

**PEMANFAATAN FESES AYAM UNTUK BIOSTIMULASI
PENYISIHAN *TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON* (TPH)
PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

MUDATSTSIR

NIM. 180702041

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2023 M/ 1445 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN FESES AYAM UNTUK BIOSTIMULASI PENYISIHAN *TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON* (TPH) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai salah satu Persyaratan Mempersolch Gelar Sarjana Tcknik (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

MUDATSTSIR

NIM. 180702041

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

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II


Arief Rahman, M.T
NIDN. 2010038901


Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301


A R - R A N I R Y
Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN FESES AYAM UNTUK BIOSTIMULASI PENYISIHAN *TOTAL PETROLEUM HIDROKARBON* (TPH) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH 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 Persyaratan Kelulusan Program Sarjana Teknik (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin/ 18 Desember 2023
Senin/ 5 Jumadil Akhir 1445

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua

Sekretaris

Arief Rahman, M.T
NIDN. 2010038901

Husnawati Yahya, M.Sc
NIDN. 2009118301

Penguji I

Penguji II

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
NIDN. 2002028301

Aulia Rohendi, M.Sc
NIDN. 2010048202

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mudatstsir
NIM : 180702041
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Proposal : Pemanfaatan Feses Ayam Untuk Biostimulasi Penyisihan
Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pada Tanah Tercemar
Limbah Oli

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini, saya:

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

Apabila di 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 bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh,

11 September 2023

ng Menyatakan,


D3AKX689453198

Mudatstsir

NIM. 180702041

ABSTRAK

Nama : Mudatstsir
NIM : 180702041
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemanfaatan Feses Ayam Untuk Biostimulasi
Penyisihan *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH)
Pada Tanah Tercemar Limbah Oli
Jumlah Halaman : 1-59
Pembimbing I : Arief Rahman, M.T.
Pembimbing II : Husnawati Yahya, M. Sc.
Kata Kunci : *Total Petroleum Hidrokarbon*, Feses Ayam, Oli,
Biostimulasi.

Limbah oli merupakan salah satu sumber yang dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang berbahaya dan beracun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penyisihan TPH dengan menggunakan metode biostimulasi feses ayam pada tanah tercemar limbah oli. Feses ayam dipilih karena mengandung nutrisi dan mikroorganisme yang dapat meningkatkan sifat tanah dan mengoksidasi serta menghidrolisis TPH. Penelitian ini menggunakan 5 perlakuan dengan variasi konsentrasi feses ayam P0 (0 gram), P1 (50 gram), P2 (100 gram), P3 (150 gram), dan P4 (200 gram) pada masing-masing 400 gram tanah tercemar limbah oli. Waktu pengolahan adalah 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Parameter yang diukur adalah pH dan nilai TPH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan feses ayam dengan konsentrasi 200 gram pada 400 gram tanah mampu menurunkan nilai TPH sebesar 66,67% selama 21 hari. Nilai laju penurunan TPH tertinggi adalah 0,23 pada perlakuan dengan konsentrasi 150 gram feses ayam. Penambahan konsentrasi feses ayam berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH. Biostimulasi feses ayam dapat menurunkan dalam menyisihkan TPH dalam tanah tercemar oli, meskipun belum memenuhi ambang baku mutu yang telah ditetapkan untuk mencapai baku mutu 1% TPH yang sesuai dengan peraturan pemerintah.

ABSTRACT

Nama : Mudatstsir
NIM : 180702041
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemanfaatan Feses Ayam Untuk Biostimulasi
Penyisihan *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH)
Pada Tanah Tercemar Limbah Oli
Jumlah Halaman : 1-59
Pembimbing I : Arief Rahman, M.T.
Pembimbing II : Husnawati Yahya, M. Sc.
Kata Kunci : *Total Petroleum Hidrokarbon*, Feses Ayam, Oli,
Biostimulasi.

Oil waste is one of the sources that can cause dangerous and toxic environmental problems. This study aims to determine the effectiveness of TPH removal using chicken feces biostimulation methods on oil-contaminated soil. Chicken feces were chosen because they contain nutrients and microorganisms that can improve soil properties and oxidize and hydrolyze TPH. This study used 5 treatments with variations in the concentration of chicken feces P0 (0 grams), P1 (50 grams), P2 (100 grams), P3 (150 grams), and P4 (200 grams) in each 400 grams of oil-contaminated soil. The processing time is 0 days, 7 days, 14 days, and 21 days. The parameters measured are pH and TPH values. The results showed that the addition of chicken feces with a concentration of 200 grams to 400 grams of soil was able to reduce the TPH value by 66.67% over 21 days. The highest TPH reduction rate value is 0.23 in treatments with a concentration of 150 grams of chicken feces. The addition of chicken feces concentration affects the decrease in TPH value. Chicken feces biostimulation can reduce in removing TPH in oil-contaminated soil, although it has not yet met the quality standard threshold that has been set to achieve a 1% TPH quality standard in accordance with government regulations.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, dengan memanjatkan puji hanya bagi Allah Swt. yang menciptakan langit dan bumi, serta memberikan taufik, hidayah, dan rahmat kepada manusia setiap saat. Selawat dan salam kita haturkan kepada pemuda revolusioner Nabi Besar Muhammad saw yang kaya ilmu, suci hati, dan suri tauladan bagi umat manusia.

Dengan karunia dan hidayah Allah Swt. penulis telah menyusun Tugas Akhir berjudul “**Pemanfaatan Feses Ayam Untuk Biostimulasi Penyisihan Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Pada Tanah Tercemar Limbah Oli**”. Penelitian sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Fakultas Sains dan Teknologi Banda Aceh.

Tugas Akhir ini telah penulis susun dengan dukungan Almarhum Ayah Eddy Utomo S.Hut., tercinta dan terkasih, semoga arwah beliau diterima disisi-Nya dan Ibunda Syarifah Ajillah A.Md., yang memberikan semangat hidup dan segalanya di dunia ini. Serta adik-adik yang senantiasa memberikan doa kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir penelitian, diantaranya yaitu:

1. Bapak Dr.Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si.,M.Sc., selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan Selaku Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan bantuan kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan.
4. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T., selaku Pembimbing Akademik dan Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan serta pengarahan kepada penulis selama proses penulisan Tugas Akhir.

5. Seluruh dosen dan Staf/Karyawan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah memberikan banyak bantuan.
6. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam penyusunan tugas akhir ini. Semoga apa yang disajikan dalam Tugas Akhir ini dapat bermanfaat sebagai ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penulis tetap mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari penulis untuk lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

Banda Aceh, 27 Maret 2023

Penulis

Mudatstsir



DAFTAR ISI

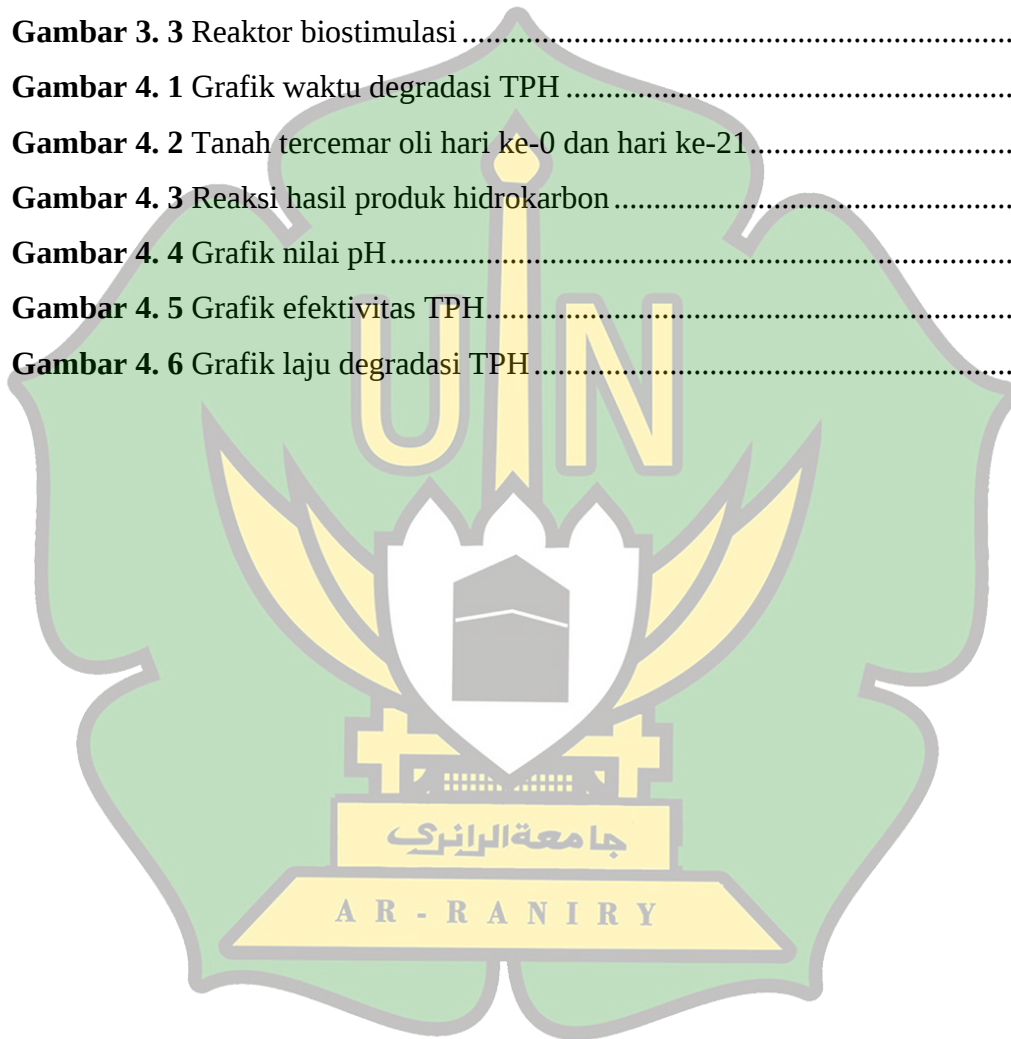
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pencemaran Tanah.....	6
2.2 Pencemaran Oli.....	6
2.3 Senyawa Hidrokarbon	7
2.3.1 Sumber Pencemaran Hidrokarbon	8
2.3.2 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon	9
2.4 Standar Baku Mutu	10
2.5 Bioremediasi	11
2.5.1 Teknik Proses Bioremediasi	14
2.5.2 Faktor-Faktor Mempengaruhi Bioremediasi	15
2.6 Biostimulasi	17
2.7 Metode Biostimulasi.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Jenis Penelitian	21
3.2 Lokasi Penelitian	21
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.4 Alat dan Bahan	22
3.4.1 Alat	22
3.4.2 Bahan.....	22

3.5	Tahapan Penelitian.....	23
3.6.	Prosedur Kerja	23
3.6.1	Persiapan Sampel Tanah Tercemar.....	23
3.6.2	Perhitungan Tanah Tercemar Limbah Oli.....	24
3.6.3	Preparasi Sampel.....	25
3.6.4	Pencampuran Tanah Tercemar dan Bahan.....	25
3.7	Eksperimen	26
3.8	Uji parameter	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Pengaruh Waktu <i>Composting</i> Terhadap Parameter <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH).....	30
4.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi Feses Ayam dan Waktu <i>Composting</i> terhadap Nilai pH.....	34
4.3	Pengaruh Konsentrasi Feses Ayam dalam Waktu <i>Composting</i> terhadap Efektivitas Penurunan <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH)	36
BAB V	PENUTUP.....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN 1.....		52
LAMPIRAN 2		57



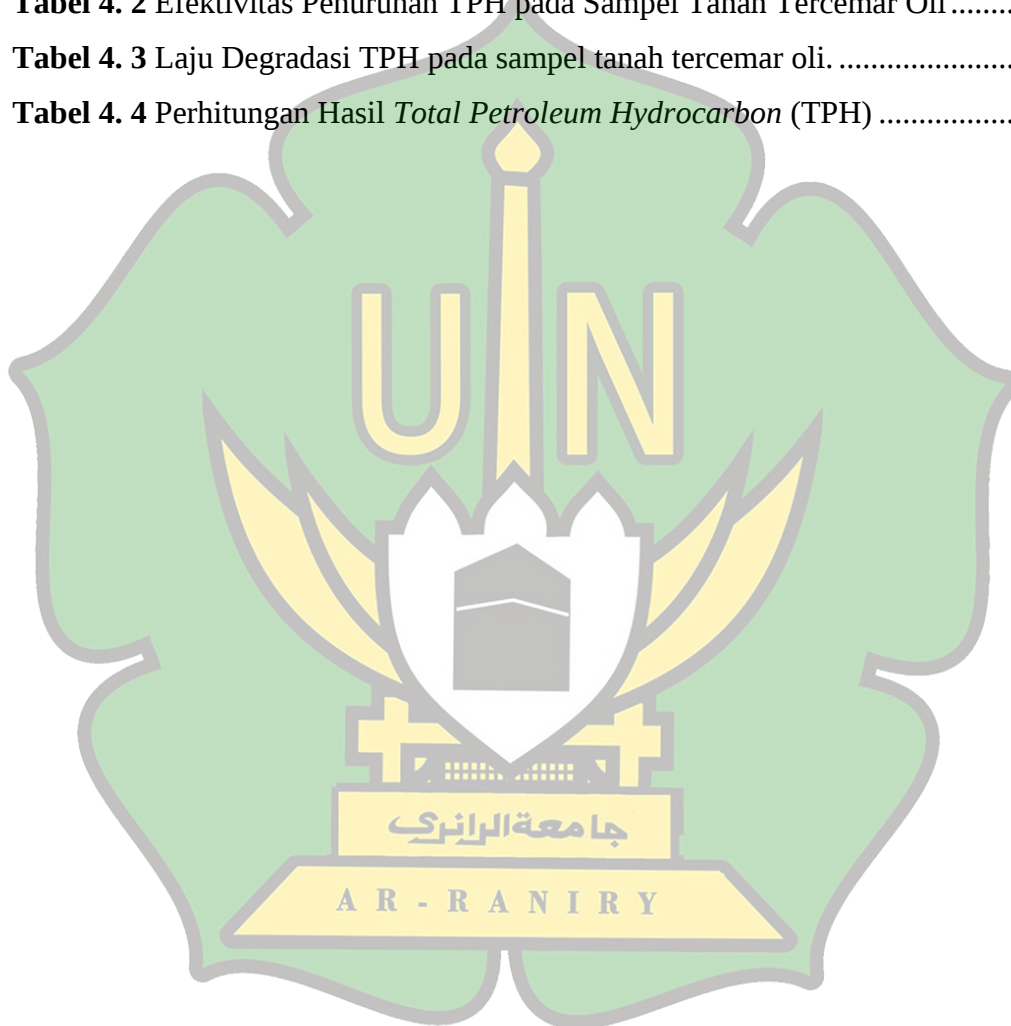
DAFTAR TABEL

Gambar 2. 1 Komposisi unsur dasar minyak mentah.....	9
Gambar 3. 1 Peta lokasi penelitian	21
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3. 3 Reaktor biostimulasi	26
Gambar 4. 1 Grafik waktu degradasi TPH	32
Gambar 4. 2 Tanah tercemar oli hari ke-0 dan hari ke-21.....	33
Gambar 4. 3 Reaksi hasil produk hidrokarbon	33
Gambar 4. 4 Grafik nilai pH	35
Gambar 4. 5 Grafik efektivitas TPH.....	37
Gambar 4. 6 Grafik laju degradasi TPH	39



DAFTAR GAMBAR

Tabel 2. 1 Penelitian Bioremediasi.....	12
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	22
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian TPH pada Sampel Tanah Tercemar Oli	30
Tabel 4. 2 Efektivitas Penurunan TPH pada Sampel Tanah Tercemar Oli	31
Tabel 4. 3 Laju Degradasi TPH pada sampel tanah tercemar oli.	38
Tabel 4. 4 Perhitungan Hasil <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH)	57



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanah merupakan sumber daya alam krusial yang mendukung kehidupan manusia dan ekosistem lainnya, serta menyediakan tempat tumbuh bagi tanaman yang menjadi pangan utama (Setiadi dkk., 2014). Tanah tercemar, yang mengandung bahan kimia berbahaya, menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Wasis dan Fitriani, 2022), dan sumber pencemaran bisa berasal dari berbagai limbah, termasuk industri, domestik, pertanian, dan tambang (Prasetyo dan Kusuma, 2021).

Salah satu permasalahan lingkungan yang memiliki dampak adalah limbah oli, hasil dari pemakaian pelumas dalam kendaraan dan peralatan (Subiyanto, 2022). Limbah oli termasuk limbah berbahaya dan beracun (B3) di Indonesia, mengandung hidrokarbon yang dapat merusak ekosistem dan kesehatan manusia karena sifat mutagenik dan karsinogenik (Meika, 2020). Pembuangan limbah oli tanpa proses pengolahan menyebabkan pencemaran dan dapat menyebabkan kematian organisme tanah (Wagiono dkk., 2022).

Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) melibatkan beragam senyawa hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi, yang mencakup minyak mineral, bensin, diesel, dan oli mesin (Kuppusamy dkk., 2020). Beberapa sumber TPH termasuk tumpahan minyak, limbah dari kilang minyak, industri berat, kebocoran pipa, dan produk yang berbasis minyak bumi (Sayed dkk., 2021). Bioremediasi, teknologi yang berbasis pada biologi, telah digunakan sejak lama untuk menangani pencemaran tanah, dengan memanfaatkan mikroba untuk mendegradasi senyawa organik yang beracun (Munir, 2006). Biostimulasi, salah satu metode dalam bioremediasi, melibatkan penambahan nutrisi atau bahan lainnya untuk merangsang aktivitas mikroba dalam mendegradasi limbah (Wagiono dkk., 2022).

Biostimulan baik berupa bahan organik atau biosurfaktan, dapat meningkatkan kualitas tanah dan aktivitas mikroba dalam bioremediasi. Bakteri

seperti *Pseudomonas* dan *Acinetobacter* dapat membantu penguraian minyak dengan menurunkan tegangan permukaan antara air dan minyak (Herman Suheri dkk., 2021). Dalam bioremediasi tanah tercemar limbah oli, mikroba potensial pendegradasi minyak seperti bakteri dan khamir diisolasi dari lokasi pengeboran minyak (Supriyanto dan Affandi, 2009). Penggunaan mikroba dalam biostimulasi dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Aditya dkk., 2022).

Feses ayam sebagai limbah peternakan, dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik berkualitas tinggi, biostimulan, dan bahan kompos untuk mengurangi pencemaran tanah oleh TPH (Saili dkk., 2020). Dengan mengandung nutrisi dan mikroorganisme, feses ayam dapat meningkatkan sifat tanah, ketersediaan hara, efisiensi pemupukan, dan kesuburan (Imanudin dan Widianingrum, 2018). Feses ayam juga dapat dijadikan biochar dengan kemampuan mengadsorpsi TPH pada tanah tercemar (Muslim, 2018).

Mikroorganisme dalam feses ayam, seperti *Lactobacillus sp*, *Pseudomonas sp*, dan *Rhodococcus sp*, dapat mendegradasi hidrokarbon menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan (Jamila, 2011). *Pseudomonas sp* dan *Rhodococcus sp* memiliki peran penting dalam mengoksidasi dan menghidrolisis TPH di tanah tercemar (Moenek dan Oematan, 2017). Feses ayam juga mengandung nutrisi yang dapat digunakan oleh mikroorganisme pengurai hidrokarbon sebagai sumber energi dan pertumbuhan (Multida dkk., 2019).

Feses ayam memiliki potensi untuk dijadikan pupuk organik yang bermanfaat. Namun, jika tidak dikelola dengan tepat, hal ini dapat menimbulkan masalah lingkungan, seperti produksi gas amonia yang dapat mencemari udara dan menyebabkan gangguan pernapasan (Margiarso dan Puspita, 2020). Selain itu, peternakan ayam juga dapat menjadi sumber polusi udara melalui pelepasan amonia, yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan hewan (Husna, 2018). Pengelolaan yang tepat terhadap feses ayam sangat penting untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan (Fadiati, 2020).

Salah satu metode pengolahan limbah tanah tercemar dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis adalah bioremediasi. Bioremediasi adalah proses pemanfaatan mikroorganisme untuk mengubah bahan

pencemar menjadi senyawa yang tidak berbahaya atau lebih mudah dihilangkan. 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 menetapkan bahwa bioremediasi hanya dapat dilakukan jika konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) di tanah tidak melebihi 15%. Sebelum melaksanakan pengolahan biologis pertama, jumlah maksimum kandungan TPH yang diizinkan adalah 15%. Jika konsentrasi TPH lebih tinggi, maka harus dilakukan pengolahan fisik atau kimia terlebih dahulu.

Bioremediasi dapat ditingkatkan dengan menggunakan biostimulan, yaitu bahan yang dapat meningkatkan aktivitas mikroba pendegradasi limbah. Salah satu biostimulan yang dapat digunakan adalah feses sapi. Feses sapi mengandung banyak mikroba dan nutrisi yang dapat membantu penguraian TPH di tanah. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan feses sapi dapat menurunkan kadar TPH di tanah tercemar oli secara signifikan. Penelitian oleh Marlina (2021) menunjukkan bahwa penambahan feses sapi dengan konsentrasi 100 gram pada tanah 300 gram mampu menurunkan kadar TPH dari 3,6% menjadi 0,2%, dengan efektivitas penurunan TPH sebesar 86,66% dalam waktu 30 hari.

Berdasarkan uraian di atas, penggunaan feses ayam sebagai biostimulasi dalam bioremediasi tanah tercemar limbah oli memiliki potensi yang menjanjikan. Kandungan mikroorganisme dan nutrisi alami pada feses ayam dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mempercepat proses biodegradasi limbah oli tersebut. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan penggunaannya serta mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti dosis optimal, waktu aplikasi yang tepat, dan efek jangka panjang terhadap lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka permasalahan yang akan dibahas dalam eksperimen penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efektivitas penyisihan TPH dengan menggunakan metode biostimulasi feses ayam pada tanah tercemar limbah oli?

2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi feses ayam terhadap pH dan pada tanah tercemar limbah oli?
3. Bagaimana laju penurunan kadar TPH pada tanah tercemar limbah oli terhadap waktu *composting* menggunakan metode biostimulasi feses ayam?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui efektivitas penyisihan TPH dengan menggunakan metode biostimulasi feses ayam pada tanah tercemar limbah oli.
2. Mengidentifikasi dampak dari variasi konsentrasi feses ayam terhadap proses penyisihan TPH pada tanah tercemar limbah oli.
3. Mengetahui perubahan laju penurunan TPH pada tanah tercemar limbah oli selama proses *composting* dengan biostimulasi feses ayam terhadap penurunan TPH pada tanah tercemar limbah oli.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Masyarakat dapat belajar tentang manfaat feses ayam sebagai pupuk organik, yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan kesadaran lingkungan.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh pemerintah untuk menginformasikan petani tentang manfaat feses ayam sebagai pupuk organik dan sebagai referensi untuk kebijakan pertanian berkelanjutan.
3. Ilmuwan dan peneliti dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai referensi untuk studi lebih lanjut tentang nutrisi dalam feses ayam dan penggunaannya sebagai pupuk organik.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini tidak ada kriteria tertentu dalam pemilihan feses ayam yang digunakan.
2. Penelitian ini akan difokuskan pada pengumpulan feses ayam yang berasal dari Rintjong Farm Pasie Lubuk, Kecamatan Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar, Aceh, sebagai batasan penelitian.
3. Penelitian ini hanya mengukur kadar TPH sebagai indikator pencemaran tanah oleh hidrokarbon, tanpa mempertimbangkan parameter lain seperti pH, kelembaban, dan suhu. Hasil penelitian ini mungkin tidak dapat diterapkan pada kondisi tanah yang memiliki parameter yang berbeda.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah

Tanah adalah suatu medium alam yang terdiri dari bahan mineral, organik, air, dan udara yang tersebar di dalamnya membentuk struktur fisik tanah. Tanah memiliki peran penting sebagai tempat tumbuh bagi berbagai jenis tanaman serta kehidupan mikroorganisme di dalamnya. Selama proses pembentukan tanah, terjadi perbedaan dalam sifat kimia, fisik, biologi, dan morfologi antara tanah yang berbeda (Purba dkk., 2014). Menurut Darmayanti (2017), secara umum, tekstur tanah dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu tanah berpasir, tanah berlumpur, dan tanah liat.

Studi yang dilakukan oleh Clarkson dan Robert (2016), Perbedaan tekstur tanah dapat mempengaruhi kemampuan bakteri pendegradasi hidrokarbon. Maka, dibutuhkan penelitian tambahan untuk mengeksplorasi kemampuan mikroorganisme pendegradasi hidrokarbon pada tanah dengan beragam tekstur seperti pasir, lumpur dan liat.

2.2 Pencemaran Oli

Kontaminasi atau pencemaran adalah perubahan kondisi yang lebih buruk dari bentuk aslinya. Perubahan ini terjadi karena adanya masukan polutan atau bahan pencemar. Polutan seringkali beracun bagi organisme. Pencemaran terjadi karena adanya toksisitas atau kemampuan polutan untuk menimbulkan efek racun pada lingkungan (Ainuddin, 2017). Persyaratan penyimpanan dan pengumpulan limbah oli serta pelumas yang harus dipenuhi telah ditetapkan dalam Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP225/BAPEDAL/08/1996. Jika tidak dikelola dengan benar atau dibuang secara sembarangan, limbah oli bekas dapat memberikan ancaman serius bagi lingkungan alam sekitarnya sesuai dengan Bapedal (1995).

Menurut Al-Dhabaan (2019), *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) merujuk pada gabungan dari ribuan komponen yang terdapat dalam minyak bumi atau mentah. TPH terdiri dari kombinasi kimia yang dominan terdiri dari atom hidrogen dan karbon, sehingga disebut sebagai hidrokarbon. Hidrokarbon minyak bumi dapat menyumbang sekitar 50-98% dari total komposisi minyak mentah dan dianggap sebagai komponen yang penting, bergantung pada sumber minyak bumi yang spesifik. Kegiatan usaha bengkel memiliki dampak yang dapat berdampak positif maupun negatif. Dampak positifnya meliputi kontribusi terhadap Pendapatan Asli Daerah (PAD), kesejahteraan, dan kesempatan kerja bagi masyarakat sekitar. Namun, kegiatan tersebut juga berpotensi menimbulkan masalah lingkungan seperti polusi suara, pencemaran tanah, air dan udara serta dampak buruk pada kesehatan manusia. Salah satu permasalahan serius yang muncul dari aktivitas bengkel adalah limbah B3 dalam wujud oli bekas (Asni, 2016).

Ketika limbah minyak terlepas ke dalam tanah dan diserap oleh partikel tanah, maka dapat menyebabkan penurunan kemampuan tanah dalam menyerap air dan pada akhirnya menyebabkan degradasi tanah, seperti dikemukakan oleh Buana dan Sulastri, (2021). Untuk mengurangi masalah ini, salah satu solusi yang mungkin adalah memanfaatkan mikroorganisme yang dapat mengubah kontaminan berbahaya menjadi zat yang tidak berbahaya (Chanif dkk., 2017).

2.3 Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon memiliki dua mekanisme utama yang menghambat pertumbuhan tanaman. Pertama, mereka dapat menghambat penyerapan air dan garam mineral oleh akar tanaman, yang mengurangi ketersediaan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan dan metabolisme tanaman. Selain itu, hidrokarbon juga mempengaruhi mikroorganisme dalam tanah dapat menghambat mikroorganisme kompetitif yang berperan dalam mengurangi ketersediaan substrat di tanah. Secara keseluruhan, hidrokarbon mengganggu pertumbuhan tanaman, metabolisme, dan ketahanan terhadap hama dan penyakit. Mereka juga mempengaruhi populasi mikroorganisme dalam tanah dengan menghambat mikroorganisme kompetitif (Kurniawan dkk., 2018).

Kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) mencakup limbah oli bekas. Dengan pertumbuhan perkotaan dan daerah, jumlah kendaraan bermotor serta mesin-mesin bermotor juga meningkat sehingga volume limbah oli bekas semakin bertambah. Dampak limbah oli bekas telah menyebar luas dari daerah perkotaan hingga ke wilayah pedesaan di seluruh Indonesia (Ni'mah dkk., 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Askaditya, 2010), Saat dipanaskan dalam mesin, terjadi pemutusan ikatan antara molekul hidrokarbon dengan rantai karbon lebih dari C₂₅. Akibatnya, sekitar 84,42% C₂₅ dan 16% C₁₂-C₂₅ mengalami perubahan komposisi.

2.3.1 Sumber Pencemaran Hidrokarbon

Pencemaran minyak bumi dapat disebabkan oleh tumpahan minyak dan kebocoran selama pengeboran minyak, produksi, pengolahan atau transportasi. Akibatnya, ini dapat mengakibatkan ketidakseimbangan pada ekosistem air, tanah, dan laut. Kejadian pencemaran yang terjadi secara berulang dapat mengancam kebersihan lingkungan secara menyeluruh. Jika tidak ditangani dengan cepat, pencemaran tersebut dapat dengan mudah menyebar dan sulit dikendalikan dalam waktu singkat (Charlena dkk, 2009).

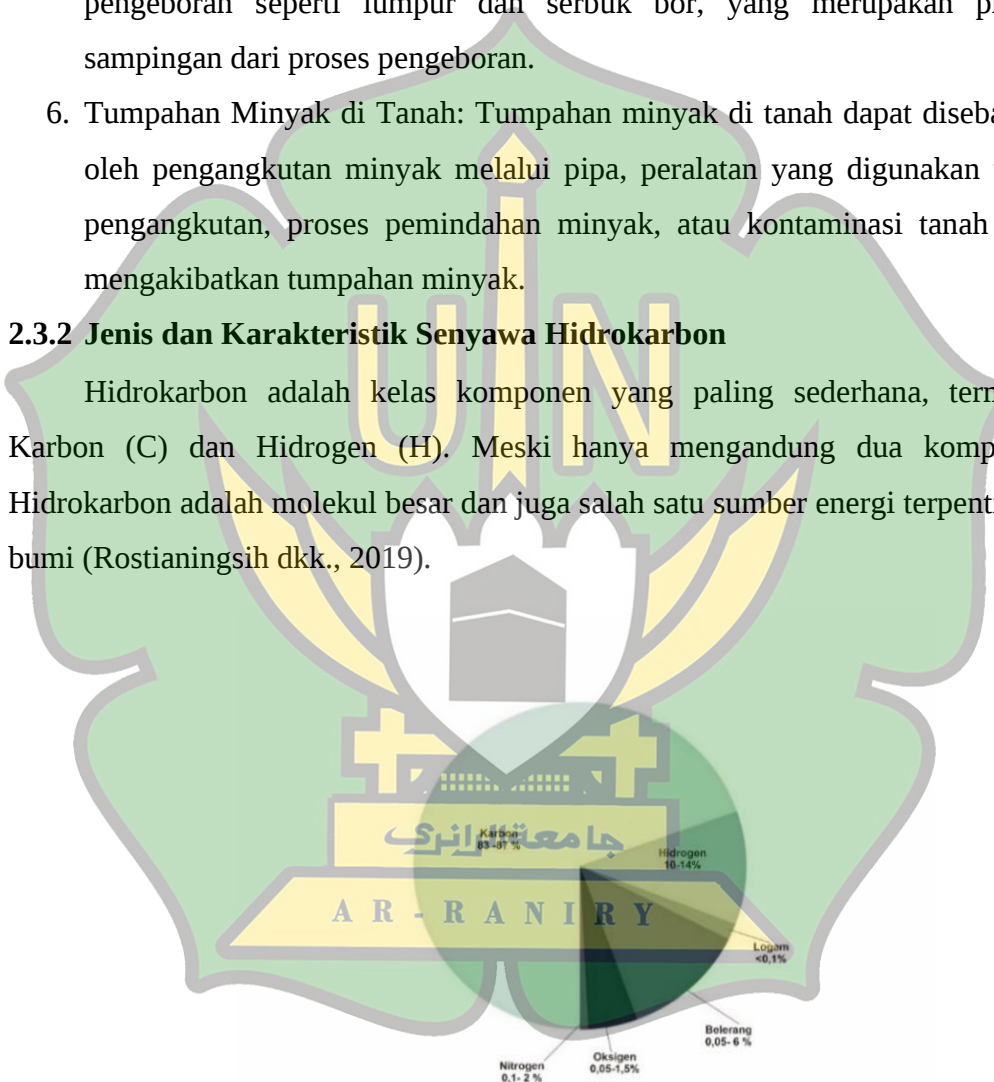
Penyebab kontaminasi hidrokarbon dalam tanah adalah minyak dan gas, dan hal ini dapat terjadi akibat berbagai aktivitas, termasuk:

1. Tangki Pemisah dan Penimbun Minyak: Kebocoran atau tumpahan minyak pada tangki pemisah dan penimbun minyak mentah serta produk bahan bakar, baik di darat maupun laut seperti *tanker*, *floating storage*, *storage tank* dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.
2. Instalasi Pengolah Air Limbah pengolah air limbah: seperti *separator*, *oil catcher*, *dissolved air flotation (DAF)*, *chemical unit*, *free water knock out separator* minyak dari sumur penciptaan digunakan dalam kegiatan usaha minyak untuk memproses limbah air, namun tetap menghasilkan residu minyak.
3. Pembersihan Alat - perlengkapan: Kegiatan usaha gas bumi dan minyak, serta aktivitas terkait lainnya yang melibatkan pengelolaan limbah minyak bumi juga bisa menghasilkan limbah minyak selama proses pembersihan alat-perengkapan.

4. Timbunan Kumulatif Limbah Minyak: Sebelum adanya peraturan pengelolaan limbah yang jelas, timbunan limbah minyak dari kegiatan usaha gas bumi dan minyak serta aktivitas terkait lainnya bisa menjadi sumber pencemaran jika tidak dikelola dengan baik.
5. Limbah Pemboran: Residu minyak bumi dapat ditemukan dalam limbah pengeboran seperti lumpur dan serbuk bor, yang merupakan produk sampingan dari proses pengeboran.
6. Tumpahan Minyak di Tanah: Tumpahan minyak di tanah dapat disebabkan oleh pengangkutan minyak melalui pipa, peralatan yang digunakan untuk pengangkutan, proses pemindahan minyak, atau kontaminasi tanah yang mengakibatkan tumpahan minyak.

2.3.2 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon adalah kelas komponen yang paling sederhana, termasuk Karbon (C) dan Hidrogen (H). Meski hanya mengandung dua komponen, Hidrokarbon adalah molekul besar dan juga salah satu sumber energi terpenting di bumi (Rostianingsih dkk., 2019).



Gambar 2. 1 Komposisi unsur dasar minyak mentah

Sumber : Reese, (2020)

1. Senyawa Alifatik
 - a. Alkana (lilin): Alkana adalah hidrokarbon alifatik jenuh dengan ikatan atom karbon tunggal. Alkana memiliki rumus empiris C_nH_{2n+2} dan cepat terdegradasi. Namun, alkana dengan jumlah karbon mulai dari C5 hingga

C10 menghambat penguraian hidrokarbon. Bahan kimia ini berbahaya dalam dosis tinggi karena dapat merusak membran lipid bakteri.

- b. Alkena (*olefin*): Alkena merupakan jenis hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki setidaknya satu ikatan rangkap dua dengan rumus empiris C_nH_{2n} .
- c. Alkuna: Alkuna adalah jenis hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki setidaknya satu ikatan rangkap tiga dengan rumus empiris C_nH_{2n-2} .

2. Senyawa Sikloalkana

Sikloalkana merupakan jenis hidrokarbon alisiklik atau cincin siklik dengan rumus empiris C_nH_{2n} . Senyawa ini memiliki struktur berbentuk cincin dan lebih reaktif jika dibandingkan dengan alkana. Seiring bertambahnya jumlah atom karbon pada senyawa sikloalkana, SG (*Specific Gravity*) dan titik didihnya juga akan meningkat. Sikloalkana biasanya terdegradasi melalui oksidasi pada gugus metil menjadi alkohol.

3. Senyawa Aromatik

Hidrokarbon aromatik terdiri dari cincin benzena yang memiliki enam atom karbon dengan ikatan tunggal dan rangkap. Senyawa ini mudah menguap dan sulit larut dalam air. Namun, jumlah hidrokarbon aromatik dalam minyak bumi dapat menentukan seberapa berbahayanya senyawa tersebut bagi lingkungan dan manusia. Contohnya adalah BTEX (benzena, toluena, etilbenzena, xilena). Proses degradasi hidrokarbon aromatik cukup rumit karena membentuk senyawa *intermediate* yang tidak diinginkan. Dalam proses biodegradasi senyawa aromatik cincin tunggal, dibentuk senyawa dihidrodiol yang kemudian akan dioksidasi menjadi alkil katekol sebagai *intermediate*. Selanjutnya, oksidasi lebih lanjut dapat menghasilkan aldehid dan asam yang dimanfaatkan oleh mikroorganisme untuk sintesis sel dan energi (Riza, 2022).

2.4 Standar Baku Mutu

Standar Kualitas Tanah merupakan alat penting dalam pengelolaan situs terkontaminasi untuk meminimalkan dampak buruk yang terkait dengan kontaminasi tanah (Ipek dan Unlu, 2020). Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan nilai batas dalam standar kualitas tanah dan tidak melampaui batas tersebut saat melakukan aktivitas yang berpotensi mencemari tanah. Jika nilai batas

terlampau, maka harus dihindari untuk melakukan kegiatan yang dapat menurunkan kualitas tanah dan tanah (Type dkk., 2005). Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa tanah tetap dalam kondisi yang sehat dan berkelanjutan bagi keberlangsungan hidup manusia dan lingkungan.

Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021, tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), tentang tata cara pengelolaan limbah B3 di Indonesia. Salah satu hal yang ditegaskan dalam peraturan ini adalah batasan konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) pada limbah B3, yaitu maksimum sebesar 15%. Sebelum melaksanakan pengolahan biologis pertama, jumlah maksimum kandungan TPH yang diizinkan adalah 15%.

Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Peengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis mengatur tentang pengolahan limbah minyak dan tanah yang tercemar oleh minyak bumi. Menurut peraturan tersebut, teknik bioremediasi hanya dapat digunakan untuk memulihkan tanah yang terkontaminasi dengan konsentrasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) sebesar 1% atau kurang. Jika konsentrasi hidrokarbon melebihi batas ini, metode remediasi lainnya harus diterapkan untuk mengurangi tingkat kontaminasi secara efektif dan aman bagi lingkungan alam sekitarnya.

2.5 Bioremediasi

Remediasi tanah merupakan serangkaian metode yang bertujuan untuk menghilangkan kontaminan dari lingkungan tanah dengan pendekatan kimia, fisik, dan biologis (Pandit dkk., 2023). Salah satu pendekatan inovatif yang semakin mendapat perhatian adalah bioremediasi. Bioremediasi merupakan teknologi yang menawarkan solusi hemat biaya, ramah lingkungan, dan mengandalkan potensi mikroorganisme dalam mengatasi kontaminasi, terutama hidrokarbon minyak bumi, dalam tanah maupun air (Abena dkk., 2019). Bioremediasi secara efektif menghilangkan hidrokarbon di dalam tanah (Curiel dkk., 2022). Penelitian terdahulu mengenai bioremediasi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Bioremediasi

No.	Limbah	Parameter	Sistem	Efektivitas	Referensi
1.	Limbah oli	BOD,TSS, TPH	Bioremediasi dengan lumpur aktif	Penurunan BOD menjadi 31,65%,TPH 15,04%,TSS 58,42%	(Tuamano, 2017)
2.	Limbah oli	TPH	Bioremediasi menggunakan pupuk NPK	Penurunan kadar TPH sebesar 36%	(Wagiono dkk., 2022)
3.	Limbah oli	TPH	Fitomediasi menggunakan rumput gajah	Mendegredasikan TPH sebesar 21 %	(Rosianti, 2016)
4.	Tanah tercemar minyak	TPH	<i>Landfarming</i>	Setelah 12 minggu, terjadi penurunan kadar TPH dari awalnya sebesar 5,8% menjadi berkisar antara 2,8-3,2%.	(Prayitno, 2017)
5.	Lumpur minyak	TPH	Pengomposan	Pada periode 21 hari, tercapai efisiensi penurunan TPH tertinggi sebesar 39%.	(Juliani dan Rahman, 2011)
6.	Tanah di lokasi pertambangan minyak bumi terkontaminasi oleh <i>Crude Oil</i>	N Total, C-Organik, Populasi Bakteri	Pengomposan	Sampel tersebut memiliki TPH 6,05%, N-total 1,50%, C-organik 3,68%, rasio C/N sekitar 2.46 dan jumlah total bakteri sebanyak 2.184×10^{15} CFU/g.	(Barakwan dkk., 2017)
7.	Limbah oli mesin	TPH	Pengomposan	Pengomposan dalam mengurangi <i>Total Petroleum Hydrocarbon</i> (TPH) limbah oli mesin dapat mencapai 81%.	(Yahya, 2019)
8.	Minyak bumi pada lumpur kilang minyak	TPH, pH	Ozonasi gelembung mikro (<i>microbubble ozonation</i>)	Menggunakan metode ozonasi gelembung mikro mencapai 70,9% dalam waktu 120 menit.	(Sun dkk., 2020)

9.	Tanah tercemar tumpahan minyak mentah	Konsentrasi Nutrien Tambahan, Perbandingan N:P,Koefisien Penurunan Konsentrasi Minyak	Biostimulasi	Efektivitas bioremediasi yang dicapai sekitar 88,47%.	(Munawar dan Mukhtasor , 2007)
10.	Timbulan limbah <i>sludge oil</i> dari kegiatan eksploitasi	Solid, minyak, air	Proses pemisahan antara emulsi, padatan, minyak dan air.	Pada tahun 2016, pengolahan <i>sludge oil</i> menghasilkan sebesar 5% minyak. Sementara itu, pada tahun 2017, proses yang sama menghasilkan jumlah minyak sebanyak 7%.	(Cahyani, 2017)
11.	Tumpahan oli bekas	Populasi bakteri,TPH	Biodegradasi bakteri	Persentase degradasi sebesar 24,87 % dalam 14 hari inkubasi.	(Welan dan Refli, 2019)
12.	<i>Oil sludge</i>	Pertumbuhan <i>N.Oleracea</i> , konsentrasi TPH,pH ,limbah <i>oil sludge</i>	Bioremediasi menggunakan organisme	<i>Penicillium sp.</i> PN6 dan <i>Neptunia oleracea</i> , yang merupakan jenis legum akuatik lokal, terbukti mampu menghilangkan senyawa hidrokarbon dalam limbah <i>oil sludge</i> melalui proses remediasi.	(Lestari dkk., 2018)
13.	Pasir terkontaminasi minyak dari proses eksplorasi	Karakteristik tanah,TPH	<i>Soil washing</i>	Menggunakan surfaktan Tween 80 pada konsentrasi optimum 0,25% dan rasio padatan/cairan optimum 1:15, tercapai penurunan TPH sebesar 85,32%.	(Hadrach, 2017)

14.	Tanah terkontaminasi TPH	Jumlah unit taksonomi operasional, Keanekaragaman alfa bakteri tanah, kelas bakteri	<i>Landfarming</i>	Bakteri pengurai TPH terdeteksi dari pencucian tanah (23%) dan tanah yang terkontaminasi TPH (21%) dan menurun menjadi 12% pada tanah pertanian.	(Kim dkk., 2021)
15.	Tanah tercemar limbah oli	Pengukuran pH tanah dan nilai TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>)	Biostimulasi	enambahan kotoran sapi pada tanah tercemar oli mampu menurunkan nilai TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>) dengan efektivitas penurunan mencapai 86,66% dalam waktu 30 hari	(Marlina, 2021)
16.	Tanah tercemar limbah oli	TPH (<i>Total Petroleum Hydrocarbon</i>), pH tanah, dan suhu tanah,	Biostimulasi dan soil washing	<i>Soil washing</i> , metoda ini mampu menurunkan kadar TPH dalam tanah tercemar oli dengan konsentrasi larutan surfaktan sebesar 0,05% (v/v) dengan nilai TPH tersisa 5,94%	(Oktafiani, 2022)

2.5.1 Teknik Proses Bioremediasi

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah yang terkontaminasi, diantaranya dengan mengolahnya dengan berbagai cara, salah satu pendekatannya adalah dengan menggunakan metode remediasi tanah yang terkontaminasi minyak, sebagaimana dijelaskan dalam (Ramadhona dkk., 2022) sebagai berikut :

1. Penyimpanan tanah terkontaminasi: Untuk menangani tanah yang terkontaminasi, dapat dilakukan tindakan penyimpanan sementara dengan menggali dan menyimpannya di gudang khusus hingga ditemukan teknik pengolahan yang sesuai.

2. Teknik eks-situ: Terdapat beberapa metode pengolahan tanah tercemar minyak, seperti pemisahan bahan pencemar dari tanah, degradasi kontaminan menggunakan mikroorganisme, pemanasan untuk menguapkan kontaminan, ekstraksi kontaminan dari tanah dengan pelarut tertentu, dan penggunaan teknik uap atau bahan kimia dalam memisahkan kontaminan dari tanah.
3. Teknik in-situ: proses pengolahan langsung di lokasi terkontaminasi. Metode ini dapat dilakukan melalui pendekatan biologis atau kimia. Pendekatan biologis melibatkan konversi biologi untuk mendegradasi kontaminan secara alami dengan bantuan mikroorganisme, sedangkan pendekatan kimia mengandalkan bahan kimia untuk memodifikasi sifat dan hilangkan kontaminan dari tanah (Sinaga, 2015).

Terdapat dua pendekatan yang umum digunakan untuk mempercepat pertumbuhan dan aktivitas metabolik mikroorganisme selama proses bioremediasi. Dua teknik bioremediasi yang dikenal adalah sebagai berikut:

1. Bioremediasi Augmentasi (Bioaugmentasi) adalah melibatkan isolasi mikroba dari tanah terkontaminasi, kemudian dikembangbiakkan di laboratorium untuk meningkatkan jumlahnya. Setelah itu, mikroba yang telah diperbanyak akan dikembalikan ke lokasi tercemar dan proses bioremediasi dapat dimulai.
2. Bioremediasi Stimulasi (Biostimulasi) adalah melibatkan peningkatan pertumbuhan dan aktivitas metabolisme mikroorganisme yang sudah ada pada bahan pencemar dengan memberikan nutrisi tambahan seperti nitrogen, fosfor, serta oksigen terlarut untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan mereka. Metode ini dapat dilakukan ketika jumlah mikroba di tanah terkontaminasi masih sedikit.

2.5.2 Faktor-Faktor Mempengaruhi Bioremediasi

Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi proses bioremediasi antara lain suhu, pH, ketersediaan oksigen, nutrisi, dan kelembaban. Faktor-faktor ini memainkan peran penting dalam pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam proses bioremediasi (Vyatrawan, 2015).

a. Kadar Oksigen

Oksigen diperlukan oleh mikroorganisme untuk proses respirasi dan biodegradasi senyawa pencemar. Ketersediaan oksigen yang cukup mendukung aktivitas mikroorganisme aerob dan mempercepat penguraian pencemaran. Kadar oksigen yang rendah atau anaerobik dapat menghambat bioremediasi. Oleh karena itu, penting untuk memastikan ketersediaan oksigen yang cukup dalam lingkungan bioremediasi melalui pengkayaan oksigen atau pengaturan sirkulasi udara. Pemantauan dan pengaturan kadar oksigen yang tepat sangat penting untuk mendukung aktivitas mikroorganisme dan memastikan keberhasilan bioremediasi.

b. Kadar Air

Ketersediaan air yang cukup memainkan peran penting dalam kehidupan mikroorganisme dan aktivitas biologis dalam penguraian senyawa pencemar. Air membantu transportasi nutrisi dan substrat, mempengaruhi stabilitas lingkungan, dan mengurangi efek toksisitas. Namun, genangan atau kelebihan kelembaban dapat menghambat proses bioremediasi dengan mengurangi ketersediaan oksigen. Pengaturan yang tepat terhadap ketersediaan air penting untuk menciptakan kondisi optimal bagi mikroorganisme yang terlibat dalam bioremediasi. Bakteri membutuhkan tingkat kelembaban tertentu untuk tumbuh dan berkembang. Kelembaban ideal untuk pertumbuhan bakteri adalah antara 25% hingga 28%, sedangkan rentang kelembaban optimal untuk mendegradasi hidrokarbon berkisar antara 30% hingga 90 % (Retno dan Mulyana, 2013).

c. Suhu

Aktivitas mikroorganisme dan laju biodegradasi senyawa hidrokarbon dapat dipengaruhi oleh suhu tanah. Suhu optimum yang dibutuhkan sebagian besar mikroorganisme tanah berkisar antara 10 hingga 40 °C, meskipun ada beberapa bakteri termofilik yang dapat bertahan pada suhu hingga 60 °C. Namun, proses biodegradasi akan melambat bahkan berhenti saat suhu rendah (<5°C).

d. pH

Kondisi pH tanah dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa karbon. Nilai pH yang berbeda dapat mempengaruhi fungsi sel mikroorganisme, transportasi melalui membran sel, dan keseimbangan reaksi yang dikatalisis oleh enzim. Biasanya, pertumbuhan mikroorganisme akan lebih

optimal pada rentang nilai pH 6-9. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa tingkat biodegradasi endapan minyak mencapai titik optimum ketika pH tanah bernilai sekitar 7,8.

e. Nutrien

Rahayu dan Mangkoedihardjo (2022), nutrisi memainkan peran penting dalam sintesis, pertumbuhan sel, serta aktivitas enzim yang dihasilkan oleh bakteri selama proses biodegradasi senyawa polutan. Dengan memberikan nutrisi yang cukup, efisiensi biodegradasi dapat ditingkatkan dan pertumbuhan mikroorganisme lokal pada area terkontaminasi dapat dipercepat. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan asupan nutrisi saat melakukan pengolahan terhadap tanah terkontaminasi dengan senyawa hidrokarbon agar hasilnya bisa optimal sesuai standar keamanan lingkungan alam sekitarnya.

Laksana (2021), menemukan bahwa memberikan nutrisi tambahan dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme lokal pada area yang tercemar. Karbon, nitrogen dan fosfor adalah beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk melangsungkan proses bioremediasi. Nutrien karbon berfungsi sebagai sumber energi seluler serta membantu dalam sintesis sel dan produksi enzim. Sedangkan nitrogen diperlukan dalam pembentukan protein dan asam nukleat yang sangat krusial bagi pertumbuhan sel mikroba. Terakhir, fosfor juga memiliki peran penting dalam sintesis ATP sebagai sumber energi utama dari seluler. Oleh karena itu, pemberian nutrisi harus menjadi pertimbangan utama saat melakukan pengolahan terhadap tanah terkontaminasi dengan senyawa hidrokarbon agar hasilnya bisa optimal sesuai standar keamanan lingkungan alam sekitarnya dengan efektif dan aman bagi lingkungan sekitarnya.

2.6 Biostimulasi

Biostimulasi adalah salah satu metode bioremediasi yang menggunakan bantuan mikroorganisme atau enzim untuk menurunkan tingkat pencemaran tanah oleh polutan berbahaya seperti hidrokarbon minyak bumi (TPH). Biostimulasi dapat dilakukan dengan menambahkan nutrisi, oksigen, atau bahan organik lainnya ke dalam tanah tercemar untuk merangsang aktivitas mikroba yang mampu mendegradasi TPH (Perdana, 2012).

Biostimulan adalah senyawa organik alami atau sintetis yang dalam jumlah sedikit dapat mendukung pertumbuhan tanaman, meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, toleransi terhadap cekaman, meningkatkan kualitas panen, dan mengendalikan penyakit (Rizna, 2018). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas biostimulasi adalah sebagai berikut (Dicky dan Ratni, 2021) :

1. Karakteristik tanah :

Tanah memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi yang berbeda-beda, seperti tekstur, struktur, porositas, permeabilitas, pH, kandungan hara, dan populasi mikroba. Karakteristik tanah dapat mempengaruhi distribusi, mobilitas, dan bioavailabilitas TPH di dalam tanah. Karakteristik tanah juga dapat mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas mikroba yang mendegradasi TPH. Tanah yang memiliki tekstur halus, struktur agregat, porositas tinggi, permeabilitas rendah, pH netral, kandungan hara cukup, dan populasi mikroba tinggi cenderung lebih cocok untuk biostimulasi.

2. Jenis dan konsentrasi TPH:

TPH merupakan campuran dari berbagai jenis hidrokarbon dengan struktur dan sifat yang berbeda-beda, seperti rantai alifatik, siklik, aromatik, dan polisiklik. Jenis dan konsentrasi TPH dapat mempengaruhi tingkat toksisitas, kelarutan, volatilitas, dan biodegradabilitas TPH di dalam tanah. Jenis dan konsentrasi TPH juga dapat mempengaruhi seleksi dan adaptasi mikroba yang mendegradasi TPH. TPH yang memiliki struktur sederhana, konsentrasi rendah, toksisitas rendah, kelarutan tinggi, volatilitas rendah, dan biodegradabilitas tinggi cenderung lebih mudah untuk biostimulasi.

3. Jenis dan dosis biostimulan :

Biostimulan adalah senyawa organik atau anorganik yang ditambahkan ke dalam tanah tercemar untuk merangsang aktivitas mikroba yang mendegradasi TPH. Biostimulan dapat berupa nutrisi (nitrogen, fosfor, kalium), oksigen (udara, hidrogen peroksida), atau bahan organik (kompos, molase, urea). Jenis dan dosis biostimulan dapat mempengaruhi ketersediaan hara, oksigen terlarut, bahan karbon organik, dan pH di dalam tanah. Jenis dan dosis biostimulan juga dapat mempengaruhi laju dan efisiensi degradasi TPH oleh mikroba. Biostimulan yang

sesuai dengan kebutuhan mikroba dan ditambahkan dengan dosis optimal cenderung lebih efektif untuk biostimulasi.

4. Kondisi lingkungan :

Lingkungan memiliki faktor-faktor abiotik yang berpengaruh terhadap biostimulasi, seperti suhu, kelembaban, cahaya, angin, dan curah hujan. Kondisi lingkungan dapat mempengaruhi proses fisikokimia dan biologi yang terjadi di dalam tanah tercemar. Kondisi lingkungan juga dapat mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas mikroba yang mendegradasi TPH. Lingkungan yang memiliki suhu moderat (25-35°C), kelembaban tinggi (60-80%), cahaya cukup (fotosintesis), angin sedang (aerasi), dan curah hujan normal (irigasi) cenderung lebih mendukung untuk biostimulasi.

2.7 Metode Biostimulasi

Biostimulasi adalah penambahan nutrisi spesifik, terutama N dan P, untuk meningkatkan populasi mikroba limbah padat secara progresif (Zeneli dkk., 2019). Penambahan nutrisi ini biasanya dilakukan melalui pupuk organik atau anorganik, dengan tujuan memastikan rasio molar karbon, nitrogen, dan fosfor (C:N:P) sebesar 120:10:1. Rasio ini penting untuk aktivitas metabolisme dasar mikroorganisme (Atagana, 2004).

Biostimulasi dan bioaugmentasi merupakan dua pendekatan yang digunakan untuk meningkatkan populasi mikroba dan mencapai biodegradasi polutan organik. Biostimulasi melibatkan penambahan nutrisi pembatas seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) ke dalam tanah yang terkontaminasi, sehingga meningkatkan kemampuan mikroorganisme asli untuk mendegradasi minyak bumi (Wu dkk., 2017). Sementara itu, bioaugmentasi melibatkan penambahan mikroorganisme yang memiliki kemampuan khusus dalam mendegradasi polutan organik ke dalam lingkungan yang terkontaminasi (Suja dkk., 2014).

Feses ayam merupakan salah satu jenis limbah organik yang dihasilkan dari peternakan ayam. Limbah ini mengandung nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan karbon organik, yang dapat digunakan sebagai biostimulan dalam bioremediasi tanah tercemar *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) (Imanudin dan Widianingrum, 2018). Selain itu, feses ayam juga mengandung mikroorganisme

seperti bakteri dan jamur yang memiliki kemampuan mendegradasi TPH (Multidkk., 2019).

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan feses ayam sebagai biostimulan dapat meningkatkan efektivitas bioremediasi tanah tercemar TPH. Komposisi feses ayam sangat bervariasi tergantung pada sifat fisiologis ayam, ransum yang dikonsumsi, dan kondisi lingkungan kandang, termasuk suhu dan kelembaban (Prihatini, 2019). Bioremediasi merupakan metode yang digunakan untuk membersihkan tanah yang tercemar oleh *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dengan memanfaatkan mikroorganisme yang mampu mendegradasi polutan tersebut menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan. Beberapa jenis mikroorganisme yang dapat mengurai TPH adalah bakteri, jamur, dan cacing tanah (Sukanto dan Sudiyono, 2022).



BAB III

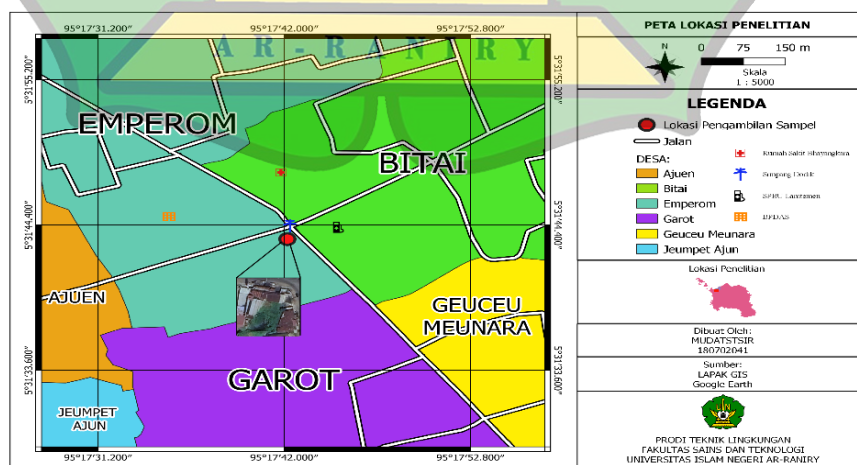
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan kuantitatif untuk menguji efektivitas biostimulasi dalam menurunkan kadar TPH pada tanah yang terkontaminasi oleh limbah oli. Selain itu, penelitian ini juga menambahkan feses ayam sebagai sumber nutrisi untuk tanah. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk melakukan pengukuran dan analisis numerik terhadap penurunan kadar TPH. Data primer diperoleh secara langsung dari hasil pengujian laboratorium yang melibatkan pengukuran kadar TPH sebelum dan setelah perlakuan biostimulasi serta penambahan feses ayam. Sementara itu, data sekunder bersumber dari literatur-literatur yang digunakan untuk mendukung penelitian, seperti studi sebelumnya tentang biostimulasi, penggunaan feses ayam sebagai nutrisi tanah, atau informasi lain yang relevan.

3.2 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel tanah *top soil* limbah oli dilakukan pada bengkel sepeda motor Rajawali Sakti Service yang berada di daerah Emperom, Kecamatan Jaya Baru, Kota Banda Aceh. Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta lokasi penelitian

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Juni hingga Desember 2023. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Jadwal penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Pengajuan Judul							
Penyusunan Proposal							
Seminar Proposal							
Revisi Proposal							
Pengurusan Izin Penelitian							
Penelitian							
Penyusunan Tugas Akhir							
Sidang Tugas Akhir							

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Penelitian ini akan menggunakan beberapa peralatan, antara lain sekop, sarung tangan, reaktor yang terbuat dari media kaca dengan dimensi 20 cm x 6 cm x 7 cm, oven, desikator, dan alat pengaduk magnetik. Selain itu juga digunakan *beaker glass* dan *erlenmeyer* sebagai wadah untuk bahan kimia serta timbangan dan termometer untuk melakukan pengukuran. Terakhir adalah *soil tester* dan *Tester Analyzer Hygrometer* yang berguna dalam pengecekan kualitas tanah.

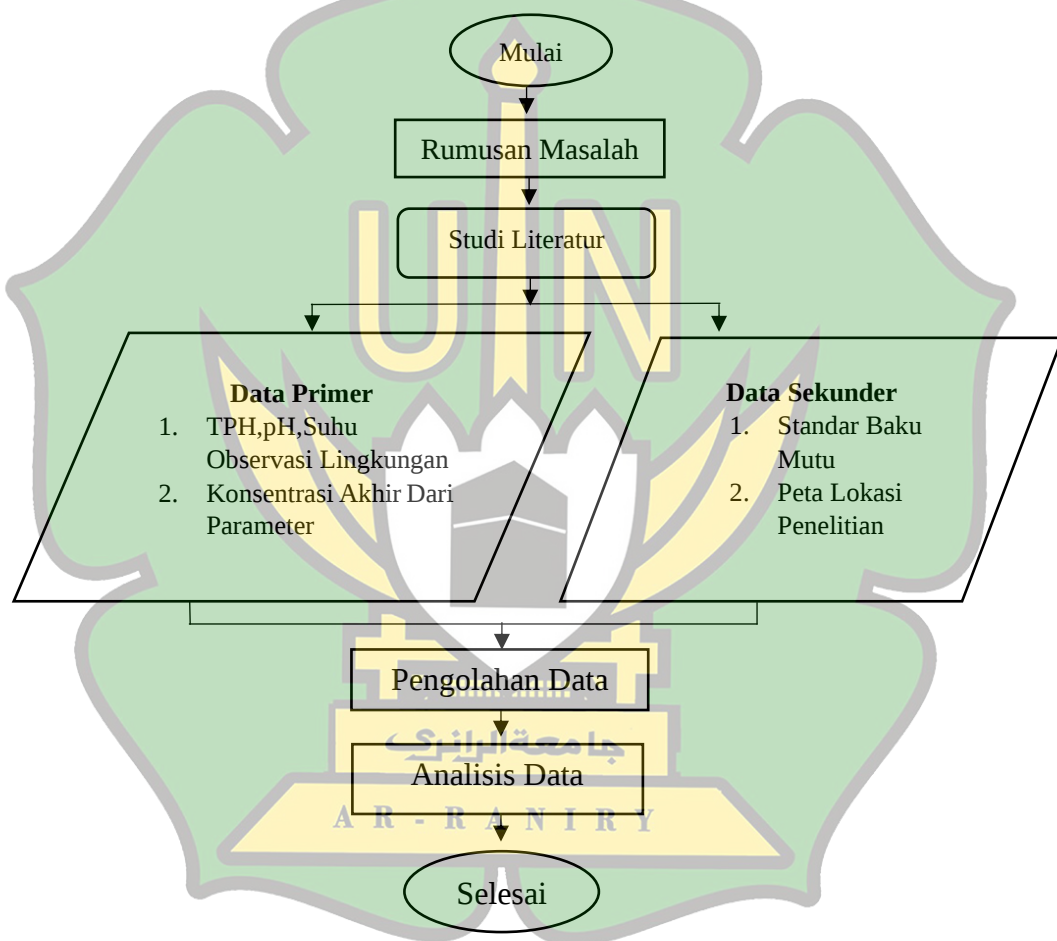
3.4.2 Bahan

Penelitian ini akan menggunakan beberapa bahan, di antaranya adalah tanah permukaan (*top soil*) yang diambil dari bengkel sepeda motor yang berlokasi di Daerah Emperom Kecamatan Jaya Baru Kota Banda Aceh. Bahan lainnya adalah

feses ayam dan plastik untuk keperluan reaktor serta n-heksana untuk melakukan ekstraksi sampel tanah.

3.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan proses yang akan dilakukan, yang dijelaskan sebagai berikut. Tahapan dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian

3.6. Prosedur Kerja

3.6.1 Persiapan Sampel Tanah Tercemar

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan teknik *grab sampling* atau teknik sesaat sesuai dengan SNI 19-0428-1998 (SNI, 1998), dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung dari tanah di area bengkel sepeda motor Rajawali Sakti Service yang berada di daerah Emperom, Kec. Jaya Baru, Kota Banda Aceh.
2. Tanah diratakan dan dibersihkan sebelum pengambilan sampel dilakukan.
3. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan sekop kecil pada kedalaman 0-10 cm.
4. Sampel tanah yang diambil dalam berasal dari lapisan atas atau permukaan tanah (*top soil*).
5. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara acak pada masing-masing titik.
6. Sampel tanah diambil dari lapisan *top soil* sebanyak 2 kg dan terdapat tumpahan oli dalam sampel tersebut (Wagiono dkk., 2022).
7. Sampel tanah dimasukkan ke dalam plastik klip yang telah diberi label dan ditutup rapat menggunakan selotip.
8. Sampel tanah kemudian dibawa ke Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh untuk dilakukan penelitian.

3.6.2 Perhitungan Tanah Tercemar Limbah Oli

Untuk menghitung persentase tanah tercemar oli di setiap reaktor, kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$P = \frac{m_o}{m_t} \times 100\%$$

dengan:

P = persentase tanah tercemar oli,

m_o = massa oli dalam tanah

m_t = massa total tanah

$$m_o = 0.2 \times 2000 \text{ g} = 400 \text{ g}$$

$$P = \frac{400}{2000} \times 100\% = 20\%$$

Artinya setiap perlakuan tanah tercemar 400 gram tanah tercemar oli.

3.6.3 Preparasi Sampel

Adapun untuk preparasi sampel tanah pada penelitian ini mengikuti metode (Sopiah dkk., 2013) yang dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Sampel tanah yang telah diambil terlebih dahulu dikeringkan dibawah sinar matahari.
2. Setelah selesai proses pengeringan kemudian dipisahkan dari kerikil dan feses lainnya.
3. Tanah yang telah dipisahkan dengan kerikil dan feses kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan.

3.6.4 Pencampuran Tanah Tercemar dan Bahan

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas metode biostimulasi dalam mempercepat biodegradasi hidrokarbon pada tanah yang tercemar oleh oli. Metode tersebut melibatkan pemanfaatan feses ayam sebagai biostimulan untuk memfasilitasi proses degradasi tanah tercemar limbah oli bekas. Rancangan penelitian ini mengadopsi Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan penerapan 5 perlakuan berbeda menggunakan feses ayam. Kelima perlakuan tersebut meliputi:

- P0 : 400 gram Tanah tercemar oli tanpa tambahan feses ayam.
- P1 : 400 gram Tanah tercemar oli + 50 gram feses ayam.
- P2 : 400 gram Tanah tercemar oli + 100 gram feses ayam.
- P3 : 400 gram Tanah tercemar oli + 150 gram feses ayam.
- P4 : 400 gram Tanah tercemar oli + 200 gram feses ayam.

Selama tahap biostimulasi, analisis laboratorium dilakukan, mencakup pengujian nilai pH, dan nilai *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) guna mengukur tingkat biodegradasi hidrokarbon pada tanah yang terkontaminasi oleh oli. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai efektivitas metode biostimulasi yang melibatkan penggunaan feses ayam sebagai biostimulan dalam mereduksi kandungan hidrokarbon pada tanah yang tercemar oleh oli.

3.7 Eksperimen

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah *top soil* tercemar limbah oli, feses ayam, tanah permukaan alami, dan air. Bioremediasi pada penelitian ini menggunakan metode biostimulasi dengan feses ayam sebagai biostimulan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah media wadah kaca. Prosedur kerja biostimulasi pada penelitian ini mengikuti (Vyatrawan, 2015) dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Reaktor biostimulasi

1. Menyiapkan media tanah dan feses ayam di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Menyiapkan 5 buah reaktor yang menggunakan media kaca dengan diameter 20 cm dan tinggi 7 cm.
3. Mengaduk tanah dan feses ayam yang telah ditambahkan ke dalam reaktor hingga tercampur rata.
4. Melakukan proses biostimulasi selama 21 hari (Riza, 2022).
5. Selama proses biostimulasi, sampel diaduk dan disiram setiap 7 hari sekali dengan 25 mL air untuk menjaga kelembapan dan homogenitas tanah (Pranajaya dkk., 2015).
6. Selama proses biostimulasi, nilai pH, dan TPH diukur setiap 7 hari pada setiap perlakuan.
7. Jika kandungan TPH dalam suatu perlakuan di atas 15%, maka penambahan tanah berkualitas baik akan dilakukan untuk mencapai penurunan TPH yang lebih baik.

3.8 Uji Parameter

Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah:

a. Parameter suhu

Parameter untuk mengamati pengaruh suhu terhadap proses biodegradasi hidrokarbon pada tanah yang terkontaminasi limbah minyak, parameter temperatur diukur pada sampel tanah. Tujuannya adalah untuk memantau dan menjaga kondisi suhu agar tetap stabil selama proses bioremediasi berlangsung. Pengukuran suhu dilakukan secara berkala setiap 7 hari sekali selama periode 21 hari, bersamaan dengan pengukuran pH. Dengan demikian, diharapkan hasil bioremediasi dapat optimal sesuai standar keamanan lingkungan alam sekitarnya dan aman bagi lingkungan sekitarnya (Permadi dan Murni, 2013).

Suhu kisaran 10-40 °C dianggap sebagai suhu optimum bagi hampir semua mikroorganisme tanah, sedangkan suhu kisaran 20-30 °C merupakan suhu optimal yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri dalam biodegradasi lumpur minyak. Untuk mengukur suhu, dilakukan prosedur kerja tertentu seperti yang dijelaskan berikut ini:

1. Masukkan termometer ke dalam bagian tengah reaktor tanah tercemar.
2. Tunggu beberapa saat hingga suhu yang terbaca stabil dan tepat.
3. Ukur suhu ruangan tempat reaktor tanah tercemar diletakkan menggunakan termometer.
4. Tunggu beberapa saat hingga suhu yang terbaca stabil dan tepat.
5. Catat nilai suhu di dalam reaktor tanah tercemar serta suhu ruangan yang didapat dari pembacaan termometer.

b. Pengukuran pH

Pengukuran pH pada sampel tanah tercemar limbah oli dilakukan untuk mengontrol nilai pH dan mempelajari pengaruhnya terhadap proses biodegradasi hidrokarbon dalam setiap variasi perlakuan. Pengukuran tersebut dijalankan setiap 7 hari sekali selama periode 21 hari sebagai bagian dari pemantauan kondisi tanah dan tingkat degradasi yang berlangsung.

Menurut Eweis (1998), menyatakan bahwa pertumbuhan mikroorganisme akan meningkat pada kisaran pH 6-9. Pada penelitian ini, nilai pH dari semua

variasi perlakuan menunjukkan kestabilan dengan angka sekitar 7. Untuk melakukan pengukuran pH, dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Masukkan *soil tester* ke bagian tengah sampel tanah tercemar.
2. Tekan tombol pengukuran pada *soil tester* dan tahan hingga nilai pH yang stabil dan akurat ditunjukkan oleh alat tersebut.
3. Catat nilai pH yang ditampilkan oleh *soil tester* setelah mencapai kondisi stabil.
4. Pengukuran *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH)

Dalam penelitian ini, pengukuran *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) dilakukan dengan prinsip gravimetri. Metode tersebut dijelaskan oleh Juliani dan Rahman (2011), yang melibatkan prosedur sebagai berikut: Jika TPH pada sampel tanah kurang dari atau sama dengan 1%, maka dapat dipindahkan dari lokasi pengolahan dan dinyatakan aman bagi lingkungan sesuai Peraturan 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.

Berdasarkan Juliani dan Rahman (2011), berikut langkah-langkah yang digunakan untuk pengujian TPH :

1. Ambil sampel tanah sebanyak 5 gram dan masukkan ke dalam erlenmeyer yang tertutup. Lakukan ekstraksi dengan menggunakan 10 ml n-hexane sebagai zat pengekstraksi, lalu di *shaker* selama 2 jam agar padatan dan supernatan dapat terpisah.
2. Saring cairan menggunakan kertas saring untuk menghindari terbawanya partikel-partikel tanah.
3. Cairan disaring ke dalam vial yang sebelumnya telah di timbang beratnya.
4. Panaskan vial yang berisi cairan di dalam oven pada suhu $T = 70^{\circ}\text{C}$ hingga semua n-hexane menguap, sehingga hanya tinggal minyak hasil ekstraknya saja.
5. Hitung *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) dengan cara menghitung selisih antara berat awal dan akhir dari vial tersebut setelah proses pemanasan dilakukan.

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

dengan:

A= berat vial awal (sebelum ekstraksi)

B = berat vial akhir (dengan minyak hasil ekstraksi)

6. Total degradasi hidrokarbon diukur dengan menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ Degradasi} = ((\text{TPH}_0 - \text{TPH}_n)) / \text{TPH}_0 \times 100\%$$

dengan:

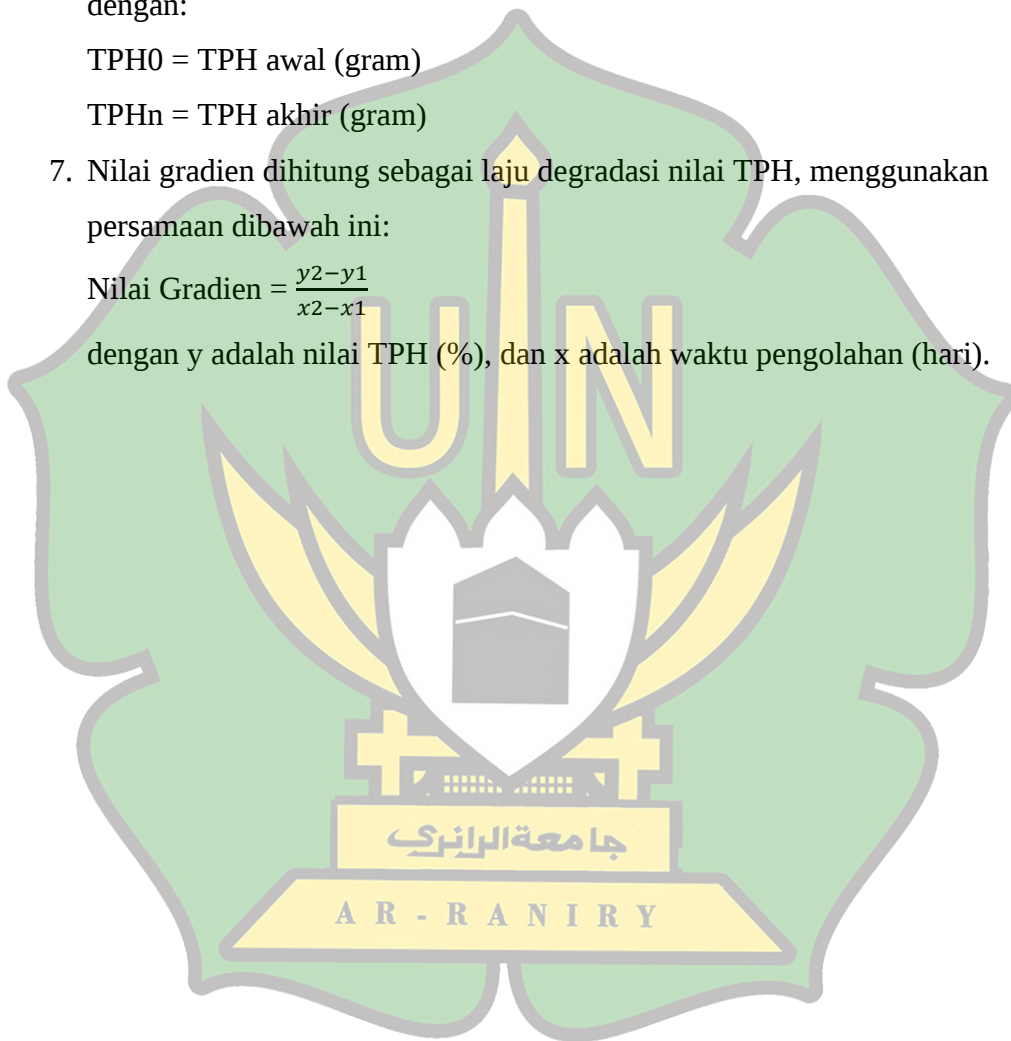
TPH₀ = TPH awal (gram)

TPH_n = TPH akhir (gram)

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

$$\text{Nilai Gradien} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

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



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Waktu *Composting* Terhadap Parameter *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada hari ke-21, terjadi penurunan TPH yang lebih baik dibandingkan dengan hari lainnya. Hal ini bakteri sudah mulai meningkat. Fase ini dikenal dengan menunjukkan aktivitas fase log, dimana bakteri sudah mulai beradaptasi dan berkembang biak pada tanah yang tercemar oli, Dalam feses ayam yang telah beradaptasi dan mampu mendegradasi hidrokarbon. Bakteri ini berperan penting dalam proses *composting* dan mampu menggunakan hidrokarbon sebagai sumber nutrisi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Alkatiri (2017), proses degradasi hidrokarbon minyak bumi melibatkan mikroorganisme tertentu yang menggunakan senyawa hidrokarbon sebagai sumber karbon dan senyawa non-hidrokarbon sebagai nutrisi pelengkap. Proses ini disebut sebagai biodegradasi hidrokarbon minyak bumi. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa feses yang belum efektif dalam menurunkan TPH dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian TPH pada Sampel Tanah Tercemar Oli

Waktu	TPH (%)					Baku Mutu*
	P0 (0 gram)	P1 (50 gram)	P2 (100 gram)	P3 (150 gram)	P4 (200 gram)	
0	6	6	6	6	6	1%
7	5,8	5	4,8	4,2	4	
14	5,8	4,8	4,2	3,8	3,2	
21	5,6	4,6	3,6	2,2	2	

* Menurut Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis.

Berdasarkan analisis data, diperoleh hasil bahwa pengaruh waktu *composting* terhadap penurunan TPH sebesar 66,67%, Hal ini Menunjukkan semakin lama waktu pengolahan, semakin tinggi penurunan TPH yang terjadi. Proses *composting* memainkan peran penting dalam degradasi hidrokarbon.

Selanjutnya, pada perlakuan P4, yaitu penambahan 200 gram feses ayam dengan waktu pengolahan 21 hari, didapatkan hasil penurunan TPH sebesar 2%. Hal ini menunjukkan bahwa feses ayam telah mencapai batas optimal dalam menurunkan nilai TPH dalam sampel tanah yang tercemar oli. Pada perlakuan P4, yaitu penambahan 200 gram feses ayam dengan waktu pengolahan 21 hari, nilai TPH sebesar 2% dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hal ini menunjukkan bahwa feses ayam mencapai batas optimal dalam menurunkan nilai TPH dalam sampel tanah yang tercemar oli.

Tabel 4. 2 Efektivitas Penurunan TPH pada sampel tanah tercemar oli

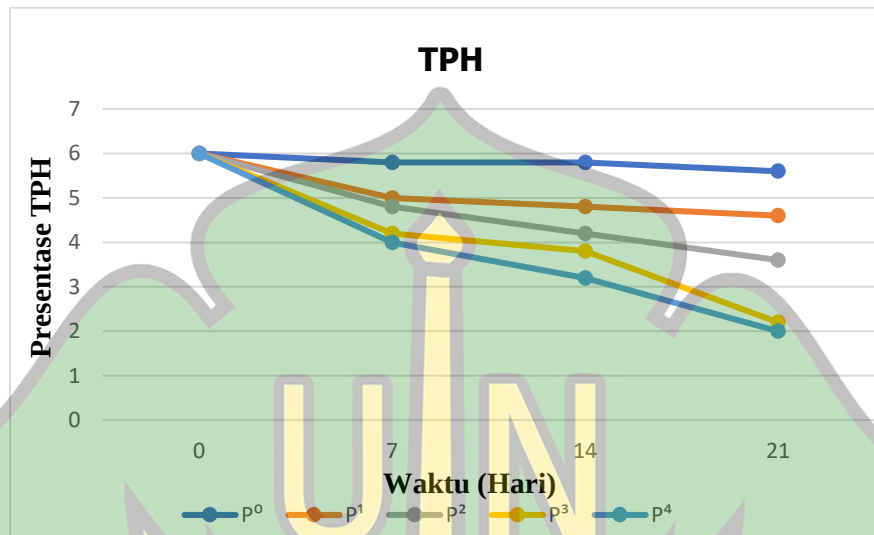
Waktu (Hari)	Efektivitas Penurunan TPH (%)				
	P0 (0 gram)	P1 (50 gram)	P2 (100 gram)	P3 (150 gram)	P4 (200 gram)
0	0	0	0	0	0
7	3,33	16,67	20,00	30,00	33,33
14	3,33	20,00	30,00	36,67	46,67
21	6,67	23,33	40,00	63,33	66,67

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa hasil pengujian perlakuan variasi berat feses ayam masih melebihi baku yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003, tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis. lima perlakuan yaitu perlakuan 0 gram, 50 gram, 100 gram, 150 gram dan 200 gram. Feses ayam yang ditambahkan pada 400 gram tanah dengan waktu pengolahan 0 hari, 7 hari, 14 hari, dan 21 hari.

Dalam penelitian tentang pengaruh waktu *composting* menggunakan feses ayam terhadap parameter *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH), terlihat bahwa TPH mengalami penurunan seiring dengan peningkatan massa feses ayam dan lamanya waktu pengolahan. Namun, penurunan TPH per 7 hari tidak terlalu signifikan karena proses penurunan TPH dalam tanah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memutuskan rantai hidrokarbon.

Penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dalam tanah yang terkontaminasi oli membutuhkan waktu yang cukup lama. Tingkat degradasi

hidrokarbon pada tanah tergantung pada konsentrasi minyak mentah yang terdapat dalam tanah. Jika konsentrasi hidrokarbon minyak bumi tinggi, proses remediasi tanah akan memerlukan jangka waktu yang lebih lama. Dapat dilihat pada Gambar 4.1.



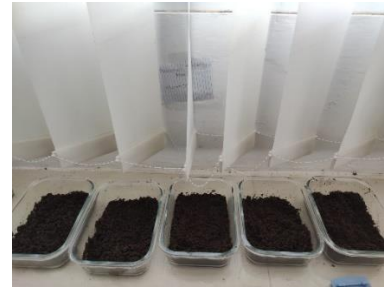
Gambar 4. 1 Grafik waktu degradasi TPH

Selain itu, senyawa hidrokarbon dalam minyak bumi juga dapat digunakan sebagai sumber karbon oleh mikroorganisme tertentu. Mikroorganisme ini melakukan proses biodegradasi hidrokarbon minyak bumi dengan cara memutuskan rantai hidrokarbon. Dalam proses ini, senyawa non-hidrokarbon juga berperan sebagai nutrisi tambahan yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya.

Dari analisis Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dapat diamati bahwa semakin banyak penambahan feses ayam pada tanah yang terkontaminasi oleh oli, persentase TPH yang terdeteksi mengalami penurunan. Penurunan signifikan terlihat pada perlakuan P4, di mana tanah seberat 400 gram dan feses ayam sebanyak 200 gram digunakan. Pengurangan ini terjadi karena aktivitas mikroba dalam reaktor mampu menguraikan nilai TPH. Gambar 4.4 juga memperlihatkan proses bioremediasi, di mana dari hari ke-0 hingga hari ke-21 pada setiap perlakuan, perubahan warna tanah terlihat tidak terlalu mencolok.



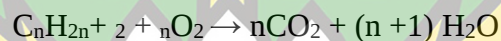
(a) Tanah Hari ke 0



(b) Tanah hari ke-21

Gambar 4. 2 Tanah tercemar oli hari ke-0 dan hari ke-21

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi degradasi hidrokarbon dalam tanah yang terkontaminasi limbah oli sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut mencakup konsentrasi hidrokarbon, durasi pengolahan, dan kemampuan mikroorganisme dalam melaksanakan proses biodegradasi. Reaksi hasil produk hidrokarbon dapat dilihat pada Gambar 4.2.

**Gambar 4. 3** Reaksi hasil produk hidrokarbon

Sumber: Oktafiani, (2022)

Reaksi ini mengindikasikan bahwa hidrokarbon dapat bereaksi dengan oksigen, menghasilkan karbon dioksida dan air. Untuk menjalankan reaksi ini secara efektif, diperlukan kondisi lingkungan yang optimal, seperti pH, suhu, kelembaban, dan tingkat aerasi (Oktafiani, 2022).

Penambahan feses ayam ke dalam tanah dapat mempercepat proses biostimulasi karena feses ayam mengandung nutrisi esensial seperti nitrogen dan fosfor yang dibutuhkan oleh bakteri. Nutrisi ini memainkan peran kunci dalam mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroba tanah. Saat feses ayam dicampurkan ke dalam tanah yang tercemar oli, ketersediaan nutrisi dalam tanah.

Feses ayam mengandung mikroorganisme yang berkontribusi pada proses biodegradasi. Kehadiran mikroorganisme tersebut dapat meningkatkan efektivitas degradasi hidrokarbon dalam tanah yang tercemar oleh oli. Dengan demikian, pemberian feses ayam memiliki potensi untuk mempercepat proses biostimulasi di

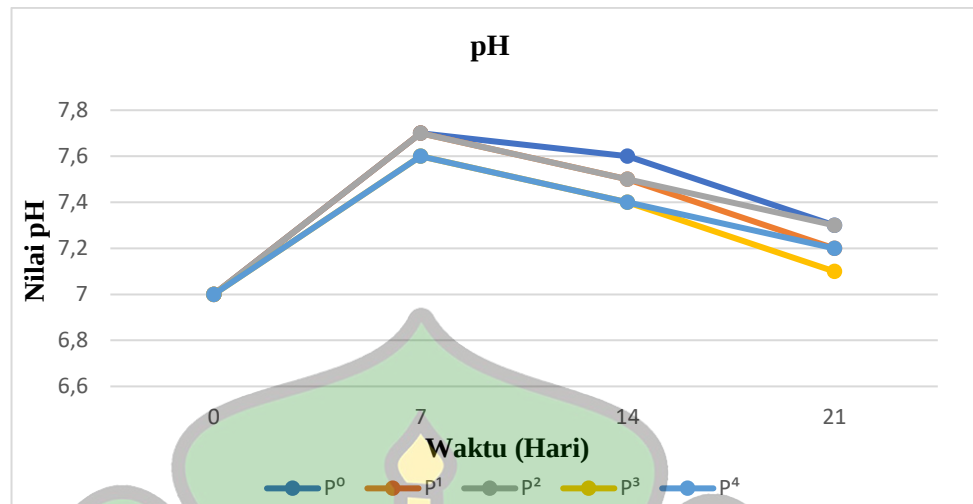
tanah, karena kandungan nutrisi dan mikroorganisme di dalamnya dapat merangsang pertumbuhan bakteri serta mempercepat degradasi hidrokarbon.

Keterkaitan jenis bakteri dalam feses ayam dengan bakteri hidrokarbon menciptakan peluang potensial dalam konteks biodegradasi. Beberapa bakteri dalam feses ayam, terutama *Pseudomonas* dan *Bacillus*, menunjukkan kemampuan untuk mendegradasi hidrokarbon. Keberadaan bakteri-bakteri ini dapat memberikan kontribusi dalam proses penguraian senyawa organik kompleks, termasuk hidrokarbon, yang dapat ditemukan dalam feses ayam. Melalui kandungan bakteri yang dimiliki feses ayam, terbuka potensi untuk memperkuat peran mereka sebagai agen biodegradasi hidrokarbon dalam konteks penggunaan feses ayam sebagai bahan tambahan dalam *composting* untuk tanah tercemar limbah oli atau sejenisnya.

Berdasarkan penelitian Handrianto (2018), konsentrasi optimal feses ayam dalam mengatasi TPH pada tanah yang terkontaminasi minyak bumi berada dalam rentang 10% hingga 50%. Konsentrasi di luar rentang ini dapat mengurangi efektivitas proses bioremediasi. Jika konsentrasi terlalu rendah, kemungkinan kekurangan nutrisi dan stimulan bagi bakteri dapat terjadi, sementara konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menciptakan kondisi yang kurang ideal untuk pertumbuhan bakteri. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi feses ayam yang tepat merupakan faktor kunci dalam mencapai hasil bioremediasi yang optimal pada tanah tercemar limbah.

4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi Feses Ayam dan Waktu *Composting* terhadap Nilai pH

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biostimulasi menggunakan feses ayam dapat mengakibatkan penurunan pH tanah yang tercemar limbah oli secara signifikan seiring berjalannya waktu. Pada minggu pertama, pH tanah tetap stabil di sekitar nilai 7. Pada minggu kedua, terdapat penurunan pH yang sedikit pada semua parameter. Pada minggu ketiga, penurunan pH menjadi lebih tinggi pada seluruh parameter, dan parameter P4 (feses ayam 200 gram) mencatat penurunan pH, yaitu dari 7,7 menjadi 7,1. Dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik nilai pH

Hasil ini sejalan dengan penelitian Dicky & Ratni (2021), yang menunjukkan bahwa penambahan feses ayam dan waktu *composting* dapat meningkatkan nilai pH tanah. Penambahan feses ayam dianggap dapat membantu menetralkan pH tanah yang cenderung asam, menciptakan kondisi lingkungan yang lebih mendukung biodegradasi hidrokarbon. Menurut Zam (2012), menyebutkan bahwa pH tanah optimal untuk proses biodegradasi hidrokarbon berkisar antara 6,5-7,0, dan jika pH tanah terlalu asam atau basa, aktivitas mikroba dapat menurun, menghambat proses biodegradasi hidrokarbon (Sari, 2016).

Menurut Baskara (2021), feses ayam petelur memiliki variasi nilai pH antara 7,0 hingga 7,9, dan jumlah total bakteri dalam feses ayam bervariasi tergantung pada periode pemeliharaan. Hal ini mengindikasikan bahwa bakteri dapat hidup dalam feses ayam pada rentang pH sekitar 7,0 hingga 7,9.

Dalam proses biostimulasi, mikroorganisme yang terlibat adalah mikroba yang sudah ada di lingkungan yang tercemar. Mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan dan kontaminan yang ada. Mereka dapat mengubah metabolisme, genetika, atau struktur sel mereka untuk meningkatkan efisiensi biodegradasi (Khastini dkk., 2022).

Faktor-faktor seperti jenis dan konsentrasi kontaminan, sumber karbon dan energi, ketersediaan oksigen dan nutrisi, pH, suhu, dan kelembaban dapat memengaruhi adaptasi mikroorganisme ini. Pengujian ini untuk mengetahui

pengaruh waktu terhadap penurunan pH pada biostimulasi feses ayam pada tanah yang tercemar limbah oli. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu terhadap penurunan pH dalam konteks biostimulasi feses ayam pada tanah tercemar limbah oli. Penelitian menggunakan empat parameter, yaitu P0 (kontrol), P1 (feses ayam 50 gram), P2 (feses ayam 100 gram), P3 (feses ayam 150 gram), dan P4 (feses ayam 200 gram), dengan pengukuran pH tanah setiap minggu selama 21 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biostimulasi feses ayam dapat menurunkan pH tanah yang tercemar limbah oli secara signifikan seiring berjalannya waktu. Pada minggu pertama, pH tanah stabil pada angka 7. Pada minggu kedua, terjadi penurunan pH yang sedikit pada semua parameter. Pada minggu ketiga, terjadi kenaikan pH yang lebih tinggi pada semua parameter. Parameter P4 (feses ayam 200 gram) menunjukkan penurunan pH, yaitu dari 7,7 menjadi 7,1.

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penambahan Feses ayam dalam proses *composting* dapat meningkatkan nilai pH tanah dan membantu dalam biodegradasi hidrokarbon. pH tanah yang optimal, yaitu sekitar 6,5-7,0, dapat meningkatkan aktivitas mikroba dalam mendegradasi hidrokarbon. Namun, perlu diingat bahwa penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan mungkin perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengkonfirmasi hasil ini dalam skala lapangan.

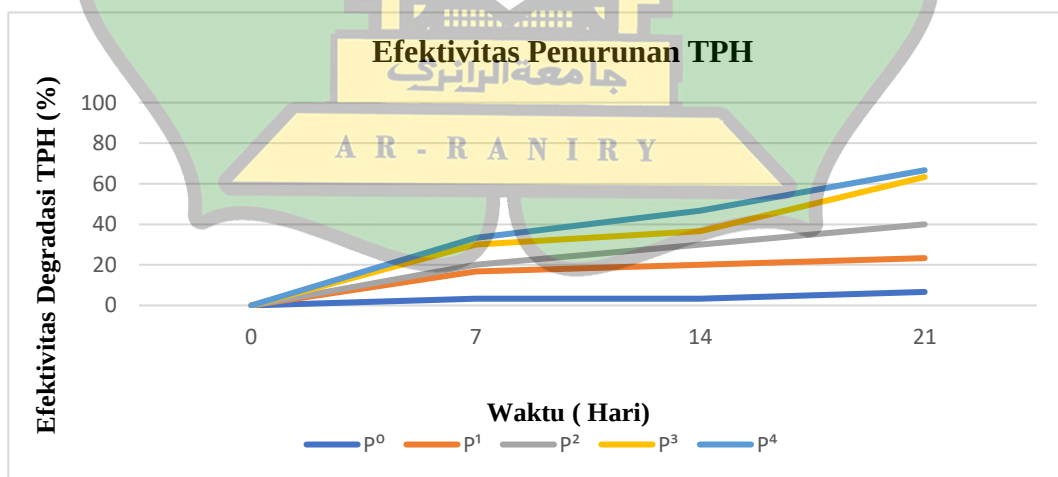
4.3 Pengaruh Konsentrasi Feses Ayam dalam Waktu *Composting* terhadap Efektivitas Penurunan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Efektivitas pengurangan TPH yang optimal terjadi pada perlakuan P4, mencapai 66,67%, seperti yang terlihat pada Grafik 4.5. Grafik tersebut menggambarkan hubungan antara konsentrasi feses ayam selama periode *composting* terhadap penurunan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH). Pada awal observasi (0 hari), belum terjadi penurunan TPH pada semua perlakuan. Namun, setelah 7 hari, terlihat penurunan TPH pada perlakuan P1, P2, P3, dan P4, dengan persentase penurunan yang meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi feses ayam.

Pada hari ke-14, terjadi peningkatan persentase penurunan TPH pada semua perlakuan, dan perlakuan P4 menunjukkan penurunan tertinggi. Pada hari ke-21, terjadi peningkatan lebih baik dalam penurunan TPH pada semua perlakuan, dengan perlakuan P4 mencapai penurunan persentase tertinggi.

Penurunan nilai TPH yang tidak optimal dalam proses bioremediasi tanah yang tercemar limbah oli bisa disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk kurangnya nutrisi dalam media tanah. Nutrisi yang penting dalam proses ini, seperti karbon, biasanya berasal dari hidrokarbon dalam minyak pelumas. Bakteri yang hidup di lingkungan kaya hidrokarbon menggunakan karbon sebagai sumber energi untuk hidup dan menguraikan hidrokarbon tersebut. Namun, jika nutrisi karbon tidak mencukupi, proses degradasi hidrokarbon dapat terhambat.

Menurut Buana (2021), Sifat-sifat tanah seperti tekstur, porositas, permeabilitas, kapasitas tukar kation, dan kandungan bahan organik memiliki peran penting dalam mempengaruhi tingkat kontak mikroba dengan hidrokarbon dan ketersediaan oksigen serta nutrisi. Kelembaban tanah yang optimal berkisar antara 50-60%. Suhu tanah yang ideal berkisar antara 25-35°C, karena suhu yang terlalu rendah dapat mengurangi laju reaksi biokimia dan metabolisme mikroba, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan denaturasi enzim dan protein mikroba (Puspitasari, 2016).



Gambar 4. 5 Grafik efektivitas TPH

Dapat dilihat padah Gambar 4.5 menunjukkan fluktuasi efektivitas TPH selama proses degradasi tanah tercemar oli, yang dapat disebabkan oleh kemampuan bakteri mengatasi pencemaran tersebut. Pada beberapa kasus, efektivitas penurunan

TPH menurun karena bakteri dalam feses ayam mungkin belum sepenuhnya mampu mendegradasi tanah secara menyeluruh. Hal ini mungkin dikaitkan dengan pengambilan sampel tanah yang dilakukan pada area yang masih terkontaminasi oleh limbah oli yang belum terdegradasi sepenuhnya oleh bakteri.

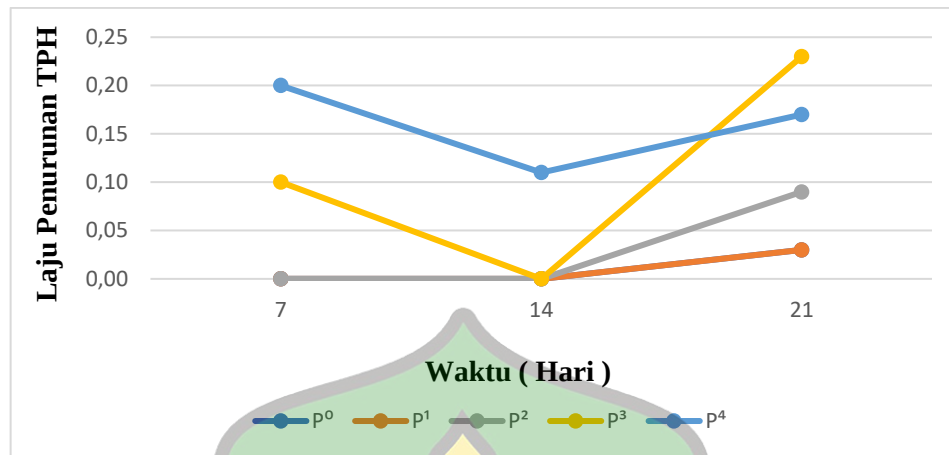
Waktu yang dibutuhkan dalam proses *composting* untuk penurunan TPH secara efektif dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor tertentu. Salah satu faktor yang memengaruhi adalah jenis dan konsentrasi hidrokarbon dalam material *composting*. Hidrokarbon yang lebih kompleks dan berkonsentrasi tinggi mungkin memerlukan waktu lebih lama untuk terdegradasi secara efektif. Menurut Wagiono (2022), waktu efektif *composting* untuk penurunan TPH berkisar antara 30 hingga 60 hari, yang dianggap sebagai waktu optimal untuk menghasilkan kompos yang matang dan stabil serta mampu mendegradasi hidrokarbon secara maksimal. Waktu ini juga dapat disesuaikan dengan kondisi khusus dari masing-masing kasus pencemaran.

Dalam proses bioremediasi, sangat penting untuk memastikan bahwa sampel tanah yang diuji benar-benar mencerminkan kondisi yang akurat dari area yang terkontaminasi. Jika sampel masih mengandung limbah oli yang belum terdegradasi, bakteri mungkin belum memiliki waktu yang cukup untuk melakukan proses degradasi secara menyeluruh. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat laju degradasi TPH pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Laju Degradasi TPH pada sampel tanah tercemar oli.

Waktu (Hari)	A R - R A N Laju Degradasi TPH (%)				
	P0	P1	P2	P3	P4
7	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
21	0,03	0,03	0,09	0,23	0,17

Pada proses remediasi tanah dengan konsentrasi hidrokarbon yang tinggi, diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai hasil yang optimal. Hal ini dikarenakan tingkat degradasi hidrokarbon yang tinggi membutuhkan metabolisme yang kompleks dari mikroorganisme dalam memecah molekul hidrokarbon. Selain itu, mikroorganisme juga membutuhkan nutrisi yang cukup untuk dapat melakukan aktivitas biodegradasi secara efektif. Laju degradasi TPH dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik laju degradasi TPH

Pada Gambar 4.6 terlihat, terkait penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dalam beberapa perlakuan selama periode 21 hari. Namun, perlu diperhatikan bahwa penurunan tersebut mungkin terkendala oleh faktor-faktor tertentu, salah satunya adalah pola pemberian pakan yang monoton pada ayam.

Dinyatakan bahwa perlakuan P3, P4, dan P2 mengalami penurunan TPH selama 21 hari, dengan perlakuan P3 memiliki laju penurunan yang paling tinggi sebesar 0,23. Namun, perlu diketahui bahwa penurunan TPH tersebut mungkin tidak mencapai tingkat signifikansi yang diharapkan karena feses ayam didapat dari ayam yang diberi pakan dengan pola yang terlalu monoton. Pola pemberian pakan yang monoton dapat mengakibatkan kurangnya variasi dalam komposisi nutrisi yang dihasilkan oleh ayam melalui feses. Variasi nutrisi dalam pakan dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam sistem pencernaan ayam yang terlibat dalam proses biodegradasi TPH. Jika nutrisi yang diberikan tidak mencukupi atau tidak sesuai, maka aktivitas mikroorganisme tersebut dapat terhambat, sehingga menghambat laju penurunan TPH yang diharapkan.

Dalam fase stasioner, terjadi keseimbangan antara laju pertumbuhan dan laju kematian bakteri. Pada fase ini, jumlah populasi bakteri cenderung tetap stabil. Fase stasioner umumnya terjadi karena adanya faktor-faktor pembatas seperti kekurangan nutrisi, akumulasi produk toksik, atau perubahan kondisi lingkungan yang signifikan yang menghambat pertumbuhan bakteri (Heryani, 2012). Fase stasioner terjadi ketika nutrisi dan substrat di dalam media tanah berkurang, sehingga bakteri kehilangan sumber makanan yang cukup. Selama proses

pemrosesan limbah hidrokarbon oleh bakteri, tingkat penurunan populasi bakteri tergantung pada konsentrasi zat pencemar yang terdapat dalam tanah.

Laju degradasi *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dapat bervariasi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi jenis dan konsentrasi TPH, jenis dan jumlah mikroorganisme pendegradasi, ketersediaan nutrisi dan oksigen, kondisi lingkungan, serta adanya senyawa toksik atau inhibitor. Semua faktor ini saling berinteraksi dan dapat mempengaruhi kecepatan degradasi TPH (Aisy, 2020).



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Penggunaan biostimulasi feses ayam dalam proses *composting* tanah *top soil* tercemar oli memiliki dampak signifikan dalam penurunan nilai *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH).
 - Penambahan konsentrasi feses ayam berpengaruh terhadap penurunan nilai TPH.
 - Biostimulasi feses ayam efektif dalam menyisihkan TPH dalam tanah tercemar oli, meskipun belum memenuhi ambang baku mutu yang telah ditetapkan.
 - Konsentrasi feses ayam yang ditambahkan pada tanah *top soil* tercemar oli juga berpengaruh terhadap penurunan kadar TPH.
 - Semakin tinggi konsentrasi Feses ayam yang ditambahkan, semakin efektif dalam mengurangi kadar TPH dalam tanah.
2. Penambahan konsentrasi dan waktu komposting tanah tercemar oli dengan penambahan Feses ayam juga mempengaruhi efektivitas penurunan nilai TPH.
 - Perlakuan dengan konsentrasi dan waktu komposting yang optimal dapat menghasilkan penurunan nilai TPH yang signifikan, sebesar 66,67%.
 - Nilai pH tanah yang optimal untuk proses biodegradasi adalah 6,5-7,5.
 - Nilai laju penurunan TPH tertinggi adalah 0,23.
 - Nilai pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dan mengurangi efektivitas bioremediasi.

5.2 Saran

Adapun saran yang diperlukan penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pengukuran parameter lain seperti C/N ratio, aktivitas enzim, populasi mikroorganisme, dan kandungan nutrisi tanah untuk mengetahui dampak bioremediasi terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.
2. Melakukan uji *Total Plate Count* (TPC) untuk menghitung jumlah mikroba setelah pemberian Feses ayam pada tanah tercemar oli.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan durasi yang lebih lama, untuk mengamati perubahan konsentrasi TPH dan parameter lainnya secara lebih akurat dan komprehensif.
4. Perlu dilakukan pengukuran konsentrasi TPH secara berkala, misalnya setiap minggu atau setiap bulan, untuk mengetahui laju penurunan TPH dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.
5. Diperlukan penelitian dengan mengklasifikasi pakan ayam yang berbeda. Untuk mengetahui pengaruh jenis pakan terhadap kandungan nutrisi, mikroba, dan enzim yang terdapat dalam kotoran ayam, serta efektivitasnya dalam biostimulasi penyisihan TPH.
6. Disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan kotoran ayam yang memiliki variasi kualitas, misalnya kotoran ayam yang segar, kotoran ayam yang telah dikompos, dan kotoran ayam yang telah difermentasi. Untuk mengetahui pengaruh proses pengolahan kotoran ayam terhadap karakteristik fisik, kimia, dan biologi yang terdapat dalam kotoran ayam, serta efektivitasnya dalam biostimulasi penyisihan TPH.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, T. W., Walida, H., Sepriani, Y., & Sitanggang, K. D. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Dan Mikroba Fungsional Pada Kascing Dari Campuran Kotoran Ayam, Bonggol Pisang Dan Ampas Tahu. *Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(1), 28-30.
- Abadi, M., Faslih, A., Sisworo, R. R., Umar, M. Z., Aminur, A., & Sapparun, M. (2022). Bimbingan Teknis Pembuatan Pupuk Kompos Ditengah Covid 19 Pada Kawasan Persawahan Amohalo Kelurahan Baruga Kecamatan Baruga Kota Kendari: *Technical Guidance For The Making Of Compost Fertilizer In The Middle Of Covid 19 In Amohalo Rice Area, Baruga Subdistrict, Baruga Subdistrict, Kendari City. Pengabdianmu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(3), 368-375.
- Abena, M. T. B., Li, T., Shah, M. N., & Zhong, W. (2019). *Biodegradation Of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) In Highly Contaminated Soils By Natural Attenuation And Bioaugmentation. Chemosphere*, 234, 864-874.
- Ainuddin, W. (2017). Studi Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) Di Perairan Sungai Tabobo Kecamatan Malifut Kabupaten Halmahera Utara. *Ecosystem*, 17, 653–659.
- Aisy, Z. R. (2020). Konsentrasi dan Laju Degradasi Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) dalam Sedimen Mesokosm Fitoremediasi di Kampung Madong, Pulau Bintan, Kepulauan Riau.
- Al-Dhabaan, F. A. (2019). *Morphological, Biochemical And Molecular Identification Of Petroleum Hydrocarbons Biodegradation Bacteria Isolated From Oil Polluted Soil In Dhahran, Saud Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1247-1252.
- Alkatiri, I. F. (2017). Biodegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi Menggunakan Isolat Kapang Dari Limbah Minyak Bumi. *IAIN Ambon*.
- Askaditya, G. (2010). Studi Eksperimen Piroslisi Minyak Pelumas Bekas Menggunakan Katalis Zeolit. *Universitas Negeri Sebelas Maret*.

- Asni B, A. Y. (2016). Pengelolaan Limbah Minyak Pelumas (Oli) Bekas oleh Bengkel Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan di Kota Yogyakarta Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. *UAJY*.
- Atagana, H. I. (2004). *Biodegradation Of Phenol, O-Cresol, M-Cresol And PCresol By Indigenous Soil Fungi In Soil Contaminated With Creosote*. *World Journal Of Microbiology And Biotechnology*, 20, 851-858.
- Badan Standarisasi Nasional. (1998). SNI 19-0428-1998. Petunjuk Pengambilan Contoh Padatan. *Badan Standarisasi Nasional: Jakarta*
- Barakwan, R. A., Sari, G., & Land Trihadiningrum, Y. (2017). Penyisihan Hidrokarbon Pada Tanah Tercemar *Crude Oil* Di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro Dengan Metode *Co-Composting Aerobik*. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 83-88.
- Baskara, D. P. P., Besung, I. N. K., & PG, K. T. (2021). Total Bakteri Feses Ayam Petelur Pada Berbagai Periode Pemeliharaan. *Buletin Veteriner Udayana* Volume, 13(1), 46-50.
- Buana, R. A. D. L. L., & Sulastri, A. (2021). Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Oli Bekas Menggunakan Biokomposting. *JURLIS: Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura*, 2(1), 231240.
- Cahyani, A. M. (2017). Identifikasi Timbulan Limbah *Sludge Oil* dari Kegiatan Eksploitasi dan Produksi Minyak dan Gas Bumi PT. AMC. *ReTII*.
- Charlena, Haris, A., & Karwati. (2009). Degradasi Hidrokarbon Pada Tanah Tercemari Minyak Bumi Dengan Isolat A10 Dan D8T. *Prosiding Biosains*, November, 9–10.
- Clarkson, M. A., & Robert, C. (2016). *Effects Of Soil Texture And Amendment Options On Bioremediation Of Hydrocarbons In Soil*. *International Journal Of Multidisciplinary Studies*, 1(2), 1-14.
- Curiel-Alegre, S., Velasco-Arroyo, B., Rumbo, C., Khan, A. H. A., TamayoRamos, J.A., Rad, C., ... & Barros, R. (2022). *Evaluation Of Biostimulation, Bioaugmentation, And Organic Amendments Application On The*

- Bioremediation Of Recalcitrant Hydrocarbons Of Soil. Chemosphere*, 307, 135638.
- Darmayanti, A. D. (2017). Pengaruh Biochar Kotoran Ayam Diperkaya Amonium Sulfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) Terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah Dan Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa. L*) Pada Berbagai Macam Tekstur Tanah. *Universitas Brawijaya*.
- Dicky, K., & Ratni, N. (2021). Bioremediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Dengan Metode Biostimulasi Di Woncolo, Bojonegoro. 2, 60–66.
- Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P., & Schroeder, E. D. (1998). *Bioremediation Principles. Mcgraw-Hill Book Company Europe*.
- Fadiati, D. (2020). Pemanfaatan Ekstrak Daun Seledri (*Apium Graveolens L.*) Dalam Bentuk Lilin Aromatik Untuk Menurunkan Kepadatan Lalat Di Peternakan Ayam Petelur X. *Poltekkes Kemenkes Yogyakarta*.
- Hadrah, H. (2017). Optimasi Rasio *Solid/Liquid* Pada Teknik *Soil Washing* Pasir Terkontaminasi Minyak Dari Proses Eksplorasi Minyak Bumi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 17(3), 253-258.
- Handrianto, P. (2018). Mikroorganisme Pendegradasi TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) Sebagai Agen Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal SainHealth*, 2(2), 35-42.
- Heryani, A. N. (2012). Studi Viabilitas Dan Pola Pertumbuhan *Bacillus Megaterium* Pada Konsentrasi Molase Dan Waktu Inkubasi Yang Berbeda. *Universitas Airlangga*.
- Hikamah, S. R., & Muslim, I. B. (2018). Pemanfaatan Limbah Pasar Dan Feses Ayam Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Jagung (*Zea Mays*). *Warta Pengabdian*, 12(1), 212-220.
- Husna, R. (2018). Dampak Sosial Dan Ekonomi Program Penanganan Limbah Peternakan (Studi Kasus Di Desa Gading Kulon, Kecamatan Dau). *Universitas Brawijaya*.
- Imanudin, O., & Widianingrum, D. (2018). Biokonversi Feses Ayam Broiler Yang Diberi Ransum Mengandung Limbah Jambu Biji Merah Sebagai *Feed Additive*. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 20(1), 42-51.

- Ipek, M., & Unlu, K. (2020). *Development Of Human Health Risk-Based Soil Quality Standards For Turkey: Conceptual Framework. Environmental Advances*, 1, 100004.
- Juliani, A., & Rahman, F. (2011). Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) Dengan Penambahan Kompos Sebagai *Bulking Agent* Dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), 01-18.
- Keputusan Kepala Bapedal. 01/Bapedal/09/1995 Tentang: Tata Cara dan Persyaratan teknis penyimpanan dan pengumpulan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.
- Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan Melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345-360.
- Kim, J. W., Hong, Y. K., Kim, H. S., Oh, E. J., Park, Y. H., & Kim, S. C. (2021). *Metagenomic Analysis For Evaluating Change In Bacterial Diversity In TPH Contaminated Soil After Soil Remediation*. *Toxics*, 9(12), 319.
- Kuppusamy, S., Maddela, N. R., Megharaj, & Venkateswarlu, K. (2020). *An Overview Of Total Petroleum Hydrocarbons. Total Petroleum Hydrocarbons: Environmental Fate, Toxicity, And Remediation*, 1-27.
- Kurniawan, A., Wirasembada, Y. C., Ningtyas Razaad, I. M., Novriansyah, A., Rafi, M., & Effendi, A. J. (2018). Hidrokarbon Aromatik Polisiklik Pada Lahan Tercemar Limbah Minyak Bumi: Tinjauan Pertumbuhan Mikroorganisme, Proses Metabolisme Dan Biodegradasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1), 9-24.
- Kusuma, O. P. U. (2021). Dampak Pencemaran Limbah Cair Industri Tenun Ikat Terhadap Kualitas Air Tanah Di Kelurahan Bandar Kidul Kota Kediri. *Jurnal Tecnoscienza*, 6(1), 13-29.
- Laksana, T. A. (2021, December). Bioremediasi Sludge Minyak Bumi Skala Laboratorium Menggunakan Kutur Campur Kapang Indigen Hidrokarbonoklastik Skala Laboratorium. *In Seminar Nasional Lahan Suboptimal* (Vol. 9, No. 2021, 154-161).

- Lestari, W., Martina, A., Roza, R. M., & Wardani, I. (2018). Potensi Jamur Indigenus Riau (*Penicillium Sp. Pn6*) Dan *Neptunia Oleracea* Untuk Bioremediasi *Oil Sludge*.
- Margiarso, T., & Puspita, B. (2020). Pengaruh Pupuk Tinja Ayam Dan Tanah Inceptisol Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) Dengan Varietas Yangambi D X P Ppks 239 Di Pembibitan Awal (Pre Nursery). *Prosiding Semnas" Pengelolaan Sumber Daya Alam Berkesinambungan Di Kawasan Gunung Berapi"*.
- Marlina, T. (2021). Uji Efektivitas Kotoran Sapi Dalam Remediasi Tanah Top Soil Yang Tercemar Oli. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Moenek, D., & Oematan, A. B. (2017). Endoparasit Pada Usus Ayam Kampung (*Gallus Domesticus*). *Jurnal Kajian Veteriner*, 5(2), 84-90.
- Multida, I., Sari, M., Nurlita, S., & Sudrajat, S. (2019). Pengaruh Penambahan Feses Ayam Dalam Ransum Terhadap Peningkatan Bobot Badan Ayam Kampung Unggul Balitbangtan (Ayam KUB). *Jurnal Agroekoteknologi dan Agribisnis*, 3(1).
- Munawar, & Mukhtasor. (2007). Proses Biostimulasi Dengan Optimasi Nutrien Untuk Bioremediasi Tanah Tercemar Tumpahan Minyak Mentah Dikawasan Pantai. Fakultas Ilmu Kelautan. *Institut Teknologi Surabaya*.1, 1–10.
- Munir, E. (2006). Pemanfaatan Mikroba Dalam Bioremediasi: Suatu Teknologi Alternatif Untuk Pelestarian Lingkungan.
- Ni'mah, L., Fyanidah, F., & Maulana, M. D. (2017). Pengolahan Limbah Minyak Pelumas Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *J. Chem*, 4(1), 2126.
- Oktafiani, S. (2022). Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli Dengan Perpaduan Metoda *Soil Washing* Menggunakan Surfaktan Non-Ionik Dan Biostimulasi Dengan Feses Kambing. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Pandit, M. A., & Kaur, J. (2023). *Microbial Nanostructures And Their Application In Soil Remediation. In Environmental Applications Of Microbial Nanotechnology* (pp. 81-95). Elsevier.

- Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 06/Permen LHK/BN. 2021 No. 294/2021 tentang Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun.
- Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 128/ Kepmen LHK 2003/2003 tentang Tata ara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi Dan Tanah Terkontaminasi Oleh Minyak Bumi Secara Biologis.
- Perdana, J. (2012). Uji Resistensi Dan Uji Biodegradasi Logam Berat (Pb, Zn, Dan Hg) Oleh Isolat Bakteri Lumpur Pantai Kenjeran. *Universitas Airlangga*.
- Permadi, I. M. A., & Murti, R. (2009). Dampak Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Dan Upaya Penanggulangannya Di Kota Denpasar. *Bagian Hukum Pemerintahan Fakultas Hukum Universitas Udayana*.
- Pranajaya, D., Hatiningrum, W. R., & Raharjo, M. S. (2015). Bioremediasi Pada Tanah Terkontaminasi Minyak Bumi. *Jurnal ESDM*, 7, 61-70.
- Prayitno, J. (2017). Ujicoba Konsorsium Mikroba Dalam Upaya Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Menggunakan Teknik *Landfarming* Skala Bangku. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 208-215.
- Prihatini, T. (2019). Pengaruh Feses Ayam Sebagai Pakan Terhadap Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*). *UIN Sunang Gunung Djati Bandung*.
- Purba, R. P., Sitorus, B., & Sembiring, M. (2014). Kajian Kesuburan Tanah Di Desa Sihiong, Sinar Sabungan Dan Lumban Lobu Kecamatan Bonatua Lunasi Kabupaten Toba Samosir. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(4), 101758.
- Putri, N. M. (2020). Uji Efektivitas Em-4 Dalam Mendegradasi *Total Petroleum Hydrocarbon* Pada Limbah Oli. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Rahayu, D. R., & Mangkoedihardjo, S. (2022). Kajian Bioaugmentasi Untuk Menurunkan Konsentrasi Logam Berat Di Wilayah Perairan Menggunakan Bakteri (Studi Kasus: Pencemaran Merkuri Di Sungai Krueng Sabee, Aceh Jaya). *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 15-22.
- Rahmaddy, M. R., & Sani, A. A. (2021). Pengaruh Katalis (Naoh) Dalam Proses Serta Hasil Pengolahan Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC). *Machinery: Jurnal Teknologi Terapan*, 2(1), 8-14.

- Ramadhona, M., Studi, P., Teknik, M., Kimia, J. T., Teknik, F., & Sriwijaya, U. (2022). *Oil Recovery Pada Limbah Tanah*.
- Retno T, D. L., & Mulyana, N. (2013). *Bioremediation Of Oil Sludge Contaminated Soil Using Bulking Agent Mixture Enriched Consortia Of Microbial Inoculants Based By Irradiated Compost*. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 9(2), 139-150.
- Riza, M. (2022). Remediasi Tanah Tercemar Hidrokarbon Limbah Oli Dengan Perpaduan Metode *Soil Washing* Menggunakan Surfaktan Non-Ionik Dan Biostimulasi Feses Kuda. 1–23. *Universitas Islam Negeri Ar-Raniry*.
- Rizna, W. (2018). Pengaruh Ekstrak Kasar (*Asystasia Gangetica L*) Sebagai Biostimulan Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Jagung (*Zea Mays L*) Pada Tanah Ultisol. *Universitas Andalas*.
- Rosiati, L. F. (2016). Fitoremediasi Limbah Minyak Pelumas (Oli) Menggunakan Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum*). *Uin Sunan Kalijaga Yogyakarta*.
- Rostianingsih, S., Handojo, A., Setiawan, A., & Usmana, K. S. (2019). *Hydrocarbon Compounds Learning Application*. In *2019 4th Technology Innovation Management And Engineering Science International Conference (TIMES-ICON)* (pp. 1-4). *IEEE*.
- Sari, G. L., Mizwar, A., & Trihadiningrum, Y. (2016). Pengaruh pH Tanah Terhadap Proses Biodegradasi *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) pada Tanah Terkontaminasi Batubara. *Jurnal Teknologi*, 8(1), 31-38.
- Sayed, K., Baloo, L., & Sharma, N. K. (2021). *Bioremediation Of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) By Bioaugmentation And Biostimulation In Water With Floating Oil Spill Containment Booms As Bioreactor Basin*. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 18(5), 2226.
- Setiadi, Y., Salim, F., & Silmi, Y. (2014). Seleksi Adaptasi Jenis Tanaman Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 5(3), 160–166.
- Sinaga, B. P. (2015). Remediasi Tanah Terkontaminasi *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) Dengan Penambahan Surfaktan *Biodegradable* Pada Metode *Co-Composting*.
- SNI. (1998). SNI-19-0428-1998-Petunjuk-pengambilan-contoh-padatan. (pp.1–12).

- Sopiah, N., Hermanto, S., & Mubarak, Z. R. (2012). Pengaruh Penambahan Mn^{2+} Dan Mg^{2+} Pada Media *Stone Mineral Salt Solution Extract Yeast* (SMSSEY) Terhadap Kinerja Isolat Bakteri Dm-5. *Ecolab*, 6(2), 61-73.
- Subiyanto, S. (2006). Spesifikasi Dan Standar Spesifikasi Minyak Lumas Motor Bensin Untuk Kendaraan. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 40(3), 37-44.
- Suheri, H., Kusmarwiyah, R., & Isnaini, M. (2021). Pengelolaan Legum Penutup Tanah Untuk Meningkatkan Kualitas Tanah Di Aikmel Utara, Lombok Timur. *Jurnal Siar Ilmuwan Tani*, 2(2), 112-117.
- Suja, F., Rahim, F., Taha, M. R., Hambali, N., Razali, M. R., Khalid, A., & Hamzah, A. (2014). *Effects Of Local Microbial Bioaugmentation And Biostimulation On The Bioremediation Of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) In Crude Oil Contaminated Soil Based On Laboratory And Field Observations. International Biodeterioration & Biodegradation*, 90, 115-122.
- Sukanto, S., & Sudiyono, S. (2022). Teknologi Penyediaan Pakan Cacing Berbasis Feses Ayam Di Pusat Pengembangan Pertanian Terpadu (P3T) "Cangkul" Kelurahan Tunjungsekar Kota Malang. *J-Dinamika: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 7(1), 99-103.
- Sun, Z., Xia, F., Lou, Z., Chen, X., Zhu, N., Yuan, H., & Shen, Y. (2020). *Innovative Process For Total Petroleum Hydrocarbons Reduction On Oil Refinery Sludge Through Microbubble Ozonation. Journal Of Cleaner Production*, 256, 120337.
- Supriyanto, A., & Affandi, M. (2009). Biomediasi Tanah Tercemar Minyak Menggunakan Konsorsium Mikroba.
- Tuamano, S. R. B. (2017). Bioremediasi Limbah Oli Bekas Kendaraan Bermotor Dengan Lumpur Aktif Dengan Variasi Penambahan Bakteri Lokal Yang Diidentifikasi Dengan Sekuen 16s rDNA. *UAJY*.
- Type. (2005). *Regulations Regarding Quality Standards for Soil*. 804, 5–8.
- Vyatrawan, L. (2015). Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Metode Soil Washing Dan Biostimulasi. Jurusan Teknik Lingkungan, *Institut Teknologi Surabaya*.

- Wagiono, W., Atmono, A., & Wulandari, D. A. (2022). Pengaruh Variasi Waktu Terhadap Penurunan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) pada Proses Bioremediasi Limbah Oli dengan Metode Biostimulasi. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 5(2), 109-120.
- Wasis, B., & Fitriani, A. S. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi Dan *Cocopeat* Terhadap Pertumbuhan *Falcataria Mollucana* Pada Media Tanah Tercemar Oli Bekas. *Journal Of Tropical Silviculture*, 13(03), 198-207.
- Welan, Y. S. L., & Refli, M. R. S. (2019). Isolasi Dan Uji Biodegradasi Bakteri Endogen Tanah Tumpahan Oli Bekas Di Kota Kupang. *Jurnal Biotropikal Sains*, 16(1), 61–72.
- Yahya, H. (2019). Analisis Kadar Air dan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) dari Proses Bioremediasi Limbah Oli dengan Metode Pengomposan. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(1), 372-375.
- Zam, S. I. (2010). Optimasi Konsentrasi Inokulum, Rasio C: N: P dan pH Pada Proses Bioremediasi Limbah Pengilangan Minyak Bumi Menggunakan Kultur Campuran. *El-Hayah*, 1(2).
- Zeneli, A., Kastanaki, E., Simantiraki, F., & Gidarakos, E. (2019). *Monitoring The Biodegradation Of TPH And Pahs In Refinery Solid Waste By Biostimulation And Bioaugmentation*. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103054.

جامعة الرانيري

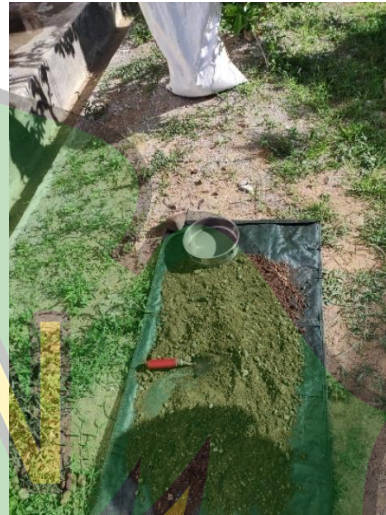
A R - R A N I R Y

LAMPIRAN 1

DOKUMENTASI PENELITIAN



Lokasi pengambilan sampel tanah



Pengayakan dan penjemuran sampel



Pengambilan feses ayam



Pengambilan tanah yang sudah dihaluskan



Pengambilan N-heksana



Pengadukan menggunakan
magnetic stirrer



Penyaringan menggunakan
kertas saring



Sampel dimasukkan ke dalam
oven



Biostimulasi dengan feses ayam
pada hari ke-0



Sampel sebelum pencampuran
dengan N-heksana



Pengukuran suhu



Pengukuran pH tanah



Sampel di oven selama 2 jam
dengan suhu 70 °C



Hasil setelah di oven



Didinginkan di dalam desikator
selama 30 Menit



Hasil setelah di desikator



Ditimbang residu sisa



Biostimulasi dengan feses ayam
pada hari ke-21



LAMPIRAN 2

DATA HASIL DAN PERHITUNGAN

Tabel 4. 4 Perhitungan Hasil *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

Waktu (hari)	Sampel	Berat Vial Awal	Berat Vial Akhir	Residu TPH	% TPH
0	P0	68,10	68,40	0,30	6
	P1	61,95	62,25	0,30	6
	P2	62,45	62,75	0,30	6
	P3	66,59	66,89	0,30	6
	P4	67,60	67,90	0,30	6
7	P0	52,50	52,79	0,29	5,8
	P1	54,32	54,57	0,25	5
	P2	53,59	53,83	0,24	4,8
	P3	56,30	56,51	0,21	4,2
	P4	51,62	51,82	0,20	4
14	P0	47,18	47,47	0,29	5,8
	P1	50,83	51,07	0,24	4,8
	P2	53,66	53,87	0,21	4,2
	P3	47,68	47,87	0,19	3,8
	P4	51,68	51,84	0,16	3,2
21	P0	53,35	53,63	0,28	5,6
	P1	52,38	52,61	0,23	4,6
	P2	55,71	55,89	0,18	3,6
	P3	54,22	54,33	0,11	2,2
	P4	48,79	48,89	0,10	2

PERHITUNGAN

Diketahui bahwa efektivitas penurunan TPH dalam 21 hari adalah 66,67% dengan TPH akhir 2% dan komposisi tanah 400 gram + 200 gram feses ayam. Maka kita dapat menghitung konsentrasi TPH pada hari ke-21 sebagai berikut:

$$66,67\% = \frac{2 - C_{21}}{2} \times 100$$

$$C_{21} = 2 - \frac{66,67\%}{100\%} \times 2$$

$$C_{21} = 0,6667 \text{ mg/kg}$$

Selanjutnya, kita dapat mencari hari beberapa (t) yang dapat menurunkan TPH hingga mencapai 1% dengan menggunakan rumus yang sama:

$$1\% = \frac{2 - C_t}{2} \times 100\%$$

$$C_t = 2 - \frac{1\%}{100\%} \times 2$$

$$C_t = 1,98 \text{ mg/kg}$$

Karena kita mengasumsikan bahwa penurunan TPH berlangsung secara linear, maka kita dapat menggunakan rumus proporsi untuk mencari t:

$$\frac{t - 21}{1\% - 66,67\%} = \frac{21}{66,67\%}$$

$$t = 21 + \frac{1\% - 66,67\%}{66,67\%} \times 21$$

$$t = 62,5 \text{ hari}$$

Untuk mengetahui berapa penambahan tanah yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi TPH awal 2%, kita perlu menggunakan rumus persentase massa

$$m_2 = \frac{m_1 \times p_1}{p_2}$$

m_1 adalah massa tanah awal, p_1 adalah persentase massa TPH awal, dan p_2 adalah persentase massa TPH akhir.

Diketahui bahwa massa TPH awal adalah $2\% \times (400+200) = 5$ gram. Maka kita dapat mencari massa tanah (m_2) yang dibutuhkan untuk mencapai persentase massa TPH akhir 1% dengan menggunakan rumus yang sama:

$$m_2 = \frac{400 \times 0,02}{0,01} = 800 \text{ gr}$$

Jadi, untuk mencapai konsentrasi TPH awal 1%, dibutuhkan penambahan tanah sebanyak **800 gram**.

