

KINERJA BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI MENGUNAKAN BIO-OIL *SPILL DISPERSANT* YANG MENGANDUNG ENDOSPORA *Bacillus pseudomycoides* RAY21

YENI VERONIKA SIMATUPANG



**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Kinerja Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Bio-Oil *Spill Dispersant* yang Mengandung Endospora *Bacillus pseudomycoides* RAY21” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun yang tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor

Bogor, Agustus 2025

Yeni Veronika Simatupang
P0501211006

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

YENI VERONIKA SIMATUPANG. Kinerja Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Bio-Oil Spill Dispersant yang Mengandung Endospora *Bacillus pseudomycoides* RAY21. Dibimbing oleh ANAS MIFTAH FAUZI dan MOH. YANI.

Pencemaran tanah oleh minyak bumi merupakan masalah lingkungan serius yang memerlukan solusi remediasi yang efektif dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja bioremediasi tanah tercemar minyak bumi menggunakan formula Bio-Oil Spill Dispersant (Bio-OSD) berbahan kelapa sawit sebagai media pembawa endospora bakteri pendegradasi hidrokarbon, *Bacillus pseudomycoides* RAY21.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis viabilitas (daya tahan) endospora *Bacillus pseudomycoides* RAY21 dalam Bio-OSD selama 30 hari, serta uji kinerja bioremediasi pada bioreaktor menggunakan tanah tercemar minyak bumi dalam kondisi steril dan non-steril selama empat minggu. Kinerja dievaluasi melalui analisis *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) secara gravimetri, pengukuran parameter lingkungan (pH, suhu, kadar air, populasi mikrob), dan analisis perubahan senyawa hidrokarbon menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Perbandingan efisiensi biodegradasi dilakukan antara pengaplikasian formula tunggal (Bio-OSD mengandung endospora) dengan pengaplikasian bertahap (Bio-OSD terlebih dahulu, diikuti inokulasi bakteri).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa endospora *B. pseudomycoides* RAY21 mampu bertahan dan tetap viabel di dalam media pembawa Bio-OSD selama 30 hari masa penyimpanan. Perlakuan menggunakan formula Bio-OSD yang mengandung endospora secara signifikan lebih unggul dibandingkan perlakuan tunggal Bio-OSD saja, kultur bakteri *B. pseudomycoides* saja, dan perlakuan bertahap, dengan nilai efisiensi degradasi TPH mencapai 76,58% pada tanah steril (S4) dan 70,11% pada tanah non-steril (N4) dalam empat minggu. Metode aplikasi menggunakan Bio-OSD mengandung endospora *B. pseudomycoides* terbukti lebih efektif dibandingkan dengan metode aplikasi bertahap. Analisis GC-MS mengonfirmasi bahwa perlakuan ini berhasil mendegradasi fraksi hidrokarbon yang kompleks dan bersifat rekalsitran (sulit terurai), termasuk senyawa rantai panjang seperti *n-Hexatriacontane* (C36) dan *n-Dotriacontane* (C32). Penelitian ini membuktikan bahwa formula Bio-OSD mengandung endospora *B. pseudomycoides* RAY21 merupakan agen bioremediasi yang stabil dan efektif untuk pemulihan tanah yang terkontaminasi minyak bumi.

Kata kunci: *Bacillus pseudomycoides* RAY21, Bio-OSD, bioremediasi, endospora, minyak bumi.

SUMMARY

YENI VERONIKA SIMATUPANG. Bioremediation Performance of Crude oil-Contaminated Soil Using a Bio-Oil Spill Dispersant Containing *Bacillus pseudomycooides* RAY21 Endospores. Survived by ANAS MIFTAH FAUZI dan MOH. YANI.

Soil contamination by crude oil is a serious environmental problem that requires effective and eco-friendly remediation solutions. This study aims to analyze the performance of bioremediation for crude oil-contaminated soil using a Bio-Oil Spill Dispersant (Bio-OSD) formula derived from palm oil as a carrier medium for hydrocarbon-degrading bacterial endospores, *Bacillus pseudomycooides* RAY21.

The research was conducted to analyze the viability of *Bacillus pseudomycooides* RAY21 endospores in Bio-OSD over 30 days, as well as to evaluate the bioremediation performance in a bioreactor using crude oil-contaminated soil under sterile and non-sterile conditions over four weeks. Performance was evaluated through gravimetric analysis of *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH), measurement of environmental parameters (pH, temperature, moisture content, microbial population), and analysis of hydrocarbon compound changes using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The biodegradating efficiency was compared between a single-application formula (Bio-OSD containing endospores) and a stepwise application (Bio-OSD applied first, followed by bacterial inoculation).

The results showed that *B. pseudomycooides* RAY21 endospores were able to survive and remain viable in the Bio-OSD carrier medium for 30 days of storage. Treatment using the Bio-OSD formula containing endospores was significantly superior to other treatments, with TPH degradation efficiency reaching 76.58% in sterile soil (S4) and 70.11% in non-sterile soil (N4) within four weeks. This application method also proved to be more effective than the stepwise application method. GC-MS analysis confirmed that this treatment successfully degraded complex and recalcitrant hydrocarbon fractions, including long-chain compounds such as n-Hexatriacontane (C36) and n-Dotriacontane (C32). This study demonstrates that the Bio-OSD formula containing *B. pseudomycooides* RAY21 endospores is a stable and effective bioremediation agent for the recovery of crude oil-contaminated soil.

Keywords: *Bacillus pseudomycooides* RAY21, Bio-OSD, bioremediation, crude oil endospore.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KINERJA BIOREMEDIASI TANAH TERCEMAR MINYAK BUMI MENGUNAKAN *BIO-OIL SPILL DISPERSANT* YANG MENGANDUNG ENDOSPORA *Bacillus pseudomycoides* RAY21

YENI VERONIKA SIMATUPANG

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Ilmu Bioteknologi

**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

Pimpinan Ujian : Prof. Dr. Ir. Khaswar Syamsu, M.Sc. ST

Anggota : Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi M.Eng

: Prof. Dr. Mohamad Yani, M.Eng

Penguji Luar Komisi : Dr. Ir. Syaiful Anwar M.Sc



Judul Tesis : Kinerja Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi
Menggunakan Bio-Oil *Spill Dispersant* yang Mengandung
Endospora *Bacillus pseudomycoides* RAY21

Nama : Yeni Veronika Simatupang
NIM : P0501211006

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi M.Eng



Pembimbing 2:

Prof. Dr. Mohamad Yani, M.Eng



Diketahui oleh

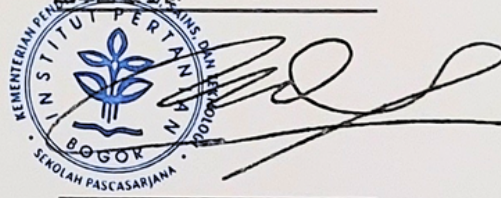
Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Miftahudin, M. Si
NIP 196204191989031001



Dekan Sekolah Pascasarjana:

Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.
NIP 197003291996081001





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2024 sampai bulan April 2025 ini ialah bioremediasi tanah, dengan judul “Kinerja Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Bumi Menggunakan Bio-Oil Spill Dispersant yang Mengandung Endospora *Bacillus pseudomycolides* RAY21”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi M.Eng dan Prof. Dr. Mohamad Yani, M.Eng yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada ketua program studi bioteknologi Prof. Dr. Miftahudin, M. Si, pimpinan sidang tesis Prof.Dr.Ir. Khaswar Syamsu, M.Sc. ST, dan penguji luar komisi pembimbing Dr. Ir. Syaiful Anwar M.Sc dan staf tenaga kependidikan program studi bioteknologi Keresyanto Kaparang, A.Md. Penulis menyampaikan rasa terima kasih atas dukungan dan kasih sayang yang senantiasa diberikan oleh seluruh keluarga, khususnya kepada Papa dan Mama yang telah menjadi sumber semangat dan doa dalam setiap langkah proses ini. Terima kasih kepada rekan-rekan tim penelitian serta teman-teman seangkatan di program studi bioteknologi atas kerja sama, dukungan, dan diskusi yang konstruktif selama proses penelitian ini. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Bogor, Agustus 2025

Yeni Veronika Simatupang



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konteks Pencemaran Tanah oleh Minyak Bumi	5
2.2 Hidrokarbon Minyak Bumi dan Tantangan Biodegradasi	6
2.3 Prinsip, Keunggulan, dan Keterbatasan Bioremediasi	7
2.4 Peran Mikroorganisme Pendegradasi Hidrokarbon	10
2.5 Stabilitas dan Germinasi Endospora <i>Bacillus sp.</i>	11
2.6 Perbandingan <i>Oil Spill Dispersant</i> Kimiawi dan <i>Plant Based</i>	12
2.7 Parameter Keberhasilan Bioremediasi	12
III METODE	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Jenis dan Sumber Data	15
3.4 Prosedur Kerja	15
3.4.1 Persiapan Bio- <i>Oil Spill Dispersant</i> (OSD)	17
3.4.2 Peremajaan kultur <i>B. pseudomycoides</i> RAY21	17
3.4.3 Analisis Kurva Pertumbuhan pada Subtrat Potensial	17
3.4.4 Produksi Endospora dalam Bio-OSD	17
3.4.5 Konfirmasi Pembentukan Endospora	18
3.4.6 Uji Viabilitas Endospora dalam Bio-OSD	18
3.4.7 Validasi Kemampuan Bio-OSD mengandung endospora	18
3.4.8 Persiapan Sampel Tanah Minyak Bumi	18
3.4.9 Uji Efektivitas Bio-OSD mengandung endospora	19
3.4.10 Analisis Pengaruh Perlakuan Terhadap Kondisi Tanah	21
3.4.11 Analisis Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)	21
3.4.12 Analisis Data	21
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Peremajaan Kultur Bakteri <i>B. pseudomycoides</i> RAY21	23
4.2 Kurva Pertumbuhan	24
4.3 Produksi Endospora dalam Bio-OSD	24
4.4 Uji Viabilitas Endospoora dalam Bio-OSD	25
4.5 Persiapan Sampel Tanah Tercemar Minyak Bumi	26
4.6 Validasi Kemampuan Bio-OSD mengandung endospora	26
4.7 Uji Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Bioreaktor	27
4.7.1 Kondisi pada kontrol perlakuan	31
4.7.2 Kondisi pada perlakuan penggunaan Bio-OSD	32



4.7.3	Kondisi pada perlakuan penggunaan <i>B.pseudomycoides</i> RAY21	33
4.7.4	Kondisi pada perlakuan bertahap Bio-OSD dan <i>B.pseudomycoides</i> RAY21	34
4.7.5	Kondisi pada perlakuan Bio-OSD mengandung endospora <i>B.pseudomycoides</i> RAY21	35
4.8	Perbandingan Efisiensi Degradasi Menggunakan Bio-OSD Mengandung Endospora dengan Inokulasi Bertahap	36
4.9	Perubahan Senyawa Hidrokarbon Setelah Bioremediasi	38
4.9.1	Kontrol perlakuan pada tanah non-steril dan steril	38
4.9.2	Perlakuan menggunakan Bio-OSD	40
4.9.3	Perlakuan menggunakan <i>B. pseudomycoides</i> RAY21	41
4.9.4	Perlakuan bertahap Bio-OSD dan <i>B. pseudomycoides</i> RAY21	42
4.9.5	Perlakuan menggunakan Bio-OSD mengandung endospora <i>B. pseudomycoides</i> RAY21	44
V	SIMPULAN & SARAN	49
5.1	Simpulan	49
5.2	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	51
	LAMPIRAN	57
	RIWAYAT HIDUP	61

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Jenis dan sumber data penelitian	16
2	Unit perlakuan pada bioreaktor	19
3	Parameter uji dan metode analisis yang digunakan	21
4	Perubahan luas puncak kromatogram senyawa hidrokarbon analisis GCMS setelah proses bioremediasi 4 minggu	47

DAFTAR GAMBAR

1	Data sebaran lahan terkontaminasi limbah B3 di Indonesia (2015-2018) (KLHK, 2021)	5
2	Struktur benzena (Dembicki 2022)	6
3	Struktur aromatik murni dan <i>naphthenoaromatic</i> (Dembicki 2022)	6
4	(A) Struktur umum molekul surfaktan. (B) Skema representasi pengaplikasian <i>Oil Spill Dispersant</i> (OSD) (1) Lapisan minyak pada permukaan air (2) OSD diaplikasi pada permukaan minyak dan bagian-bagian hidrofilik pada OSD akan mengikat air dan lapisan hidrofobik akan mengikat lapisan minyak (3) Tegangan antar muka pada lapisan minyak akan menurun dan menyebabkan minyak terdispersi. Gambar merupakan pengembangan koseptual (National Research Council 2005	8
5	Representasi skematis dari konsep <i>bioavailability</i> , minyak terdispersi menjadi misel-misel berukuran mikro, sehingga memudahkan akses bakteri memanfaatkan hidrokarbon. Gambar ini dikembangkan berdasarkan model konseptual (Benyahia dan Embaby 2016)	9
6	Gambaran umum mekanisme germinasi <i>Bacillus sp.</i> (Santos 2014)	11
7	Diagram alir prosedur penelitian	16
8	Desain bioreaktor yang digunakan dalam proses bioremediasi merupakan pengembangan konseptual (Ajona dan Vasanthi 2020)	19
9	Rangkaian keseluruhan bioreaktor	20
10	Pengamatan visual pertumbuhan <i>B. pseudomycooides</i> RAY21 pada (A) media MSM + <i>crude oil</i> , (B) media MSM + Bio-OSD, (C) media MSM + <i>crude oil</i> +Bio-OSD	23
11	(A) Penumbuhan <i>B. pseudomycooides</i> RAY21 MSM dengan penambahan <i>crude oil</i> , (B) Media MSM dengan <i>crude oil</i> (kontrol)	24
12	Kurva pertumbuhan <i>B. pseudomycooides</i> RAY21 pada beberapa media	24
13	(A) Pengamatan mikroskopis hasil pewarnaan endospora dengan 100 kali perbesaran, (B) Palet endospora yang dihasilkan setelah disentrifugasi	25
14	Pengamatan viabilitas endospora dalam Bio-OSD	26
15	Hasil uji validasi kemampuan Bio-OSD mengandung endospora <i>B. pseudomycooides</i> RAY21 pada skala laboratorium	27
16	Analisis penurunan TPH pada bioremediasi selama empat minggu pada tanah steril (S0-S4) dan tanah non-steril (N0-N4)	28
17	Perubahan populasi mikrob selama 4 minggu bioremediasi	29
18	Perubahan pH selama empat minggu bioremediasi	29
19	Perubahan kadar air selama empat minggu bioremediasi	30



20	Perubahan suhu selama 4 minggu bioremediasi	30
21	Diagram terintegrasi parameter pada (A) kontrol tanah steril S0, (B) kontrol tanah non-steril N0	32
22	Diagram terintegrasi parameter pada perlakuan tunggal Bio-OSD di (A) tanah steril S1 dan (B) tanah non steril N1	33
23	Diagram terintegrasi parameter perlakuan kultur <i>B.pseudomycoides</i> RAY21 di (A) tanah steril S2 dan (B) tanah non steril N2	34
24	Diagram terintegrasi parameter perlakuan bertahap Bio-OSD dan <i>B.pseudomycoides</i> RAY21 di (A) tanah steril S3 dan (B) tanah non steril N3	35
25	Diagram parameter terintegrasi pada perlakuan (A) Bio-OSD mengandung endospora di tanah steril S4 (B) Bio-OSD mengandung endospora di tanah non steril N4	36
26	Perbandingan efisiensi degradasi pengaplikasian bertahap menggunakan Bio-OSD yang dilanjutkan pemberian kultur <i>B. pseudomycoides</i> RAY21 pada tanah steril S3 dan non-steril N3 dengan perlakuan menggunakan Bio-OSD mengandung endospora <i>B. pseudomycoides</i> RAY21 pada tanah steril S4 dan non-steril N4	37
27	Kromatogram analisis GCMS pada sampel tanah tercepar minyak bumi sebelum proses bioremediasi	38
28	Kromatogram analisis GCMS pada kontrol perlakuan (A) steril S0 dan (B) non-steril N0 setelah empat minggu masa inkubasi	39
29	Kromatogram analisis GC-MS sampel menggunakan Bio-OSD pada tanah (A) steril S1 dan (B) non-steril N1 setelah empat minggu	41
30	Kromatogram analisis GCMS sampel tanah dengan perlakuan <i>B. pseudomycoides</i> RAY21 pada kondisi (A) steril S2 dan (B) non-steril N2 setelah empat minggu	42
31	Kromatogram analisis GC-MS sampel tanah dengan perlakuan bertahap menggunakan Bio-OSD yang dilanjutkan <i>B. pseudomycoides</i> RAY21 pada kondisi (A) steril S3 dan (B) non-steril N3 setelah empat minggu	43
32	Kromatogram GCMS sampel tanah dengan perlakuan Bio-OSD mengandung endospora <i>B. pseudomycoides</i> RAY21 pada kondisi (A) steril S4 dan (B) non-steril N4 setelah empat minggu	44

DAFTAR LAMPIRAN

1	Penampakan tanah tercemar minyak bumi dilokasi pengambilan sampel (A) kadar TPH 7,24% dan (B) 4,56 %	58
2	<i>Pre-treatment</i> tanah tercemar minyak bumi	58
3	Rangkaian bioreaktor	58
4	Residu minyak bumi saat pengukuran TPH (A) hasil ekstraksi dandan n-hexana dan (B) setelah proses evaporasi n-hexana	59
5	Analisis ANNOVA One Way nilai efisiensi degradasi $\alpha=0,05$	59