

**UJI EFEKTIVITAS KOTORAN SAPI DALAM REMEDIASI
TANAH *TOP SOIL* YANG TERCEMAR OLI**

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:

**TUTI MARLINA
NIM. 150702012**

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM - BANDA ACEH
2021 M/1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

UJI EFEKTIVITAS KOTORAN SAPI DALAM REMEDIASI TANAH *TOP SOIL* YANG TERCEMAR OLI

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:

TUTI MARLINA
NIM. 150702012

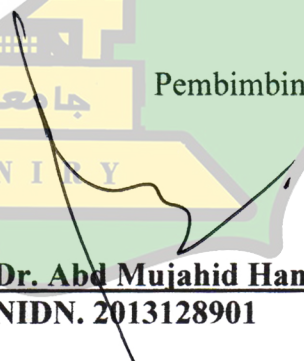
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Banda Aceh,
Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc.
NIDN. 2009118301


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

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


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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

UJI EFEKTIVITAS KOTORAN SAPI DALAM REMEDIASI TANAH *TOP SOIL* YANG TERCEMAR OLI

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas 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, 29 Juli 2021
19 Dzulhijjah 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,



Husnawati Yahya, M.Sc.
NIDN. 2009118301

Sekretaris,



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

Penguji I,



Yeggi Darnas, M.T.
NIDN. 2020067905

Penguji II,



Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIDN. 2002028301

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 : Tuti Marlina
NIM : 150702012
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Uji Efektivitas Kotoran Sapi sebagai Bioaktivator dalam Bioremediasi Tanah *Top Soil* yang Tercemar Oli

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan 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.

Banda Aceh, 25 Juli 2021

Yang Menyatakan,



Tuti Marlina

NIM. 150702012

ABSTRAK

Nama : Tuti Marlina
NIM : 150702012
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Uji Efektivitas Kotoran Sapi dalam Remediasi Tanah
Top Soil yang Tercemar Oli
Tanggal Sidang : 29 Juli 2021
Jumlah Halaman : 1-57
Pembimbing I : Husnawati Yahya, M. Sc.
Pembimbing II : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan M.Sc.
Kata Kunci : Kotoran Sapi, Bioremediasi, *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH).

Limbah oli yang masuk ke dalam tanah akan menyebabkan kerusakan pada tanah. Bioremediasi merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah berbahaya yang relatif lebih ekonomis, mudah dan ramah lingkungan. Teknologi ini memanfaatkan aktivitas mikroba untuk mengolah tanah tercemar. Kotoran sapi merupakan bahan organik yang mengandung banyak mikroba dan juga mengandung nutrisi yang baik untuk pertumbuhan mikroba. Kotoran sapi mengandung beberapa mikroorganisme seperti bakteri (*Bacillus* sp, *Lactobacillus* sp. dan *Corynebacterium* sp), jamur (*Trichoderma* sp dan *Aspergillus* sp), spesies protozoa dan ragi (*Candida* sp dan *Saccharomyces* sp). Kotoran sapi pada penelitian ini berperan sebagai bioaktivator serta sumber nutrisi bagi mikroba dalam mendegradasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dalam tanah tercemar oli. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kotoran sapi pada bioremediasi tanah tercemar oli. Penelitian ini terdiri dari enam (6) perlakuan yaitu dengan konsentrasi kotoran sapi dengan variasi konsentrasi 0 gr, 20 gr, 40 gr, 60 gr, 80 gr, dan 100 gr pada masing-masing tanah 300 gr serta waktu pengolahan selama 30 hari dan dilakukan analisis 2 kali sehari. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran pH, dan nilai TPH. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi dengan konsentrasi 100 gr pada tanah 300 gr mampu menurunkan nilai TPH dari 3,6% menjadi 0,2%, dengan efektivitas penurunan TPH sebesar 86,66% dalam waktu 30 hari. Berdasarkan hasil analisis menggunakan Uji Regresi Linear Sederhana menyatakan bahwa waktu bioremediasi dan penambahan konsentrasi kotoran sapi berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.

ABSTRACT

Name : Tuti Marlina
Student ID Number : 150702012
Department : Environmental Engineering
Title : Test the Effectiveness of Cow Dung in the Remediation of Oil-Contaminated Top Soil.
Date of Session : 29 July 2021
Number of pages : 1-57
Advisor I : Husnawati Yahya, M. Sc.
Advisor II : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan M.Sc.
Keywords : Cow Dung, Bioremediation, Total Petroleum Hydrocarbon (TPH).

Oil waste that enters the soil will cause damage to the soil. Bioremediation is an alternative to hazardous waste treatment which is relatively more economical, easy and environmentally friendly. This technology utilizes microbial activity to treat polluted soil. Cow dung is an organic material that contains many microbes and also contains good nutrition for microbial growth. Cow dung contains several microorganisms such as bacteria (*Bacillus* sp, *Lactobacillus* sp and *Corynebacterium* sp), fungi (*Trichoderma* sp and *Aspergillus* sp), protozoan and yeast species (*Candida* sp and *Saccharomyces* sp). Cow dung in this study acts as a bioactivator and a source of nutrients for microbes in degrading Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in oil-contaminated soil. This study aims to determine the effect of adding cow dung on bioremediation of oil-contaminated soil. This study consisted of six (6) treatments, namely the concentration of cow dung with variations in concentrations of 0 gr, 20 gr, 40 gr, 60 gr, 80 gr, and 100 gr on each soil of 300 gr and processing time for 30 days and analyzed 2 times a day. In this study, measurements of pH and TPH values were carried out. The results of the analysis showed that the addition of cow dung with a concentration of 100 gr on 300 gr of soil was able to reduce the TPH value from 3.6% to 0.2%, with the effectiveness of reducing TPH by 86.66% within 30 days. Based on the results of the analysis using the Simple Linear Regression Test, it was stated that the bioremediation time and the addition of the concentration of cow dung had an effect on the decrease in the TPH value.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T. karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Uji Efektivitas Kotoran Sapi dalam Remediasi Tanah *Top Soil* yang Tercemar Oli”. Shalawat dan salam teruntuk Rasulullah Muhammad SAW. sebagai pencetus kebaikan dan ilmu pengetahuan di muka 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 banyak terima kasih kepada:

1. Mamak, ayah, adik-adik serta keluarga besar yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama masa kuliah.
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 Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Uin Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan serta pengarahan kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir dan Koordinator Tugas Akhir.
5. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M. Sc. Selaku Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir.
6. Ir. Yeggi Darnas, M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan bimbingannya selama proses penulisan Tugas Akhir ini.
7. Teuku Muhammad Ashari, M. Sc., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberi saran dan membagi ilmunya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini.

8. Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik yang selalu bersedia memberikan bimbingan serta pengarahan kepada penulis selama proses perkuliahan.
9. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan membagi ilmunya kepada penulis.
10. Kepala Laboratorium Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry dan Asisten Laboratorium Teknik Lingkungan serta Asisten Laboratorium Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
11. Teman Seangkatan Teknik Lingkungan 2015.
12. Para sahabat dan teman yang selalu membantu dan memberikan semangat.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Ar-Raniry Banda Aceh. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan penulisan Tugas Akhir ini.

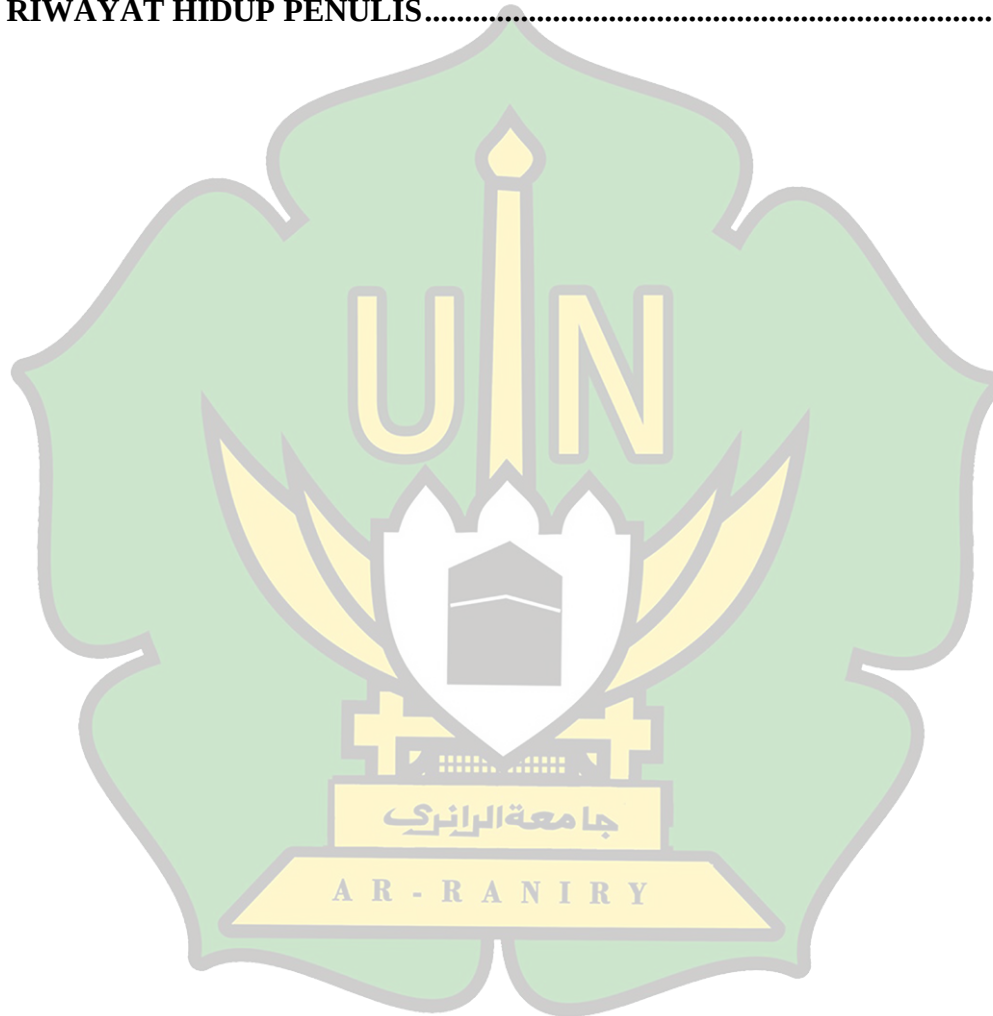
Banda Aceh, 29 Juli 2021
Penulis,

جامعة الرانيري
A R - R A N I R Y Tuti Marlina

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Limbah Oli.....	5
2.2 Bioremediasi	8
2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi Hidrokarbon	12
2.4 Biodegradasi Hidrokarbon.....	13
2.5 Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon.....	15
2.6 Kotoran Hewan.....	16
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	 20
3.1 Tahapan Penelitian.....	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.2.1 Tempat.....	21
3.2.2 Waktu.....	22
3.3 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	22
3.4 Alat dan Bahan.....	23
3.4.1 Alat	23
3.4.2 Bahan	23
3.5 Metode Kerja	23
3.6 Analisis Statistik	27
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 28
4.1 Hasil.....	28
4.2 Pembahasan	28
4.2.1 Pengaruh waktu <i>composting</i> terhadap efektivitas parameter <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH).....	28
4.2.2 Pengaruh konsentrasi kotoran sapi terhadap <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH).....	35
4.2.3 Pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi terhadap	

efektivitas penurunan TPH.....	36
4.2.4 Pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi terhadap pH dan waktu <i>composting</i> terhadap nilai pH	38
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	48
RIWAYAT HIDUP PENULIS	57



DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Reaksi Hasil Produk Hidrokarbon.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	22
Gambar 3.3 Pengambilan Sampel Tanah	24
Gambar 4.1 Grafik Nilai Persentase TPH.....	29
Gambar 4.2 Reaksi Hasil Produk Hidrokarbon.....	30
Gambar 4.3 Metabolisme Hidrokarbon dalam Kondisi Aerob oleh Bakteri	31
Gambar 4.4 Grafik laju degradasi TPH.....	33
Gambar 4.5 Tanah Tercemar Oli hari Ke-0 dan Hari Ke-30	35
Gambar 4.6 Grafik Efektivitas TPH.....	37
Gambar 4.7 Grafik Nilai pH.....	39



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Persyaratan Nilai Akhir Hasil Pengolahan Minyak Bumi secara Biologis.....	6
Tabel 2.2 Cara Penanganan Hasil Olahan Setelah Proses Pengolahan.....	7
Tabel 2.3 Penelitian Bioremediasi	9
Tabel 2.4 Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon	15
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	22
Tabel 4.1 Hasil Pengujian TPH pada Sampel Tanah Tercemar Oli.....	28



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Foto Tahapan Persiapan, Preparasi Sampel dan Eksperimen.....	48
Lampiran 2 Hasil Data Penelitian	52
Lampiran 3 Tabel Hasil Uji Laboratorium.....	55



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2019 jumlah kendaraan bermotor berdasarkan jenisnya yaitu sebanyak 133.617.012 unit. Seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor dapat mempengaruhi besarnya permintaan oli sebagai pelumas agar kendaraan dapat digunakan dengan baik (Dahlan, 2014). 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). Sedangkan menurut Ahda (2016), limbah oli juga dapat digunakan sebagai pelumas rantai, namun penggunaan oli tersebut masih sedikit dan selebihnya ditampung ke dalam drum. Penampungan limbah oli ke dalam drum masih belum dilengkapi dengan label dan simbol limbah B3. Beberapa bengkel di Kota Banda Aceh, drum penampungan limbah oli diletakkan diluar bengkel, dengan *housekeeping* bengkel yang kurang diperhatikan. Sehingga dikhawatirkan rembesan air hujan yang mengenai ceceran limbah oli akan mengalir dan meresap ke permukaan tanah (Putri, 2020).

Kegiatan usaha bengkel juga dapat memberi dampak negatif pada lingkungan seperti pencemaran tanah, pencemaran air dan berdampak bagi kesehatan manusia. Permasalahan lingkungan yang sangat serius akibat kegiatan usaha bengkel yaitu dapat menimbulkan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang berupa oli bekas atau disebut minyak pelumas bekas, dengan limbah B3 ini sifatnya yang beracun dan berbahaya (Ichtiakhiri, 2015). Susunan limbah oli ini terdiri dari campuran senyawa hidrokarbon 90% dan komponen non-hidrokarbon 10% (Yahya, 2019). Salah satu kandungan yang sulit diurai pada limbah oli merupakan senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon akan menjadi zat pencemar apabila masuk ke dalam tanah dan dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah (Aliyanta, 2011). Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah

Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis menyatakan bahwa Konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) memiliki baku mutu yaitu 1%.

Salah satu alternatif penanggulangan lingkungan yang tercemar limbah oli yaitu dengan teknik bioremediasi. Bioremediasi yaitu suatu pengolahan lingkungan yang ekonomis, ramah lingkungan dan efektif dengan memanfaatkan aktivitas mikroba seperti bakteri (Aliyanta, 2011). Oleh karena itu, diperlukan mikroba yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon dan mampu bertahan hidup pada tanah tercemar limbah oli (Susanti, 2017). Bakteri mampu mendegradasi berbagai jenis hidrokarbon dengan cara memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek. Salah satu bakteri yang mampu mendegradasi hidrokarbon adalah *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus sp.* (Junaidi, 2013). Pertumbuhan mikroba pendegradasi hidrokarbon ini memerlukan faktor pendukung seperti suhu, pH, dan nutrisi yang tersedia. Unsur-unsur nitrogen, fosfor, dan oksigen juga dapat meningkatkan laju pertumbuhan mikroba dan aktivitasnya dalam mendegradasi hidrokarbon (Fierdaus, 2009).

Mikroba yang terdapat pada kotoran sapi yaitu bakteri (*Bacillus sp*, *Lactobacillus sp* dan *Corynebacterium sp*), jamur (*Trichoderma sp* dan *Aspergillus sp*), spesies protozoa dan ragi (*Candida sp* dan *Saccharomyces sp*) (Bai, 2012). Kotoran hewan memiliki unsur hara nitrogen, fosfor dan kalium yang berfungsi untuk menyediakan nutrisi bagi aktivitas bakteri. Kotoran hewan yang digunakan untuk menyediakan nutrisi bagi bakteri adalah kotoran sapi, kotoran sapi sangat potensial digunakan sebagai sumber nitrogen bagi sistem bioremediasi untuk menguraikan hidrokarbon pada tanah tercemar oli (Suryatmana, 2019).

Berdasarkan penelitian Junaidi (2013) tentang penggunaan bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan pupuk kandang dalam bioremediasi inceptisol tercemar hidrokarbon menyatakan bahwa dosis pupuk kandang berpengaruh nyata dalam meningkatkan total mikroorganisme dan terjadinya degradasi hidrokarbon. Selain itu, pada penelitian Holifah (2017) tentang analisis penambahan kotoran kambing dan kuda pada proses bioremediasi *oil sludge* di pertambangan Desa Wonocolo menyatakan bahwa dengan menggunakan kotoran kambing dan kuda dalam mendegradasi limbah minyak bumi (*oil sludge*) dapat menjadi alternatif

yang baik dalam proses bioremediasi dan mampu menurunkan nilai TPH sebesar 68,83%. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai “Uji Efektivitas Kotoran Sapi dalam Remediasi Tanah *Top Soil* yang Tercemar Oli”. Diharapkan dalam hasil penelitian ini dapat menjadi alternatif dalam bioremediasi tanah tercemar oli.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu *composting* terhadap nilai TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli ?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi kotoran sapi terhadap nilai TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli ?
3. Bagaimana efektivitas kotoran sapi dalam mendegradasi TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli ?
4. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi dan waktu *composting* terhadap nilai pH tanah?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh waktu *composting* terhadap nilai TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsentrasi kotoran sapi terhadap nilai TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli.
3. Untuk mengetahui bagaimana efektivitas kotoran sapi dalam mendegradasi TPH pada tanah *top soil* yang tercemar oli.
4. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi dan waktu *composting* terhadap nilai pH tanah.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan manfaat di bidang pengelolaan lingkungan dengan metode bioremediasi tanah tercemar limbah oli.
2. Dapat dijadikan acuan dalam pengolahan limbah ternak sapi setelah dilakukannya penelitian ini .

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya fokus pada pengukuran pH, dan TPH sampel tanah *top soil* yang tercemar oli.
2. Reaktor yang digunakan hanya untuk skala laboratorium.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Oli (Pelumas)

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 (Algusri, 2019). 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 (Vyatrawan, 2015).

Oli merupakan senyawa hidrokarbon yang bersifat toksik dan karsinogenik jika masuk ke dalam tanah akan mengakibatkan matinya mikroorganisme yang terdapat pada tanah, serta polutan yang dapat merubah kondisi fisik tanah seperti kerusakan struktur tanah. Tanah yang tercemar oli jika dilihat dari kondisi fisik biasanya berwarna hitam, berminyak dan berbau oli yang menyengat (Yolantika, 2015). Menurut Handrianto (2018), *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 $C_{20}-C_{70}$ dengan kandungan alkana dan PAH yang tinggi (Putri, 2020).

Berdasarkan komponennya, TPH tergolong menjadi 3 bagian diantaranya, senyawa alisiklik, alifatik, dan aromatik. Senyawa aromatik dapat berupa poliaromatik dan monoaromatik. Komponen dari monoaromatik yaitu *toluene*, *benzene*, *isomer xylem* dan *ethylbenzene*. Selain itu, oli juga tersusun oleh komponen hidrokarbon dan komponen non-hidrokarbon. Komponen non-

hidrokarbon dalam minyak pelumas dapat berupa unsur-unsur logam berat yang tergolong berbahaya seperti, kromium (Cr), merkuri (Hg), argon (Ag), kadmium (Cd), arsen (As), timbal (Pb), dan copper (Cu) (Handrianto, 2018).

Oli bekas banyak terkandung komponen logam berat, *Polychlorinated Biphenyls* (PCBs), dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH). Komponen-komponen tersebut bersifat sangat berbahaya jika dibuang ke lingkungan karena mengandung bahan beracun. Limbah oli yang tumpah akan meresap ke dalam tanah dan menyebabkan tertutupnya suplai oksigen yang masuk ke dalam tanah sehingga mengakibatkan kematian terhadap mikroba yang terdapat dalam tanah akibat keracunan limbah oli. Selain itu, tumpahan oli juga mengakibatkan pencemaran air tanah sampai ke lapisan akuifer air tanah (Putri, 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 bahwa 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 awal atau pemanfaatan terlebih dahulu. Beberapa kriteria yang harus dipenuhi yang sesuai dengan KEPMEN LH No.128 tahun 3003 yang menjadi hasil akhir setelah melewati proses biologi sehingga dapat dijadikan salah satu acuan, seperti yang tertera pada table berikut.

Tabel 2.1 Persyaratan nilai akhir hasil pengolahan minyak bumi secara biologis.

No.	Parameter	Satuan	Nilai akhir hasil olahan
A	Analisi Limbah		
1	pH	-	6-9
2	TPH	µg/g	10.000
3	Benzene	µg/g	1
4	Toluene	µg/g	10
5	Ethylbenzene	µg/g	10
6	Xylene	µg/g	10
7	Total PAH	µg/g	10

Lanjutan...

No.	Parameter	Satuan	Nilai akhir hasil olahan
B	Analisi TCLP		
1	Pb	mg/L	5
2	As	mg/L	5
3	Ba	mg/L	150
4	Cd	mg/L	1
5	Cr	mg/L	5
6	Cu	mg/L	10
7	Hg	mg/L	0,2
8	Se	mg/L	1
9	Zn	mg/L	50

*Semua analisis kimia untuk limbah minyak bumi, nilai konsentrasi ($\mu\text{g/g}$) ditentukan dalam berat kering.

KEPMEN LH No.128 Tahun 3003 setelah proses pengolahan mencapai ketentuan kriteria hasil akhir pada Tabel 2.1, maka terdapat beberapa cara penanganan hasil olahan setelah proses pengolahan terhadap TPH seperti yang terdapat pada Tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Cara Penanganan hasil olahan setelah proses pengolahan.

No.	Konsentrasi TPH	Kegiatan Penanganan	Keterangan
1.	> 2%	Proses pengolahan dilanjutkan	Sampai memenuhi kriteria.
2.	1%-2%	Landfill kategori III	Sesuai kepdal 04/1995.
3.	$\leq 1\%$	a. Penempatan Pada lahan khusus dan terbatas.	Ditanami tanaman yang non konsumsi.
		b. Pemanfaatan.	Bahan pencampur lapisan jalan, material bangunan dan lain-lain.

Berdasarkan KEPMEN LH No. 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis, dinyatakan bahwa konsentrasi TPH maksimum yang diizinkan untuk mengolah tanah tercemar dengan proses bioremediasi yaitu sebesar 1%. Jika konsentrasi hidrokarbon melebihi dari 1% maka perlu dilakukan mengolah lebih lanjut.

2.2 Bioremediasi

Bioremediasi yaitu proses pengolahan lingkungan tercemar dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri (Welan, 2019). Kelompok mikroba yang sering digunakan dalam proses bioremediasi dan dapat bertahan pada lingkungan tercemar hidrokarbon adalah bakteri petrofilik. Bakteri petrofilik atau disebut dengan bakteri hidrokarbonoklastik yaitu bakteri yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan perkembangbiakannya. Bakteri ini mampu menghasilkan enzim yang berfungsi sebagai biokatalisator reaksi enzimatik pada proses biodegradasi hidrokarbon seperti *alkana monooksidase*, *alkohol dehidrogenase*, dan *formaldehid dehidrogenase* (Suryatmana, 2019).

Bioremediasi merupakan proses yang dapat digunakan untuk mengurangi zat pencemar seperti limbah oli dari bengkel. Metode ini telah digunakan untuk mendegradasi limbah oli pada tanah. Secara alamiah, lingkungan mengandung beraneka ragam mikroba dan pada tanah tercemar oli terdapat banyak mikroba yang dapat digunakan dalam menanggulangi pencemaran limbah oli dengan cara mengisolasi mikroba tersebut. Mikroba ini dapat mendegradasi bahan organik kompleks menjadi bahan lebih sederhana sehingga aman bagi lingkungan. Akan tetapi dalam penelitian ini menggunakan kotoran sapi sebagai bioaktivator dalam proses bioremediasi. Teknologi bioremediasi dapat dilakukan dengan beberapa teknik yaitu:

1. *Composting*, adalah teknik yang dilakukan dengan cara menambahkan kompos yang mengandung mikroba pada bahan yang terkontaminasi limbah.
2. *Bioaugmentation*, adalah teknik yang dilakukan dengan menambahkan kultur bakteri pada media yang terkontaminasi, dimana bakteri ini akan merombak senyawa berbahaya yang terdapat dalam limbah.
3. *Biostimulation*, adalah stimulasi populasi mikroba yang terdapat dalam tanah yang dilakukan secara *in situ* atau *ex situ* dan menambahkan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang dapat memicu pertumbuhan bakteri.
4. Bioventing, adalah teknik yang dilakukan dengan cara menambahkan oksigen ke dalam tanah sehingga dapat menstimulasi pertumbuhan mikroba dalam tanah.

5. Landfarming, adalah teknik yang dilakukan dengan cara menyebarkan tanah tercemar oli pada lahan terbuka sehingga dapat menstimulasi pertumbuhan mikroba (Pagoray, 2009).

Sifat yang mendasari bioremediasi ialah semua mikroorganisme dapat menjadikan substrat hidrokarbon yang ada di alam untuk mendorong pertumbuhan dan metabolismenya. Bakteri, jamur, dan protista sangat berpotensi jika dijadikan sebagai agen bioremediasi senyawa kompleks dengan cara memasukkan bahan pencemar tersebut ke dalam metabolismenya. Bakteri yang digunakan dalam mendegradasi hidrokarbon yaitu bakteri yang dapat menghasilkan enzim untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon tersebut (Yani, 2012). Penelitian terdahulu mengenai bioremediasi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Bioremediasi

No	Limbah	Parameter	Sistem	Efektivitas	Peneliti
1.	Limbah oli	TPH, kadar air	Pengomposan	Penurunan TPH sebesar 81%.	Yahya (2019)
2.	Tumpahan minyak/ pelumas pada gudang atau <i>workshop</i> perusahaan.	TPH Isolat Bakteri	Landfarming	Penurunan TPH sebesar 87,4%.	Kurniawan (2014)
3.	Limbah oli	pH, kadar air, dan TPH	Pengomposan	Penurunan TPH sebesar 27,57%.	Ariani (2019)
4.	Limbah oli	pH, kadar air, dan TPH	Pengomposan	Penurunan TPH sebesar 69,05%. pH 6-7. Kadar air 65,35%.	Fazilla (2019)
5.	Limbah oli	<i>Total Plate Count</i> (TPC), gugus fungsi menggunakan <i>fourier transform infrared</i> (FTIR), dan pH	Fermentasi	Tidak efektif.	Putri (2020)
6.	Tanah tercemar <i>crude oil</i> di pertambangan	TPH, N-total, C-organik, populasi	Komposting	TPH sebesar 6,05%. N-total dari 1,50%.	Barakwan (2017)

	n minyak bumi	bakteri		C-organik 3,68% rasio C/N 2,46. total populasi bakteri dari 2,184 x 10 ¹⁵ CFU/g.	
7.	Tanah tercemar limbah minyak berat	Populasi bakteri, pH, TPH, GC	Teknik bioslurry dan landfarming	populasi mencapai 3.47 x 10 ¹⁰ , pada kondisi pH yang berkisar antara 7.5 sampai 8.5. TPH turun sampai mencapai 0.11% landfarming persentase TPH yang masih cukup tinggi yaitu 5.58%, GC-MS yang menunjukkan bahwa senyawa hidrokarbon dari C-6 sampai C-12 yang pada awalnya terdiri dari senyawa hidrokarbon dari C-6 sampai C-35.	Charlena (2010)
8.	Sludge minyak bumi	TPH, GC	Teknik bioremediasi land treatment	Persentase degradasi sebesar 88,72%.	Nugroho (2006)
9.	Tanah terkontaminasi minyak bumi	TPH, pH, suhu	Pengomposan	Penurunan TPH sebesar 80,90 % pH 6-8; suhu 10 °C–40 °C.	Pranajaya (2015)
10.	Limbah bengkel	Kadar air, pH, suhu, TPH	Biostimulasi dan bioaugmentasi	Kadar air 12,52 % - 21,08 %. pH tanah 6.1 – 7.0 . TPH 83.43 %.	Pagoray (2009)
11.	Tanah tumpahan oli bekas	TPH, Koloni bakteri	Fermentasi	Penurunan TPH sebesar 24,87 %.	Welan (2019)
12.	Tanah tercemar minyak bumi	TPH, kadar Nitrogen	Biostimulasi	Menurunkan kadar TPH sebanyak 8.662,10 mg/kg dan menaikkan kadar hara N sebesar 0,22%.	Zhyahrial (2014)

13.	Tanah tercemar minyak	TPH	<i>Soil washing</i>	Menurunkan TPH hingga mencapai 4,55%.	Vyatrawan (2015)
14.	Lumpur minyak (<i>oil sludge</i>)	TPH	Pengomposan	Efisiensi penurunan TPH tertinggi adalah sebesar 39%.	Juliani (2011)
15.	Tanah tercemar minyak bumi	TPH, kadar N, P, K	Pengomposan Menggunakan kompos limbah cair tahu dan kulit pisang	Kadar hara N= 3,83%. P= 2,00%. K= 0,352%. Menurunkan kadar TPH hingga 61,92%.	Hanifah (2018)
16.	Oil sludge di pertambangan desa Wonocolo	TPH, pH, TPC, Kadar air dan GC	Bioremediasi menggunakan kotoran kambing dan kotoran kuda	Penurunan TPH sebesar 69,83%.	Holifah (2018)
17.	Limbah minyak bumi	Suhu, Kelembaban pH, TPH	<i>Land Treatment</i> menggunakan kompos kotoran ayam	Suhu: 24,7 °C hingga 33 °C. Kelembaban tanah berkisar 43,3-68,7%. pH 6,6 – 6,7. Penurunan TPH sebesar 71,97%.	Suryatmana (2019)
18.	Lahan tercemar Limbah minyak bumi	TPH, pH, kadar air, kadar abu dan WHC	<i>Landfarming</i>	Penurunan TPH sebesar 91,15%. pH 8,25 menjadi 6,25. kadar air 49,97% menjadi 55,04%. kadar abu 63,76% menjadi 73,39%. WHC 101,64% menjadi 124,11%.	Aliyanta (2011)
19.	Tanah inceptisol tercemar hidrokarbon	TPH, Total mikroba	Inkubasi di rumah kaca dan penanaman tanaman pada media tanah	Penggunaan pupuk kandang dan tanaman dapat meningkatkan total mikroorganisme dan penurunan kandungan hidrokarbon dalam tanah.	Junaidi (2013)

20.	Tanah Tercemar oli bekas	TPH	Biostimulasi	Persentase degradasi sebesar 90.55%.	Pratama (2017)
-----	--------------------------	-----	--------------	--------------------------------------	----------------

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Bioremediasi Hidrokarbon

Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas proses bioremediasi adalah faktor lingkungan meliputi suhu, pH, nutrisi, dan ketersediaan oksigen (Vyatrawan, 2015).

a. Kadar Oksigen

Kandungan oksigen akan berpengaruh terhadap laju degradasi bahan pencemar, bakteri yang dapat digunakan untuk mendegradasi hidrokarbon yaitu bakteri aerob, dimana bakteri ini membutuhkan oksigen dalam aktivitasnya. Oksigen dalam tanah didapat dengan cara pengadukan pada tanah. Jika jumlah mikroorganisme yang memanfaatkan oksigen tersebut sangat banyak maka akan menyebabkan kekurangan oksigen pada tanah. Kekurangan jumlah oksigen pada tanah menjadi faktor penghambat proses biodegradasi hidrokarbon di dalam tanah. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengadukan pada tanah untuk mengurangi keterbatasan oksigen dan menjaga suhu tanah agar tetap ideal (Nugroho, 2006).

b. Kadar Air

Tanah dengan kondisi yang lembab dapat mengoptimalkan proses degradasi karena terpenuhinya nutrisi dan substrat. Kelembaban ideal untuk pertumbuhan bakteri yaitu 25-28%, sedangkan kelembaban optimum untuk bioremediasi tanah tercemar sekitar 80%. Jika kelembaban tanah mencapai 70%, maka akan mengganggu proses transfer gas oksigen dan mengurangi aktivitas aerobik. Kadar air yang terkandung dalam tanah juga akan berpengaruh terhadap distribusi dan pertumbuhan bakteri.

c. Suhu

Proses bioremediasi akan berlangsung dengan baik jika didukung oleh temperatur optimum. Suhu tanah sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroba dan laju biodegradasi. Temperatur optimum dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon yaitu 10-40°C, ada beberapa ada mikroba yang dapat bertahan hidup hingga suhu 60°C yaitu bakteri *termofilik*. Namun jika keadaan suhu rendah (< 5°C) dan suhu tinggi akan memperlambat biodegradasi.

d. pH

Kondisi optimum untuk mendegradasi karbon sangat dipengaruhi oleh nilai pH. Pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat dan mampu menjalankan fungsi-fungsi sel apabila hidup pada tanah dengan pH 6-9. Pada kisaran pH 6,7-9 bagus untuk aktivitas mikroba selama proses pengomposan. Jika kondisi suhu dan pH tanah sulit untuk dikendalikan maka dengan mengendalikan suplai oksigen dan pengaturan nitrogen dan fosfor yang cukup dapat mengoptimalkan aktivitas untuk mendapatkan proses bioremediasi yang efisien (Pranajaya, 2015).

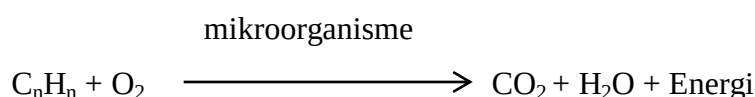
e. Nutrisi

Bakteri pada proses bioremediasi juga memerlukan nutrisi untuk sumber energi, karbon, dan keseimbangan metabolisme. Bakteri dapat menggunakan *total petroleum hydrocarbon* (TPH) dalam oli sebagai sumber karbon dan energi dalam perkembangbiakannya (Pranajaya, 2015). Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan sel serta aktivitas enzim pada bakteri yaitu ketersediaan nutrisi, dengan tersedianya nutrisi akan menstimulasi pertumbuhan mikroorganisme dalam tanah tercemar oli. Nutrisi yang paling penting bagi pertumbuhan mikroorganisme adalah karbon, nitrogen, dan fosfor.

Nitrogen merupakan salah satu sumber nutrisi yang dapat digunakan oleh bakteri dalam proses bioremediasi. Nitrogen dapat dihasilkan dari pupuk kandang sehingga berfungsi untuk pertumbuhan sel bakteri. Kandungan unsur nitrogen yang rendah akan memperlambat proses degradasi pada tanah tercemar. Penambahan pupuk kandang yang terdapat kandungan hara nitrogen, fosfor, dan kalium dapat mengatasi keterbatasan nitrogen serta fosfor di dalam tanah (Vyatrawan, 2015).

2.4 Biodegradasi Hidrokarbon

Biodegradasi dapat didefinisikan sebagai cara alami untuk mendaur ulang zat pencemar menjadi nutrisi dan bermanfaat bagi organisme lain, dengan cara memanfaatkan mikroba yang akan memperoleh produk akhir menjadi karbondioksida, air, dan energi dengan reaksi sebagai berikut:



Gambar 2.1. Reaksi hasil produk hidrokarbon (Sumber: Pagoray, 2009).

Pertumbuhan mikroba dalam proses biodegradasi limbah oli memerlukan kondisi yang sesuai, dimana mikroba memerlukan energi dan oksigen untuk membentuk sel baru. Senyawa organik hidrokarbon dapat didegradasi secara biologi dengan memanfaatkan mikroba yang dapat memperoleh enzim seperti enzim metana monooksigenase yang mampu mengurangi atom karbon pada limbah oli. Metana monooksigenase adalah enzim yang mampu mengoksidasi ikatan CH dalam metana serta alkana lainnya. (Pagoray, 2009).

Proses biodegradasi dilakukan dengan cara memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek yang melibatkan berbagai enzim. Sistem enzim tersebut dikode oleh kromosom atau plasmid bakteri. Mikroorganisme dalam bentuk tunggal tidak dapat mendegradasi komponen hidrokarbon secara menyeluruh karena setiap spesies bakteri memerlukan substrat yang berbeda, akan tetapi mikroorganisme dalam bentuk campuran atau dalam jumlah yang banyak akan mempercepat proses degradasi limbah oli. Proses metabolisme bakteri memerlukan molekul hidrokarbon yang digunakan sebagai salah satu sumber energi dan nutrisi untuk perkembangbiakannya sedangkan senyawa non-hidrokarbon dijadikan sebagai nutrisi pelengkap yang dibutuhkan untuk pertumbuhannya (Nugroho, 2006).

Bakteri yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon untuk keperluan metabolisme dan perkembangbiakannya merupakan bakteri hidrokarbonoklastik (Nugroho, 2006). Bakteri menggunakan hidrokarbon sebagai sumber energi dan sumber karbon sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya sehingga hidrokarbon tersebut akan memiliki hasil akhir seperti karbondioksida (CO_2), air (H_2O) dan biomassa, selama aktivitas bakteri berlangsung maka bakteri akan mengeluarkan metabolit-metabolit ke dalam media berupa surfaktan dan asam, dimana metabolit tersebut dapat mempengaruhi lingkungan sekitarnya seperti surfaktan untuk menurunkan tegangan antar muka media, dengan menurunnya tegangan antar muka media menyebabkan dispersi dan memperbesar kontak permukaan oli dengan minyak pelumas (oli) sehingga dapat meningkatkan proses biodegradasi hidrokarbon yang terdapat pada oli. Asam yang berfungsi untuk menurunkan pH pada tanah. Selain itu, biomassa yang dihasilkan merupakan akumulasi massa sel yang sebagian besar tersusun oleh protein. Protein akan meningkatkan kesuburan

tanah tercemar karena nitrogen merupakan sumber pupuk terhadap tanah tercemar (Yani, 2012).

Saat proses biodegradasi berlangsung, hidrokarbon masuk ke dalam sitoplasma bakteri terlebih dahulu. Proses masuknya hidrokarbon ke dalam sitoplasma terbagi menjadi dua yaitu: Hidrokarbon menjadi mudah larut dan terjadi proses tarik menarik (adhesi) antara hidrokarbon dan cairan dalam sel bakteri. Mekanisme selanjutnya, bakteri akan menghasilkan enzim yang akan digunakan untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon, dimana enzim yang akan digunakan dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon dengan cara memanfaatkan kebutuhan bakteri akan energi. Energi yang didapatkan bakteri berasal dari hidrokarbon dan bakteri tersebut akan memproduksi enzim dan akan membentuk senyawa kompleks antara enzim dan hidrokarbon, sehingga hidrokarbon yang didegradasi tersebut terurai menjadi produk lain yang lebih sederhana (Yani, 2012). Hidrokarbon yang telah didegradasi oleh bakteri dapat digunakan sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhannya.

2.5 Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

Beberapa jenis bakteri yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi hidrokarbon dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon

No	Nama Bakteri	Sumber
1.	<i>Pseudomonas</i> sp <i>Bacillus megaterium</i> <i>Alcaligenes</i> <i>Acinetobacter</i> <i>Achromobacter</i> <i>Mycobacterium</i> <i>Flavobacterium</i> <i>Gluconobacter cerenius</i> <i>Arthrobacter</i> <i>Nocardia</i> sp <i>Pseudomonas diminuta</i> <i>Nocardia</i> <i>Pasteurella caballi</i> <i>Bacillus</i> sp	Pagoray (2009)
2.	<i>Pseudomonas</i> <i>Brevibacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> <i>Brevibacterium</i>	Vyatravan (2015)

	<i>Alcaligenes</i> <i>Bacillus</i>	
--	---------------------------------------	--

Menurut Yani (2012) mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon tidak hanya bakteri saja akan tetapi khamir, fungi, dan alga juga dapat mendegradasi hidrokarbon diantaranya:

- a. Bakteri: *Micrococcus*, *Xanthomonas*, *Vibrio*, *Klebsiella*, *Corynebacterium*, *Spirillum*, *Cytophaga*, *Rhizobium*, *Leucothrix*, *Thermomicrobium* dan *Brevibacterium*,.
- b. Khamir: *Rhodotorula*, *Trichosporon*, *Sporobolomyces*, *Cladosporium*, *Aureobasidium*, *Saccharomyces*, *Candida*, dan *Rhodospiridium*.
- c. Fungi: *Cunninghamella*, *Graphium*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Acremonium*, *Mortierella*, *Sphaeropsidales*, *Aspergillus*, dan *Gliocladium Mucoterales*.
- d. Algae: *Prototheca*.
- e. Cyanobacteria: *Coccochloris* sp, *Amphora* sp, *Petalonia*, *Ulva* sp, *Chlorella* spp, *Cylindrotheca*, *Agmenellum* sp, *Microcoleus* sp, *Dunaliella* sp, *Anabaena* spp, *Nostoc* sp dan *Chlamydomonas* sp.

Penambahan bakteri *Bacillus* sp, pada proses bioremediasi mampu mendegradasi tanah tercemar oli (Pagoray, 2009). Penambahan pupuk organik yang mengandung bakteri *Pseudomonas* juga dapat mendegradasi hidrokarbon, dimana bakteri ini mengandalkan hidrokarbon sebagai salah satu sumber karbon dan energi (Pranajaya, 2015). Bakteri *Bacillus altitudinis* adalah jenis bakteri gram positif yang dapat mendegradasi dibenzotiofen pada limbah oli. *Bacillus pumilus* merupakan bakteri yang memiliki kesamaan dengan *Bacillus altitudinis*, dimana bakteri ini mampu mendegradasi senyawa naftalena pada limbah minyak (Charlena, 2010).

2.6. Kotoran Hewan

Kotoran hewan adalah bahan organik yang banyak mengandung mikroba dan juga mengandung nutrisi yang baik untuk pertumbuhan mikroba (Holifah, 2017). Kotoran hewan memiliki unsur hara dan mikroba yang sangat banyak, dibanding dengan pupuk yang berasal dari limbah pertanian (Hapsari, 2010). Kotoran sapi terkandung bahan organik yang tinggi dan juga terkandung beberapa

jumlah mikroorganisme yang dapat dijadikan bioaktivator untuk mempercepat proses pengomposan pada tanah. Feses ialah limbah organik yang bersifat ramah lingkungan dan senyawa yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme (Dewi, 2010). Kotoran hewan mengandung nutrisi yang dapat dijadikan sebagai pupuk organik, salah satu jenis kotoran ternak yang dapat dijadikan pupuk organik yaitu kotoran sapi (Zuhro, 2019).

Secara kimia kotoran sapi memiliki kandungan hara yaitu N 2%, P 1%, K 1% serta terkandung bahan organik 60-70% (Sari, 2017). Menurut Sulaksana (2017) kotoran sapi mengandung kadar air 80%, bahan organik 16%, CaO 0,2%, kadar C/N 20-25%. Kotoran sapi digunakan sebagai pupuk kandang dikarenakan ketersediaannya lebih banyak dibandingkan kotoran hewan lain. Bau khas dari kotoran hewan disebabkan oleh aktivitas bakteri, kotoran hewan dapat digunakan sebagai pupuk kandang (Sari, 2017).

Pupuk kandang sangat baik dijadikan sebagai pembenah tanah serta menjaga kelembaban tanah sehingga dapat memicu pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme tanah. Pupuk kandang memiliki kandungan unsur hara makro dan mikro, unsur hara makro yang terdiri dari unsur nitrogen, fosfor, dan kalium, sedangkan unsur hara mikro terdiri dari mangan (Mn), Boron (Bo), besi (Fe), tembaga (Cu), seng (Zn), dan molibdenum (Mo) (Meriatna, 2018). Unsur hara makro N, P, dan K dapat ditambahkan pada tanah tercemar oli sehingga kadar hara pada tanah tersebut tercukupi, dengan tercukupinya kadar hara pada tanah dapat mendorong kehidupan bakteri dalam tanah. Bakteri memerlukan molekul karbon dalam proses mendegradasi hidrokarbon sebagai salah satu sumber nutrisi dan energi dalam pertumbuhan dan perkembangbiakannya (Hanifah, 2018).

Menurut Bai (2012) mikroba yang terkandung dalam kotoran sapi terdiri dari bakteri yaitu *Bacillus* sp., *Corynebacterium* sp., *Lactobacillus* sp., dan *Vigna sinensis*, jamur seperti *Trichoderma* dan *Aspergillus*, spesies ragi dan protozoa yaitu *Candida* dan *Saccharomyces*. Sedangkan menurut Anwar (2016) Kotoran sapi mengandung bakteri yaitu *Clostridium*, *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Enterobacteriaceae*, *Ruminococcus*. *Bacillus* sp., merupakan bakteri pendegradasi hidrokarbon dan bakteri ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi pada

lingkungan tempat tinggalnya. *Bacillus* sp digunakan dalam mendegradasi senyawa kontaminan organik seperti *styrene*, *trinitrotoluena*, *PAHs*, serta senyawa organik lainnya. *Bacillus* juga umum digunakan dalam degradasi hidrokarbon antara lain adalah *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus pumilis* (Putri, 2013). Menurut Putri (2020) *Lactobacillus* sp., berfungsi dalam mempercepat perombakan bahan-bahan organik. Bakteri *Corynebacterium* sp., dan *Lactobacillus* sp., berpotensi dalam mendegradasi hidrokarbon (Yani, 2012). Selain bakteri, jamur dan kapang seperti *Trichoderma* dan *Aspergillus* mampu mendegradasi hidrokarbon, termasuk khamir dan ragi seperti *Candida* dan *Saccharomyces* (Yani, 2012).

Mikroba memanfaatkan bahan organik baik dalam bentuk limbah maupun nutrisi pendukung lainnya untuk dijadikan sumber karbon atau energi. Keanekaragaman jenis mikroba memungkinkan untuk menguraikan ribuan jenis senyawa organik yang berbeda-beda. Setiap mikroba melakukan reaksi oksidasi dan reduksi dengan mekanisme yang spesifik. Kemampuan tiap-tiap mikroba yang berbeda-beda ini, apabila digabung dalam suatu kultur campuran diharapkan mempunyai kemampuan untuk mendegradasi senyawa organik yang sangat kompleks. Penelitian yang dilakukan Bhaktiara (2015), dengan menggunakan konsorsium mikroba yang terdiri atas *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus* sp. *Micrococcus* sp. dapat mendegradasi limbah minyak bumi yang terdiri atas senyawa hidrokarbon n-alkana dengan C_{10} hingga C_{28} selama 30 hari. Mikroba ini bekerja secara sinergis dengan memotong senyawa hidrokarbon pada tempat yang berbeda, kemudian menggunakan senyawa sederhana hasil degradasi sebagai sumber hidrokarbon dan energinya untuk proses degradasi berikutnya (Charlena, 2010).

Proses degradasi pada limbah oli dibutuhkan unsur hara N, P, dan K serta membutuhkan karbon yang terdapat pada limbah oli untuk proses metabolisme bakteri, dimana unsur hara N berfungsi sebagai penyusun asam nukleat, protein, dan penyusun koenzim, unsur hara P berfungsi sebagai penyusun koenzim, asam nukleat, dan fosfolipid, unsur hara K berfungsi sebagai kofaktor beberapa enzim, sedangkan unsur C digunakan bakteri sebagai penyusun makromolekul sel seperti karbohidrat, protein, lipid, dan asam nukleat. Semua molekul yang mengandung

karbon ini terlibat dalam proses metabolisme bakteri. Kebutuhan nutrisi yang tercukupi dapat menstimulasi perkembangbiakan bakteri dan juga menambah jumlah bakteri sehingga dapat memaksimalkan dan mempercepat laju degradasi hidrokarbon (Barakwan, 2017).



BAB III

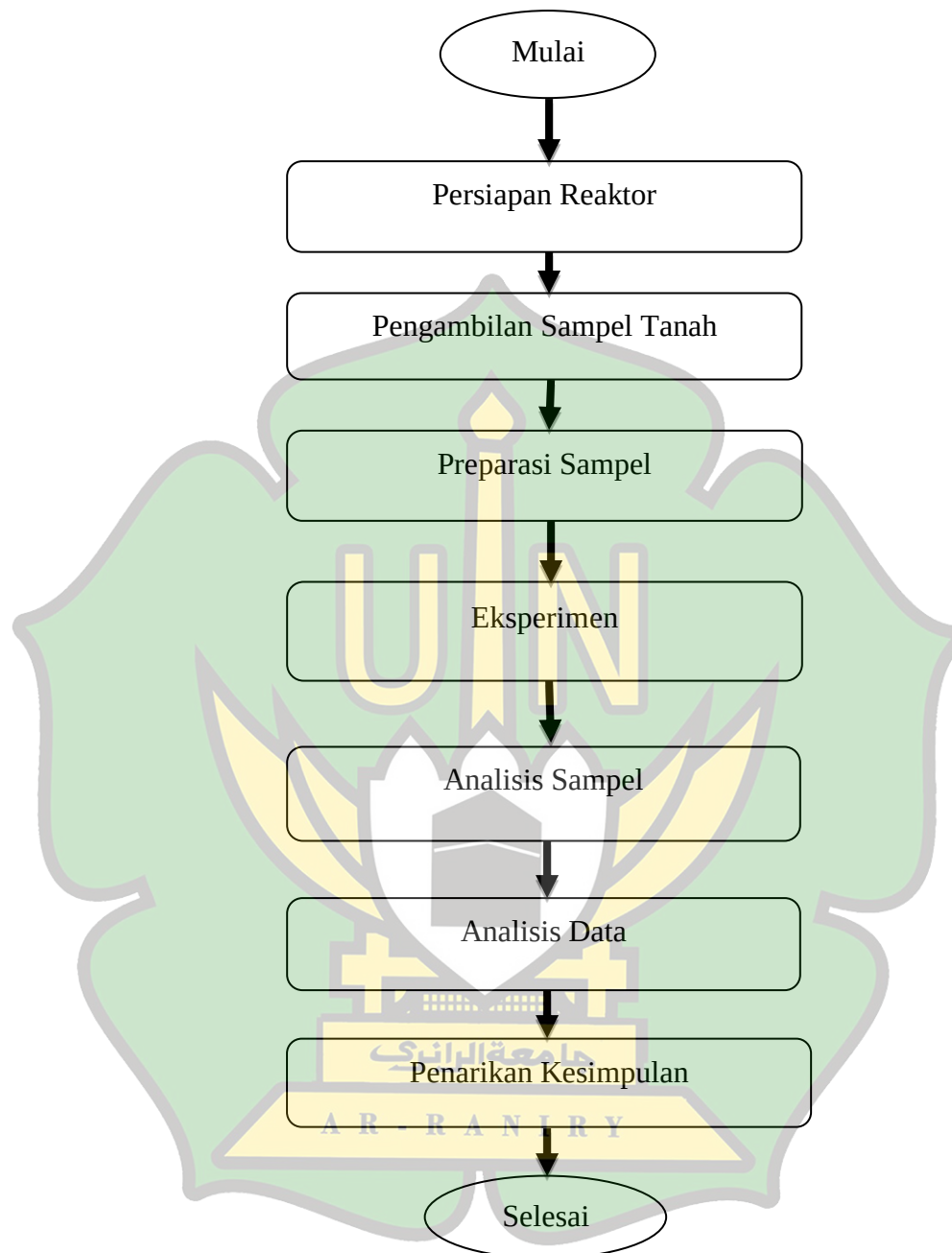
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian secara umum dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu:

1. Persiapan pembuatan reaktor, dilakukan pembuatan reaktor yang akan digunakan untuk eksperimen yaitu menyiapkan reaktor plastik.
2. Pengambilan sampel tanah, dilakukan dengan menggunakan sekop kecil. Sampel tanah yang diambil adalah lapisan atas tanah permukaan (*top soil*).
3. Tahapan preparasi tanah, dilakukan untuk memisahkan batu dan kerikil dari tanah.
4. Tahapan eksperimen, dilakukan dengan penambahan nutrisi (kotoran sapi) dalam reaktor berukuran diameter 15 x 10 cm x 3 cm..
5. Tahapan analisis sampel, dilakukan analisis sampel untuk mengetahui nilai pH, dan TPH 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 menjawab pertanyaan yang timbul dari rumusan masalah dalam penelitian ini yang dijelaskan berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh.

Tahapan dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 22 Desember 2020 - 21 Januari 2021. Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

3.2.2 Waktu

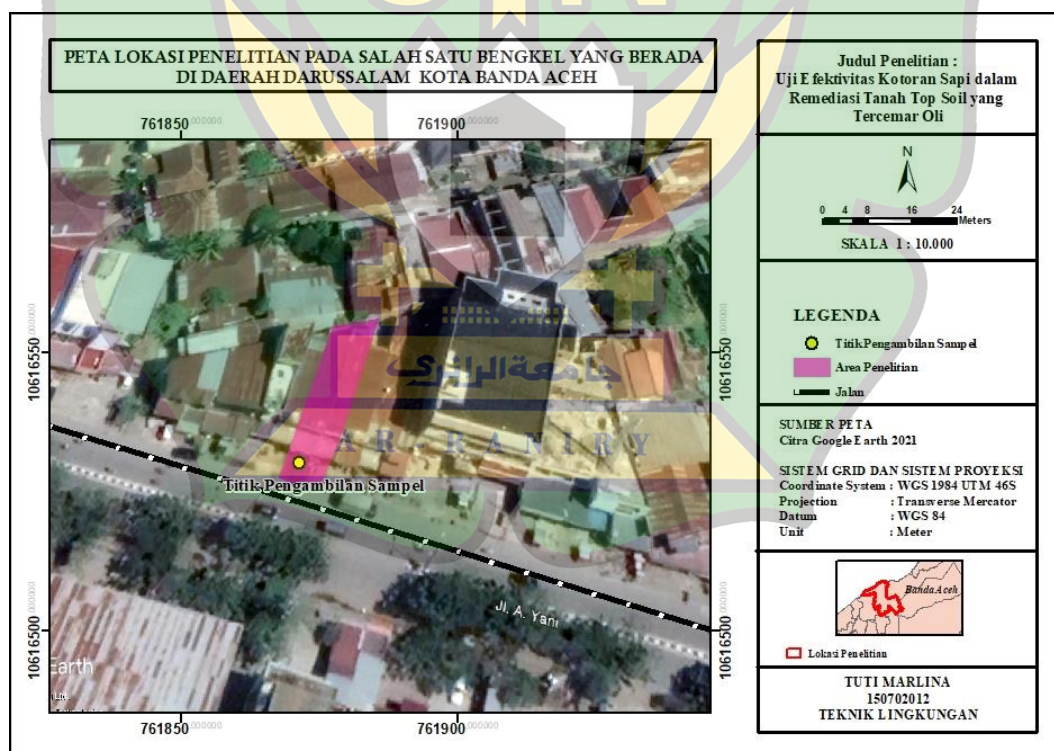
Waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Waktu	Keluaran yang dicapai
1.	Pembuatan reaktor	22/12/2020	Tersedianya reaktor
2.	Pengambilan sampel tanah dan kotoran sapi	22/12/2020	Tersedianya sampel tanah dan kotoran sapi
2.	Preparasi Sampel	22/12/2020	Sampel siap dilakukan eksperimen
3.	Eksperimen	22/12/2020	Sampel siap untuk dianalisis
4.	Analisis sampel	23/12/2020	Terukurnya nilai pH, dan nilai TPH

3.3 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Lokasi pengambilan sampel tanah diambil dari salah satu bengkel yang berada di daerah Darussalam Banda Aceh, bengkel ini sudah beroperasi selama 25 tahun dan kondisi fisik tanah bengkel tersebut sudah berwarna hitam dan berminyak.



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

3.4 Alat dan Bahan

3.4.2 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, *reaktor*, desikator, magnetik *stirrer*, *beaker glass*, *Erlenmeyer*, neraca analitik, kertas saring, timbangan, termometer, *soil tester*, gelas ukur, pipet volume.

3.4.3 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air (H₂O), kotoran sapi, n-heksana dan tanah tumpahan oli diambil dari bengkel yang berada di Daerah Darussalam.

3.5 Metode Kerja

a. Persiapan Reaktor Tanah

Tahap persiapan reaktor tanah adalah sebagai berikut:

1. Reaktor yang dipakai dalam penelitian berupa wadah plastik berbahan polypropylene dan berdimensi 15 x 10 x 3 cm sebanyak 6 buah reaktor (sesuai dengan variasi perlakuan) (Yulianto, 2013).
2. Satu sisi reaktor dilubangi sebanyak 9 lubang dengan masing-masing lubang berdiameter 0,6 cm (Yulianto, 2013).
3. Botol mineral 1,5 L dipasang secara horizontal pada bagian bawah dari wadah yang berlubang (Yulianto, 2013).
4. Reaktor disusun berurutan pada bidang yang lebih tinggi hingga membentuk kemiringan 20° (Yulianto, 2013).

b. Pengambilan Sampel Tanah

Tahap pengambilan sampel tanah adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah diambil dari bengkel Prima Oli yang terletak di Daerah Darussalam dengan kondisi sudah berminyak, berwarna hitam dan berbau oli yang menyengat (Welan, 2019).
2. Sampel tanah diambil sebanyak 1.800 gr pada bagian *top soil* dan terdapat tumpahan oli (Suryatmana, 2019).
3. Sampel tanah diambil dengan kedalaman 20 cm.
4. Sampel dimasukkan ke dalam plastik tebal dan ditutup rapat menggunakan selotip (Sudrajat, 2015).

5. Sampel tanah dibawa ke Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Gambar 3.3. Pengambilan sampel tanah

c. Preparasi Tanah

Tahap preparasi sampel adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah dikering anginkan kemudian dipisahkan dari kerikil dan kotoran lainnya (Sopiah, 2012).
2. Sampel tanah ditumbuk menggunakan mortar dan alu (Sopiah, 2012).

d. Eksperimen

Tahap eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Media tanah dan kotoran sapi disiapkan di Laboratorium Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Kotoran sapi masing-masing 0 gr, 20 gr, 40 gr, 60 gr, 80 gr, dan 100 gr ditambahkan pada sampel tanah dengan massa 300 gr. sehingga diperoleh 6 perlakuan.
3. Sampel diaduk hingga merata dan dimasukkan ke dalam masing-masing reaktor sebanyak 300 gr tanah.
4. Pengolahan dilakukan selama 30 hari (Pratama, 2017).
5. Sampel diaduk dan disiram setiap 2 kali sehari sebanyak 25 mL untuk menjaga homogenitas dan kelembaban tanah (Pranajaya, 2015).
6. Temperatur pengamatan adalah temperatur ruang.
- g. Nilai pH dan TPH diukur setiap 2 hari sekali pada masing-masing perlakuan.

e. **Prosedur Kerja**

Penelitian ini merupakan pengujian biodegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar oli dengan metode *composting* menggunakan kotoran sapi. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan perlakuan pupuk kotoran sapi terdiri dari 6 taraf yang terdiri dari: P0 (tanah tercemar oli), P1 (tanah tercemar oli + 20 gr kotoran sapi), P2 (tanah tercemar oli + 40 gr kotoran sapi), P3 (tanah tercemar oli + 60 gr kotoran sapi), P4 (tanah tercemar oli + 80 gr kotoran sapi), P5 (tanah tercemar oli + 100 gr kotoran sapi), masing-masing perlakuan dimasukkan ke dalam reaktor yang berisi 300 gr tanah tercemar oli. Proses *composting* dilakukan selama 30 hari dan analisis Laboratorium yang terdiri dari uji nilai pH, dan nilai TPH dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, UIN Ar-Raniry.

Perlakuan kotoran sapi pada tanah tercemar oli terdiri atas:

- P0 : 300 kg tanah tercemar oli
- P1 : 300 kg tanah tercemar oli + 20 gr kotoran sapi
- P2 : 300 kg tanah tercemar oli + 40 gr kotoran sapi
- P3 : 300 kg tanah tercemar oli + 60 gr kotoran sapi
- P4 : 300 kg tanah tercemar oli + 80 gr kotoran sapi
- P5 : 300 kg tanah tercemar oli + 100 gr kotoran sapi

f. **Analisis Parameter**

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

1. **Pengukuran pH**

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat *soil tester*. Cara pengukurannya adalah sebagai berikut:

1. *Soil tester* ditancapkan ke dalam sampel untuk pengukuran pH dan ditunggu sekitar 10 menit hingga pointer menunjukkan nilai pH.
2. *Soil tester* dibersihkan dengan tisu.
3. *Soil tester* ditancapkan ke dalam sampel untuk pengukuran pH selanjutnya (Magfirah, 2021).

2. Pengukuran *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

Menurut Juliani (2011), prosedur pengukuran TPH dilakukan dengan prinsip gravimetri dengan cara sebagai berikut:

1. Berat botol via ditimbang setelah di oven dengan suhu 105°C dan dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit (A).
2. Sampel tanah sebanyak 5 gr 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. Ekstraksi dilakukan 2 kali untuk mendapatkan kandungan hidrokarbon lebih baik.
3. Supernatannya (cairan) disaring dengan menggunakan kertas saring untuk menghindari terbawanya partikel-partikel tanah.
4. Supernatant disaring ke dalam vial yang sebelumnya telah di timbang beratnya.
5. Vial yang berisi supernatan dipanaskan dalam oven T = 70°C) sampai seluruh *n-hexane* menguap (tinggal ekstraknya yang berupa minyak) (B). Ekstraksi kedua dilakukan seperti ekstraksi pertama selama 2 jam. 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: TPH_0 = TPH awal (gram)

TPH_n = 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).

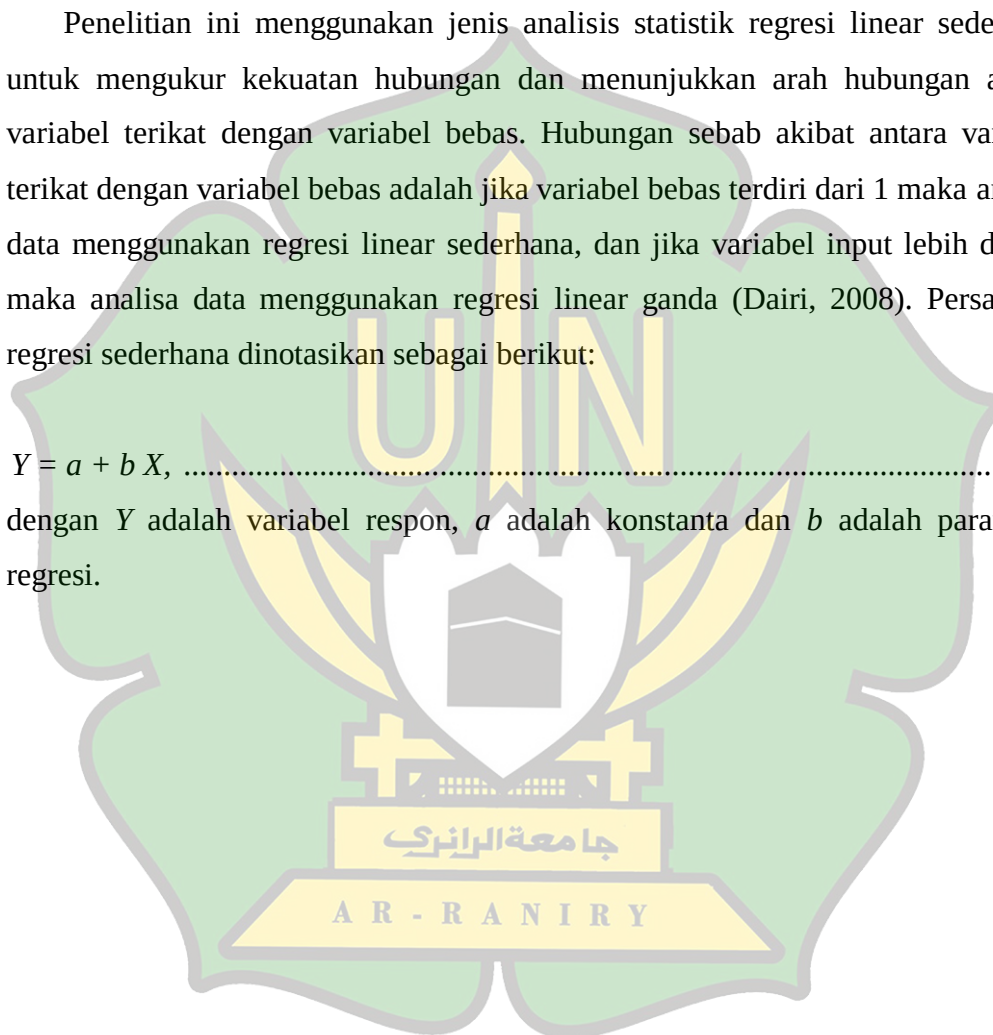
3.6 Analisis Statistik

Analisis statistik berfungsi untuk memberi nilai, arti dan makna yang terkandung dalam data yang diperoleh dari hasil eksperimen. Salah satu analisis data yang paling sering digunakan adalah analisis data statistik yang biasanya menggunakan *software Statistical Products and Solution Services* (SPSS).

Penelitian ini menggunakan jenis analisis statistik regresi linear sederhana untuk mengukur kekuatan hubungan dan menunjukkan arah hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas. Hubungan sebab akibat antara variabel terikat dengan variabel bebas adalah jika variabel bebas terdiri dari 1 maka analisa data menggunakan regresi linear sederhana, dan jika variabel input lebih dari 1, maka analisa data menggunakan regresi linear ganda (Dairi, 2008). Persamaan regresi sederhana dinotasikan sebagai berikut:

$$Y = a + b X, \dots\dots\dots (iv)$$

dengan Y adalah variabel respon, a adalah konstanta dan b adalah parameter regresi.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian terdiri dari 6 perlakuan yaitu 0 gr, 20 gr, 40 gr, 60 gr, 80 gr dan 100 gr kotoran sapi yang ditambahkan pada 300 gr tanah dengan waktu pengolahan 0 hari, 2 hari, 4 hari, 6 hari, 8 hari, 10 hari, 12 hari, 14 hari, 16 hari, 18 hari, 20 hari, 22 hari, 24 hari, 26 hari, 28 hari hingga 30 hari. Hasil penelitian terdiri dari hasil uji parameter pH, dan nilai TPH. Hasil uji parameter TPH dapat dilihat pada Tabel 4.1.

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

Waktu (Hari)	TPH (%)						Baku Mutu
	P0 (0 gr)	P1 (20 gr)	P2 (40 gr)	P3 (60 gr)	P4 (80 gr)	P5 (100 gr)	
0	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	1%
2	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,0	
4	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,0	
6	3,4	3,6	3,6	3,4	3,2	2,8	
8	3,6	3,6	3,6	3,2	3,0	2,6	
10	3,4	3,4	3,0	3,2	3,0	2,4	
12	3,6	3,2	3,2	3,0	2,8	2,4	
14	3,6	3,0	3,2	3,2	2,8	2,4	
16	3,4	2,8	3,0	3,2	2,8	2,4	
18	3,2	2,6	2,6	3,2	2,8	2,4	
20	3,2	2,4	2,8	2,4	2,4	2,4	
22	3,2	2,3	2,8	2,4	2,4	2,4	
24	3,4	2,4	2,6	2,4	1,8	1,6	
26	3,4	2,4	2,0	2,6	1,6	0,4	
28	3,2	2,4	2,0	1,4	1,4	0,4	
30	3,2	1,7	1,8	1,4	1,2	0,4	

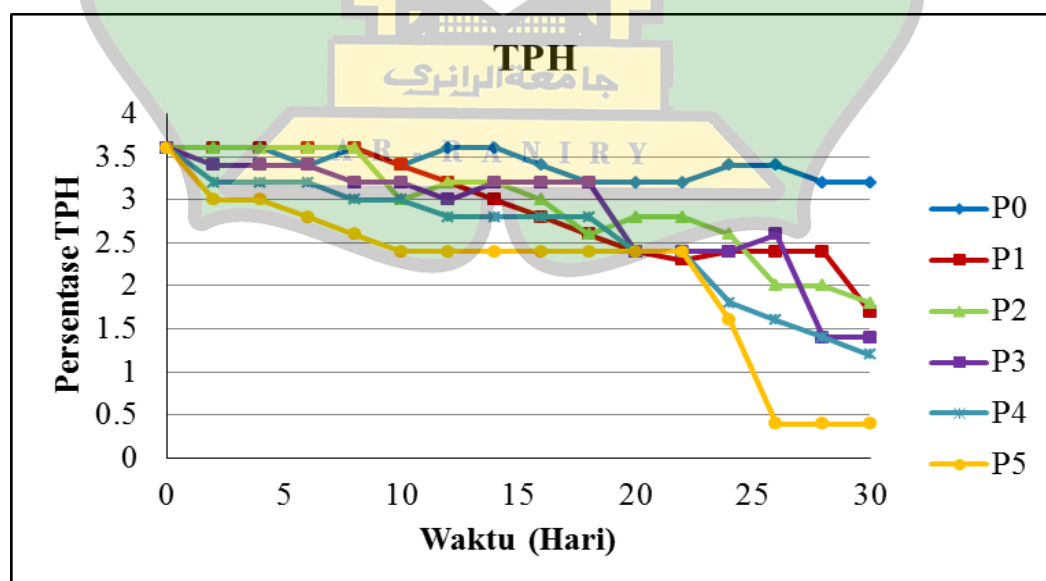
4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh waktu *composting* menggunakan kotoran sapi terhadap parameter *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa nilai TPH terus mengalami penurunan seiring bertambahnya massa kotoran sapi dan lamanya waktu pengolahan (*composting*). Namun, penurunan nilai TPH per 2 hari tidak terlalu berbeda jauh dikarenakan penurunan nilai TPH dalam tanah membutuhkan waktu yang lama dalam memutuskan rantai hidrokarbon. Menurut Putri (2020),

degradasi limbah oli memerlukan waktu yang sangat lama. Pada hari ke 26 penurunan TPH sudah mulai terlihat dikarenakan bakteri yang terdapat dalam kotoran sapi sudah dapat beradaptasi dan mampu mendegradasi hidrokarbon. Hasil uji regresi linear sederhana menunjukkan bahwa ada keterkaitan antara waktu *composting* dengan nilai TPH yang memiliki nilai sig < probabilitas yaitu 0,00. Besarnya pengaruh antara waktu *composting* terhadap nilai TPH yaitu sebesar 78,4%.

Pada perlakuan P5 yaitu penambahan 100 gr kotoran sapi dengan waktu pengolahan 26 hari, nilai TPH sebesar 0,4% dapat dilihat pada Gambar 4.1, yang berarti kotoran sapi mencapai batas optimal dalam menurunkan nilai TPH yang berada pada sampel tanah yang tercemar oli. Selain itu, pada Gambar 4.1 juga terlihat bahwa dengan menambahkan kotoran sapi seperti pada perlakuan P2, P3 dan P4 penurunan hidrokarbon sudah mulai terlihat, meskipun terjadinya fase fluktuatif. Hal ini dikarenakan pertumbuhan bakteri dalam kotoran sapi mengalami fase logaritmik (perbanyak jumlah bakteri). Degradasi hidrokarbon terjadi karena bakteri sudah mulai tumbuh dalam media *composting*. Sehingga bakteri ini sudah mulai beradaptasi dengan limbah hidrokarbon dan menjadikan karbon sebagai sumber nutrisinya. Menurut Nugroho (2006), bakteri dalam aktivitas hidupnya memerlukan molekul karbon sebagai salah satu nutrisi dan energi untuk melakukan metabolisme dan perkembangbiakannya.



Gambar 4.1. Grafik nilai persentase TPH

Selain nutrisi yang berperan dalam proses penurunan rantai hidrokarbon, bakteri juga mampu menghasilkan enzim yang dapat memutuskan rantai hidrokarbon. Setiap mikroorganisme memiliki metabolisme dalam siklus kehidupannya, metabolisme ini selalu berkaitan dengan kerja enzim. Menurut Aryulina (2006), enzim adalah suatu zat yang mempercepat suatu reaksi akan tetapi tidak ikut bereaksi. Dalam pertumbuhannya bakteri juga mengalami proses metabolisme yang dipengaruhi oleh kerja enzim. Hal ini sesuai dengan pernyataan Susanti (2017), 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 air (H_2O) dan karbondioksida (CO_2). Biodegradasi oleh bakteri dapat terjadi karena adanya aktivitas enzim yang dimiliki oleh masing-masing bakteri. Melalui proses enzimatik, bakteri dapat melakukan transformasi substansi hidrokarbon menjadi bentuk yang lebih sederhana yang dapat diserap oleh bakteri sebagai nutrisi bagi pertumbuhannya.

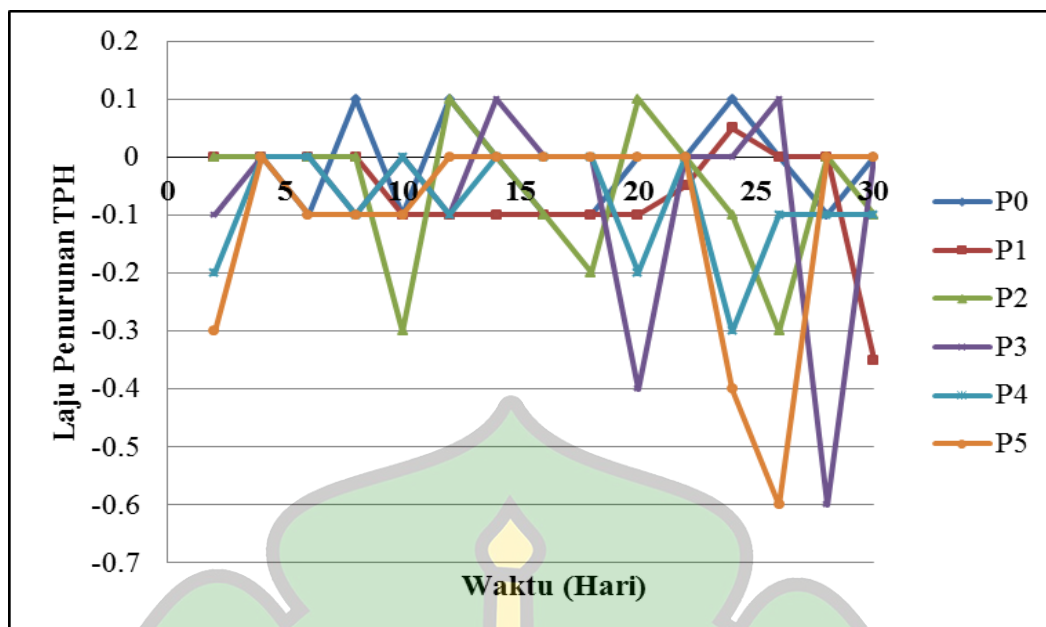


Gambar 4.2. Reaksi hasil produk hidrokarbon (Sumber: Pagoray, 2009).

Reaksi enzimatik yang dilakukan oleh bakteri yang meliputi biodegradasi hidrokarbon seperti alkana monooksidase, alkohol dehidrogenase, dan formaldehid dehidrogenase. Tahapan pertama dalam pemutusan rantai hidrokarbon yaitu dalam bentuk alkana monooksigenase kemudian baru pembentukan alkana menjadi alkohol dehidrogenase, dari alkohol menjadi formaldehid dehidrogenase yang akan menyebabkan oksidasi dari aldehyd dan menghasilkan asam lemak yang kemudian akan dioksidasi lagi menjadi air (H_2O), karbondioksida (CO_2) dan energi, selebihnya akan dimanfaatkan oleh bakteri untuk sintesis yang baru (Yudono, 2013). Produksi gas karbon seperti CO_2 , H_2O dan energi menunjukkan bahwa dalam proses metabolisme yang dilakukan oleh bakteri terjadi secara sempurna dalam mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar oli.

Jenis mikroba yang terdapat dalam kotoran sapi terdiri dari beberapa jenis yaitu *Bacillus* sp., *Aspergillus* sp., dan *Candida*. Menurut Charlena (2010) dan Wignyanto (2020), bakteri yang mampu hidup di lingkungan hidrokarbon yaitu bakteri seperti *Bacillus* sp. dan kapang seperti *Aspergillus* sp. Menurut Sudrajat (2016), selain bakteri dan kapang, jamur seperti *Candida* juga mampu mendegradasi hidrokarbon dan menggunakan komponen organik sebagai sumber makanan. Pada penelitian Sudrajat (2016), menyatakan bahwa adanya penurunan TPH terbesar dicapai oleh isolat kapang *Aspergillus niger* yaitu sebesar 78% dengan waktu inkubasi selama 30 hari. Pada penelitian Pratama (2017) waktu inkubasi selama 30 hari dengan menambahkan isolat bakteri *Bacillus* sp., memperoleh hasil degradasi TPH mencapai 93,66%. Hal ini kemungkinan disebabkan *Bacillus* sp. merupakan mikroba yang berkemampuan enzimatik lebih lengkap untuk penguraian hidrokarbon, sehingga mampu menguraikan komponen minyak karena dapat mengoksidasi hidrokarbon yang digunakan sebagai donor elektronnya dibandingkan *Aspergillus* sp., dan *Candida*.

Menurut penelitian Holifah (2018) 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 nilai TPH pada limbah *oil sludge* dalam waktu 5 minggu dengan persentase penurunan mencapai 68,83%. Hal ini menunjukkan perbedaan persentase penurunan dan waktu *composting* dengan menggunakan kotoran kambing dan kuda dapat menurunkan nilai TPH sebesar 68,83% sedangkan menggunakan kotoran sapi dalam waktu 4 minggu dapat menurunkan nilai TPH sebesar 86,66%. Dapat disimpulkan dengan metode *composting* menggunakan kotoran sapi lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan kotoran kambing dan kuda. Menurut Juliani (2011), waktu berpengaruh terhadap degradasi nilai TPH, semakin lama waktu *composting* maka nilai degradasi TPH semakin meningkat. Laju degradasi TPH per 2 hari dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik laju degradasi TPH

Berdasarkan Gambar 4.4, laju degradasi terlihat adanya gradien nilai positif dan negatif, nilai positif menandakan bahwa tidak terjadinya penurunan nilai TPH pada tanah tercemar oli sedangkan nilai negatif menandakan bahwa adanya penurunan nilai TPH pada tanah tercemar oli. Pada perlakuan P1, laju degradasi nilai TPH meningkat pada hari ke-28 hingga hari ke-30, pada perlakuan P2 laju degradasi meningkat pada hari ke-22 hingga hari ke-26. Laju degradasi pada perlakuan P1, dan P2 lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan P3, P4 dan P5. Hal ini menandakan bahwa bakteri dalam kotoran sapi membutuhkan waktu lebih lama untuk beradaptasi dan mendegradasi nilai TPH pada tanah tercemar oli. Lamanya waktu yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mendegradasi nilai TPH pada tanah tercemar oli dipengaruhi oleh tingginya hidrokarbon yang terdapat di dalam tanah. Menurut Putri (2020), degradasi limbah oli memerlukan waktu yang sangat lama. Jadi semakin lama waktu *composting*, penurunan TPH juga semakin menurun yang menandakan bahwa bakteri sudah mampu bertahan dalam media tanah.

Menurut Lestari (2018), jika komponen hidrokarbon yang konsentrasinya terlalu tinggi kemungkinan dapat bersifat toksik bagi mikroba. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi senyawa hidrokarbon pada zat tercemar, maka semakin lama mikroorganisme melakukan degradasi senyawa hidrokarbon

tersebut. Tanah tercemar oli diduga pertumbuhan bakteri terhambat karena tidak terpenuhinya sumber nutrisi seperti nitrogen dan fosfor. Jumlah kedua unsur ini sangat sedikit di dalam tanah tercemar oli (Nugroho, 2007). Penambahan kotoran sapi yang sedikit menyebabkan kurangnya unsur nitrogen dan fosfor dalam tanah tercemar oli.

Laju degradasi nilai TPH pada tanah tercemar oli diketahui meningkat pada perlakuan P5 dan terjadi pada hari ke-22 hingga hari ke-26. Pada perlakuan P4s terjadi pada hari ke-18 hingga hari ke-24 dan pada perlakuan P3 laju degradasi terjadi pada hari ke-24 hingga hari ke-28. Komponen yang rendah konsentrasinya lebih mudah terdegradasi karena dapat menunjang pertumbuhan dan perkembangan populasi mikroba. Namun jika terlalu rendah konsentrasinya, mikroba tidak cukup mendapatkan energi. Hal ini terlihat pada perlakuan P5 bahwa laju penurunan TPH pada hari ke-28 hingga hari ke-30 sudah memasuki fase stasioner. Menurut Efendi (2017), terjadinya fase stasioner disebabkan oleh berkurangnya nutrisi dan substrat di dalam media tanah, sehingga bakteri tidak lagi memiliki sumber makanan. Pengolahan limbah hidrokarbon yang dilakukan oleh bakteri memiliki tingkat persentase penurunan yang berbeda-beda tergantung dari banyaknya konsentrasi zat pencemar yang terdapat di dalam tanah.

Laju degradasi TPH mengalami naik turun dikarenakan setiap bakteri memiliki ketahanan hidup yang berbeda-beda. Selain itu, penurunan nilai TPH dikarenakan beberapa bakteri sedang dalam fase eksponensial yang menyebabkan laju degradasi mengalami penurunan, sedangkan kenaikan laju degradasi terjadi karena sebagian bakteri masih dalam fase lag atau fase adaptasi. Menurut Junaidi (2013) ketersediaan unsur hara nitrogen terlalu rendah akan berpengaruh terhadap perkembangan bakteri. Pertumbuhan bakteri tidak semuanya sama, ada beberapa bakteri yang tidak mampu menguraikan hidrokarbon dalam konsentrasi yang tinggi. Masih menurut Junaidi (2013), konsentrasi kotoran sapi yang terlalu rendah tidak cukup untuk merangsang bakteri dalam mendegradasi hidrokarbon dalam konsentrasi yang terlalu tinggi karena energinya tidak cukup. Menurut Bhaktinagara (2015), bakteri yang paling potensial adalah bakteri *Bacillus* sp., dan telah diidentifikasi sebagai pendegradasi petroleum hidrokarbon. Hal ini

menandakan bahwa bakteri *Bacillus* sp., memiliki tingkat pemutusan rantai hidrokarbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan khamir dan kapang.

4.2.2 Pengaruh konsentrasi kotoran sapi terhadap parameter (*Total Petroleum Hydrocarbon*) TPH

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan kotoran sapi pada tanah yang tercemar oli maka semakin kecil persen TPH yang dihasilkan. Penurunan yang signifikan dapat dilihat pada perlakuan P5 yaitu dengan tanah sebanyak 300 gr dan kotoran sapi sebanyak 100 gr, dikarenakan mikroba pada reaktor tersebut berjumlah banyak sehingga mampu menurunkan nilai TPH. Proses bioremediasi dapat dilihat pada Gambar 4.5, hari ke-30 pada perlakuan P5 menunjukkan bahwa warna tanah sudah berubah dari hitam menjadi agak kecoklatan yang menandakan bahwa bakteri dalam dalam kotoran sapi mampu bekerja dan mampu menurunkan nilai TPH.



(a) Tanah hari ke 0 (b) Tanah hari ke 30

Gambar 4.5 Tanah tercemar oli hari ke-0 dan hari ke-30

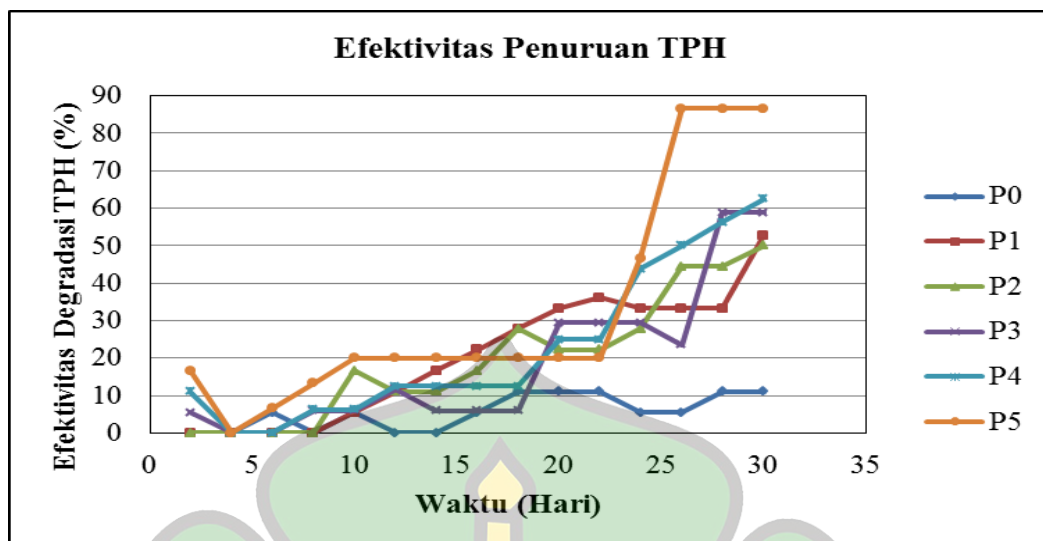
Hal ini diperkuat oleh Yulianto (2013) menyatakan bahwa dengan pemberian kotoran sapi yang semakin banyak maka akan menghasilkan nilai TPH yang lebih bagus. Hasil uji regresi linear sederhana menunjukkan adanya pengaruh antara konsentrasi kotoran sapi dengan nilai TPH yang memiliki nilai $\text{sig} < \text{probabilitas } 0,05$ yaitu 0,004, dengan nilai pengaruhnya sebesar 89,8%. Penambahan kotoran sapi dapat menjadi sumber nutrisi bagi bakteri karena terdapat unsur nitrogen dan fosfor. Ketersediaan nutrisi yang semakin tinggi akan memicu pertumbuhan bakteri, sehingga dengan penambahan kotoran sapi yang

semakin banyak maka jumlah nilai 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 bagus dalam menguraikan hidrokarbon dalam tanah tercemar oli. Menurut Bhaktinagara (2015), penambahan nutrisi berupa nitrogen dan fosfor akan digunakan mikroba untuk hidup dan mensintesis enzim pendegradasi hidrokarbon selama fase lag. Nutrien yang dibutuhkan dan digunakan dalam aktivitas metabolisme selama fase lag harus lebih tinggi agar mikroba dapat bertahan hidup dan beradaptasi pada tanah yang tercemar oli.

Menurut Pratama (2017), tentang pengaruh isolat *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. dengan biostimulasi kompos jerami padi (*Oryza sativa* L.) terhadap penurunan total petroleum hidrokarbon tanah tercemar oli bekas menyatakan bahwa dengan menambahkan bakteri *Bacillus* sp. dan konsentrasi kompos sebanyak 20 gr mampu menurunkan nilai TPH sebesar 93,66%. Sedangkan dengan menggunakan metode *composting* dengan penambahan kotoran sapi hanya mampu menurunkan nilai TPH sebesar 86,66%.

4.2.3 Pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi dan waktu *composting* terhadap efektivitas penurunan TPH

Efektivitas degradasi TPH yang optimum terjadi pada perlakuan P5 dengan waktu 26 hari yaitu sebesar 86,66%, dapat dilihat pada Gambar 4.6. Peningkatan % efisiensi degradasi TPH ini disebabkan adanya reaksi biologis dari konsorsium inokulan yang ditandai dengan penggunaan substrat secara optimum dan didukung dengan penambahan kotoran sapi yang berfungsi sebagai pengatur porositas. Sebaliknya, % efisiensi degradasi TPH pada perlakuan kontrol berjalan sangat lambat. Hal ini disebabkan laju penurunan konsentrasi TPH yang bersifat alamiah dengan adanya reaksi biologis dari mikroorganisme dalam tanah. Mikroorganisme ini juga mempunyai kemampuan dalam proses pemanfaatan substrat untuk dijadikan sumber makanan.



Gambar 4.6. Grafik efektivitas TPH

Penurunan nilai TPH yang kurang baik pada proses bioremediasi tanah terkontaminasi limbah oli selain sulitnya didegradasi dugaan lain yaitu kurangnya nutrisi dalam media tanah. Faktor nutrisi yang diperlukan adalah karbon yang didapat dari hidrokarbon minyak pelumas. Oleh karena itu, bakteri yang hidup di lingkungan hidrokarbon minyak pelumas dan tidak mampu memecah hidrokarbon maka tidak akan memperoleh karbon sebagai sumber energinya dan tidak mampu bertahan hidup sehingga proses degradasi hidrokarbon akan berjalan sangat lambat. Junaidi (2013) menyatakan efektivitas seluruh proses bioremediasi tergantung pada penambahan pupuk dan total mikroba. Penambahan konsentrasi kotoran sapi dapat mempengaruhi aktivitas dan perkembangan mikroorganisme sehingga meningkatkan total mikroorganisme dalam tanah.

Selain karbon, pertumbuhan bakteri juga memerlukan unsur lain yaitu nitrogen, fosfor, belerang, kalium, magnesium dan besi. Dari deretan unsur tersebut, nitrogen dan fosfor merupakan unsur esensial untuk mendukung biodegradasi hidrokarbon minyak bumi. Pada perlakuan P1, P2, P3 dan P4 diduga unsur nitrogen dan fosfor yang terdapat dalam kotoran sapi berjumlah lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan P5, sehingga proses degradasi terhadap nilai hidrokarbon juga lebih sedikit. Perlakuan P0 (kontrol) juga mengalami penurunan nilai TPH diduga dalam tanah tercemar oli terdapat bakteri yang berpotensi mendegradasi hidrokarbon. Menurut Holifah (2018) mikroba

indigenous dalam tanah tercemar oli mempunyai kemampuan dalam menurunkan TPH walaupun tanpa penambahan kotoran hewan.

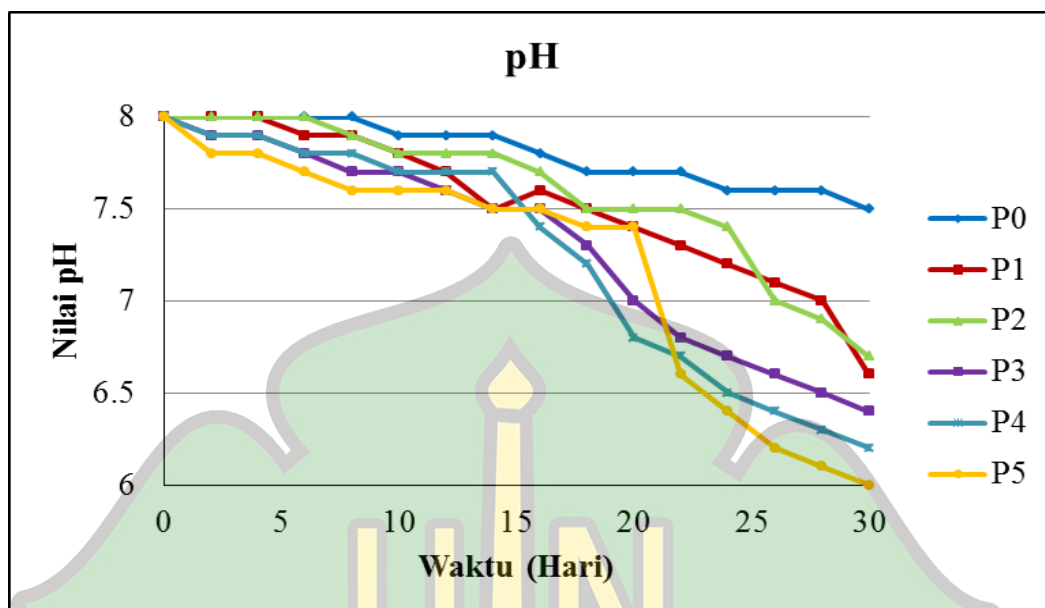
Naik turunnya nilai efektivitas nilai TPH dikarenakan bakteri yang ada dalam kotoran sapi belum mampu mendegradasi tanah tercemar oli secara menyeluruh. Peristiwa ini diduga karena tanah yang diambil pada saat pengujian adalah bagian tanah yang masih mengandung limbah oli yang belum terdegradasi oleh bakteri. Menurut Hafiluddin (2011), sampel tanah yang diambil pada saat pengujian yang kurang merata akan berpengaruh terhadap hasil TPH. Oleh karena itu perlunya pengadukan dan penggemburan tanah agar porositas tanah lebih tinggi, karena porositas berpengaruh terhadap hasil TPH. Sehingga sampel yang terambil pada bagian tanah yang menggumpal akan terperangkap minyak di dalamnya dan mengandung TPH yang tinggi.

Bakteri mampu menurunkan nilai TPH pada tanah tercemar oli. Dilihat dari visualisasi grafik menunjukkan bahwa setiap perlakuan mengalami penurunan persentase TPH. Menurut Manalu (2013), penurunan nilai TPH dapat terjadi karena pertumbuhan bakteri berada pada fase puncak dan bakteri terus melakukan degradasi pada tanah tercemar oli. Fase pertumbuhan secara cepat dari fase lag menuju fase log ini terjadi pada hari ke 24 dan bakteri sudah mampu menurunkan nilai TPH sebesar 86,66%. Sedangkan pada perlakuan lain, bakteri belum mampu mencapai fase log sehingga penurunan nilai TPH masih sedikit. Nilai TPH pada tanah yang tercemar oli dengan penambahan kotoran sapi sebanyak 100 gr pada 300 gr tanah sudah mampu menurunkan nilai TPH dari 3,6% menjadi 0,4% dan sudah sesuai dengan baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128/2003 dengan nilai TPH pada tanah yaitu 1%.

4.2.4 Pengaruh penambahan konsentrasi kotoran sapi dan waktu *composting* terhadap nilai pH

Hasil uji pH dapat dilihat pada Gambar 4.7, keadaan awal pH yaitu 8 yang berarti pH tersebut termasuk basa. Namun setelah perlakuan dan proses komposting dengan menambahkan kotoran sapi maka pH mengalami penurunan menjadi pH 6, yang menunjukkan bahwa mikroorganisme sudah mulai beradaptasi dalam memutuskan rantai hidrokarbon. Menurut Aliyanta (2011), kebanyakan bakteri akan tumbuh pada pH netral atau sedikit alkali dan bakteri

lebih cepat mendegradasi limbah oli pada pH netral dibandingkan dengan pH asam atau basa.



Gambar 4.7. Grafik nilai pH

Terjadi penurunan nilai pH pada setiap perlakuan dan penurunan yang paling signifikan terjadi pada perlakuan P5 (100 gr kotoran sapi pada 300 gr tanah). Hal ini diduga bakteri pengurai hidrokarbon yang terdapat pada perlakuan P5 memiliki jumlah koloni yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Selain itu, penurunan tersebut menunjukkan bahwa akumulasi asam-asam organik sebagai hasil akhir metabolisme meningkat seiring dengan bertambahnya waktu inkubasi (Sudrajat, 2016). Menurut Pranajaya (2015), penurunan pH yang sedikit akan berpengaruh terhadap laju degradasi TPH. Besarnya penurunan pH bergantung pada besarnya persentase degradasi. Semakin besar aktivitas mikroba pendegradasi maka semakin besar penurunan pH yang dihasilkan. Hasil uji regresi linear sederhana menunjukkan adanya pengaruh konsentrasi kotoran sapi dengan nilai pH yang memiliki nilai sig < probabilitas 0,05 yaitu 0,005 yang berarti bahwa konsentrasi kotoran sapi berpengaruh terhadap penurunan nilai pH. Besarnya pengaruh antara waktu *composting* terhadap nilai pH yaitu sebesar 89,1%.

Mikroorganisme umumnya tumbuh pada pH sekitar 6-9 (Amalia, 2019), sedangkan pada setiap perlakuan memiliki nilai pH sekitar 6-8, sehingga bakteri

masih mampu bertahan hidup pada media tanah tercemar oli. Bakteri yang mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar oli awalnya terjadi karena penambahan oksigen membentuk alkohol primer dengan bantuan enzim oksigenase yang dihasilkan oleh bakteri *Bacillus sp.* kemudian oksidasi dilanjutkan terhadap alkohol primer sehingga membentuk aldehid yang menghasilkan asam lemak dan akan membentuk asam asetat. Asam asetat inilah yang menyebabkan penurunan pH pada tanah tercemar oli (Mujab, 2011).



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Waktu *composting* tanah *top soil* tercemar oli dengan penambahan kotoran sapi berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.
2. Penambahan konsentrasi kotoran sapi pada tanah *top soil* tercemar oli berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.
3. Penambahan konsentrasi dan waktu *composting* tanah tercemar oli dengan penambahan kotoran sapi berpengaruh terhadap efektivitas penurunan nilai TPH sebesar 86,66% pada perlakuan P5 (100 gr kotoran sapi + 300 gr tanah tercemar oli).
4. Penambahan konsentrasi dan waktu *composting* berpengaruh terhadap penurunan pH pada sampel.

5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Diperlukan uji *Total Plate Count* (TPC) setelah ditambahkan kotoran sapi pada sampel tanah tercemar oli untuk mengetahui jumlah mikroba yang terdapat dalam sampel.
2. Diperlukan pengujian analisa *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa hidrokarbon apa yang dapat diputuskan oleh bakteri dalam kotoran sapi.
3. Diperlukan uji unsur nitrogen dan fosfor setelah penambahan kotoran sapi pada tanah tercemar oli.
4. Tanah tercemar oli dengan metode remediasi perlu dilakukan uji dalam skala besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahda, Y., dan Fitri, L. (2016). Karakterisasi Bakteri Potensial Pendegradasi Oli Bekas pada Tanah Bengkel di Kota Padang. *Journal Of Saintek 8 (2)*, Hal: 98-103.
- Algusri, M., dan Redantan, D. (2019). Thermoelectric untuk Daya Blower Pemanas Kandang Ayam Oli Bekas. *Sigma Teknika, Vol.2, No.1*, Hal: 106-114.
- Alirejo, M. S., Daging, I. K., Martin, B., dan Siahaan, J. P. (2018). Kajian Penerapan Viskositas Minyak Pelumas pada Mesin Penggerak Utama Kapal Perikanan di Pt. Hasil Laut Sejati. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Terapan Vol: 1 No: 01* , Hal: 30-37.
- Aliyanta, B., Sumarlin, L. O., dan Mujab, A. S. (2011). Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Minyak Bumi. *Valensi Vol. 2 No. 3*, Hal: 430-442.
- Anwar, H. (2016). *Peningkatan Efektivitas Produksi Gas Metana dari Jerami Padi dan Kulit Kopi Menggunakan Mikroorganisme Kotoran Sapi, Cairan Rumen, dan Mikroorganisme Efektif (EM)*. Surabaya: Program Magister Bidang Keahlian Teknologi Proses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ariani, L. (2019). *Efektivitas Kombinasi EM4 dan Tanah Humus dalam Proses Bioremediasi Limbah Oli*. Banda Aceh: Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Aryulina, D., Muslim, C., Manaf, S., dan Winarni, E. W. (2006). *Biologi 3*. Jakarta: Erlangga.
- Amalia, A., Nugraha, F. S., dan Ali, D. M. (2019). Penggunaan Kompos Tanaman dan Pupuk Hayati yang Mengandung Pseudomonas untuk Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal Envirotek Vol 11 No 1*, Hal: 17-24.
- Bai, S., Kumar, M. R., Kumar, D. M., P. B., Kumaran, M. B., dan Kalaichelvan, P. (2012). Cellulase Production by *Bacillus Subtilis* Isolated from Cow Dung. *Archives Of Applied Science Research.*, 4 (1), Hal:269-279.
- Bhaktinagara, R. A., Supriyadi, A., dan Raharjo, B. (2015). Biodegradasi Senyawa Hidrokarbon oleh Strain *Bacillus Cereus* (VIC) pada Kondisi Salinitas yang Berbeda. *Jurnal Biologi, Volume 4 No 3* , Hal. 62-71.
- Badan Pusat Statistik. (2020). Data Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2017, <https://www.bps.go.id>, diakses pada tanggal 28 Juli 2020.
- Barakwan, R. A. (2017). *Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar Crude Oil di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro dengan Metode Co-Composting Aerobik*. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Teknik

Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Charlena. (2010). *Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Berat Menggunakan Konsorsium Bakteri*. Bogor: Skripsi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Dahlan, M. H., Setiawan, A., dan Rosyada, A. (2014). Pemisahan Oli Bekas dengan Menggunakan Kolom Filtrasi dan Membran Keramik Berbahan Baku Zeolit dan Lempung. *Teknik Kimia No. 1, Vol. 20*, 38-45.
- Das, N., dan Chandran, P. (2011). Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: *An Overview. Biotechnology Research International Volume 2011*, Hal: 1-14.
- Dewi, P. R., dan Paradita, K. O. (2010). Pembuatan Pupuk Organik Cair Dari Kotoran Hewan (Sapi). *Laporan Tugas Akhir Program Studi Diii Teknik Kimia*, Hal: 1-37.
- Dyah, T. R., dan Adhari, D. A. (2013). Efektivitas Serbuk Gergaji Campuran Media pada Remediasi Lahan Tercemar Lumpur minyak Bumi. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa Vol. 3 No.1*, Hal: 41-53.
- Efendi, Y., Yusra, dan Efendi, V. O. (2017). Optimasi Potensi Bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai Sumber Enzim Protease. *Jurnal Akuatika Indonesia Vol. 2 No. 1 Issn : 2528-052x*, Hal: 87-94.
- Fazilla, S. (2019). *Efektivitas Kombinasi Pupuk Cair dan Tanah Kompos dalam Proses Bioremediasi Limbah Oli*. Banda Aceh: Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Fierdaus, M. (2009). Pengaruh Penambahan Kultur *Pseudomonas aeruginosa* dan *Bacillus lentimorbus* terhadap Aktivitas Mikroorganisme Indigenous yang Terkandung di Air Terproduksi pada Reduksi Kandungan Hidrokarbon dalam Lumpur Minyak Skala Laboratorium. *Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 43. No. 1*, Hal: 45 - 52.
- Hanifah, N. N., dan Yuliani, H. F. (2018). Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi dengan Penambahan Kompos Berbahan Baku Limbah Cair Tahu dan Kulit Pisang. *Lenterabio Vol. 7 No. 1*, Hal: 61-65.
- Hafiluddin. (2011). Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Teknik Bioaugmentasi dan Biostimulasi. *EMBRYO Vol. 8 No 1*, Hal: 47-53.
- Handrianto, P. (2018). Mikroorganisme Pendegradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal Sain health Vol. 2 No. 2*, Hal: 3-42.
- Holifah, S. (2017). Analisis Penambahan Kotoran Kambing dan Kuda pada Proses Bioremediasi Oil Sludge Di Pertambangan Desa Wonocolo. *Skripsi Jurusan Kimia*, Hal: 1-43.

- Hapsari, A. Y. (2013). *Kualitas dan Kuantitas Kandungan Pupuk Organik Limbah Serasah dengan Inokulum Kotoran Sapi Secara Semi Anaerob*. Surakarta: Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Holifah, S. (2017). *Analisis Penambahan Kotoran Kambing dan Kuda pada Proses Bioremediasi Oil Sludge di Pertambangan Desa Wonocolo*. Semarang: Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Ichtiakhiri, T. H., dan Sudarmaji. (2015). Pengelolaan Limbah B3 dan Keluhan Kesehatan Pekerja di PT. Inka (Persero) Kota Madiun. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol. 8, No. 1*, Hal: 118-127.
- Juliani, A., dan Rahman, F. (2011). Bioremediasi Lumpur Minyak (Oil Sludge) dengan Penambahan Kompos sebagai Bulking Agent dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan Volume 3, Nomor 1*, Hal: 001-018.
- Junaidi, Muyassir, dan Syafruddin. (2013). Penggunaan Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan Pupuk Kandang dalam Bioremediasi Inceptisol Tercemar Hidrokarbon. *Jurnal Konservasi Sumber Daya Lahan Vol 1, No. 1*, Hal: 1
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2003. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan. Teknis Pengolahan Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi Limbah Minyak Bumi secara Biologis*. Jakarta: Departemen Lingkungan Hidup.
- Kurniawan, A., dan Effendi, A. J. (2014). Biodegradasi Residu Total Petroleum Hidrokarbon di Bawah. *Jurnal Manusia dan Lingkungan, Vol. 21, No.3*, Hal: 286-294
- Magfirah. (2021). Pembuatan Kompos Limbah Ikan dengan Menggunakan Bioaktivator Kotoran Ayam. *Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan*, Hal: 1-58.
- Mujab, A. S. (2011). *Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Bumi*. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi, Hal: 1-105.
- Nirmala, W., Saleh, H. A., & Novianty, L. (2014). Kinetika Biodegradasi Limbah Minyak Bumi Menggunakan Kompos. *Al Kimia*, Hal: 52-67.
- Novia, D., dan Rakhmadi, A. (2018). *Karakteristik Pupuk Organik Berkualitas Berbasis Mikroorganisme Lokal (MOL) Feses*. Padang: Laporan Akhir Riset Terapan Universitas Andalas.
- Nugroho, A. (2006). Biodegradasi Sludge Minyak Bumi dalam Skala Mikrokosmos: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment. *MAKARA, TEKNOLOGI, Vol. 10, NO. 2*, Hal: 82-89.

- Pagoray, H. (2009). *Biostimulasi dan Bioaugmentation untuk Bioremediasi Limbah Hidrokarbon Serta Analisis Keberlanjutan*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Prayitno, H. T. (2014). Strategi Pemanfaatan Kotoran Sapi. *Jurnal Litbang Vol. X, No. 1*, Hal: 43-51.
- Pranajaya, D., Hatiningrum, W. R., dan Raharjo, M. S. (2015). Bioremediasi pada Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi. *Jurnal ESDM, Volume 7, Nomor 2*, Hal: 61-70.
- Pratama, S. F., dan Handayani, D. (2017). Pengaruh Isolat *Pseudomonas* Sp. dan *Bacillus* sp. dengan Biostimulasi Kompos Jerami Padi (*Oryza Sativa* L.) Terhadap Penurunan Total Petroleum Hidrokarbon Tanah Tercemar Oli Bekas. *Journal Biosains Volume 1 Nomor 2* , Hal: 322-328.
- Putri, M. D., Ali, F., dan Zulkifliani, A. (2013). Bioremediasi Tanah yang Terkontaminasi Minyak Bumi Dengan Metode Bioventing Terhadap Penurunan Kadar Total Petroleum Hidrokarbon dan BTEX. *Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, Hal: 1-20.
- Putri, N. M. (2020). *Uji Efektivitas EM4 dalam Mendegradasi Total petroleum Hydrocarbon pada Limbah Oli*. Banda Aceh: Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
- Rahayu, S. (2015). *Pengaruh Sumber Karbon dan Nitrogen pada Produksi Biosurfaktan oleh Bakteri Pseudomonas aeruginosa BIOPA 2411*. Surabaya: Skripsi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sari, S. N. (2017). *Pengaruh Imbangan Limbah Jamu Labio-1 dan Feses Sapi terhadap Kandungan Phospor (P) dan Kalium (K) pada Kompos*. Makassar: Skripsi Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin.
- Sopiah, N., Sumarlin, L. O., Hermanto, S., dan Mubarok, Z. R. (2012). Pengaruh Penambahan Mn^{2+} Dan Mg^{2+} Pada Media Stone Mineral Salt Solution Extract Yeast (Smsse) Terhadap Kinerja Isolat Bakteri Dm-5. *Ecolab Vol. 6 No. 2*, Hal: 61-104.
- Sudrajat, D., Mulyana, N., dan Dl, D. T. (2015). Isolasi dan Aplikasi Mikroba Indigen Pendegradasi Hidrokarbon dari Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir Issn 0216 - 3128*, Hal: 101-109.
- Suryatmana, P., Gunawan, R. A., Herdiyantoro, D., dan Setiawati, M. R. (2019). Potensi Inokulan Petrofilik dan Kompos Kotoran Ayam dalam Bioremediasi Limbah Minyak Bumi Sistem Land Treatment. *Soilrens, Volume 17 No. 1*, Hal: 2-8.

- Susanti, W. I., dan Trinanda, R. (2017). 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.
- Sulaksana, K. A., Suarjana, I. G., dan Besung, I. N. (2017). Perbandingan Jumlah Bakteri Non-Coliform pada Feses Sapi Bali Berdasarkan Tingkat Kedewasaan dan Tipe Pemeliharaan. *Buletin Veteriner Udayana* Vol 9 No. 2, hal: 139-144.
- Susriyati. (2019). Analisis Teknis Usaha Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Ayam. *Jurnal Teknologi*, Vol. 9, No.2, Hal. 1-9.
- Vidali. (2001). *Bioremediation An Overview*. Pure Applied Chemistry. Vol 73, No 7. Hal 1163-1172.
- Vyatrawan, L. (2015). *Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak dengan Metode Soil Washing dan Biostimulasi*. Surabaya : Tugas Akhir Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Welan, Y. S., Refli, dan Mauboy, R. S. (2019). Isolasi dan Uji Biodegradasi Bakteri Endogen Tanah Tumpahan Oli Bekas di Kota Kupang. *Jurnal Biotropikal Sains* Vol. 16, No. 1, Hal: 61-72.
- Wignyanto. (2020). *Bioremediasi dan Aplikasinya*. Malang, Indonesia: UB Press.
- Yahya, H. (2019). Analisis Kadar Air dan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) dari Proses Bioremediasi Limbah Oli dengan Metode Pengomposan. *Serambi Engineering*, Volume IV, No.1, Hal: 372-375.
- Yani, E. I. (2012). *Uji Kemampuan Tanaman Vetiver (Chrysopogon zizanioides (L.) Roberty) sebagai Fitoremediator pada Proses Bioremediasi Tanah Terkontaminasi PHC (Petroleum Hydrocarbon)*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yolantika, H., Periadnadi, dan Nurmiati, d. (2015). Isolasi Bakteri Pendegradasi Hidrokarbon di Tanah Tercemar Lokasi Perbengkelan Otomotif. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)* 4(3) , Hal: 145-152.
- Yudono, B., Estuningsih, S. P., Said, M., Sabaruddin, dan Napoleon, A. (2013). Eksplorasi Bakteri Indigen Pendegradasi Limbah Minyak Bumi Di Wilayah PT Pertamina Ubep Limau Muara Enim. *Prosiding Semirata Fmipa Universitas Lampung*, Hal: 127-134.
- Yulianto, A., Wulandari, D., dan Rusli, A. H. (2013). Bioremediasi Tanah dengan Teknik Composting Di PT. X Yogyakarta. Skripsi. *Environmental Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering and Planning, Islamic University Of Indonesia*, Hal: 1-13.

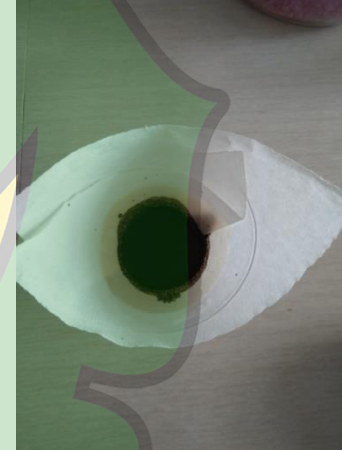
Zuhro, F., Hasanah, H. U., Winarso, S., Hoesain, M., dan Arifandi, D. (2019). Karakterisasi Pupuk Organik Berbahan Dasar Kotoran Hewan. *Agritrop*, Vol 17 (1), Hal : 103-112.

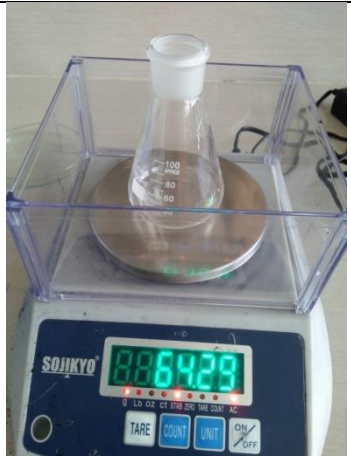
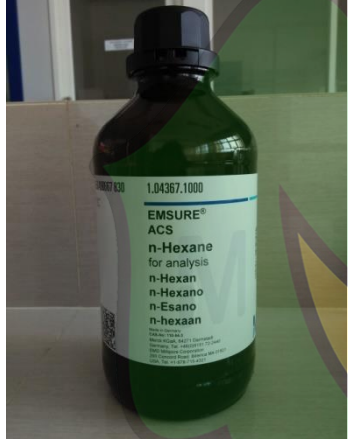
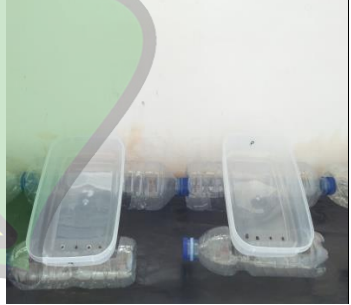
Zhyahrial, F. F., Rahayu, Y. S., dan Yuliani. (2014). Bioremediasi dengan Teknik Biostimulasi Tanah Tercemar Minyak Bumi dengan Menggunakan Kompos Kombinasi Limbah Media Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) dan *Azolla*. *Lenterabio* Vol. 3 No. 3, Hal: 141-146.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Tahapan Persiapan, Preparasi Sampel dan Eksperimen

		
Tanah di Timbang.	Dimasukkan ke dalam erlenmeyer.	Ditambahkan n-heksan ke dalam erlenmeyer.
		
Ditutup rapat erlenmeyer dan diletakkan di atas magnetik stirrer untuk di shaker.	Diaduk selama 2 jam untuk ekstraksi pertama.	Sampel disaring ke dalam erlenmeyer yang telah dihitung beratnya
		
Dimasukkan ke dalam oven selama 2 jam (ekstraksi ke	Dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit	Ditimbang erlenmeyer setelah di oven dan

2)  Pengambilan tanah sebanyak 5 gr	 Pengukuran pH menggunakan alat Soil Tester	didinginkan  Ditimbang erlenmeyer kosong sebagai berat awal
 Larutan n-heksan		
 Rektor tampak atas	 Reaktor tampak samping	 Reaktor



Hasil TPH setelah di ekstrak



Penumbukan tanah



Pengambilan sampel tanah



Tanah Hari ke-0



Reaktor tanpa perlakuan (P0) hari ke 30



Perlakuan (P1) hari ke 30



Perlakuan (P2) hari ke 30



Perlakuan (P3) hari ke 30



Perlakuan (P4) hari ke 30



Perlakuan (P5) hari ke 30



Lampiran 2. Hasil Data Penelitian

1. Perhitungan Hasil Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Waktu (Hari)	Sampel	Berat Vial Awal	Berat Vial Akhir	Residu TPH	% TPH
0	P0	64,93	65,11	0,18	3,6
	P1	57,88	58,06	0,18	3,6
	P2	64,91	65,09	0,18	3,6
	P3	75,37	75,55	0,18	3,6
	P4	65,92	66,10	0,18	3,6
	P5	72,37	72,55	0,18	3,6
2	P0	69,18	69,36	0,18	3,6
	P1	66,65	66,83	0,18	3,6
	P2	62,49	62,67	0,18	3,6
	P3	64,29	64,63	0,17	3,4
	P4	57,57	57,74	0,16	3,2
	P5	57,23	57,38	0,15	3,0
4	P0	64,52	64,7	0,18	3,6
	P1	72,58	72,76	0,18	3,6
	P2	57,87	58,05	0,18	3,6
	P3	62,49	62,66	0,17	3,4
	P4	57,07	57,23	0,16	3,2
	P5	80,23	80,38	0,15	3,0
6	P0	76,58	76,75	0,17	3,4
	P1	75,37	75,55	0,18	3,6
	P2	75,69	75,87	0,18	3,6
	P3	73,33	73,50	0,17	3,4
	P4	89,28	89,44	0,16	3,2
	P5	60,78	60,92	0,14	2,8
8	P0	70,95	71,13	0,18	3,6
	P1	60,74	60,92	0,18	3,6
	P2	77,23	77,41	0,18	3,6
	P3	60,71	60,87	0,16	3,2
	P4	70,14	70,29	0,15	3,0
	P5	76,62	76,75	0,13	2,6
10	P0	80,22	80,39	0,17	3,4
	P1	80,91	81,08	0,17	3,4
	P2	80,23	80,38	0,15	3,0
	P3	89,27	89,43	0,16	3,2
	P4	64,9	65,05	0,15	3,0
	P5	89,28	89,40	0,12	2,4

Lanjutan...

Waktu (Hari)	Sampel	Berat Vial Awal	Berat Vial Akhir	Residu TPH	% TPH
12	P0	64,29	64,47	0,18	3,6
	P1	64,93	65,09	0,16	3,2
	P2	63,37	63,53	0,16	3,2
	P3	63,33	63,48	0,15	3,0
	P4	59,22	59,36	0,14	2,8
	P5	60,71	60,83	0,12	2,4
14	P0	57,86	58,04	0,18	3,6
	P1	59,13	59,28	0,15	3,0
	P2	60,7	60,87	0,16	3,2
	P3	57,27	57,43	0,16	3,2
	P4	58,22	58,36	0,14	2,8
	P5	57,88	58,00	0,12	2,4
16	P0	64,53	64,70	0,17	3,4
	P1	57,33	57,47	0,14	2,8
	P2	58,13	58,28	0,15	3,0
	P3	60,7	60,87	0,16	3,2
	P4	63,41	63,55	0,14	2,8
	P5	63,37	63,49	0,12	2,4
18	P0	62,48	62,64	0,16	3,2
	P1	73,37	73,50	0,13	2,6
	P2	64,55	64,68	0,13	2,6
	P3	72,59	72,75	0,16	3,2
	P4	70,41	70,55	0,14	2,8
	P5	71,65	71,77	0,12	2,4
20	P0	57,88	58,04	0,16	3,2
	P1	57,54	57,66	0,12	2,4
	P2	57,67	57,81	0,14	2,8
	P3	57,05	57,17	0,12	2,4
	P4	59,68	59,80	0,12	2,4
	P5	57,07	57,19	0,12	2,4
22	P0	59,15	59,31	0,16	3,2
	P1	64,12	64,235	0,115	2,3
	P2	57,33	57,47	0,14	2,8
	P3	64,12	64,24	0,12	2,4
	P4	64,92	65,04	0,12	2,4
	P5	59,13	59,25	0,12	2,4

Lanjutan...

Waktu (Hari)	Sampel	Berat Vial Awal	Berat Vial Akhir	Residu TPH	% TPH
24	P0	70,95	71,12	0,17	3,4
	P1	64,93	65,05	0,12	2,4
	P2	80,93	81,06	0,13	2,6
	P3	57,26	57,38	0,12	2,4
	P4	64,52	64,61	0,09	1,8
	P5	62,49	62,57	0,08	1,6
26	P0	64,52	64,69	0,17	3,4
	P1	57,88	58,00	0,12	2,4
	P2	76,57	76,67	0,1	2,0
	P3	80,35	80,48	0,13	2,6
	P4	64,93	65,01	0,08	1,6
	P5	64,9	64,92	0,02	0,4
28	P0	57,26	57,42	0,16	3,2
	P1	57,57	57,69	0,12	2,4
	P2	57,57	57,67	0,1	2,0
	P3	64,29	64,36	0,07	1,4
	P4	60,74	60,81	0,07	1,4
	P5	62,48	62,5	0,02	0,4
30	P0	75,71	75,87	0,16	3,2
	P1	71,16	71,24	0,085	1,7
	P2	70,16	70,25	0,09	1,8
	P3	89,27	89,34	0,07	1,4
	P4	57,27	57,33	0,06	1,2
	P5	60,7	60,72	0,02	0,4

Lampiran 3. Tabel Hasil Uji Laboratorium

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

Waktu (Hari)	TPH (%)						Baku Mutu
	P0 (0 gr)	P1 (20 gr)	P2 (40 gr)	P3 (60 gr)	P4 (80 gr)	P5 (100 gr)	
0	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	1%
2	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,0	
4	3,6	3,6	3,6	3,4	3,2	3,0	
6	3,4	3,6	3,6	3,4	3,2	2,8	
8	3,6	3,6	3,6	3,2	3,0	2,6	
10	3,4	3,4	3,0	3,2	3,0	2,4	
12	3,6	3,2	3,2	3,0	2,8	2,4	
14	3,6	3,0	3,2	3,2	2,8	2,4	
16	3,4	2,8	3,0	3,2	2,8	2,4	
18	3,2	2,6	2,6	3,2	2,8	2,4	
20	3,2	2,4	2,8	2,4	2,4	2,4	
22	3,2	2,3	2,8	2,4	2,4	2,4	
24	3,4	2,4	2,6	2,4	1,8	1,6	
26	3,4	2,4	2,0	2,6	1,6	0,4	
28	3,2	2,4	2,0	1,4	1,4	0,4	
30	3,2	1,7	1,8	1,4	1,2	0,4	

Tabel 4.3 Laju Degradasi TPH pada sampel tanah tercemar oli dengan beberapa perlakuan.

Waktu (Hari)	Laju Degradasi TPH (%)					
	P0 (0 gr)	P1 (20 gr)	P2 (40 gr)	P3 (60 gr)	P4 (80 gr)	P5 (100 gr)
2	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,20	-0,30
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	-0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,10
8	0,10	0,00	0,00	-0,10	-0,10	-0,10
10	-0,10	-0,10	-0,30	0,00	0,00	-0,10
12	0,10	-0,10	0,10	-0,10	-0,10	0,00
14	0,00	-0,10	0,00	0,10	0,00	0,00
16	-0,10	-0,10	-0,10	0,00	0,00	0,00
18	-0,10	-0,10	-0,20	0,00	0,00	0,00
20	0,00	-0,10	0,10	-0,40	-0,20	0,00
22	0,00	-0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,10	0,05	-0,10	0,00	-0,30	-0,40
26	0,00	0,00	-0,30	0,10	-0,10	-0,60
28	-0,10	0,00	0,00	-0,60	-0,10	0,00
30	0,00	-0,35	-0,10	0,00	-0,10	0,00

Tabel 4.2 Efektivitas Penurunan TPH pada sampel tanah tercemar oli dengan beberapa perlakuan.

Waktu (Hari)	Efektivitas Penurunan TPH (%)					
	P0 (0 gr)	P1 (20 gr)	P2 (40 gr)	P3 (60 gr)	P4 (80 gr)	P5 (100 gr)
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	5,26	0,00	0,00	0,00	0,00	6,66
6	0,00	0,00	0,00	5,88	6,25	13,33
8	5,26	5,55	16,66	5,88	6,25	20,00
10	0,00	11,11	11,11	11,76	12,50	20,00
12	0,00	16,66	11,11	5,88	12,50	20,00
14	5,26	22,22	16,66	5,88	12,50	20,00
16	10,52	27,77	27,77	5,88	12,50	20,00
18	10,52	33,33	22,22	29,41	25,00	20,00
20	10,52	36,11	22,22	29,41	25,00	20,00
22	5,26	33,33	27,77	29,41	43,75	46,66
24	5,26	33,33	44,44	23,52	50,00	86,66
26	10,52	33,33	44,44	58,82	56,25	86,66
28	13,15	52,77	50,00	58,82	62,50	86,66

Tabel 4.4 Pengaruh konsentrasi dan waktu pengomposan terhadap nilai pH dengan beberapa perlakuan.

Waktu (Hari)	Nilai pH					
	P0 (0 gr)	P1 (20 gr)	P2 (40 gr)	P3 (60 gr)	P4 (80 gr)	P5 (100 gr)
0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
2	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9	7,8
4	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9	7,8
6	8,0	7,9	8,0	7,8	7,8	7,7
8	8,0	7,9	7,9	7,7	7,8	7,6
10	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7	7,6
12	7,9	7,7	7,8	7,6	7,7	7,6
14	7,9	7,5	7,8	7,5	7,7	7,5
16	7,8	7,6	7,7	7,5	7,4	7,5
18	7,7	7,5	7,5	7,3	7,2	7,4
20	7,7	7,4	7,5	7,0	6,8	7,4
22	7,7	7,3	7,5	6,8	6,7	6,6
24	7,6	7,2	7,4	6,7	6,5	6,4
26	7,6	7,1	7,0	6,6	6,4	6,2
28	7,6	7,0	6,9	6,5	6,3	6,1
30	7,5	6,6	6,7	6,4	6,2	6,0