

113/Biologi (dan Bioteknologi Umum) Bidang :  
Kemandirian Pangan

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI  
(PDUPT)**



**JUDUL PENELITIAN:**

**MODEL OPTIMALISASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA SEBAGAI  
MEDIA TANAM MELALUI KAJIAN INTERAKSI MULTISIMBIOTIK  
MIKROORGANISME DAN DINAMIKA UNSUR HARA TANAH**

**TIM PENGUSUL:**

**Dr. Yuni Sri Rahayu, M.Si**

**NIDN 0008066605**

**Dr. Yuliani, M.Si**

**NIDN 0021076801**

**Dr. Mahanani Tri Asri, M. Si.**

**NIDN 0024076703**

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA  
TAHUN 2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Model Optimalisasi Lahan Bekas Tambang Batubara Sebagai Media Tanam Melalui Kajian Interaksi Multisimbiotik Mikroorganisme Dan Dinamika Unsur Hara Tanah

### **Peneliti/Pelaksana**

Nama Lengkap : Dr. Yuni Sri Rahayu, M.Si  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya  
NIDN : 0008066605  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Pendidikan Biologi  
Nomor HP : 082131758484  
Alamat surel (e-mail) : yunirahayu@unesa.ac.id

### **Anggota (1)**

Nama Lengkap : Dr. Dra. Yuliani, M.Si  
NIDN : 0021076801  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

### **Anggota (2)**

Nama Lengkap : Dr. Mahanani Tri Asri, M. Si.  
NIDN : 0024076703  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Surabaya

### **Institusi Mitra (Jika Ada)**

Nama Institusi Mitra :-  
Alamat :-  
Penanggung Jawab :-  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 Dari rencana 3 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 128.000.000,-  
Biaya Keseluruhan : Rp.376.949.000,-

Surabaya, 20 Desember 2022

Ketua Peneliti,



**Dr. Yuni Sri Rahayu, M.Si**  
NIDN 0008066605





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA**  
Kampus Lidah, Jalan Lidah Wetan Unesa, Surabaya 60213  
Telepon 031-99421834, 99421835, Faksimil : 031-99424002  
Laman : [www.unesa.ac.id](http://www.unesa.ac.id)

---

KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA  
NOMOR 582/UN38/HK/PP/2022

TENTANG

PENERIMA PENDANAAN PENELITIAN PROGRAM DESENTRALISASI  
DAN KOMPETITIF NASIONAL DI PERGURUAN TINGGI  
TAHUN ANGGARAN 2022 TAHAP II

REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA,

- Menimbang : a. bahwa berdasarkan hasil seleksi desk evaluasi dan pemaparan proposal penelitian yang dilakukan oleh panitia seleksi, telah ditetapkan Penerima Pendanaan Penelitian Program Desentralisasi Dan Kompetitif Nasional Di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap II;
- b. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a, perlu menetapkan Keputusan Rektor Universitas Negeri Surabaya Tentang Penetapan Penerima Pendanaan Penelitian Program Desentralisasi Dan Kompetitif Nasional Di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap II;
- Mengingat : 1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2009 tentang Dosen (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 76, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5007);
2. Peraturan Pemerintah RI Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 16, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);
3. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 92/PMK.05/2011 tentang Rencana Bisnis dan Anggaran Serta Pelaksanaan Anggaran Badan Layanan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 363);
4. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 15 Tahun 2016 tentang Organisasi dan Tata Kerja Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 889);
5. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 79 Tahun 2017 tentang Statuta Universitas Negeri Surabaya (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 1858);

6. Keputusan Menteri Keuangan RI Nomor 50/KMK.05/2009 tentang Penetapan Universitas Negeri Surabaya Pada Departemen Pendidikan Nasional sebagai Instansi Pemerintah yang menerapkan Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
7. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi RI Nomor 461/M/KPT.KP/2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Negeri Surabaya Periode Tahun 2018-2022;

MEMUTUSKAN :

- Menetapkan : KEPUTUSAN REKTOR UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA TENTANG PENETAPAN PENERIMA PENDANAAN PENELITIAN PROGRAM DESENTRALISASI DAN KOMPETITIF NASIONAL DI PERGURUAN TINGGI TAHUN ANGGARAN 2022 TAHAP II.
- KESATU : Menetapkan Penerima Pendanaan Penelitian Program Desentralisasi Dan Kompetitif Nasional Di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap II sebagaimana tercantum dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Rektor ini.
- KEDUA : Dalam melaksanakan tugasnya sebagai Penerima Pendanaan Penelitian Program Desentralisasi Dan Kompetitif Nasional Di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap II, wajib berpedoman pada ketentuan yang berlaku.
- KETIGA : Keputusan Rektor ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan tanggal 25 November 2022

Ditetapkan di Surabaya  
pada tanggal 30 Mei 2022  
REKTOR UNIVERSITAS NEGERI  
SURABAYA,

Salinan sesuai dengan aslinya.  
Kepala Biro Umum dan Keuangan,



SULAKSONO  
NIP 196504091987011001

ttd

NURHASAN  
NIP 196304291990021001

Lampiran :  
Nomor : 582/UN/SS/HK/PP/2022  
Tanggal : 30 Mei 2022

Kepulauan Belau  
: 30 Mei 2022

DAFTAR PEMBINA PROMOSIAN PENELITIAN PROGRAM DESKANTALISASI DAN KONVERSI NASIONAL DI PERGURUAN TINGGI TAHUN ANGGARAN 2022 TAPAP II  
DAWA DITPM TAHUN 2022

No.	Fakultas	Jurusan	Program Studi	Judul	Tim Peneliti	MDN	Gd.	Pend.	L/P	Waktu (bn)	Dana yg dituntut (Rp)	Termin 1 70%	Termin 2 30%	Sarana
1	FTD	Fisika	Fisika	Pengujian Realitas Far infrared Metode Sarna Terhadap Belahan dan Kerusakan Ciri pada Arah Sempit Alhambra Fisik Indonesia Sektorsial	Dr. Gus Wirawan, M.Kec. Kerlin Katurina, S.Pd., M.Kes. Hendani, S.Pd., M.Pd.	003030303 0016025401 0030303001	8/C 8/B 8/C	5-3 5-2 5-2	1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	250.000.000 175.000.000 75.000.000	175.000.000 125.000.000 50.000.000	75.000.000 25.000.000 25.000.000	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
2	FT	Pendidikan Fisika	Pendidikan Fisika	Pengembangan Aplikasi Kertas Digital Indikator Pencapaian Kompetensi berbasis Artificial Intelligence untuk Mengoptimalkan Debaran Pembelajaran Abad ke-21 di Jurusan FISIKA	Rina Harunanti, S.Pd., M.T. Prof. Dr. Wahyu Sabarungah, M.Pd. Robhan Mulyadi Mulyadi, S.Pd., M.Pd Nur Anis Susanti, S.Pd., M.Pd.	0017126805 0018016801 0023039501 0001117905	8/D 8/D 8/B 8/B	5-2 5-3 5-2 5-2	1 1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	250.000.000 175.000.000 75.000.000	175.000.000 125.000.000 50.000.000	75.000.000 25.000.000 25.000.000	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
3	FIS	Bahasa dan Sastra Inggris	Sastra Inggris	Strategi Self-Regulated Reading dalam Membaca Teks digital Oleh Calon Guru Pendidikan Bahasa Inggris: Konsepualisasi dan Penerapannya di Kelas	Prof. Drs. Slamet Setiawan, M.A., Ph.D. Syaf'ul Anam, Ph.D. Anita Rahmatul Laili, M.Pd.	0008066806 0016097804	8/B 8/C -	5-3 5-3 5-2	1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	50.000.000 35.000.000 15.000.000	35.000.000 25.000.000 10.000.000	15.000.000 5.000.000 5.000.000	Penelitian Dasar Doktor
4	FT	Teknik Mesin	Teknik Mesin	Banjaran Bangun Keajaiban Seperti Motor Jaman Lingkungan Beranalogi Model: Catalytic Converter Logam Transisi Untuk Mendukung Produk Inovasi Unggulan Transportasi	Dr. Wahyu, S.Pd., S.T., M.T. Arya Mahendra Sidiq, S.T., M.T. Abdul Hamid	0030303021 0030027903 -	8/D 8/A -	5-3 5-2 -	1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	148.000.000 100.100.000 48.900.000	100.100.000 65.000.000 35.100.000	48.900.000 15.000.000 15.000.000	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
5	FMIPA	Biologi	Pendidikan Sains	Model Operasional Lahan Bekas Tambang Batu bara Sebagai Media Terapan Model Kajian Inovasi Multibiotik Mikrocogonisme dan Osmotika Lihar Hara Tanah	Dr. Teri Sri Rahayu, M.Si Dr. Yuliani, M.Si Dr. Mahanani Tri Anis, M.Si.	0008066605 0021076801 0034076703	8/A 8/C 8/B	5-3 5-3 5-3	1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	128.000.000 89.000.000 38.400.000	89.000.000 59.000.000 30.000.000	38.400.000 15.000.000 15.000.000	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
6	FT	Teknik Informatika	Teknik Informatika	Manajemen Pengujian Emosi Fungsia Oleh Pada Pembelajaran Dengan Berbantu Osmotika Muka	Dr. Teri Yumarni, S.Kom., M.Kom. Anita Gornalis, S.Kom., M.Kom. Naim Kodhewati, S.Kom., M.T.	0002067504 0025016903 0001127502	8/D 8/A 8/A	5-3 5-2 5-2	1 1 1	30 Mei 2022 s.d. 25 November 2022	70.000.000 49.000.000 21.000.000	49.000.000 29.000.000 20.000.000	21.000.000 10.000.000 10.000.000	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi
<b>Grand Total</b>											<b>891.000.000</b>	<b>623.700.000</b>	<b>267.300.000</b>	



Menyempatkan dengan alihnya  
Pusat Pengajaran dan Kejurangan,  
Sulangsiwa

0855040913817011001

Ditujukan di : Surabaja  
Pusat Pengajaran : 30 Mei 2022  
Rektor

NUJUMASMAN  
NIP. 198.50.4291990021001

# PENGUMUMAN PENERIMAAN DARI DRTPM



## KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI, RISET, DAN TEKNOLOGI

Jalan Jenderal Sudirman, Senayan, Jakarta 10270  
Telepon (021) 57946104, Pusat Panggilan ULT DIKTI 126  
Laman [www.dikti.kemdikbud.go.id](http://www.dikti.kemdikbud.go.id)

Nomor : 0357/E5/AK.04/2022

27 Mei 2022

Lampiran : 3 berkas

Hal : Pengumuman Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian  
kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap Kedua

Yth. 1. Kepala Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah I s/d XVI  
2. Ketua LP/LPM/LPPM Perguruan Tinggi di lingkungan Ditjen Diktiristek

Berdasarkan Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor 071/E5/PG.02.00/2022 tanggal 25 Mei 2022 tentang Penerima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Penelitian di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap Kedua, dan Keputusan Kuasa Pengguna Anggaran Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor 072/E5/PG.02.00/2022 tanggal 25 Mei 2022 tentang Penerima Program Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri Program Pengabdian kepada Masyarakat di Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2022 Tahap Kedua, bersama ini kami sampaikan Daftar Nama Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2022 Tahap Kedua (Lampiran I dan II).

Berkenaan dengan hal tersebut, Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) mengucapkan selamat kepada Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Tahun Anggaran 2022 Tahap Kedua. Selanjutnya, kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk menyampaikan informasi pengumuman ini kepada nama-nama yang tercantum pada lampiran surat.

Perlu kami sampaikan bahwa mekanisme penyaluran dana akan dilakukan melalui kontrak sebagai berikut:

1. Kontrak dilakukan secara berjenjang. Untuk Perguruan Tinggi Negeri (PTN), kontrak dilakukan antara DRTPM dengan Ketua LP/LPM/LPPM. Adapun untuk Perguruan Tinggi Swasta (PTS), kontrak dilakukan melalui Kepala Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi (LLDIKTI) masing-masing wilayah;
2. Pencairan dana penelitian dan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan dalam 2 (dua) tahap;
3. Hal-hal lain yang terkait dengan penandatanganan kontrak, pencairan dana, dan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat akan diinformasikan lebih lanjut melalui laman: <http://simlitabmas.kemdikbud.go.id>

Berkaitan dengan data yang diperlukan untuk penandatanganan kontrak, bersama ini kami lampirkan daftar isian borang kontrak (Lampiran III). Kami mohon perkenannya untuk dapat mengisi daftar isian tersebut dan mengunggahnya melalui link <http://ringkas.kemdikbud.go.id/kontrakbatch2> paling lambat tanggal 2 Juni 2022. Untuk PTS tidak perlu mengisi daftar isian borang kontrak karena kontrak akan dilakukan dengan LLDIKTI masing-masing wilayah.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatian dan kerja sama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

plt. Direktur Riset, Teknologi, dan  
Pengabdian Kepada Masyarakat



Teuku Faisal Fathani  
NIP 197505261999031002

Tembusan:

plt. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi,  
Riset, dan Teknologi



Catatan:

1. UU ITE No. 11 Tahun 2008 Pasal 5 Ayat 1 "Informasi Elektronik dan/atau Dokumen Elektronik dan/atau hasil cetaknya merupakan alat bukti yang sah."
2. Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang diterbitkan oleh BSSR

NO	LLDIKTI/PTN	INSTITUSI	SKEMA	NAMA	NIDN	JUDUL
177	PTN	Universitas Negeri Medan	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	EVA MARLINA GINTING	0022046703	PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI NANO KOMPOSIT TERMOPLASTIK LOW DENSITY POLIETHYLEN (LDPE) DENGAN FILLER NANO TiO2 DAN NANO PARTIKEL ABU SEKAM PADI
178	PTN	Universitas Negeri Medan	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	KARYA SINULINGGA	0025126015	Preparasi Dan Karakterisasi Nano Komposit Termoplastik Elastomer Dengan Filer Campuran Nanopartikel Abu boiler Kelapa Sawit Dan TiO2 Dengan Peg-6000
179	PTN	Universitas Negeri Medan	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	NURDIN SIREGAR	0008065803	Fabrikasi Film Tipis ZnO-based dengan Metode Electroplating sebagai Photoanoda Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Menggunakan Dye Alami
180	PTN	Universitas Negeri Medan	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	ZAINUDDIN M	0017036707	Pabrikasi Komposit Karbon/Alginat/Nanoselulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit Teradsorpsi Logam Berat Sebagai Sumber Mikronutrien Tanaman
181	PTN	Universitas Negeri Semarang	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	FAFURIDA	0016028502	Model Pemulihan Ekowisata Pasca Pandemi Covid-19 Melalui Pengembangan Desa Wisata di Provinsi Jawa Tengah
182	PTN	Universitas Negeri Semarang	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	JUHADI	0003015803	Sistem Informasi Antisipasi Bencana (SIAB) Berbasis WebGis Partisipatif untuk Meningkatkan Kesiapsiagaan Bencana dan Pengembangan Perkeonomian Masyarakat Pesisir Rembang Timur
183	PTN	Universitas Negeri Semarang	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	KISWANTO	0001098303	PENGUKURAN AKUNTANSI EMISI KARBON DI INDONESIA: LANGKAH STRATEGIS WUJUDKAN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY
184	PTN	Universitas Negeri Semarang	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	MARGUNANI	0018035703	Strategi Penerapan Circular Economy pada Pengolahan Hasil Pertanian Serai Wangi di Sentra Atsiri Kabupaten Kendal
185	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	OCE WIRIawan	0029057303	Pengaruh Radiasi Far Infrared Metode Sauna Terhadap Kelelahan dan Kerusakan Otot pada Atlet Setelah Aktivitas Fisik Intensitas Submaksimal
186	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	RINA HARIMURTI	0017126805	Pengembangan Aplikasi Kamus Digital Indikator Pencapaian Kompetensi Berbasis Artificial Intelligence untuk Mengoptimalkan Desain Pembelajaran Abad ke-21 di Jurusan PGSD
187	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Disertasi Doktor	SLAMET SETIAWAN	0008066806	Strategi Self-Regulated Reading dalam Membaca Teks digital Oleh Calon Guru Pendidikan Bahasa Inggris: Konseptualisasi dan Penerapannya di Kelas
188	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi	WARJU	0028038101	Rancang Bangun Knalpot Sepeda Motor Ramah Lingkungan Berteknologi Metallic Catalytic Converter Logam Transisi Untuk Mendukung Produk Inovasi Unggulan Transportasi
189	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	YUNI SRI RAHAYU	0008066605	MODEL OPTIMALISASI LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA SEBAGAI MEDIA TANAM MELALUI KAJIAN INTERAKSI MULTISIMBIOTIK MIKROORGANISME DAN DINAMIKA UNSUR HARA TANAH
190	PTN	Universitas Negeri Surabaya	Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi	YUNI YAMASARI	0002067504	Metode pengenalan emosi peserta didik pada pembelajaran daring berbasis deteksi mata

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

### Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Penelitian ini mengambil lokasi daerah lahan bekas tambang batubara di wilayah Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur (Gambar 1). Rincian data lokasi adalah sebagai berikut:

1. Lokasi I: PT Penajam Prima Coal - Buluminung  
Alamat: Kelurahan Buluminung, Kecamatan Penajam, Kab. Penajam Paser Utara
2. Lokasi II: PT Energy Penajam Mandiri  
Alamat: Desa Muan, Kecamatan Penajam, Kab. Penajam Paser Utara
3. Lokasi III: PT Sarana Daya Utama  
Alamat: Desa Labangka Kecamatan Babulu, Kabupaten Penajam Paser Utara

Pada setiap lokasi diambil 5 (lima) titik lokasi yang akan digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini dengan notasi A, B, C, D, dan E.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur

## Hasil Penelitian dan Pembahasan

### A. Sifat Fisika dan Kimia Tanah Lahan Bekas Tambang Batu Bara

Berikut ini adalah data tentang kondisi lingkungan ke lima belas lokasi tempat pengambilan sampel di tiga lokasi bekas tambang batubara.

Tabel 1. Kondisi Fisik Lingkungan di Tiga Lokasi Lahan Bekas Tambang Batu Bara

Lok	Titik sampel	Udara				Tanah					
		Suhu °C	X	Intensitas cahaya (lux)	X	Suhu °C	X	pH	X	Kelembaban %	X
I	A	30	31,6	38000	41800	32	32,8	6,8	6,72	20	16
	B	32		40800		35		6,9		20	
	C	32		46800		33		6,2		10	
	D	32		39700		32		6,9		10	
	E	32		43700		32		6,8		20	
II	A	28	30	39400	34866	32	34,4	5,5	6,44	9,4	10,5
	B	28		38630		32		6,6		16,2	
	C	32		29400		36		6,4		8	
	D	32		37900		36		6,9		9	
	E	30		29000		36		6,8		10	
III	A	32	28,8	39500	35594	32	31	6,5	6,66	18	16,2
	B	30		38220		30		6,8		10	
	C	36		32390		30		6,9		20	
	D	36		36860		31		6,2		12	
	E	30		31000		32		6,9		21	

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di lokasi daerah bekas penambangan batu bara bervariasi dari sisi suhu udara, intensitas cahaya, suhu tanah, pH tanah dan kelembaban tanah. Secara umum lingkungan sangat kering dengan intensitas cahaya yang tinggi yang berakibat pada tingginya suhu tanah dan rendahnya kelembaban tanah, sementara itu pH tanah cenderung netral ke arah asam [1, 2]. Sifat fisika tanah ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisika Tanah di Tiga Lokasi Bekas Tambang Batu Bara

Lokasi	Kode	Berat		Persentase (%) Porositas	Kadar air pF (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) 2,5	Persen (%)			Kelas Tekstur Tanah
		Isi (g cm <sup>-3</sup> )	Jenis			Pasir	Debu	Liat	
I	A	0,62	1,20	48,10	0,34	67	26	7	Lempung Berpasir
	B	1,76	2,71	35,20	0,29	48	28	24	Lempung
	C	1,37	2,10	34,67	0,32	48	33	19	Lempung
	D	1,32	2,12	37,68	0,37	44	39	17	Lempung
	E	1,25	2,09	40,09	0,34	47	37	16	Lempung
II	A	1,27	2,47	48,61	0,29	46	24	30	Lempung Liat Berpasir
	B	1,16	2,39	51,52	0,34	27	21	52	Liat
	C	1,22	2,25	45,89	0,24	44	22	34	Lempung Berliat
	D	1,29	2,32	44,30	0,25	50	22	28	Lempung Liat Berpasir
	E	1,26	2,66	52,56	0,33	33	27	40	Liat

III	A	1,38	2,51	45,17	0,42	33	30	37	Lempung Berliat
	B	1,40	2,61	46,28	0,33	42	19	39	Lempung Berliat
	C	1,46	2,62	44,09	0,40	34	39	27	Lempung
	D	1,35	2,25	40,17	0,40	33	33	34	Lempung Berliat
	E	1,10	2,31	50,37	0,32	22	35	43	Liat

Tabel 2 menunjukkan bahwa meskipun kondisi fisika tanah dikelompokkan dalam kelas tekstur tanah yang bervariasi dari lempung berliat, liat, lempung dan lempung berpasir, namun persentase porositasnya masih relatif rendah [3]. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan tanah dalam memegang air relatif tinggi tetapi pengudaraan tanah rendah sehingga tanah cenderung ke arah anaerob. Jika tanah kehilangan air dalam waktu lama maka tanah akan cenderung sebagai tanah dengan bongkahan yang kering dan keras dengan kelembaban yang rendah [4]. Hal ini sangat tidak bagus bagi tanaman yang tumbuh di atasnya dalam hal ketersediaan oksigen untuk melakukan respirasi dalam memasok ketersediaan ATP untuk pengangkutan secara aktif mineral tanah yang memerlukan energi berupa ATP [5]. Dari sisi perbaikan struktur tanah perlu dilakukan penambahan dengan partikel tanah yang memberikan kesempatan pada porositas tanah yang lebih longgar sehingga ketersediaan oksigen menjadi lebih baik agar akar tanaman berkesempatan untuk tumbuh lebih baik [6] dan berkesempatan melakukan proses respirasi yang memerlukan energi karena pengangkutannya bersifat aktif menjadi lebih baik karena ketersediaan ATP menjadi lebih baik [5].

Tabel 3. Sifat Kimia Tanah di Tiga Lokasi Bekas Tambang Batu Bara

Lokasi	Kode	C Organik (%)	N total (%)	C/N (%)	Bahan Organik (%)	P mg kg <sup>-1</sup>	K NH <sub>4</sub> OAC <sub>1</sub> N pH 7
							me /100g
I	A	23,69	1,16	20	40,98	3,06	0,09
	B	0,41	0,04	11	0,70	1,47	0,06
	C	2,59	0,07	37	4,48	t u	0,03
	D	3,53	0,09	37	6,10	t u	0,02
	E	3,33	0,08	43	5,76	t u	0,02
II	A	0,73	0,04	17	1,27	t u	0,07
	B	1,80	0,09	20	3,12	t u	0,19
	C	2,59	0,09	30	4,48	0,73	0,08
	D	1,37	0,05	28	2,36	0,73	0,05
	E	0,72	0,04	18	1,25	t u	0,05
III	A	4,12	0,17	25	7,12	t u	0,09
	B	0,66	0,05	14	1,14	t u	0,13
	C	1,53	0,07	22	2,65	t u	0,10
	D	4,21	0,11	37	7,28	t u	0,06
	E	1,29	0,05	24	2,22	t u	0,14

Tabel 3 menunjukkan kadar N dan P sangat rendah untuk syarat sebagai media [7], bahkan kadar P didominasi dengan kadar yang tidak terdeteksi karena sangat rendahnya kadar yang dimiliki. Dari sisi “kematangan tanah” dengan indikator C/N rasio, menunjukkan tanah bekas tambang batu bara masih didominasi dengan kepemilikan C/N rasio yang tinggi di atas nilai 14, hanya dua dari lima belas titik pengambilan sampel yang menunjukkan nilai 14 atau di bawahnya. Hal ini menunjukkan bahwa lahan bekas tambang batu bara masih memiliki bahan organik yang tinggi. Artinya proses mineralisasi masih belum sempurna selesai. [8] menyatakan bahwa praktik penambangan konvensional tidak mengekstraksi semua batuan mineral dikarenakan karena teknologi yang digunakan tidak mampu memineralisasi semua batuan mineral.

Berdasarkan sifat fisika dan kimia tanah lahan bekas tambang batu bara yang terkait langsung dengan dinamika hara pada tanah tersebut, maka rekomendasi pengolahan terhadap lahan bekas tambang batu bara untuk memperbaiki sifat tekstur dan struktur tanah diantaranya adalah sebagai berikut.

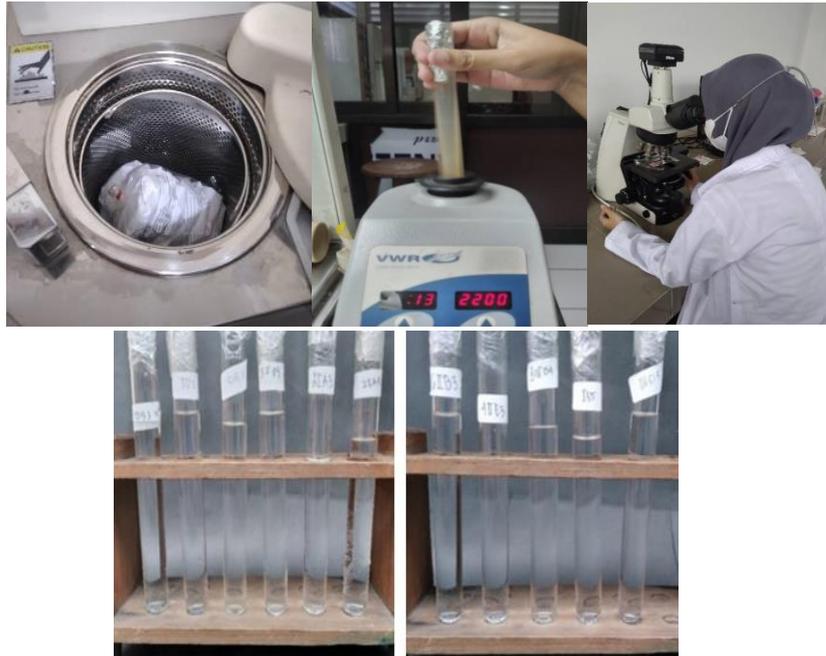
1. Dominansi sifat liat perlu diimbangi dengan penambahan bahan yang memungkinkan porositas tanah lebih longgar, yaitu misalnya penambahan pasir atau bahan-bahan organik yang berasal dari tanaman-tanaman di sekitar dengan pola penimbunan di dalam tanah untuk pembentukan humus secara alamiah. Hal ini diperlukan agar memberikan kesempatan bagi akar tumbuhan mampu tumbuh menjadi lebih baik dan memberikan kesempatan kepada akar untuk melakukan respirasi secara aerob untuk pemenuhan pasokan ATP pada akar [5, 6].
2. Mengingat kadar P dan N yang relatif rendah, maka upaya memaksimalkan peran dan efektifitas multisimbiotik organisme tanah dan tanaman memainkan kunci utama karena peran berbagai organisme yang memiliki peran dalam bersimbiosis dengan tanaman. Diantaranya adalah mikoriza endogen yang memiliki kekuatan dalam meningkatkan ketersediaan fosfat tanah [9, 10, 11, 12, 13, 14], termasuk bakteri pelarut fosfat endogen yang mampu mengeluarkan enzim fosfatase yang memungkinkan fosfat yang terjerap dapat diuraikan dan ditingkatkan ketersediaannya bagi tanaman [15, 16]. Termasuk pemanfaatan bakteri rhizobium yang bersimbiosis dengan tanaman legume agar mampu memfiksasi  $N_2$  bebas dari udara sehingga ketersediaan N bagi tanaman juga meningkat [17, 18].
3. Tingginya kadar C di tanah menunjukkan bahwa bahan organiknya di dalam tanah masih tinggi dan proses mineralisasi bahan organik belum sempurna selesai, oleh karena itu penggunaan bakteri endogen pendegradasi senyawa hidrokarbon menjadi salah satu hal penting [7, 19] untuk membantu proses memperbaiki sifat tekstur dan struktur tanah kelas lahan batu bara.

### ***B. Identifikasi dan Karakterisasi Efektivitas Bakteri Endogen Lahan Bekas Tambang Batubara***

Uji pendahuluan dilakukan untuk isolasi dan karakterisasi bakteri sebelum identifikasi bakteri. Identifikasi spesies bakteri dilakukan dari pengamatan karakteristik makroskopis koloni, mikroskopis seluler (pencetakan Gram), dan karakteristik fisiologis menggunakan Microbact Identification Kits (Microbact™ GNB 12 A dan 12 B) dan 2) morfologi koloni, pewarnaan gram, karakteristik fisiologi melalui uji biokimia menggunakan Microbact identification system. Hasil uji bakteri gram dicocokkan dengan buku *Cowan and Steel's Manual for The Identification of Medical Bacteriology* dan *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, Eighth Edition* (Holt, 1994). Hasil pengujian bakteri Gram positif dilakukan dengan perhitungan koefisien sebanding. Hasil uji morfologi dan fisiologi bakteri *Bacillus* digunakan untuk menentukan persentase koefisien sebanding ( $S_s$ ) yang mencakup kesamaan positif dan negatif dari karakter masing-masing spesies bakteri dari genus *Bacillus*.



Gambar 1. Alat Bahan yang Dibutuhkan dan Sebelas Isolat Bakteri dari Lahan Bekas Tambang Batu Bara



Gambar 2. Proses Sterilisasi Alat dan Pengenceran Bertingkat

Karakterisasi bakteri indigenous pada tanah lahan bekas tambang batu bara dimulai dari proses identifikasi bakteri berdasarkan uji aktivitas biokimia dilakukan dengan cara membandingkan aktivitas biokimia setiap bakteri yang berbeda (Tabel 4). Hal ini disebabkan karena setiap bakteri mempunyai aktifitas enzimatis yang berbeda [20], sedangkan hasil identifikasi sebelas isolat ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Uji Aktivitas Biokimia Sebelas Isolat Bakteri Lahan Bekas Tambang Batu Bara

Bacterial Samples	Ok sid ase	M ot il ity	Nit rat e	Ly sin e	Or nit hin e	H <sub>2</sub> S	Gl uc ose	M an nit ol	Xy los e	O N P G	In dol e	Ur ea se	V- P	Cit rat e	TD A	Ge lat in	M alo na te	In osi tol	So rbi tol	Rh a m no se	Su cr ose	La cto se	Ar abi no se	Ad oni tol	Ra ffin os e	Sa lici n	Ar gin in e	Ka tal ase	In do sp ora
6IIB3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+
1E5	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
2IA3	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
8IIIB4	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	+
1IA4	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
7IIIB3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
4IIIE3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
1IA4	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+
3IB4	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+
5IB3	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+
1D3	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+

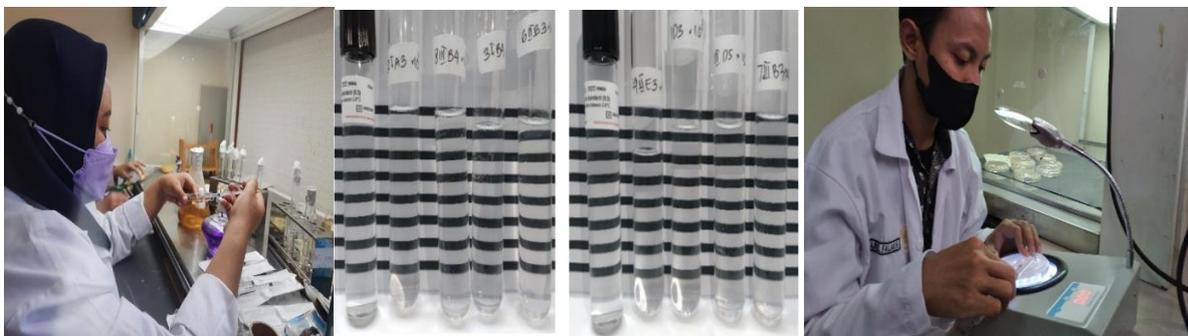
Tabel 5 menunjukkan bahwa dari setiap koloni *plate* yang ada ternyata masih ditemukan bakteri lebih dari satu isolate, sehingga ditemukan jenis bakteri yaitu *Bacillus mycoides*; *B. pantothenicus*, *B. firmus*; *B. brevis*; *B. stearothermophilus*; *B. anthracis*; *B. laterosporus*; *B. sphaericus*; *B. sphaericus*; *B. alvei*; dan *B. firmus*. Namun demikian secara umum semua berasal dari genus *Bacillus* dengan persentase antara 65% sampai dengan 70%. Selanjutnya dari ke sebelas kode isolate bakteri tersebut diuji efektivitasnya dalam melarutkan fosfat, menambat Nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon.

Tabel 5. Spesies Bakteri Hasil Isolasi di Tiga Lokasi Tanah Lahan Bekas Tambang Batu Bara

No	Kode Isolat Bakteri	Bentuk	Hasil Identifikasi	
			Nama Spesies	Percent Probability
1.	6 II B3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus mycoides</i> ; <i>B. pantothenicus</i>	60%
2.	IE 5 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus mycoides</i>	60%
3.	2 IA3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus firmus</i> ; <i>B. pantothenicus</i> ; <i>B. brevis</i> ; <i>B. stearothermophilus</i>	65%
4.	8 III B4 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus anthracis</i> ; <i>B. mycoides</i> ; <i>B. pantothenicus</i> ; <i>B. laterosporus</i> ; <i>B. sphaericus</i> ; <i>B. stearothermophilus</i>	65%
5.	II A4 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus sphaericus</i>	70%
6.	7 III B3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus mycoides</i>	70%
7.	4 III E3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus pantothenicus</i>	70%
8.	1 IA4 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus alvei</i>	65%
9.	3 IB4 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus firmus</i> ; <i>B. pantothenicus</i> ; <i>B. brevis</i> ; <i>B. sphaericus</i>	65%
10.	5 IB3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus anthracis</i> ; <i>B. mycoides</i> ; <i>B. sphaericus</i> ; <i>B. stearothermophilus</i>	65%
11.	I D3 (gram positif)	Batang	<i>Bacillus stearothermophilus</i>	70%



Gambar 3. Merekultur Bakteri dan Menumbuhkan pada Media Selektif Pikovskaya dengan Metode Sumuran



Gambar 4. Proses Pengenceran, Pengukuran Kekeruhan Bakteri Sesuai Standard Mc-Farland, dan Mengukur Zona Bening yang Terbentuk



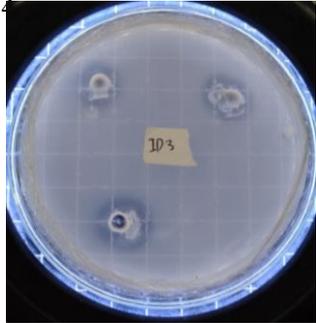
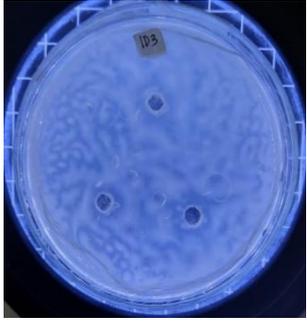
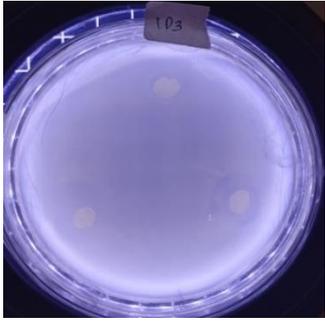
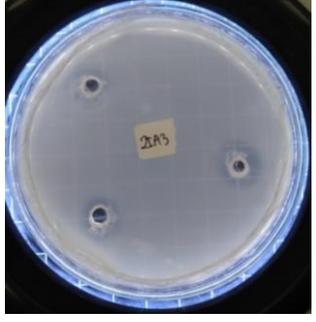
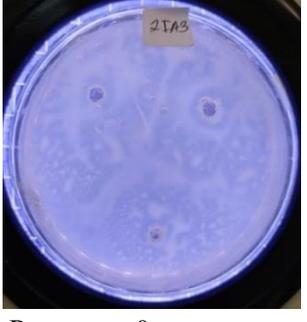
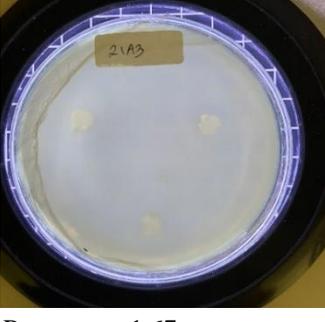
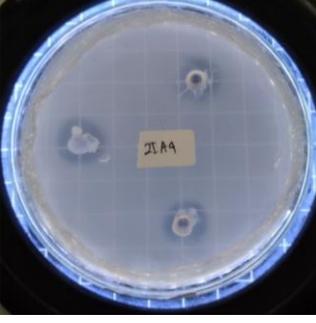
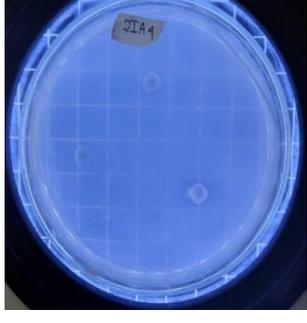
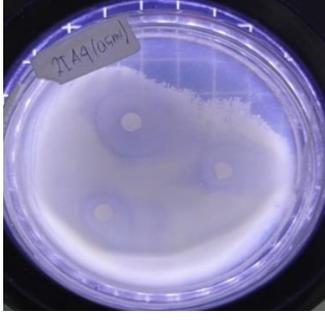
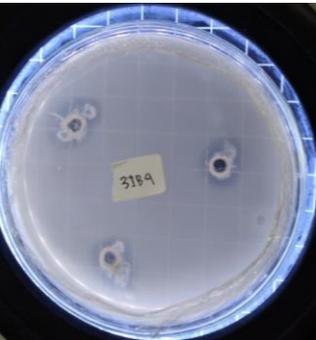
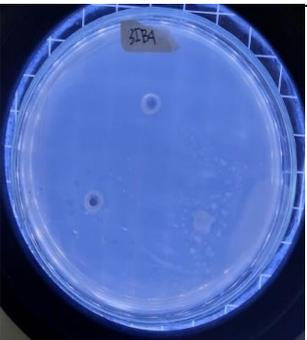
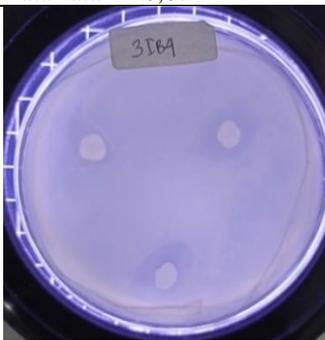
Gambar 5. Pembuatan Media Selektif Burk's dan Menumbuhkan Bakteri dengan Metode Sumuran

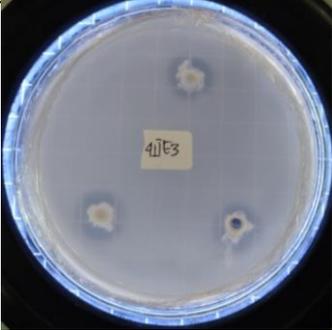
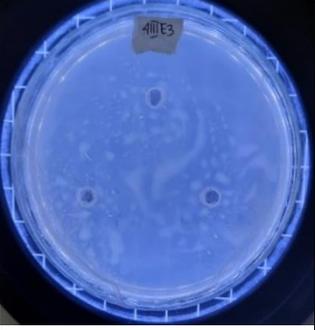
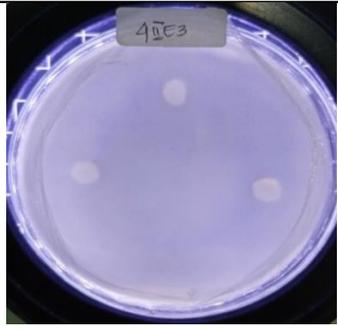
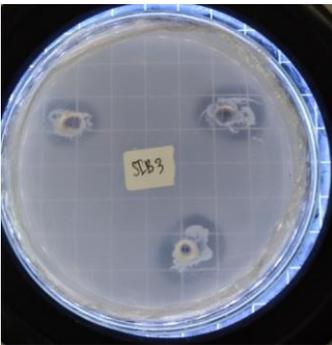
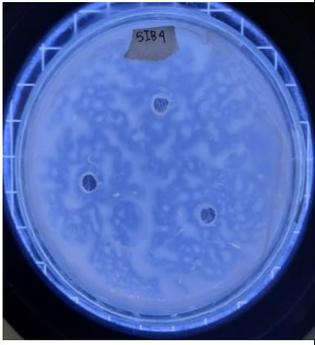
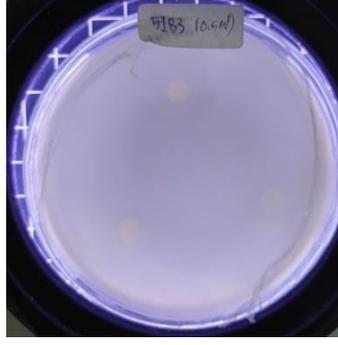
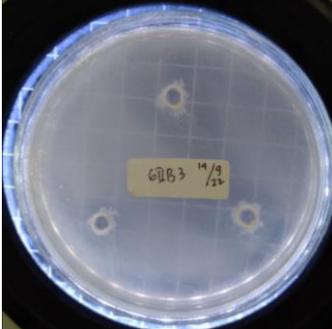
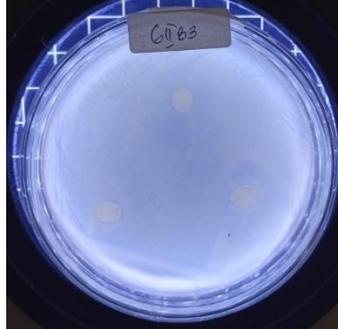
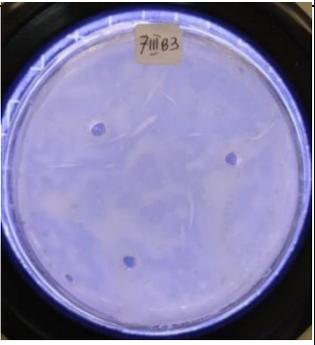
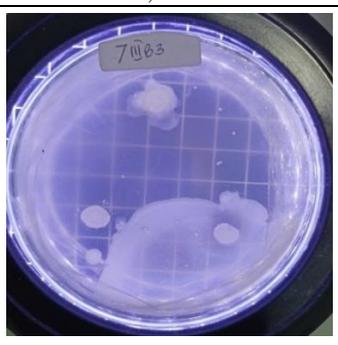


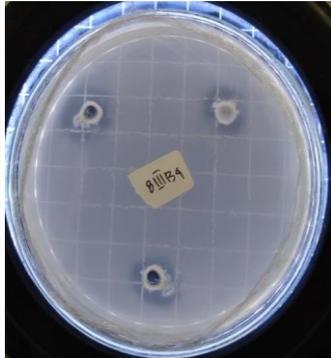
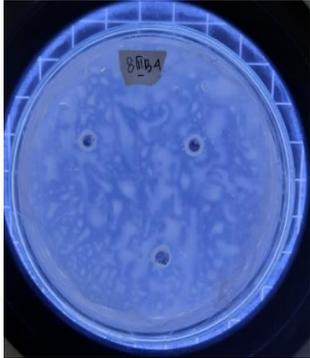
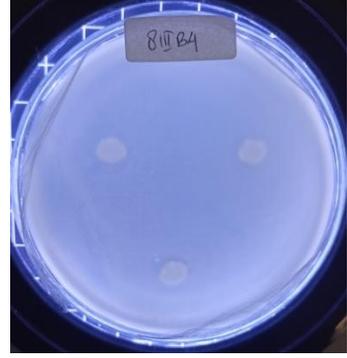
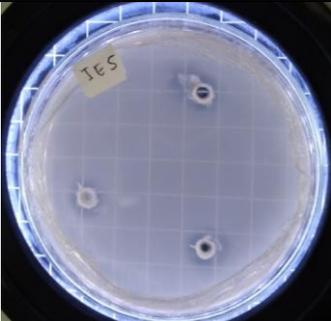
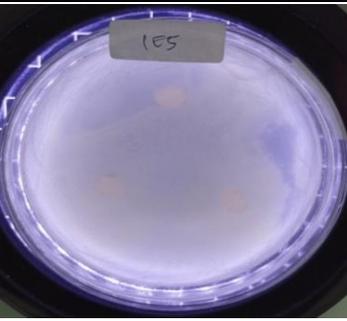
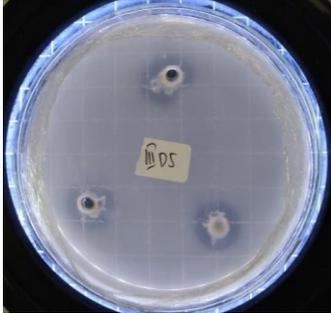
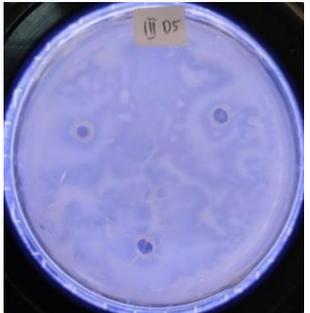
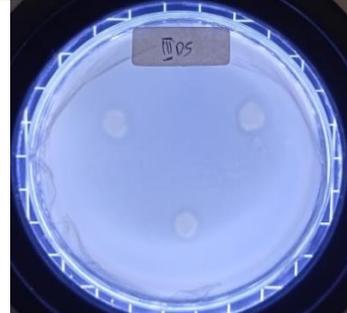
Gambar 6. Pembuatan Media Selektif Zobell dan Menumbuhkan Bakteri dengan Metode Sumuran

Hasil uji efektivitas bakteri yang sudah diisolasi dari bekas lahan batubara dalam melarutkan fosfat, mengikat Nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon ditunjukkan pada Tabel 5. Tabel 6 menunjukkan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat dari 11 spesies bakteri endogen yang berhasil diisolasi dari lahan tanah bekas tambang batubara bervariasi dengan kemampuan melarutkan fosfat tertinggi ke terendah adalah isolat dengan kode 5IB3, 6IIB3, ID3, 3IB4, 8IIIB4, IIID5, 2IA3, 4IIE3, 2IA4, IE5, dan 7IIIB3. Uji efektivitas bakteri dalam melarutkan fosfat dilakukan dengan cara menumbuhkan dalam media selektif *Pikovskaya* [21] dengan metode sumuran selanjutnya setelah masa inkubasi 1 hari diukur pembentukan zona beningnya untuk menentukan indeks pelarut fosfatnya. Semakin tinggi indeks pelarut fosfatnya maka kemampuan bakteri tersebut dalam melarutkan fosfat juga semakin efektif [22].

Tabel 6. Efektivitas Bakteri yang Diisolasi dari Lahan Bekas Tambang Batu Bara dalam Melarutkan Fosfat, Mengikat Nitrogen, dan Mendegradasi Senyawa Hidrokarbon dengan Metode Sumuran\*

No.	Kode Isolat	Nilai Indeks Efektivitas Bakteri Endogen Lahan Bekas Tambang Batubara dalam		
		Melarutkan Fosfat	Mengikat Nitrogen	Mendegradasi Senyawa Hidrokarbon
1.	ID3	 <p>Rata-rata = 12 mm</p>	 <p>Rata-rata = 9,3 mm</p>	 <p>Rata-rata = 12</p>
2.	2IA3	 <p>Rata-rata = 9,67 mm</p>	 <p>Rata-rata = 9 mm</p>	 <p>Rata-rata = 1,67 mm</p>
3.	2IA4	 <p>Rata-rata = 9,33 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6 mm</p>	 <p>Rata-rata = 20,67 mm</p>
4.	3IB4	 <p>Rata-rata = 11,67 mm</p>	 <p>Rata-rata = 3,7 mm</p>	 <p>Rata-rata = 13,33 mm</p>

No.	Kode Isolat	Nilai Indeks Efektivitas Bakteri Endogen Lahan Bekas Tambang Batubara dalam		
		Melarutkan Fosfat	Mengikat Nitrogen	Mendegradasi Senyawa Hidrokarbon
5.	4IIE3	 <p>Rata-rata = 9,33 mm</p>	 <p>Rata-rata = 5 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6,16 mm</p>
6.	5IB3	 <p>Rata-rata = 14 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6,3 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6,67 mm</p>
7.	6IIB3	 <p>Rata-rata = 13,33 mm</p>	 <p>Rata-rata = 7,3 mm</p>	 <p>Rata-rata = 8,67 mm</p>
8.	7IIIB3	 <p>Rata-rata = 6,33 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6,7 mm</p>	 <p>Rata-rata = 6 mm</p>

No.	Kode Isolat	Nilai Indeks Efektivitas Bakteri Endogen Lahan Bekas Tambang Batubara dalam		
		Melarutkan Fosfat	Mengikat Nitrogen	Mendegradasi Senyawa Hidrokarbon
9.	8IIB4	 Rata-rata = 11 mm	 Rata-rata = 6,3 mm	 Rata-rata = 6,33 mm
10.	IE5	 Rata-rata = 8 mm	 Rata-rata = 2 mm	 Rata-rata = 7 mm
11.	IID5	 Rata-rata = 10,33 mm	 Rata-rata = 7,7 mm	 Rata-rata = 6,67 mm

\*Pengujian masing-masing isolate bakteri dilakukan tiga kali yang dianggap sebagai ulangan

Tabel 6 juga menunjukkan kemampuan bakteri dalam mengikat Nitrogen di lingkungannya dari 11 spesies bakteri endogen yang berhasil diisolasi dari lahan tanah bekas tambang batubara, yang bervariasi dalam kemampuannya mengikat Nitrogen tertinggi ke terendah adalah isolat dengan kode ID3, 2IA3, IID5, 6IIB3, 7IIB3, 5IB3, 8IIB4, 2IA4, 4IIE3, 3IB4, IE5. Uji efektivitas bakteri dalam mengikat Nitrogen dilakukan dengan cara menumbuhkan dalam media selektif *Burk's* [23] dengan metode sumuran selanjutnya setelah masa inkubasi 1 hari diukur pembentukan zona beningnya untuk menentukan indeks dalam mengikat nitrogen. Semakin tinggi nilai indeks maka kemampuan bakteri tersebut dalam mengikat nitrogen juga semakin efektif.

Kemampuan bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon di lingkungannya dari 11 spesies bakteri endogen yang berhasil diisolasi dari lahan tanah bekas tambang batubara bervariasi dalam kemampuannya tertinggi ke terendah adalah isolat dengan kode 2IA4, 3IB4, ID3, 6IIB3, IE5, IID5, 5IB3, 8IIB4, 4IIE3, 7IIB3, dan 2IA3. Uji efektivitas bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon di lingkungannya dilakukan dengan cara menumbuhkan dalam media selektif *Zobell* [24] dengan metode sumuran selanjutnya setelah masa inkubasi 1 hari diukur pembentukan zona beningnya untuk menentukan indeks dalam mengikat nitrogen. Semakin tinggi

nilai indeks maka kemampuan bakteri tersebut dalam mengikat nitrogen juga semakin efektif. Dari Tabel 5 juga menunjukkan bahwa secara umum semua isolat bakteri memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, mengikat Nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon di lingkungannya hanya dengan nilai indeks efektivitas yang berbeda-beda.

Seperti diketahui berbagai mikroorganisme tanah berperan penting menjaga dinamika hara tanah. Misalnya, bakteri pelarut fosfat dapat digunakan sebagai agen hayati karena mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara P tanah [25], termasuk bakteri pendegradasi hidrokarbon yang berperan mendegradasi senyawa hidrokarbon yang melimpah secara enzimatik menjadi lebih pendek sehingga tidak bersifat toksik serta meningkatkan unsur hara tanah yang berasal dari hasil pemecahan senyawa hidrokarbon [19]. Bakteri penambat nitrogen dapat dimanfaatkan karena kemampuannya dalam menyediakan nitrogen [17, 18] yang diperlukan untuk menyusun protein dan pembentukan hormon pertumbuhan [26]. Hal tersebut menjadikan alasan mikroorganisme tanah ini dilibatkan dalam membangun model optimalisasi lahan bekas tambang batubara sebagai media tanam melalui pengkajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika unsur hara, dengan menggunakan tanaman berpotensi bioremediasi dari lingkungan asal agar menjamin keberhasilan implementasi model ini dengan mengedepankan konsep keseimbangan lingkungan yang terjaga dan berkelanjutan, serta berdasarkan konsep simbiosis tripartit [27]. Selain itu model yang nantinya dikembangkan ini disusun berdasarkan keberhasilan pengembangan model optimalisasi lahan marginal yang sudah dilakukan sebelumnya oleh peneliti pada tanah tercemar minyak [28, 29, 30].

Terkait pelibatan bakteri pelarut fosfat dalam optimalisasi lahan bekas tambang batubara ini penting mengingat mekanisme utama pelarutan P oleh bakteri adalah melalui pengasaman. Selama proses pengasaman, senyawa organik yang dikeluarkan oleh bakteri pelarut fosfat dapat menurunkan tingkat keasaman dari 7.0 ke 2.0. Di antara asam-asam organik, asam glukonat merupakan asam yang sering dihasilkan oleh bakteri pelarut fosfat. Asam glukonat terutama diproduksi bakteri oleh enzim glukosa dehidrogenase dalam jalur oksidasi langsung glukosa (Suleman *et al.*, 2018). Selain itu, produksi simultan asam organik yang berbeda oleh strain bakteri pelarut fosfat dapat berkontribusi pada potensi yang lebih besar untuk pelarutan Pi. Selain berperan dalam pelarutan P, bakteri pelarut fosfat juga memiliki peran positif lain bagi tumbuhan. Bakteri pelarut fosfat seperti Gram-negatif *P. fluorescens*, *P. aeruginosa* dan *Chromobacterium violaceum* juga mampu mengeluarkan antibiotik dan memberikan perlindungan bagi tanaman terhadap patogen yang ditularkan melalui tanah. Selain itu beberapa bakteri pelarut fosfat seperti *Pseudomonas putida* memiliki kemampuan untuk mensintesis enzim kunci yaitu *1-aminocyclopropane-1-carboxylate* (ACC) deaminase yang menghidrolisis ACC menjadi NH<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -ketobutirat dan dengan demikian mengurangi efek penghambatan dari etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) [31, 32, 33]. Hal tersebut menjadikan hubungan simbiosis antara bakteri pelarut fosfat dan tanaman bersifat sinergis karena bakteri memberikan P yang tersedia bagi tanaman dan tanaman memasok senyawa karbon (terutama gula), yang dapat dimetabolisme untuk pertumbuhan bakteri. Bakteri telah dilaporkan melarutkan P di bawah pengaruh tekanan abiotik seperti kekeringan, pH rendah atau tinggi, salinitas, dan suhu [33]. Bahkan Chen *et al.* melaporkan bahwa ko-inokulasi bakteri pelarut fosfat dengan bakteri pemfiksasi nitrogen lebih efektif dalam pelarutan P serta peningkatan pertumbuhan tanaman pada kondisi cekaman lingkungan dibandingkan dengan hanya inokulasi tunggal [34].

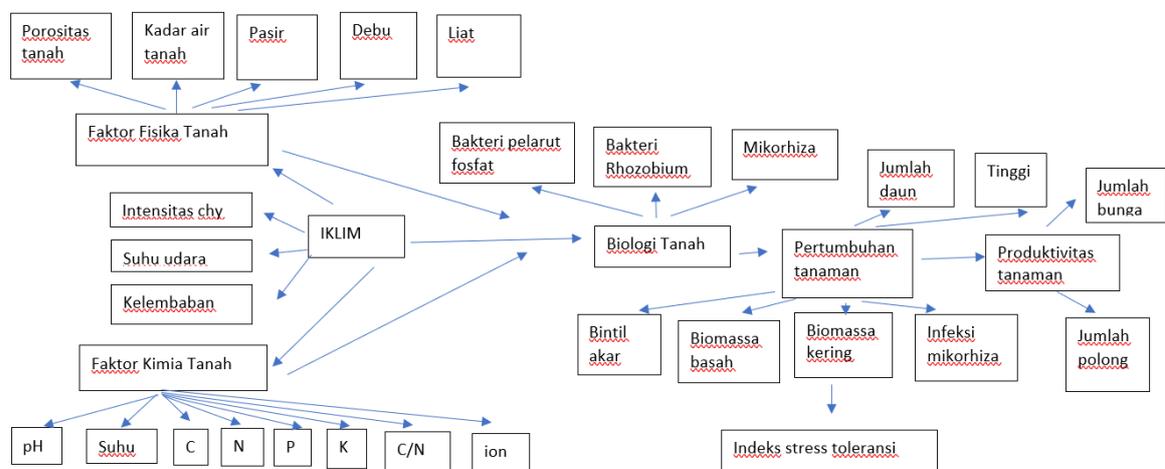
Di sisi lain, bakteri penambat Nitrogen juga memiliki peran yang tidak kalah penting mengingat transformasi nitrogen yang ada di udara dapat dilakukan dengan proses fiksasi oleh bakteri penambat nitrogen. Bakteri penambat nitrogen merupakan bakteri yang mampu memfiksasi atau menambat nitrogen bebas menjadi amonium atau nitrat, sehingga dapat mengubah bentuk nitrogen yang yang tidak tersedia (susah diserap) menjadi bentuk yang tersedia dan dapat diserap oleh tanaman [35]. Penambatan atau fiksasi unsur nitrogen yang dilakukan oleh bakteri memberikan manfaat yang besar bagi tanaman, sehingga banyak dimanfaatkan untuk praktik pertanian, karena menjadi alternatif pengganti pupuk anorganik. Bakteri penambat nitrogen tidak selalu berada dalam kondisi simbiosis dengan tanaman melainkan adapula yang hidup bebas dan tidak melakukan asosiasi dengan organisme lain. Bakteri tersebut meliputi kelompok bakteri Azotobacter, Clostridium, Bacillus, Klebsiella dan lainnya [36].

Sementara itu diketahui bahwa Batubara merupakan hasil tambang yang merupakan batuan hidrokarbon padat dihasilkan dari endapan fosil tumbuhan yang dipengaruhi oleh tekanan dan panas dalam kurun waktu lama. Unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara adalah batuan organik yang memiliki sifat – sifat fisika dan kimia kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Pencemaran tanah oleh senyawa hidrokarbon menyebabkan tanah kehilangan sifat yang berguna seperti kesuburan tanah, kapasitas mengikat air, permeabilitas, agregat, dan kontaminasi terhadap air tanah. Polutan hidrokarbon dapat didegradasi oleh mikroorganisme seperti bakteri, fungi, yeast dan mikroalga dengan memanfaatkan hidrokarbon sebagai sumber karbon dan energi. Berbagai spesies mikroorganisme telah dilaporkan dapat menurunkan atau mendegradasi

hidrokarbon seperti *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Sporobolomyces*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Thiobacillus*, *Lactobacter*, *Staphylococcus*, *Penicillium* dan *Articulosporium*. *Bacillus cereus*, *Micrococcus spp*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Escheria coli* mampu mendegradasi benzen, toluen dan xilen [37]. *Pseudomonas sp*. SA044 mampu mendegradasi 5 jenis hidrokarbon aromatik, yaitu fenantrena, naftalin, bifenil, antrasena dan xilen. Diharapkan dengan isolate bakteri endogen yang memiliki kemampuan dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon dapat menjadi bagian dalam mengoptimisasi lahan bekas tambang batubara ini menjadi media tanam dengan mensinergikan simbiotiknya bersama mikroorganisme lainnya yaitu bakteri pelarut fosfat dan bakteri pengikat Nitrogen.

**C. Rancangan Model Hipotetik Optimalisasi Lahan Bekas Tambang Batubara Sebagai Media Tanam Berdasarkan Kajian Interaksi Multisimbiotik Mikroorganisme dan Dinamika Hara Tanah**

Secara diagramatis, rancangan model hipotetik ini dapat digambarkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 7. Rancangan model hipotetik optimalisasi lahan batubara sebagai media tanam berdasarkan kajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika hara tanah

Dalam rancangan model hipotetik ini, secara ringkas disampaikan kerangka dasar seperti di Gambar 2. Pada tahap awal ditentukan variabel-variabel utama yang mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman uji. Tanaman uji yang dipilih adalah kedelai karena kedelai memiliki kemampuan relatif toleran terhadap cekaman lingkungan [28]. Variabel-variabel yang mempengaruhi adalah:

1. Iklim yang mempengaruhi intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban udara;
2. Faktor Fisik Tanah;
  - a. Porositas tanah
  - b. Kadar air tanah
  - c. Tekstur tanah (pasir, debu, liat)
3. Faktor Kimia Tanah;
  - a. pH
  - b. suhu
  - c. Unsur hara: misalnya N, P, C/N rasio,  $Al^{3+}$ , logam berat Pb, TPH
4. Faktor Biologi Tanah
  - a. Bakteri pelarut fosfat
  - b. Rhizobium
  - c. Mikoriza
  - d. Bakteri Pendegradasi senyawa hidrokarbon

5. Pertumbuhan tanaman yang dijadikan variabel diantaranya adalah biomassa basah (akar, tanaman), biomassa kering (akar, tanaman), jumlah daun, tinggi tanaman, panjang akar, kadar klorofil, luas daun, jumlah dan biomassa bintil akar, biomassa bintil akar efektif.
6. Produksi tanaman yang dijadikan variabel diantaranya adalah jumlah bunga, jumlah polong, berat basah polong, berat kering polong, waktu bunga muncul pertama kali.

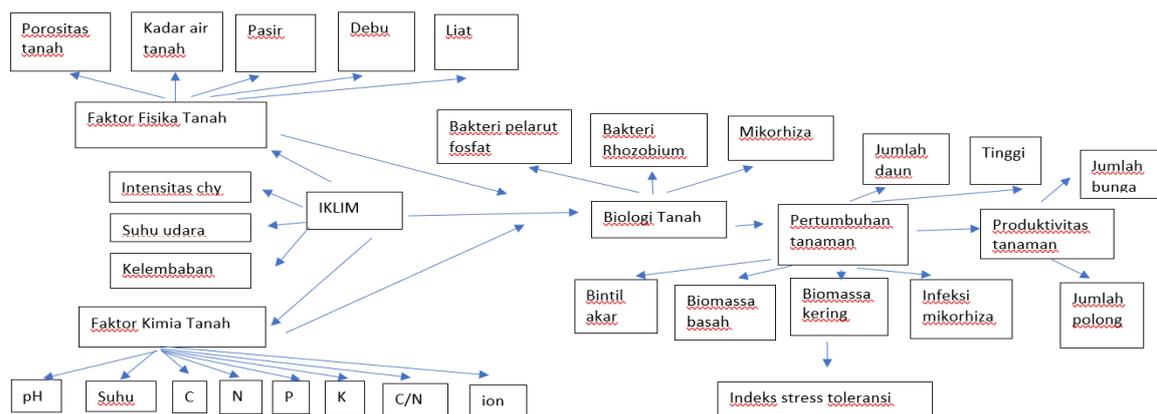
Jika seluruh komponen yang diperlukan dalam membangun model optimalisasi ini sudah diperoleh, selanjutnya akan diuji secara inferensial dengan analisis jalur. Rancangan model hipotetik ini diawali dengan pengembangan buku yang membahas tentang optimalisasi lahan batubara sebagai media tanam berdasarkan kajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika hara tanah. Buku ini dikembangkan dengan tahapan proses pengembangan dari review internal, review eksternal, serta editor dan finalisasi buku sebelum ke rahap percetakan dan pengajuan HaKI.

## Kesimpulan

1). Sifat fisika dan kimia tanah lahan bekas tambang batubara dipengaruhi oleh lingkungan yang sangat kering dengan intensitas cahaya tinggi berakibat tingginya suhu tanah dan rendahnya kelembaban tanah, sementara pH tanah cenderung netral ke arah asam. Kondisi sifat fisika tanah dikelompokkan dalam kelas tekstur tanah yang bervariasi dari lempung berliat, liat, lempung dan lempung berpasir, namun persentase porositasnya masih relatif rendah. Kadar N dan P juga rendah dengan C/N rasio yang tinggi; dan

2). Semua isolate bakteri endogen yang diisolasi dari lahan bekas tambang batu bara memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, mengikat nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon hanya nilai indeks efektivitasnya berbeda-beda. Hasil karakterisasi 11 bakteri dalam melarutkan fosfat bervariasi dengan kemampuan tertinggi ke terendah adalah isolat dengan kode 5IB3, 6IIB3, ID3, 3IB4, 9IIIB4, IID5, 2IA3, 4IIE3, 2IA4, IE5, dan 7IIIB3 dengan rentang nilai indeks kemampuan melarutkan fosfat antara 14 sd 6 mm. Hasil karakterisasi 11 bakteri dalam penambat nitrogen juga variasi dengan kemampuan tertinggi ke terendah berturut-turut adalah isolat dengan kode ID3, 2IA3, IID5, 6IIB3, 7IIIB3, 5IB3, 8IIIB4, 2IA4, 4IIE3, 3IB4, IE5 dengan rentang nilai indeks kemampuan menambat nitrogen antara 3,7 sd 9.3 mm. Sementara untuk karakterisasi bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon berturut-turut dari yang berkemampuan tinggi ke rendah adalah isolat dengan kode 2IA4, 3IB4, ID3, 6IIB3, IE5, IID5, 5IB3, 8IIIB4, 4IIE3, 7IIIB3, dan 2IA3 dengan rentang nilai indeks kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon antara 1,67 sd 20,67 mm;

3). Rancangan model hipotetik optimalisasi lahan bekas tambang batubara sebagai media tanam berdasarkan kajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika unsur hara adalah sebagai berikut.



**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas.

Tabel 6. Ketercapaian Luaran

No	Jenis Luaran	Status Ketercapaian	Keterangan Rencana Tindaklanjut
1.	Buku: Optimalisasi Lahan Batubara Sebagai Media Tanam Berdasarkan Kajian Interaksi Multisimbiotik Mikroorganisme dan Dinamika Hara Tanah	<p>Buku sudah diselesaikan; Buku sudah dicetak;</p>  <p>Buku sudah didaftarkan HaKI.</p>	

No	Jenis Luaran	Status Ketercapaian	Keterangan Rencana Tindakanjlanjut
			
2.	Publikasi: Seminar Internasional	<p>Presentasi di Seminar Internasional sudah dilaksanakan (ICRACROS 2022: 4th International Conference on Research and Academic Community Services)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sertifikat sebagai pemakalah sudah diterima</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- Artikel revisi sesuai hasil reviewer sudah disubmit kembali ke panitia seminar.</li> </ul>	

E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUP). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas.

Tidak ada mitra

**F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

1. Saat menguji efektivitas bakteri pelarut fosfat, bakteri penambat Nitrogen, dan bakteri pendegradasi senyawa hidrokarbon: diperlukan proses optimalisasi yang lebih lama dari perkiraan termasuk menunggu waktu pemesanan reagent tertentu yang diperlukan selama proses menguji efektivitas bakteri endogen.
2. Luaran publikasi dalam seminar internasional terindeks sudah dilaksanakan dan menunggu publikasi prosiding.

**G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA:** Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

#### **RENCANA TAHAP SELANJUTNYA PADA TAHUN KEDUA (2023)**

Kalimantan Timur banyak digunakan untuk usaha pertambangan batubara meskipun berpotensi sebagai wilayah produktif, sehingga diperlukan penanganan untuk mengatasi faktor pembatas sebelum dimanfaatkan sebagai media tanam karena penambangan batubara umumnya dilakukan dengan teknik penambangan terbuka. Teknik ini dilakukan dengan membuka lahan kemudian mengambil dan memindahkan tanah di wilayah *top soil* sampai penambangan batubara dimungkinkan. Hal ini berakibat pada kerusakan tanah secara fisik, kimia, dan biologi sehingga unsur haranya rendah dengan berbagai faktor pembatas lainnya. Berbagai mikroorganisme tanah berperan penting menjaga dinamika hara tanah seperti mikoriza, bakteri pelarut fosfat, bakteri penambat Nitrogen, dan bakteri pendegradasi senyawa hidrokarbon. Hal tersebut menjadikan alasan mikroorganisme tanah ini dilibatkan dalam membangun model optimalisasi lahan bekas tambang batubara sebagai media tanam melalui pengkajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika unsur hara, dengan menggunakan tanaman berpotensi bioremediasi dari lingkungan asal agar menjamin keberhasilan implementasi model ini dengan mengedepankan konsep keseimbangan lingkungan yang terjaga dan berkelanjutan, serta berdasarkan konsep simbiosis tripartiat.

**Secara khusus tujuan penelitian pada tahun kedua** adalah secara molekuler mengkarakterisasi efektivitas isolat bakteri endofit lahan bekas tambang batu bara untuk: 1) melarutkan fosfat; 2) mengikat nitrogen; dan 3) untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon.

#### **Hasil pada penelitian pertama (2022) menunjukkan bahwa:**

1). Sifat fisika dan kimia tanah lahan bekas tambang batubara dipengaruhi oleh lingkungan yang sangat kering dengan intensitas cahaya tinggi berakibat tingginya suhu tanah dan rendahnya kelembaban tanah, sementara pH tanah cenderung netral ke arah asam. Tekstur tanah yang bervariasi dari lempung berliat, liat, lempung dan lempung berpasir, namun persentase porositasnya masih relatif rendah. Kadar N dan P juga rendah dengan C/N rasio yang tinggi;

2). Semua isolat bakteri endogen yang diisolasi dari lahan bekas tambang batu bara memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, mengikat nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon dengan nilai indeks efektivitas yang berbeda-beda. Hasil karakterisasi 11 bakteri dalam melarutkan fosfat bervariasi dengan kemampuan tertinggi ke terendah adalah isolat dengan kode 5IB3, 6IIB3, ID3, 3IB4, 9IIB4, IID5, 2IA3, 4IIE3, 2IA4, IE5, dan 7IIB3 dengan rentang nilai indeks kemampuan melarutkan fosfat antara 14 sd 6 mm. Hasil karakterisasi 11 bakteri dalam penambat nitrogen juga variasi dengan kemampuan tertinggi ke terendah berturut-turut adalah isolat dengan kode ID3, 2IA3, IID5, 6IIB3, 7IIB3, 5IB3, 8IIB4, 2IA4, 4IIE3, 3IB4, IE5 dengan rentang nilai indeks kemampuan menambat nitrogen antara 3,7 sd 9,3 mm. Sementara untuk karakterisasi bakteri dalam

mendegradasi senyawa hidrokarbon berturut-turut dari yang berkemampuan tinggi ke rendah adalah isolat dengan kode 2IA4, 3IB4, ID3, 6IIB3, IE5, IID5, 5IB3, 8IIB4, 4IE3, 7IIB3, dan 2IA3 dengan rentang nilai indeks kemampuan mendegradasi senyawa hidrokarbon antara 1,67 sd 20,67 mm;

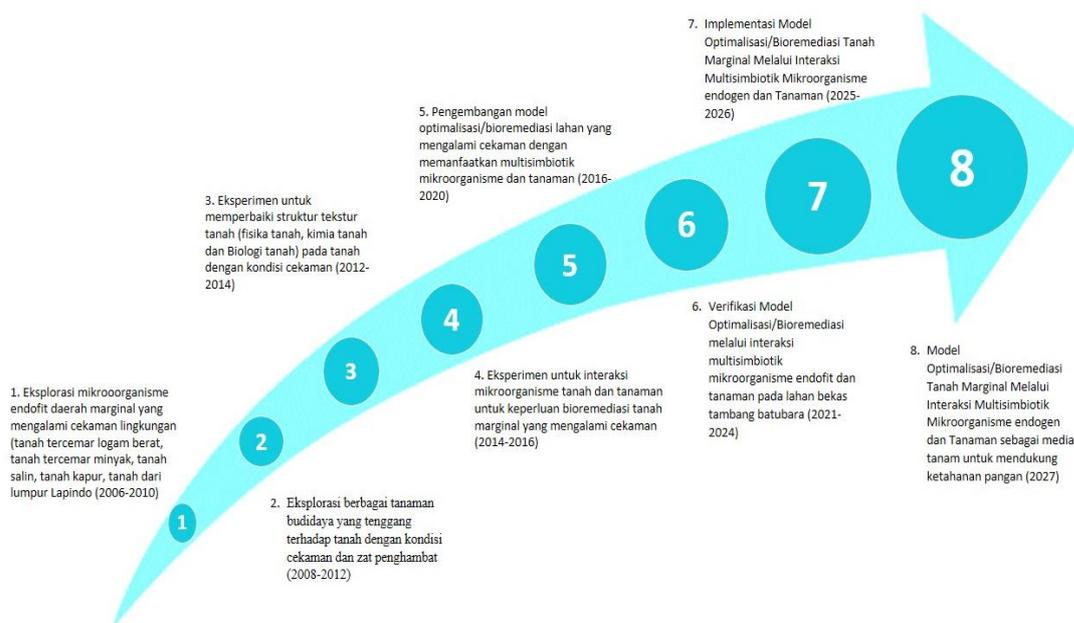
3). Rancangan model hipotetik optimalisasi lahan bekas tambang batubara sebagai media tanam berdasarkan kajian interaksi multisimbiotik mikroorganisme dan dinamika unsur hara.

**Urgensi Penelitian** ini diharapkan model optimalisasi lahan bekas tambang batu bara ini disusun berdasarkan keberhasilan pengembangan model optimalisasi lahan marginal yang sudah dilakukan sebelumnya oleh peneliti pada tanah tercemar minyak [28, 29, 30]. Selain itu, model ini penting dalam pengembangan kebijakan untuk mengatasi kerusakan lingkungan secara komprehensif agar penyusunan model memiliki dasar kuat. Untuk itu, dalam penelitian ini dipadukan dengan hasil pengkajian efektivitas mikroorganisme endofit secara molekuler. Temuan ini, diharapkan dapat memperkaya IPTEK dalam mengatasi lahan bekas tambang batubara yang memiliki kadar senyawa hidrokarbon tinggi, selain dapat mendukung ketercapaian riset unggulan Universitas Negeri Surabaya (Unesa) dalam bidang Riset Unggulan Sains dan Teknologi, pada topik Teknologi budidaya dan pemanfaatan lahan sub- optimal, sesuai Renstra Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Unesa tahun 2021-2025.

#### **Posisi Ketercapaian Road Map:**

Penelitian Yuni Sri Rahayu *et al* tentang optimalisasi lahan-lahan yang mengalami cekaman sehingga dapat digunakan sebagai media tanam bagi tumbuhan dengan memanfaatkan organisme multisimbiotik diantaranya adalah sbb:

1. Explorasi mikroorganisme endofit dan eksplorasi tanaman pada berbagai kondisi cekaman tanah/lingkungan (tanah tercemar minyak/hidrokarbon, salinitas tinggi, tanah kapur, kekeringan, maupun logam berat [27, 28, 29, 30, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52].
2. Perbaiki struktur dan tekstur tanah pada kondisi cekaman lingkungan [27, 38, 39, 41].
3. Interaksi multisimbiosis mikroorganisme dan tanaman untuk bioremediasi tanah yang tercekam [28, 30, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48].
4. Pengembangan model bioremediasi tanah marginal yang mengalami cekaman dengan memanfaatkan interaksi mikroorganisme multisimbiotik dan tanaman [28, 30, 39, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 52].



**Road Map** peneliti tentang optimalisasi lahan-lahan marginal atau lahan-lahan yang mengalami cekaman: 1). Eksplorasi mikroorganisme endofit daerah marginal yang mengalami cekaman lingkungan (tanah tercemar logam berat, tanah tercemar minyak, tanah salin, tanah kapur, tanah dari lumpur Lapindo (2006-2010); 2). Eksplorasi berbagai tanaman budidaya yang tenggang terhadap tanah dengan kondisi cekaman dan zat penghambat (2008-2012); 3). Eksperimen untuk memperbaiki struktur tekstur tanah (fisika tanah, kimia tanah dan Biologi tanah) pada tanah dengan kondisi cekaman (2012-2014); 4). Eksperimen untuk interaksi mikroorganisme tanah dan tanaman untuk keperluan bioremediasi tanah marginal yang mengalami cekaman (2014-2016); 5) Pengembangan model optimalisasi/bioremediasi lahan yang mengalami cekaman dengan memanfaatkan multisimbiotik mikroorganisme dan tanaman (2016-2020); 6). Verifikasi Model Optimalisasi/Bioremediasi melalui interaksi multisimbiotik mikroorganisme endofit dan tanaman pada lahan bekas tambang batubara (2021-2024); 7). Implementasi Model Optimalisasi/Bioremediasi Tanah Marginal Melalui Interaksi Multisimbiotik Mikroorganisme endogen dan Tanaman (2025-2026); 8). Model Optimalisasi/Bioremediasi Tanah Marginal Melalui Interaksi Multisimbiotik Mikroorganisme endogen dan Tanaman sebagai media tanam untuk mendukung ketahanan pangan (2027).

Dari road map keseluruhan yang digambarkan menunjukkan bahwa penelitian ini secara keseluruhan berada pada tahapan nomor 6 (enam) yaitu verifikasi model optimalisasi melalui interaksi multisimbiotik mikroorganisme endofit dan tanaman pada lahan bekas tambang batubara yang diharapkan dapat diselesaikan sampai akhir tahun 2024 dengan dihasilkannya model tersebut.

Hasil penelitian ini akan menambah road map tentang penelitian sejenis tentang optimalisasi lahan marginal atau lahan-lahan yang mengalami cekaman lingkungan dengan memanfaatkan interaksi multisimbiotik organisme tanah terutama organisme endogen dengan tanaman agar tercapai agroekosistem yang berkelanjutan dengan memanfaatkan tanaman berpotensi bioremediasi dari lingkungan asal agar menjamin keberhasilan implementasi model optimalisasi ini dengan mengedepankan konsep keseimbangan lingkungan yang terjaga dan berkelanjutan, serta berdasarkan konsep simbiosis tripartiat.

### **Rencana Penelitian dan Luaran Tahun Kedua (2023)**

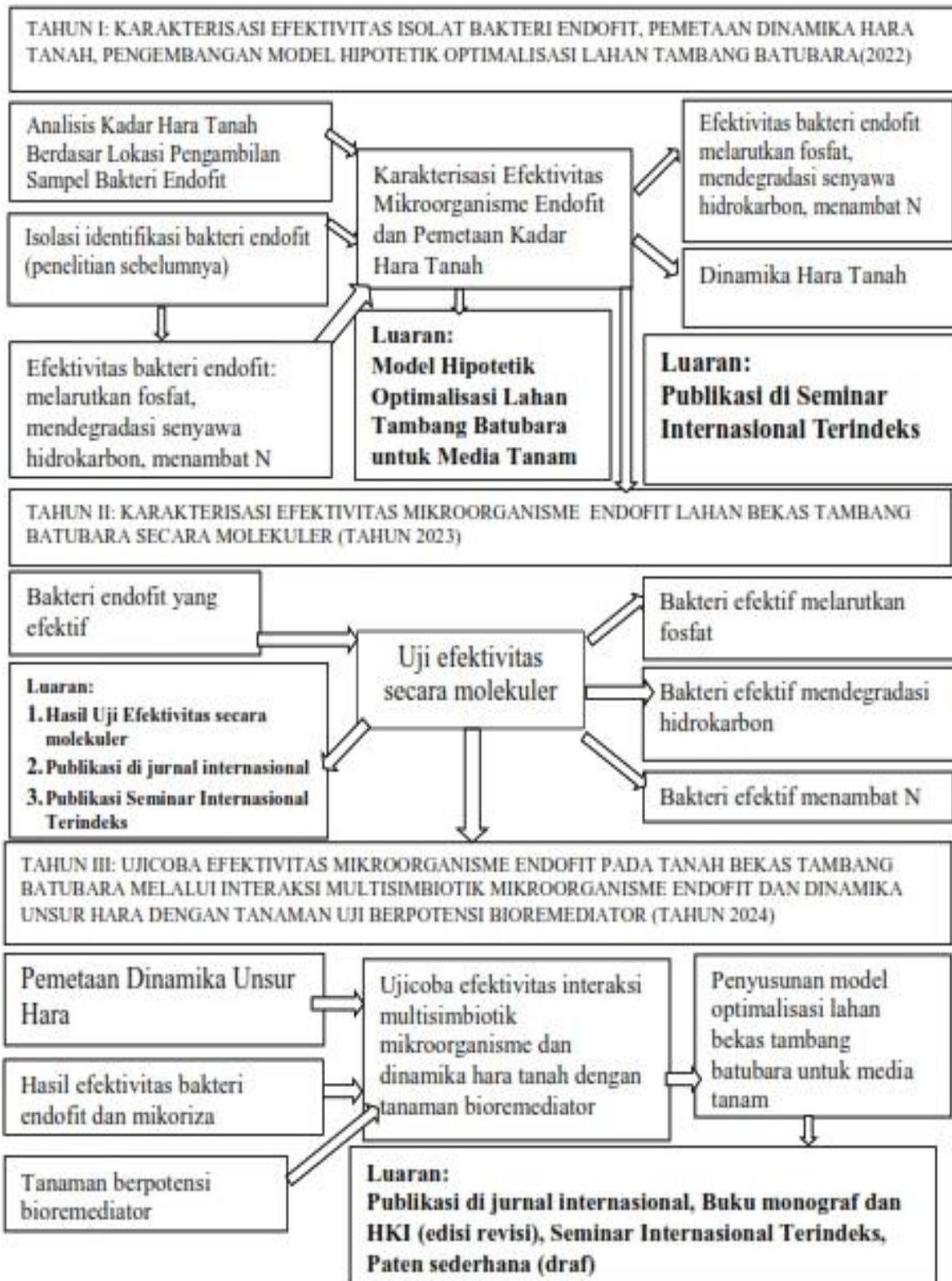
Penelitian tahun kedua (2023) merupakan tahapan untuk mengkarakterisasi secara molekuler efektivitas bakteri endogen lahan bekas tambang batu bara dalam melarutkan fosfat, menambat nitrogen, dan mendegradasi senyawa hidrokarbon. Merupakan penelitian deskriptif dengan metode penelitian sebagai berikut.

1. Mengambil sampel tanah di tiga lokasi lahan bekas tambang batubara di wilayah Penajam Pasir Utara, Kalimantan Timur,
2. Preparasi dan optimalisasi untuk metode NGS (*next generation sequencing*=NGS) dengan menggunakan sampel tanah lahan bekas tambang batu bara,
3. Melakukan metode NGS dari bakteri sampel tanah,
4. Menganalisis hasil untuk menentukan: efektivitas isolate bakteri endofit untuk melarutkan fosfat secara molekuler; efektivitas isolate bakteri endofit untuk mendegradasi senyawa hidrokarbon secara molekuler; dan efektivitas isolate bakteri endofit untuk menambat nitrogen bebas secara molekuler,
5. Menulis manuscript artikel untuk publikasi di Seminar Internasional dan publikasi di Jurnal Internasional Bereputasi.

Luaran penelitian (2023):

1. Publikasi di Jurnal Internasional Bereputasi: *Journal of Agricultural Science and Technology* (Q3).
2. Publikasi seminar internasional terindeks: *International Conference on Research and Academic Community Services* (ICRACROS 2023).

Berikut bagan skematis dan luaran penelitian pada setiap tahun, terutama tahun kedua (2023). Bagan ini menunjukkan metode yang akan dilakukan dan luaran penelitian yang diharapkan.



Gambar 8. Bagan Skematis Prosedur dan Luaran Penelitian

Jadwal Penelitian Tahun Kedua (2023)

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan alat dan bahan penelitian												
2	Karakterisasi efektivitas isolate bakteri dalam melarutkan fosfat secara molekuler												
3	Karakterisasi efektivitas isolate bakteri dalam mendegradasi senyawa hidrokarbon secara molekuler												
4	Karakterisasi efektivitas isolate bakteri dalam menambat N secara molekuler												
5	Analisis data dan verifikasi model hipotetik												
6	Penyusunan artikel publikasi												
7	Penyusunan laporan penelitian												

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Kesumaningwati, R., Akhsan, N., dan Urnemi. 2017. Penilaian Kesuburan Tanah Dengan Metode Fcc Pada Beberapa Lahan Bekas Tambang Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. Fakultas Teknik – Universitas Mulawarman.
2. Mashud, N., and Manaroinsong, E. 2014. Pemanfaatan Lahan Bekas Tambang Batu Bara untuk Pengembangan Sagu. *B. Palma* Vol. 15 No. 1, Juni 2014: 56 – 63.
3. Djaenudin, D., H. Marwan, H. Subagio, and A. Hidayat. 2011. Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan Untuk Komoditas Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
4. An, N. , C.S. Tang, S. K. Xu, X. P. Gong, B. Shi, and H. I. Inyang. 2018. Effects of soil characteristics on moisture evaporation. *Engineering Geology*, 239, pp.126-135.
5. Raven, P.H., G. B. Johnson, K. A. Mason, J. B. Losos, and S. R. Singer. 2017. *Biology Eleventh Edition*. New York. McGraw-Hill Education.
6. Rao, P. L., G. Jayasree, G. Pratibha, and T. R. Prakash. 2017. Effect of soil amendments on texture, porosity of soil and chlorophyll content in maize. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6(3): 435-437.
7. Das, N., and P. Chandran. 2011. Review: Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview. SAGE-Hindawi Access to Research. *Biotechnology Research International*. Volume 2011, Article ID 941810.
8. Afum, B. O., D. Caverson, and E. Ben-Awuah. 2019. A conceptual framework for characterizing mineralized waste rocks as future resource. *International Journal of Mining Science and Technology*. 29: 429–435.
9. Barman, J., Samanta, A., Saha, B., dan Datta, S. 2016. Mycorrhiza: The Oldest Association Between Plant and Fungi. *Resonance*. December 2016.
10. Hamilton, C. E., Bever, J. D., Labbé, J., Yang, X., and Yin, H. 2016. Mitigating Climate Change Through Managing Constructed-Microbial Communities In Agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ*. 216, 304–308. doi: 10.1016/j.agee.2015. 10.006.
11. Torres, N., Antolín, M. C., and Goicoechea, N. 2018. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis as a Promising Resource for Improving Berry Quality in Grapevines Under Changing Environments. *Front. Plant Sci*. Vol 9:897. doi: 10.3389/fpls.2018.00897.
12. Gao, X., Guo, H., Zhang, Q., Guo, H., Zhang, L., Zhang, C., Gou, Z., Liu, Y., Wei, J., Chen, A., Chu, Z., and Zeng, F. 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific report*. 10:2084. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59180-3>.
13. Abu-Elsaoud, A. M., Nafady, N. A., Abdel-Azeem, A. M. 2017. Arbuscular Mycorrhizal Strategy for Zinc Mycoremediation And Diminished Translocation To Shoots And Grains In Wheat. *PLoS ONE* 12(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188220>

14. Thakur, J., and Shinde, B. P. 2020. Effect of water stress and AM fungi on the growth performance of pea plant. *International Journal of Applied Biology*. Vol 4. No 1.
15. Marista, E., Khotimah, S., and Linda, R. 2013. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiacavar. nipah*) di Kota Singkawang. *Protobiont*. Vol 2 (2): 93 -101.
16. Karpagam, T., and Nagalakshmi, P.K. 2014. Isolation and characterization of Phosphate Solubilizing Microbes from Agricultural soil. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 3(3): 601-614.
17. Widawati, S., and Suliasih. 2019. Role of Indigenous Nitrogen-fixing Bacteria in Promoting Plant Growth on PostTin Mining Soil. *Makara Journal of Science*, 23/1 (2019),28-38doi: 10.7454/mss.v23i1.10801.
18. Navarro, N.Y.E., Hernández, M.E, Morales, J.J.,Jan, R.J., Martínez, R.E., Hernández, R.C. 2012. Isolation and characterization of nitrogen fixingheterotrophic bacteria from the rhizosphere of pio-near plants growing on mine tailings. *Applied Soil Ecology*. 62:52-60.<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.07.011>.
19. Kostka, J. E., Prakash, O., Overholt, W. A., Green, S. J., Freyer, G., Canion, A., Delgardio, J., Norton, N., Hazen, T. C., and Huettel, M. 2011. Hydrocarbon-Degrading Bacteria and the Bacterial Community Response in Gulf of Mexico Beach Sands Impacted bythe Deepwater Horizon Oil Spill. *Applied and environmental microbiology*, Nov. 2011, p. 7962–7974.
20. Egorov, A. M., Ulyashova, M. M., and Rubtsova, M. Yu. 2018. Bacterial Enzymes and Antibiotic Resistance. *Acta Naturae*. vol. 10. no. 4. 39.
21. Sharon, J.A., L.T Hathawaik., G.M. Glenn., S.H., Imam., and C.C Lee. 2016. Isolation of Efficient Phosphate Solubilizing Bacteria Capable of Enhancing Tomato Plant Growth. *Soil Science and Plant Nutrition*. 16(2): 525-536.
22. Mohamed, E.A.H., A.G. Farag., and S.A Youssef. 2018. Phosphate Solubilization by *Bacillus Subtilis* and *Serratia Marcescens* Isolated from Tomato Plant Rhizosphere. *J. Environmental Protection*. 9: 266-277.
23. Saputri, K. I., Idiawati, N., Sofiana, M.S.J. 2021. Isolasi dan Karakteristik Bakteri Penambat Nitrogen dari Rizosfer Mangrove di Kuala Singkawang. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, Vol. 4 No. 2, Hal. 17-21.
24. Khafidloh, E. N., 2020. Isolasi dan Seleksi Bakteri Indigen Pendegradasi Hidrokarbon Minyak Bumi pada Tanah di Lokasi Tambang Minyak Wonocolo, Bojonegoro. Skripsi UIN Sunan Ampel Surabaya, hal 32-33.
25. Karti, P.D.M.H., Yahya, S., Sopandie, D., Hardjosuwignyo, S. and Setiadi, Y. 2012. Isolation and Effect of Al-Tolerant Phosphate Solubilizing Microorganism for Production and Phosphate Absorbtion of Grasses and Phosphour Dissolution Mechanism. *Animal Production* 14 (1): 13-22.
26. Bhattacharyya, P.N., and Jha, D.K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in ag-riculture. *World J. Microbiol.Biotechnol.* 28(4):1327-1350. DOI: 10.1007/s11274-011-0979-9.
27. Rahayu, Y.S., Yuliani, Pratiwi, I.A. 2020. Increasing Plant Tolerance Grown on Saline Soil: The Role of Tripartite Symbiosis. *Annals of Botany*: Vol 36 (2); 346-353.
28. Rahayu, Y.S. 2020. Bioremediation model of oil-contaminated soil in Lapindo mud using multisymbiotic organism. *Management of Environmental Quality: An International Journal*. Volume 31 No 3: 586-601.
29. Rahayu, Y.S., Yuliani, Mulyono, G. T. 2018. Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing Bacteria and Hydrocarbone Degradation Bacteria in Lapindo Mud Sidoarjo East Java Indonesia. *Journal of Engineering Science and Technology (JESTEC)*, Volume 13, Issue 8: 2318-2327.
30. Rahayu, Y.S., Yuliani, Mulyono, G. T. 2019. Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing Bacteria and Hydrocarbone Degradation Bacteria in Oil Contaminated Soil in Bojonegoro, East Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Science and Technology (IJoST)*. Volume 4, Issue 1: 134-147.
31. Das, N., and Chandran, P. 2011. Review: Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants: An Overview. SAGE-Hindawi Access to Research. *Biotechnology Research International*. Volume 2011, Article ID 941810.
32. Sayuti I. dan Suratni. 2015. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Limbah Cair Minyak Bumi Gs Cevron Pasifik Indonesia di Desa Benar Kecamatan Rimba Melintang Rokan Hilir. *Prosiding Semirata Universitas Tanjungpura Pontianak*.
33. Olawale, J. T., Edeki, O. G., and Cowan, A. K. 2020. Bacterial degradation of coal discard and geologically weathered coal. *Int J Coal Sci Technol*. 7(2): 405 – 416.
34. Chen, H., dan Fan, X. 2018. Effects of magnesium remobilization and allocation on banana plant growth. *Journal of Plant Nutrition*. 41(10), 1312–1320.
35. Martinez-Dalmau, J., Berbel, J., & Ordonez-Fernandez, R. 2021. Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses. *Sustainability*: 13(5625), 1–15. <https://doi.org/doi.org/10.3390/ su13105625>

36. Soumare, A., Diedhiou, A. G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouismi, L. 2020. Exploiting Biological Nitrogen Fixation: A Route. *Plants*: 9,1–22. <https://doi.org/doi:10.3390/plants9081011>.
37. Jayanthi, R., & Hemashenpagan, N. 2015. Isolation And Identification of Petroleum Hydrocarbon Degrading Bacteria from Oil Contaminated Soil Samples. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences*. Volume 5, 102-106.
38. Rahayu, Y.S., Yuliani, Asri, M.T. 2021. Isolation and Identification of Endophytic Bacteria Related to Plant Nutrition Level in Coal Mining Site from East Kalimantan Indonesia. *Advanced in Engineering Research*, Volume 209. Pp 485-491.
39. Rahayu, Y.S., Yuliani, Trimulyono, G., Ratnasari, E., Dewi, SK. 2018. Role of Nitrogen and phosphate dynamics to increase plant survival grown on oil contaminated soil. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Volume 434, (AASEC 2018), 012122 doi:10.1088/1757-899X/434/1/012122, halaman 1-8.
40. Yuliani, Rahayu. Y.S. 2018. The Role of Teak Leaves (*Tectona grandis*), Rhizobium, and Vesicular Arbuscular Mycorrhizae on Improving Soil Structure and Soil Nutrition. *IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Volume 288 (AASEC 2017), 012158, doi:10.1088/1757-899X/288/1/012158), halaman 1-7.
41. Rahayu, Y.S. 2014. The Role of Mycorrhizae and Rhizobium to Increase Plant Tolerance Grown on Saline Soil (Hasil Penelitian yang dimuat pada Prosiding dan disampaikan Pada International Conference On Research, Implementation And Education of Mathematics And Science 2014 (ICRIEMS-2014)), Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia, 18-20 May 2014, Hal: B 195-202, ISBN: 978-979-99314-8-1.
42. Rahayu, Y. S. dan Yuliani. 2019. Distribution Pattern of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> Concentrations in Mycorrhizal Plant Grown on Saline Soil (Hasil Penelitian disampaikan dalam Joint Symposium on Tropical Studies 2019, 4-6 September 2019 di Tanjung redeb Kalimantan Timur oleh Universitas Mulawarman).
43. Sulizah, A., Rahayu, Y.S., Dewi, SK. 2018. *Isolation and Characterization of Silicate Solubilizing Bacteria from Paddy Rhizosphere*. *Journal of Physics: Conf. Series* 1108 (2018) 012046 doi :10.1088/1742-6596/1108/1/012046.
44. Fatharani dan YS Rahayu. 2018. Isolation and Characterization of Potassium Solubilizing Bacteria from Paddy Rhizosphere. *Journal of Physics: Conf. Series* 1108 (2018) 012105 doi :10.1088/1742-6596/1108/1/012105.
45. Agustin, I., Yuliani, Y.S. Rahayu. 2009. Efektivitas Bakteri Pelarut Fosfat *Bacillus subtilis* dalam Meningkatkan Kadar Fosfat dan Menurunkan Senyawa Hidrokarbon Pada Tanah Bekas Pertambangan Bojonegoro. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Jurusan Kimia FMIPA UNESA Surabaya, ISBN: 978-979-028-103-5.
46. Rachmawati, N.L., Y.S. Rahayu, Yuliani. 2009. Bioremediasi Senyawa Hidrokarbon Dengan Pemberian Bakteri Pelarut Fosfat *Pseudomonas aeruginosa* Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Jurusan Kimia FMIPA UNESA Surabaya, ISBN: 978-979-028-103-5.
47. Diana, L., YS Rahayu, Yuliani. 2009. Penggunaan Kultur Bakteri *Achromobacter xylosoxidans* dan *Arthrobacter polychromogenes* Terhadap Penurunan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi di Bojonegoro. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, Jurusan Kimia FMIPA UNESA Surabaya, ISBN: 978-979-028-103-5.
48. Oktavia, I. Y.S. Rahayu, Yuliani. 2009. Kemampuan Rhizobium dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine Max (L) Merrill*) pada Tanah Tercemar Minyak Bumi di Bojonegoro. *Prosiding Seminar Nasional Biologi/Sains*. Jurusan Biologi FMIPA UNESA Surabaya. ISBN: 978-979-028-194-3.
49. Naafi, T.N., dan Rahayu, YS. 2019. The effect of Local Microorganism and Mycorrhizal Fungi on Anatomical and Morphological Responses of Red Chili (*Capsicum annum L.*). *Journal of Physics: Conference Series (MISEIC 2019)*. Volume 1417: 012036 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1417/1/012036, halaman: 1-6.
50. Ummah, K. dan Rahayu, Y.S. 2019. The Effect of Gibberellin Extracted from *Eichoenia crassipes* Root on the Viability and Duration of Hard Germination (Hasil Penelitian yang dimuat pada *Journal of Physics: Conference Series (MISEIC 2019)*, Volume 1417: 012037 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1417/1/012037. halaman: 1-6.
51. Juhaidah, S.E., Yuliani, YS Rahayu. 2009. Pengaruh Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) *Glomus aggregatum* Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*) dan Kadar Total Petroleum Hydrokarbon (TPH) Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi. *Prosiding*

*Seminar Nasional Biologi/Sains*. Jurusan Biologi FMIPA UNESA Surabaya. ISBN: 978-979-028-194-3.

52. Kurniawati, E. Y.S. Rahayu. Yuliani. 2009. Pengaruh Rhizobium dan Vesikular Arbuskular Mikoriza (MVA) *Glomus aggregatum* Terhadap Pertumbuhan Kacang Tanah (*Arachis hypogea* L.) Yang Ditanam Pada Tanah Tercemar Minyak Bumi di Bojonegoro. *Prosiding dalam Simposium Nasional Biologi*, Universitas Islam Negeri Malang. Juni 2009.

