residual	.810	6	.135		
	Total	30.404	7			

a. Dependent Variable: TPH (P1)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	9.734	.237		41.033	.000
	Waktu (hari)	-.280	.019	-.987	-14.802	.000

a. Dependent Variable: TPH (P1)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: TPH (P2)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.995 ^a	.990	.988	.24161

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	34.263	1	34.263	586.948	.000 ^b
	Residual	.350	6	.058		
	Total	34.614	7			

a. Dependent Variable: TPH (P2)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8.863	.156		56.826	.000
	Waktu (hari)	-.301	.012	-.995	-24.227	.000

a. Dependent Variable: TPH (P2)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: TPH (P3)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.993 ^a	.986	.984	.25292

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	27.048	1	27.048	422.822	.000 ^b
	Residual	.384	6	.064		
	Total	27.432	7			

a. Dependent Variable: TPH (P3)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.388	.163		45.249	.000
	Waktu (hari)	-.268	.013	-.993	-20.563	.000

a. Dependent Variable: TPH (P3)

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: TPH (P4)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.992 ^a	.983	.981	.26436

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	24.987	1	24.987	357.534	.000 ^b
	Residual	.419	6	.070		
	Total	25.406	7			

a. Dependent Variable: TPH (P4)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6.708	.171		39.312	.000
	Waktu (hari)	-.257	.014	-.992	-18.909	.000

a. Dependent Variable: TPH (P4)

Variables Entered/Removed^a

Mo del	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Waktu (hari) ^b		Enter

a. Dependent Variable: TPH (P5)

b. All requested variables entered.

Model Summary

Mo del	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.993 ^a	.986	.984	.27599

a. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	32.798	1	32.798	430.596	.000 ^b
	Residual	.457	6	.076		
	Total	33.255	7			

a. Dependent Variable: TPH (P5)

b. Predictors: (Constant), Waktu (hari)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.789	.178		32.496	.000
	Waktu (hari)	-.295	.014	-.993	-20.751	.000

a. Dependent Variable: TPH (P5)

