

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN



Integrasi metode qPCR dan Uji Enzimatik Tanah untuk Menilai Kelimpahan Mikroba Siklus Biogeokimia dan Kesuburan Tanah Pasca Pemupukan

TIM PENELITI

DR. RER.NAT. YUNUS EFFENDI (Ketua - Universitas Al Azhar Indonesia)
DR. ARIEF PAMBUDI (Anggota - Universitas Pendidikan Indonesia)
AKHMAD RIZKY SAPUTRA (Mahasiswa - Universitas Al Azhar Indonesia)

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AL AZHAR INDONESIA
2026**

**LEMBAR PENGESAHAN
PENELITIAN**

1. Judul : Integrasi metode qPCR dan Uji Enzimatik Tanah untuk Menilai Kelimpahan Mikroba Siklus Biogeokimia dan Kesuburan Tanah Pasca Pemupukan
- Kode>Nama Rumpun Ilmu : Biologi/Bioteknologi Umum
2. Ketua/Tim Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Dr.rer.nat Yunus Effendi
 - b. NIDN : 0004077302
 - c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - d. Fakultas/Program Studi : FST/MPSDA
 - e. Nomor Hp : 082244410473
 - f. Surel (E-mail) : effendiy@uai.ac.id
 - g. Biaya yang Diusulkan : Rp. 39.955.000,00,-

Mengetahui,
Kepala LPIPM



(Dr.rer.nat. Yunus Effendi)

Jakarta, 26 Agustus 2026
Ketua/Tim Peneliti UAI



(Dr.rer.nat. Yunus Effendi)

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkask mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi 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.

Hasil Pelaksanaan Penelitian

Sampai laporan kemajuan ini disusun, progres pelaksanaan penelitian sudah dilakukan lebih dari 75% dari rencana. Dari 8 tahapan pelaksanaan penelitian, 5 tahapan sudah dilakukan.

1. Persiapan penanaman dan penanaman

Penanaman tanaman dilakukan di Eduwisata TANIKOTA yang terletak di kota Bandung. Perlakuan pupuk yang didesain terdiri dari 4 macam perlakuan (NPK, Pupuk komposit nano, pupuk hayati komersial, dan Kontrol/Organik). Pengolahan tanah dan persiapan penanaman sudah dilakukan dengan jumlah ulangan tiap perlakuan sebanyak 20 tanaman bunga matahari. Penanaman dimulai pada bulan Maret – Juni 2026. Gambar 1 menunjukkan beberapadokumentasi yang diambil dalam proses penelitian.



Gambar 1. Pelaksanaan peneliitan di lapangan. A) persiapan lahan; B) Pemupukan; C) Perawatan; D & E) Pengambilan data; F) Fenotip bunga

2. Aplikasi perlakuan pupuk dan pengambilan data

Pemupukan dilakukan sesuai dengan prosedur yang sudah dicantumkan pada proposal. Tanaman untuk masing-masing perlakuan dikoleksi data pertumbuhannya diantaranya data tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, kandungan klorofil, dan struktur akar. Selain itu sample tanah diambil untuk semua perlakuan untuk selanjutnya dilakukan ekstraksi

RNA dari tanah sample. Tanah juga dikirim ke lembaga uji tanah untuk dilakukan analisis sifat kimia dan fisika tanah.

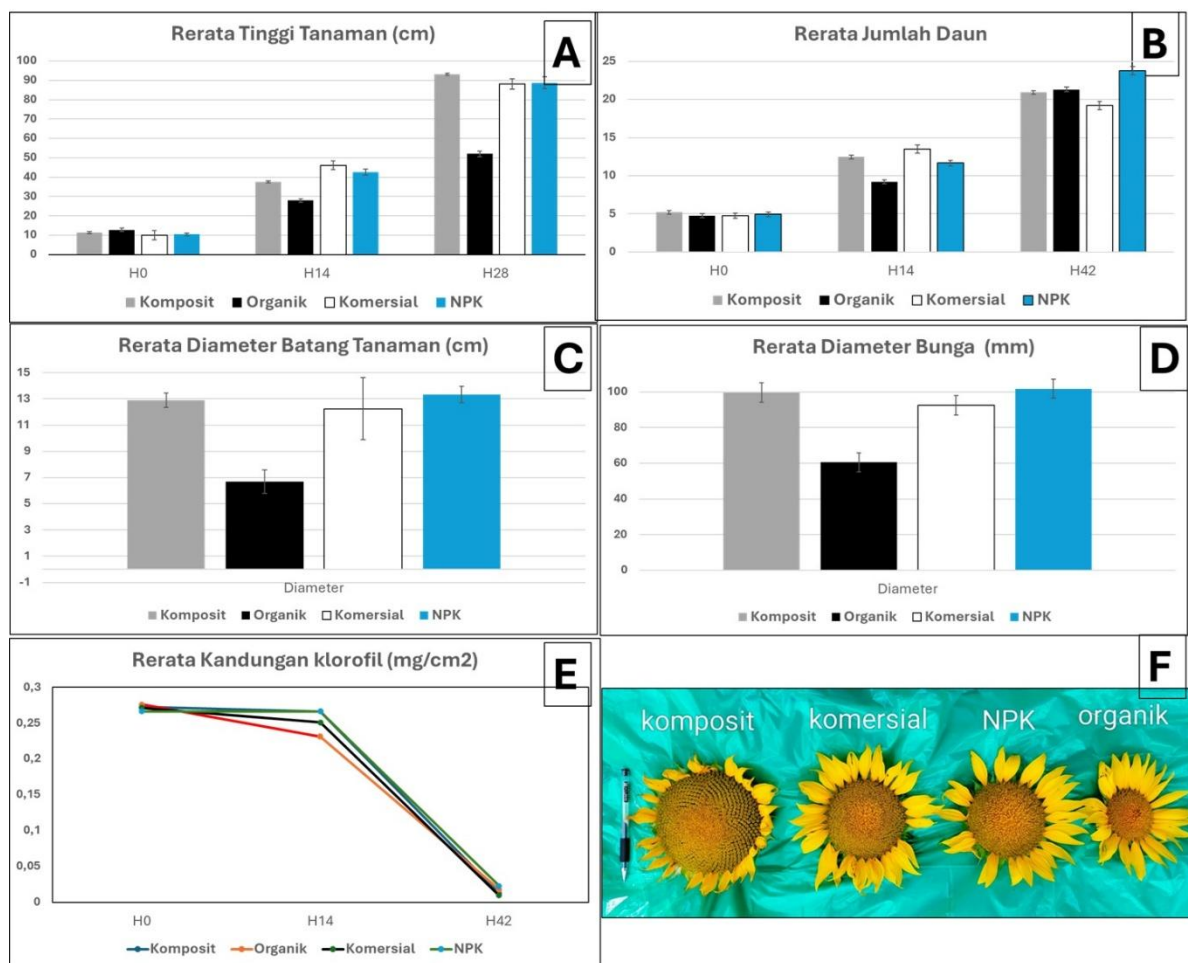
Pengujian dilakukan selain untuk mengetahui efek fungsionalitas pupuk komposit juga untuk menguji Nutrient Uptake efficiency (NUE) dari pupuk komposit oleh tanaman cabai. Parameter efek pupuk yang dicatat adalah perubahan pertumbuhan tanaman bunga matahari dibandingkan dengan pupuk pembanding (NPK, POC, Pupuk hayati komersial). Selain itu field trial dilakukan untuk menguji dosis efektif untuk tanaman bunga matahari. Pengujian efek pupuk komposit terhadap efektifitas penyerapan nutrisi dilakukan di greenhouse menggunakan tanaman cabai menggunakan metode X-ray Fluorescent (XFR). RNA extraction dan qPCR.

Efek aplikasi pupuk komposit terhadap pertumbuhan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pupuk komposit submicron NPK + konsorsia mikroba memberikan performa pertumbuhan tanaman yang sangat kompetitif, bahkan dalam banyak parameter mampu menyamai atau melampaui pupuk komersial dan pupuk organik, serta mendekati efektivitas pupuk NPK konvensional (Gambar 2). Pupuk komposit tampak unggul pada beberapa aspek penting: diameter batang yang lebih besar, jumlah daun yang stabil hingga fase generatif, serta ukuran bunga yang besar dan proporsional, indikator bahwa tanaman menerima suplai hara yang efisien dan berkelanjutan. Selain itu, kandungan klorofil yang dihasilkan pupuk komposit tetap berada pada level tinggi dan setara dengan NPK, mencerminkan kemampuan komposit dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen melalui sinergi antara partikel NPK berukuran submikron dan mikroba fungsional yang berperan dalam pelarutan dan mobilisasi hara. Secara keseluruhan, keunggulan pupuk komposit terletak pada kemampuannya memberikan hasil pertumbuhan dan kualitas bunga yang mendekati NPK, namun dengan manfaat tambahan berupa perbaikan kesehatan tanah dan efisiensi pemupukan, sehingga menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan dibanding pupuk kimia maupun pupuk organik biasa. Rekapitulasi data dari efek jenis pupuk dalam penelitian ini dapat dilihat pada Table 1.

Tabel 1. Perbandingan efek pemupukan terhadap pertumbuhan bunga matahari

Parameter	Komposit	Organik	Komersial	NPK
Tinggi tanaman	setara NPK	paling rendah	baik	terbaik
Jumlah daun	setara	sedang	baik	terbaik
Diameter batang	tinggi	rendah	sedang	tertinggi
Diameter bunga	mendekati NPK	terendah	baik	terbaik
Klorofil	setara NPK	sedikit lebih rendah	setara	setara
Diameter bunga	terbaik	paling kecil	baik	sangat baik



Gambar 2. Efek pemberian pupuk terhadap pertumbuhan tanaman bunga matahari.

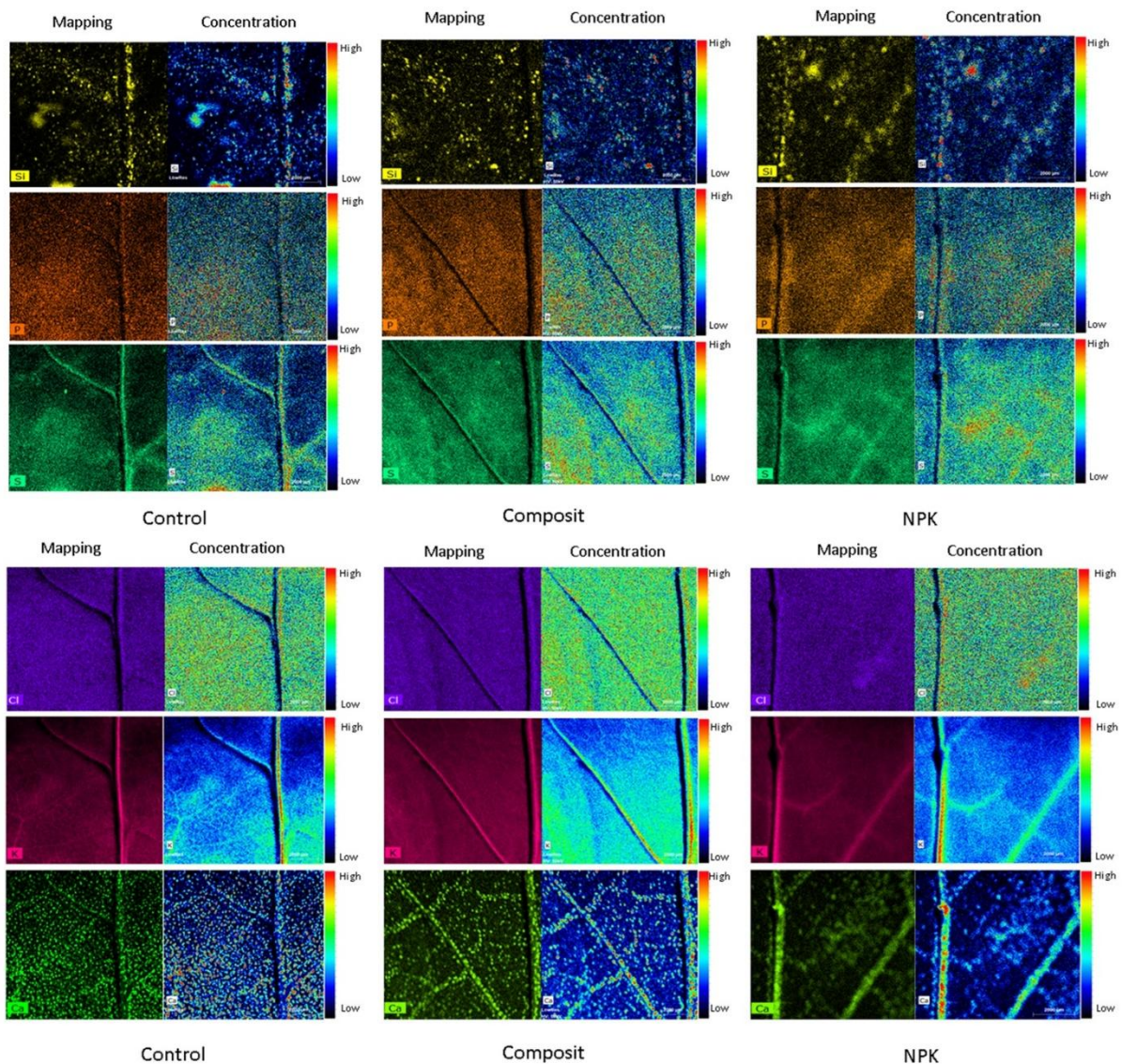
Aplikasi pupuk komposit menunjukkan hasil terbaik (tinggi tanaman) (A), diameter batang dan bunga terbesar seperti efek aplikasi NPK (C, D). Namun tidak berbeda untuk fenotip jumlah daun dan kandungan klorofil (B, E). Pupuk komposit memberikan efek diameter bunga terbaik (F).

Peningkatan Nutrient Uptake

Salah satu dampak positif dari aplikasi pupuk komposit yang diharapkan adalah peningkatan nutrient uptake efficiency (NUE). Keberadaan konsorsia mikroba dalam pupuk komposit yang didesain dalam penelitian ini menjadi salah satu alasan kuat potensi peningkatan NUE dari tanaman yang diaplikasikan dengan pupuk komposit submikro NPK + konsorsia mikroba. Beberapa bukti empiris menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati berbasis Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) secara signifikan meningkatkan efisiensi serapan nutrisi tanaman, sehingga tanaman dapat memanfaatkan hara dari tanah dan pupuk lebih efektif. Ran et al, [1] melaporkan bahwa substrat yang di-inokulasi PGPR menunjukkan peningkatan efisiensi pemulihan nutrisi (apparent nutrient recovery efficiency) secara signifikan, yang menunjukkan peran langsung PGPR dalam mengoptimalkan pengambilan nutrisi oleh tanaman dan mengurangi kebutuhan pupuk kimia berlebih.

Uji efek pupuk terhadap peningkatan NUE dilakukan pada tanaman cabai di greenhouse. Uji dilakukan dengan membandingkan efek pemupukan pupuk NPK (16:16:16) dengan pemberian pupuk komposit submikro NPK + mikroba pada tanaman cabai. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat XRF (X-Ray Fluorescence) membandingkan pola sebaran beberapa senyawa (P, K, Ca, Na, S, Mg, Mn, Cl, Al, Fe, Zn, Si) pada perlakuan pupuk komposit submikro NPK + komposit dengan aplikasi pupuk NPK dan kontrol (tanpa perlakuan pupuk). Hasil

menunjukkan pola sebaran dan akumulasi senyawa-senyawa tersebut di atas yang pada perlakuan pupuk komposit dan pupuk NPK cenderung lebih tinggi dari pada tanaman kontrol. Perlakuan pupuk komposit dan pupuk NPK cenderung menunjukkan hasil yang cukup sama (tidak berbeda, kecuali senyawa Cl yang cenderung lebih banyak ditemukan pada pemberian pupuk komposit. Pola sebaran senyawa P dan Ca juga menunjukkan lebih luas pada daun dibandingkan dengan perlakuan pupuk NPK (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil analisis XRF untuk menguji distribusi nutrient pada daun yang dapat menunjukkan efisiensi nutrient uptake pada pemberian jenins pupuk yang berbeda

Hal ini cukup menarik mengingat pupuk komposit submicro NPK + mikroba hanya mengandung sangat sedikit konsentrasi NPK, dimana dosis yang digunakan dalam penelitian ini hanya berkisar 280 kg/ha pupuk komposit. Dari 280 kg tersebut, hanya mengandung sekitar **28 kg submicron NPK 16:16:16**. Sedangkan dosis yang umum digunakan dalam agronomi jagung dan cabai antara **300-400 kg/ha** [2][3]. Selain itu Analisis struktur akar tanaman bunga matahari menunjukkan aplikasi pupuk komposit mempengaruhi pertumbuhan akar dan struktur akar pada tanaman perlakuan lebih baik dibandingkan perlakuan NPK, pupuk organik cair maupun pupuk hayati komersial. Hal ini diduga disebabkan oleh adanya peningkatan struktur arsitek akar pada tanaman pasca aplikasi pupuk. Gambr 4 menunjukkan bahwa pada aplikasi

pupuk komposit, akar tanaman bunga matahari berkembang dengan lebih baik dibandingkan dengan aplikasi dengan pupuk lainnya.



Gambar 4. Perbandingan struktur akar pada tanaman dengan perlakuan pupuk yang berbeda

Lebih dari itu, analisis struktur akar tanaman bunga matahari menunjukkan aplikasi pupuk komposit mempengaruhi pertumbuhan akar dan struktur akar pada tanaman perlakuan lebih baik dibandingkan perlakuan NPK, pupuk organik cair maupun pupuk hayati komersial (Gambar 6). Pada Gambar 5 jelas menunjukkan bahwa tanaman yang dipupuk dengan pupuk komersial menghasilkan tanaman yang memiliki struktur akar lebih besar, dengan lebih banyak percabangan serta biomassa akar yang lebih besar dibandingkan dengan semua jenis perlakuan lainnya. Hal ini diduga dampak dari penambahan konsorsia mikroba yang ada di dalam pupuk komposit. Mikroba yang terlibat sebagai biofertilizer berkontribusi pada perkembangan sistem akar melalui beberapa mekanisme langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, bakteri PGPR (plant growth-promoting rhizobacteria) seperti *Azotobacter*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus* dapat menghasilkan asam indol-3-asetat (IAA) serta enzim-enzim yang memfasilitasi ketersediaan fosfor, sehingga merangsang pertumbuhan akar dan peningkatan luas permukaan penyerapan nutrisi [4,5]. Selain itu, interaksi antara mikroba dengan akar secara kimiafisiologis mendorong pembentukan akar lateral dan cabang akar melalui sinyal yang dipicu oleh bakteri serta molekul rhizodeposit yang dikeluarkan oleh akar, meningkatkan kolonisasi dan efektivitas biofertilizer dalam rhizosphere [6]. Pada sisi lain, simbiosis mikoriza arbuskular (AMF) memperluas jaringan perakaran melalui peningkatan arsitektur akar dan jaringan akar yang lebih kompleks, sehingga area penyerapan fosfor dan nutrisi lain meluas walaupun terbatas, dengan AMF juga merangsang pelepasan enzim fosfatase dan asam organik yang meningkatkan ketersediaan fosfor di tanah [7,8]. Pengayaan komunitas mikroba tanah oleh biofertilizer turut mengubah komposisi komunitas mikroba di tanah, yang pada gilirannya memperkuat pembentukan jaringan akar yang lebih rapuh namun tersegmentasi dan kuat, memungkinkan penyerapan nutrisi secara lebih efisien [4,6]

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, 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 melalui BIMA.

.Luaran yang dijanjikan yakni puublikasi pada jurnal nasioanl terakrditasi, sedang dalam proses penyusunan draf publikasi. **Luaran** yang ditargetkan publikasi artikel ilmiah pada Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia ([Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia](https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI) Sinta 2, <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI>).

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* serta mengunggah bukti dokumen pendukung sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra dapat diunggah melalui BIMA.

Catatan:

Bagian ini wajib diisi untuk penelitian terapan, untuk penelitian dasar (KATALIS, Fundamental, Pascasarjana, dan Dosen Pemula) boleh mengisi bagian ini (tidak wajib) jika melibatkan mitra dalam pelaksanaan penelitiannya

.Tidak ada mitra dalam penelitian ini..

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.

.Tidak ada kendala serius dalam pelaksanaan tahapan penelitian sejauh ini..

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian selanjutnya 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 selanjutnya:

- Sesuai dengan tahapan penelitian yang sudah ditulis pada proposal, rencana selanjutnya adalah Ekstraksi RNA tanah dan analisis level ekspresi beberapa gen fungsional dengan menggunakan metode real time PCR
- Melakukan uji enzimatik tanah untuk memverifikasi enzim apa saja yang ada pada tanah khususnya terkait dengan fungsi biogeokimia tanah.
- Analisis data korelasi antara data qPCR dan data enzimatik tanah.
- Penyusunan dan penyelesaian draft publikasi

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]. Effendi, Y., Khalisa,A., Pambudi, A. Characterization of soil microbes in an indicated fusarium wilt-suppressive and -conducive soils in banana plantation at Sukabumi, West Java. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2020, 468, 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012030> [2] Ronga, D., Biazzi, E., Parati, K., Carminati, D., Carminati, E., & Tava,

- A. (2019). Microalgal Biostimulants and Biofertilisers in Crop Productions. *Agronomy*, 9(4), 192. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
- [3] Wicaksono, D. D. and Kafiya, M. (2022). Morphologically Diversity of *Colletotrichum* sp. Conidia Associated With Anthracnose on Chili. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1018(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1018/1/012016>.
- [4] Lugtenberg B. and Kamilova F.. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology* 2009;63(1):541-556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>.
- [5] Khalid A. , Arshad M. , & Zahir Z.. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. *Journal of Applied Microbiology* 2004;96(3):473-480. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x>
- [6] Hassan M. , McInroy J. , & Kloepper J.. The interactions of rhizodeposits with plant growth-promoting rhizobacteria in the rhizosphere: a review. *Agriculture* 2019;9(7):142. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070142>
- [7] Huang G. , Xu Y. , & Wu Q.. Mycorrhiza-improved p acquisition of host plants: a minireview. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 2021;14(3):062-067. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2021.14.3.0063>
- [8] Ramírez-Flores M. , Bello-Bello E. , Rellán-Álvarez R. , Sawers R. , & Olalde-Portugal V.. Inoculation with the mycorrhizal fungus *rhizophagus irregularis* modulates the relationship between root growth and nutrient content in maize (*zea mays* ssp. *mays* l.). *Plant Direct* 2019;3(12). <https://doi.org/10.1002/pld3.192>
- .



PROTEKSI ISI PROPOSAL

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi proposal ini dalam bentuk apapun kecuali oleh pengusul dan pengelola administrasi penelitian dan pengabdian kepada masyarakat

PROPOSAL PENELITIAN

Rencana Pelaksanaan Penelitian: tahun 2026 s.d. tahun 2026
NO. DOKUMEN: PP-25760112820

1. JUDUL PENELITIAN

Integrasi metode qPCR dan Uji Enzimatis Tanah untuk Menilai Kelimpahan Mikroba Siklus Biogeokimia dan Kesuburan Tanah Pasca Pemupukan

Bidang Fokus	Tema	Topik (jika ada)	Prioritas Riset
Pangan	Teknologi Ketahanan dan Kemandirian Pangan	Pendukung kemandirian pangan (padi, jagung, dan kedelai) dan tanaman perkebunan	Swasembada pangan

Rumpun Ilmu Level 1	Rumpun Ilmu Level 2	Rumpun Ilmu Level 3
MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM (MIPA)	ILMU IPA	Biologi (dan Bioteknologi Umum)

Skema Penelitian	Strata (Dasar/Terapan/Pengembangan)	Nilai SBK	Target Akhir TKT	Lama Kegiatan
Penelitian Tesis Magister	Riset Dasar	40.000.000	3	1 Tahun

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama, Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
YUNUS EFFENDI 0004077302 Ketua Pengusul Universitas Al-azhar Indonesia	Dosen	Pengelolaan Sumber Daya Alam	Desain dan rancang penelitian, manage persiapan dan pelaksanaan penelitian, supervisi mhs bimbingan, penyusunan luaran penelitian	260242
ARIEF PAMBUDI 0314048704 Anggota Universitas Al-azhar Indonesia	Dosen	Biologi	Supervisi mahasiswa S2, penulisan draft publikasi, desain dan pengembangan penelitian, analisis data	6017951
Akhmad Rizky Saputra 0101625003 Mahasiswa Bimbingan Universitas Al-azhar Indonesia	Mahasiswa	Pengelolaan Sumber Daya Alam	Koleksi data, mengerjakan penelitian di lapangan dan di lab, drafting thesis dan publikasi	-

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (Jika Ada)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra	Dana
-------	------------	------

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Kategori Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian	Keterangan
1	Artikel di Jurnal	Artikel di Jurnal Bereputasi	Accepted/Published	https://

		Nasional Terindeks SINTA 1-4		journal.ipb.ac.id/ index.php/JIPI
--	--	------------------------------	--	--------------------------------------

5. BIDANG STRATEGIS

8 Bidang Strategis	Rumusan Masalah	Uraian
1. Pangan	1.3 Dampak Perubahan Iklim dan Rendahnya Adopsi Pertanian Berkelanjutan	Analisis kesuburan tanah pasca aplikasi pupuk kimia dan pupuk hayati melalui studi kelimpahan dan diversitas mikroba fungsional siklus biogeokimia tanah. Analisis dilakukan melalui pendekatan molekuler (real-time PCR) dan metabolomik tanah (enzimatis tanah) serta dikorelasikan dengan data pertumbuhan tanaman bunga matahari. Penelitian dirancang selama 12 bulan dengan data utama laju pertumbuhan tanaman bunga matahari, data analisis tanah, data level kelimpahan mikroba, data enzimatis tanah. Empat jenis pupuk (NPK, Komposit, Hayati komersial, Organik cair) akan diaplikasikan ke lahan kebun bunga matahari dengan model rancangan penelitian RAK, 2 ulangan dan masing-masing ulangan terdapat 15-20 tanaman bunga matahari.

6. ANGGARAN

Rencana Anggaran Biaya penelitian mengacu pada PMK dan buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang berlaku.

Total RAB 1 Tahun Rp 39.955.000,00

Tahun 1 Total Rp 39.955.000,00

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
Analisis Data	HR Sekretariat/ Administrasi Peneliti	Laboran administrasi penelitian (2 bulan)	OJ	60	25.000	1.500.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	Pengolahan data bioinformatik dan analisis korelas	P (penelitian)	1	1.540.000	1.540.000
Analisis Data	Transport Lokal	Transport lokal bandung	OK (kali)	20	50.000	1.000.000
Bahan	ATK	Kertas, label, plastik klipper, dll	Paket	1	600.000	600.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Benih	Unit	1	450.000	450.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	consumable (tips, PCR tubes, dll)	Unit	1	1.760.000	1.760.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Media dan tray pembenihan	Unit	1	525.000	525.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Pupuk kandang, hayati, komposit, NPK	Unit	1	1.250.000	1.250.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Pemesanan primer qPCR (10 pasan)	Unit	10	230.000	2.300.000
Bahan	Bahan Penelitian	qPCR mix	Unit	2	4.650.000	9.300.000

Kelompok	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
	(Habis Pakai)					
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Nasional	APC	Paket	1	4.000.000	4.000.000
Pengumpulan Data	Biaya konsumsi	Makan dan snack selama prgram 5 orang 5 X	OH	5	500.000	2.500.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	Pengolahan lahan (2 orang) 3 hari	OH	6	80.000	480.000
Pengumpulan Data	HR Pembantu Lapangan	Pemeliharaan tanaman dan lahan (1 org x 30 hari)	OH	30	80.000	2.400.000
Pengumpulan Data	Transport	Jakarta-Bandung (3 orang) pp	OK (kali)	10	780.000	7.800.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Uang harian rapat di dalam kantor	Uang rapat 3 orang x 3 hari	OH	3	250.000	750.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Hand tractor	Unit	1	1.200.000	1.200.000
Sewa Peralatan	Peralatan penelitian	Solar	Unit	1	600.000	600.000



Isian Substansi Proposal

SKEMA PENELITIAN DASAR (PENELITIAN DOSEN PEMULA AFFIRMASI, PENELITIAN DOSEN PEMULA, PENELITIAN PASCASARJANA)

Pengusul hanya diperkenankan mengisi di tempat yang telah disediakan sesuai dengan petunjuk pengisian dan tidak diperkenankan melakukan modifikasi template atau penghapusan di setiap bagian.

A. JUDUL

Tuliskan judul usulan penelitian maksimal 20 kata

[Integrasi metode qPCR dan Uji Enzimatis Tanah untuk Menilai Kelimpahan Mikroba Siklus Biogeokimia dan Kesuburan Tanah Pasca Pemupukan]

B. RINGKASAN

Isian ringkasan penelitian tidak lebih dari 300 kata yang berisi urgensi, tujuan, metode, dan luaran yang ditargetkan

[Penggunaan pupuk kimia jangka panjang terbukti dapat menurunkan kualitas dan fungsi biologis tanah, meskipun mampu meningkatkan hasil dalam jangka pendek. Sebaliknya, pupuk hayati dan pupuk organik cair (POC) memiliki potensi besar untuk memperbaiki kesuburan tanah melalui stimulasi mikroba fungsional tanah, seperti bakteri pelarut fosfat, penambat nitrogen, nitrifier, denitrifier, dan pengurai bahan organik. Mikroba-mikroba ini berperan penting dalam mendaur ulang hara C-N-P, mempertahankan kesuburan tanah, dan mendukung pertumbuhan tanaman. **Urgensi:** Namun, bukti kuantitatif yang secara langsung menghubungkan sistem pemupukan berbeda dengan perubahan komunitas mikroba fungsional dan aktivitas enzim tanah masih sangat terbatas. Ketiadaan informasi ini menjadi kendala dalam merumuskan strategi pemupukan yang tidak hanya berorientasi pada hasil jangka pendek, tetapi juga menjaga kesehatan tanah jangka panjang.

Penelitian ini **bertujuan:** (1) mengkaji pengaruh beberapa sistem pemupukan (pupuk komposit submikron + mikroba, POC, pupuk hayati fosfat komersial, dan NPK kimia) terhadap tingkat kesuburan dan kesehatan tanah; (2) memetakan perubahan kelimpahan dan/atau aktivitas mikroba fungsional siklus C-N-P menggunakan pendekatan qPCR gen fungsional; dan (3) menghubungkan indikator molekuler tersebut dengan aktivitas enzim tanah dan respons pertumbuhan tanaman.

Metode yang digunakan meliputi percobaan lapang dengan rancangan acak kelompok pada tanaman bunga matahari di Eduwisata Tanikota (DAS Cikapundung), pengukuran pertumbuhan dan hasil tanaman, pengambilan sampel tanah pasca pemupukan, analisis sifat kimia tanah, uji aktivitas enzim kunci (misalnya β -glucosidase, urease, phosphatase, NAG), serta analisis qPCR gen fungsional mikroba terkait siklus biogeokimia. Data dianalisis secara statistik dan dikorelasikan untuk membangun gambaran komprehensif hubungan antara sistem pemupukan, mikroba fungsional, enzim tanah, dan level kesuburan tanah.

Luaran yang ditargetkan publikasi artikel ilmiah pada Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia ([Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia](https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI) Sinta 2, <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI>). TKT akhir yang dituju adalah level 3.]

C. KATA KUNCI

Isian 5 kata kunci yang dipisahkan dengan tanda titik koma (;)

[Functional_microbes; Kesuburan_tanah ; Pupuk_komposit; qPCR; Siklus_Biogeokimia]

D. PENDAHULUAN

Pendahuluan penelitian tidak lebih dari 1000 kata yang terdiri dari:

- Latar belakang dan rumusan permasalahan yang akan diteliti
- Pendekatan pemecahan masalah
- State of the art dan kebaruan
- Peta jalan (road map) penelitian 5 tahun

Sitasi disusun dan ditulis berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan.

D.1. LATAR BELAKANG DAN RUMUSAN MASALAH

Tuliskan latar belakang penelitian dan rumusan permasalahan yang akan diteliti, serta urgensi dari dilakukannya penelitian ini

[Latar Belakang dan Rumusan Permasalahan

Kesuburan tanah merupakan faktor kunci dalam mendukung produktivitas pertanian yang berkelanjutan. Dalam sistem pertanian modern, penggunaan pupuk kimia secara intensif telah menjadi praktik umum untuk meningkatkan hasil panen [1]. Namun, paparan jangka panjang terhadap pupuk kimia berlebihan terbukti merugikan kesehatan tanah, mengganggu keseimbangan mikrobioma tanah, serta menurunkan efisiensi penggunaan hara [2]. Di sisi lain, pemanfaatan pupuk hayati atau biofertilizer, khususnya Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), berkembang pesat sebagai solusi untuk memperbaiki kesehatan biologis tanah dan mendukung efisiensi siklus biogeokimia hara (termasuk C, N, dan P) [3-4].

Siklus biogeokimia tanah sangat dipengaruhi aktivitas mikroba fungsional seperti nitrifikasi, denitrifikasi, fiksasi nitrogen, solubilisasi fosfat, serta dekomposisi bahan organik. Keberadaan mikroba-mikroba fungsional ini berperan penting dalam mempertahankan keseimbangan hara dan meningkatkan struktur tanah [5-6]. Namun, interaksi antara pupuk kimia dan hayati terhadap kelimpahan serta diversitas mikroba fungsional dalam konteks biogeokimia tanah belum sepenuhnya dipahami. Beberapa kajian terbaru menunjukkan bahwa kombinasi pupuk kimia dan hayati dapat meningkatkan fungsi enzimatik dan memperkaya diversitas mikroba yang relevan dengan siklus hara [7-8].

Permasalahan utama yang hendak dijawab dalam penelitian ini adalah: sejauh mana aplikasi pupuk kimia dan pupuk hayati, baik secara terpisah maupun kombinatorial, mempengaruhi kelimpahan dan diversitas mikroba tanah yang berperan dalam siklus biogeokimia hara. Adapun **urgensi penelitian** adalah 1) identifikasi indikator biokimia tanah (aktivitas enzimatik) sebagai respons terhadap perlakuan pemupukan; dan 2) pemahaman terintegrasi mengenai bagaimana respons fungsional komunitas mikroba terhadap perlakuan pemupukan dapat mempengaruhi kesuburan tanah dan keberlanjutan sistem pertanian [9-10].]

D.2. PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

Tuliskan pendekatan dan strategi pemecahan masalah yang telah dirumuskan

[Untuk menjawab rumusan masalah tersebut di atas, penelitian ini didesain **mengintegrasikan pendekatan molekuler berbasis kuantifikasi qPCR spesifik gen fungsional (misalnya *nifH*, *phoD*, *amoA*) dengan analisis aktivitas enzim-enzim tanah** (misalnya dehidrogenase, urease, fosfatase) sebagai indikator fungsionalitas mikroba terhadap siklus hara. Desain eksperimen menggunakan rancangan faktorial dengan perlakuan tunggal dan kombinatorial antara pupuk kimia dan hayati. Parameter kimia tanah seperti pH, C-organik, total N, P tersedia, dan K akan diukur untuk mengkorelasikan kondisi abiotik dengan dinamika mikrobioma. Data qPCR akan dievaluasi untuk kelimpahan relatif gen-gen fungsional yang relevan dengan siklus N dan P, sedangkan analisis enzimatik akan memberikan gambaran potensi aktivitas biologis tanah secara keseluruhan.

Hasil integratif dari kedua pendekatan ini diharapkan mampu menyusun pemahaman komprehensif mengenai dampak perlakuan terhadap fungsi biologis tanah dan mendukung perumusan strategi pemupukan berkelanjutan berbasis mikrobioma [11-12].]

D.3. STATE OF THE ART DAN KEBARUAN

Tuliskan keunggulan dari pemecahan masalah yang ditawarkan pengusul dibandingkan dengan penelitian pengusul sebelumnya atau peneliti lainnya dalam konteks permasalahan yang sama, serta kebaruan usulan dari aspek pendekatan, metode, dsb

[State of the Art dan Kebaruan Penelitian]

Studi terkini menunjukkan bahwa mikrobioma tanah memainkan peran penting dalam biogeokimia dan ketahanan tanah terhadap degradasi, dengan temuan bahwa kombinasi pupuk organik dan kimia dapat meningkatkan keberagaman mikroba serta efisiensi siklus hara [8][13]. Penelitian lain menyoroti peran PGPR dalam fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfat, yang berkontribusi pada kesehatan tanaman dan tanah secara umum [3][14]. Namun, tidak semua studi secara eksplisit menggabungkan pendekatan qPCR gen fungsional dengan analisis enzimatis untuk menilai respons mikroba terhadap perlakuan pupuk kimia dan hayati dalam konteks biogeokimia tanah secara menyeluruh.

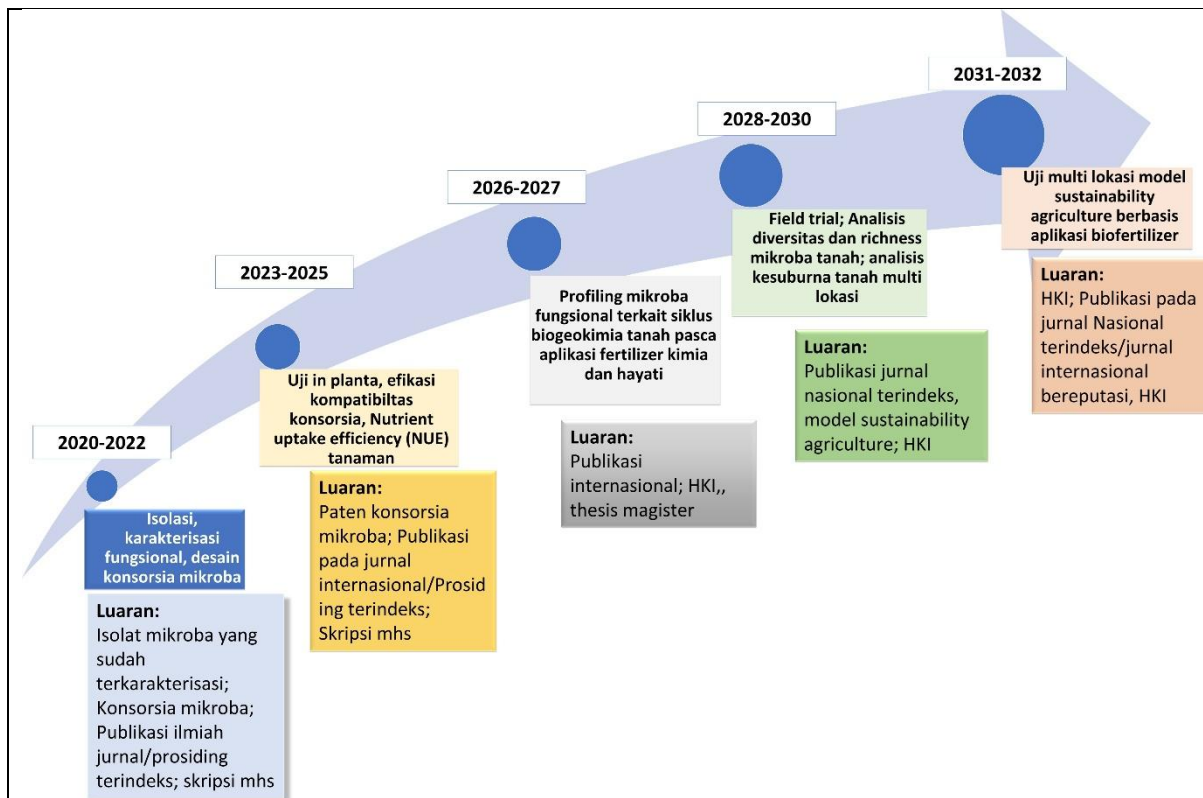
Kebaruan penelitian ini terletak pada *pengembangan pendekatan integratif dan kuantitatif yang menggabungkan data gen fungsional dan aktivitas enzimatis untuk memahami respons fungsional komunitas mikroba terhadap perlakuan pemupukan, serta mengevaluasi implikasinya terhadap kesuburan tanah dan keberlanjutan sistem pertanian [7][15].*

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pemahaman dinamika mikrobioma dan biogeokimia tanah secara teoritis, tetapi juga berimplikasi pada pengembangan strategi pemupukan berbasis bioteknologi tanah yang berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara dan menurunkan dampak lingkungan pada praktik pertanian modern [16].]

D.4. PETA JALAN PENELITIAN

Tuliskan peta jalan penelitian dari tahapan yang telah dicapai, tahapan yang akan dilakukan selama jangka waktu penelitian, dan tahapan yang direncanakan.

[Penelitian ini disusun sebagai bagian dari program konservasi kesuburan tanah berbasis pada manajemen diversitas dan kelimpahan mikroba penting yang terlibat dalam siklus biogeokimia tanah. Peneliti dan tim dalam beberapa tahun kebelakang telah melakukan penelitian terkait isolasi dan karakterisasi mikroba pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR), aplikasinya dalam bentuk konsorsia untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, dan juga studi respons molekuler tanaman pasca aplikasi PGPR [17-19]. Selain itu, dinamika komunitas mikroba tanah yang berhubungan dengan kesuburan tanah efek penerapan system intercropping juga diteliti menggunakan metode metagnomik [20-21]. Dari penelitian yang sudah dilakukan, telah didapatkan pemahaman tentang pentingnya keanekaragaman mikroba tanah dalam menentukan fertilitas tanah [18][20]. Selain itu, aplikasi pupuk kimia dalam rentang waktu yang lama, turut berkontribusi menurunkan kesuburan tanah melalui perubahan komposisi mikroba tanah [21]. Pada penelitian ini, akan dilakukan *studi untuk memahami respons fungsional komunitas mikroba terhadap perlakuan pemupukan, serta mengevaluasi implikasinya terhadap kesuburan tanah melalui aplikasi integratif dan kuantitatif yang menggabungkan data gen fungsional dan aktivitas enzimatis tanah.* Detail dari peta jalan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Roadmap pengembangan metode konservasi kesuburan tanah berbasis fungsional mikroba penting.]

E. METODE

Isian metode atau cara untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan tidak lebih dari 1000 kata. Pada bagian metoda wajib dilengkapi dengan:

- Diagram alir penelitian yang menggambarkan apa yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan selama waktu yang diusulkan. Format diagram alir dapat berupa file JPG/PNG.
- Metode penelitian harus memuat, sekurang-kurangnya proses, luaran, indikator capaian yang ditargetkan, serta anggota tim/mitra yang bertanggung jawab pada setiap tahapan penelitian.
- Metode penelitian harus sejalan dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

[Penelitian ini dirancang sebagai penelitian eksperimental terkontrol yang terdiri dari perlakuan aplikasi beberapa jenis pupuk (hayati, organik, asam humat, dan kombinasi). Aplikasi dilakukan pada tanaman bunga matahari (*Helianthus Annuus*) versi penghasil minyak. Desain rancangan penelitian dibuat dalam bentuk Rancangan Acak Kelompok factorial (RAK Faktorial), dengan ulangan sebanyak minimal 10 kali ulangan untuk tiap perlakuan atau kombinasi perlakuan. Detail alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

1. Persiapan lahan dan media tanam

Eksperimen akan dilakukan di lapangan berlokasi di Eduwisata Tanikota - Kota Bandung Jawa Barat. Lokasi penelitian berupa tanah pertanian di pinggir daerah aliran Sungai (DAS) Cikapundung, berupa kebun dengan luas sekitar 10000m². Persiapan lahan dilakukan dengan cara mengolah tanah, menggemburkan tanah menggunakan hand tractor. Kemudian dilanjutkan dengan aplikasi pupuk kandang (dosis 20 ton/ha), dilanjutkan dengan membuat petak perlakuan.

Luaran: Kesiapan lahan percobaan di lapangan

Indikator capaian: Lahan siap digarap untuk pembuatan bedengan (guludan)

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Yunus Effendi)

2. Penanaman dan aklimatisasi

Membuat bedengan dengan ukuran lebar 1 meter, tinggi 30 cm, dan panjang menyesuaikan kebutuhan. Jarak antar bedengan adalah 50 cm. Empat perlakuan jenis pupuk yang akan diuji adalah a) Pupuk komposit; b) Pupuk organik cair; c) Pupuk Hayati komersial; d) Pupuk NPK. Setiap perlakuan akan diulang sebanyak 2 kali ulangan, dengan masing-masing ulangan terdapat 15-20 tanaman. Sehingga total plot penelitian berjumlah 80-90 plot. Jarak tanam yang digunakan adalah 50 cm antar tanaman dalam barisan dan 60 cm antar barisan. Tiap baris bedengan kemudian diberi label untuk masing-masing perlakuan. Biji bunga matahari tumbuhkan pada media *rockwool* selama 2 minggu sebelum akhirnya dipindah ke lahan percobaan.

Luaran: Lahan siap untuk ditanami

Indikator capaian: Lahan dengan bedengan selesai dibuat

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Arief Pambudi)

3. Aplikasi pemupukan

Pupuk yang digunakan adalah Pupuk Komposit yang susun dari kombinasi konsorsia mikroba dan submicron NPK; pupuk NPK 16:16:16, pupuk organik cair (fermentasi bahan organik); dan pupuk hayati fosfat komersial. Dosis yang digunakan untuk NPK mengikuti dosis yang umum digunakan untuk tanaman bunga matahari yakni 200-300 kg/ha atau 7 gr/tanaman [22]. Sedangkan pupuk lainnya, dosis yang digunakan menyesuaikan dengan petunjuk pemakaian dari masing-masing pupuk. Aplikasi pemupukan dilakukan dari mulai 2 minggu setelah benih ditanam sampai pemanenan dengan jadwal pemupukan per 2 minggu.

Luaran: Tanaman sudah dipupuk sesuai jadwal

Indikator capaian: Tanaman tumbuh dengan baik

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Yunus Effendi)

4. Pengambilan data

Data pertumbuhan berupa data fisiologi (kandungan klorofil) dan laju pertumbuhan (daun dan batang tanaman) akan dilakukan per 2 minggu. Berat basa serta berat kering akar tanaman dan juga diameter bunga akan dicatat pada minggu-minggu terakhir masa tanam (kecuali data berat basah dan kering akar). Data produksi hasil panen akan dicatat ketika panen dilakukan untuk masing-masing tanaman uji.

Luaran: Data pertumbuhan dan panen

Indikator capaian: semua tanaman sudah diukur

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Yunus Effendi).

5. Analisis mikroba tanah fungsional dan analisis tanah

Analisis sample tanah untuk mendapatkan data fisika dan kimia tanah, dilakukan dengan mengirimkan sample tanah (1 kg) ke balai tanah/SUCOFINDO. Sedangkan analisis mikroba tanah fungsional yang terlibat dalam proses siklus biogeokimia tanah akan dilakukan dengan cara mengisolasi RNA total tanah dan qPCR untuk melihat level ekspresi beberapa gen penting dalam siklus biogeokimia tanah. Beberapa gen yang akan dianalisis level ekspresinya dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Daftar gen yang akan dianalisis level ekspresinya

Fungsi biogeokimia	Gen kunci/marker	Mikroba	Referensi
Fikasasi N	nifH, nifD, nifK	Diazotrophs (e.g., <i>Bradyrhizobium</i> , <i>Azotobacter</i> , free-living & associative)	[23-25]
<i>Ammonia oxidation (nitrification, step 1)</i>	amoA (AOB, AOA, comammox), hao	AOA (<i>Nitrososphaera</i>), AOB (<i>Nitrosomonas</i>), comammox <i>Nitrospira</i>	[26–30]
<i>Nitrite oxidation (nitrification, step 2)</i>	nxrA, nxrB	<i>Nitrospira</i> , <i>Nitrobacter</i>	[31]
<i>Urea mineralization</i>	ureC	Bakteri/archaea	[32-33]
<i>Organic-P mineralization</i>	phoD, phoX, phoC	phoD/phoX (bacteria); phoC (acidic soils)	[34-37]
<i>Iron capture / micronutrient access</i>	<i>Siderophore gene clusters</i> (e.g., entA–E/entD, iucA–C, pvd), TonB receptors	Enterics, <i>Pseudomonas</i> , dll	[38-40]
<i>Root architecture modulation</i>	ipdC (IAA indole-3-pyruvate pathway)	PGPR	[41-42]

6. Isolasi RNA dan qPCR

Isolasi RNA total akan dilakukan menggunakan Quick-RNA Fecal/Soil Microbe Microprep Kit (Zymo Research). Prosedur isolasi dan kuantifikasi RNA total dilakukan mengikuti manual prosedur dari kit. RNA hasil isolasi kemudian dicek kualitasnya dengan electrophoresis gel agarose.

RNA total dari masing-masing sampel yang dire-suspensi dengan 40 µl air de-ionisasi dikuantifikasi menggunakan Quantus QuntiFlour. Kemudian, RNA yang telah dikuantifikasi diambil sebanyak 343,2 g/l untuk sintesis cDNA menggunakan Kit Synthesis cDNA BioLine Tetro. Amplifikasi dilakukan menggunakan 2 µl cDNA, 1 µl forward primer, 1 µl reverse primer, 8,5 µl ddH₂O, dan 12,5 µl Redmix PCR Kit dari BioLine selama 30. (Anugrah et al, 2023). Reaksi qPCR: Denaturasi 99 °C selama 2 menit, Annealing selama 15 detik, elongasi pada 72 °C selama 15 detik, dan Elongasi akhir pada 72 °C selama 10 menit.

Luaran: RNA total dan kelimpahan mikroba tanah fungsional

Indikator capaian: Semua gen dapat dianalisis menggunakan metode qPCR

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Yunus Effendi).

7. Uji enzimatik tanah

Aktivitas β-glucosidase. Aktivitas β-glucosidase diukur untuk menilai kapasitas degradasi selulosa mikroba dan sisa organik tanah. Tanah dielusi dengan larutan buffer asetat pH optimal, kemudian ditambahkan **substrat p-nitrophenyl-β-D-glucopyranoside (pNP-β-glukosida)**. Reaksi inkubasi dijalankan pada suhu terkendali sesuai protokol standar dan reaksi dihentikan dengan larutan NaOH/CaCl₂ untuk menghasilkan p-nitrophenol yang terukur secara spektrofotometrik pada panjang gelombang ~400-415 nm.

Aktivitas Urease. Urease tanah diukur sebagai indikator fungsi mikroba dalam siklus nitrogen. Sampel tanah dicampur dengan larutan urea sebagai substrat dan diinkubasi untuk periode tertentu. Produk ammonium kemudian diukur menggunakan metode kolorimetrik standar, atau dengan kit ammonium komersial, untuk memperkirakan aktivitas enzim yang berkaitan dengan transformasi nitrogen.

Aktivitas Phosphatase. Phosphatase tanah, yang mengkatalisis pemineralisasian fosfat organik, diukur menggunakan substrat p-nitrophenyl

phosphate (pNPP) dengan metode serupa seperti untuk β -glucosidase. Tanah dicampur dengan larutan pNPP dalam buffer pH optimal (mis., pH 6.5–7.0) dan diinkubasi. Warna kuning p-nitrophenol yang dihasilkan setelah penambahan agen penghenti direkam spektrofotometrik, di mana aktivitas fosfatase berkorelasi dengan pelepasan p-nitrophenol per satuan waktu per berat tanah.

Aktivitas N-acetyl- β -D-glucosaminidase (NAG). Sampel tanah dicampur dengan substrat pNP-N-acetyl- β -D-glucosaminide, diinkubasi, dan kemudian diukur pembentukan p-nitrophenol secara spektrofotometrik. Aktivitas NAG dapat mencerminkan potensi komunitas mikroba dalam degradasi komponen patogenik.

Luaran: Data hasil uji enzimatik tanah

Indikator capaian: paling tidak didapat 4-5 hasil uji enzimatik tanah yang menggambarkan fungsionalitas komunitas mikroba tanah

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Arief Pambudi)

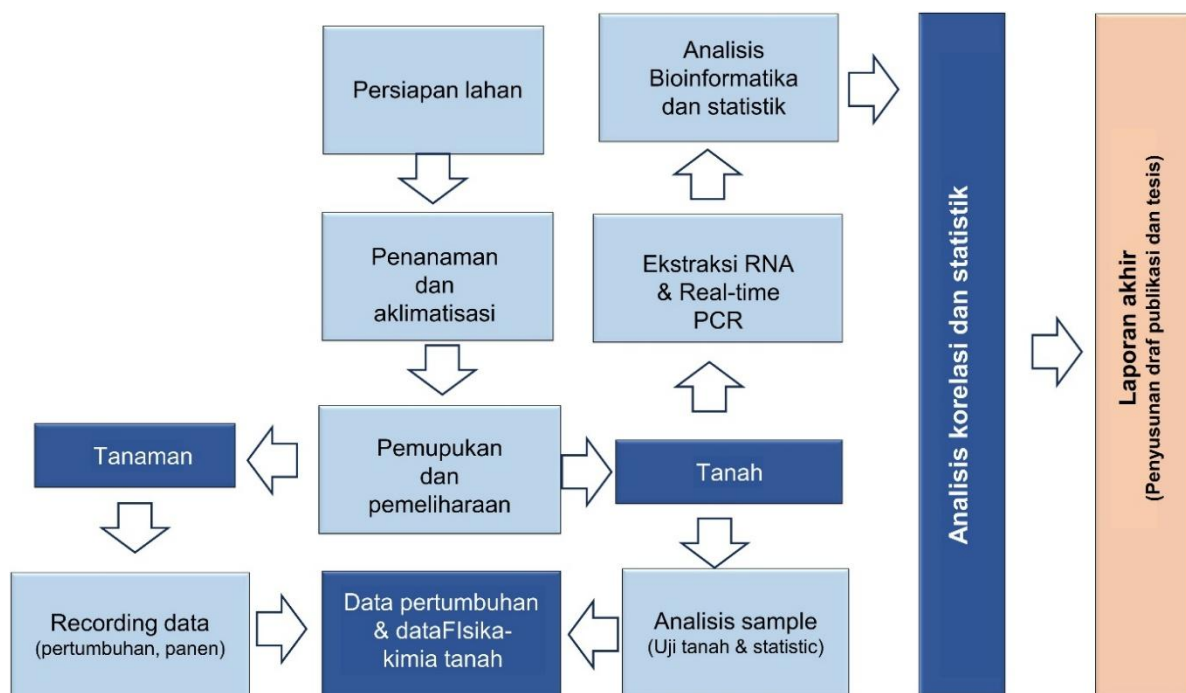
8. Analisis Data dan Korelasi data qPCR dan data enzimatik tanah

Analisis korelasi data molekuler tanah berupa kelimpahan beberapa jenis mikroba fungsional dalam proses biogeokimia tanah dengan data enzimatik tanah akan dilakukan menggunakan analisis korelasi Spearman.

Luaran: Hasil analisis korelasi

Indikator capaian: semua data dapat dianalisis dan selesai

Penanggung jawab: Akhmad Rizky (supervisi Arief Pambudi)



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian Kesuburan Tanah.]

F. HASIL YANG DIHARAPKAN

Jelaskan hasil yang diharapkan atau luaran yang dijanjikan dari penelitian

[Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah: dihasilkannya **artikel ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal nasional terindek SINTA 2, yakni Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JPI - Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JPI>**). Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan **bukti ilmiah terkait dampak penggunaan pupuk kimiawi terhadap kesuburan tanah** dan juga peran dari mikroba-mikroba penting tanah yang terlibat dalam siklus biogeokimia tanah. Penelitian ini juga diharapkan mampu menyajikan **informasi terkait peran pupuk hayati dalam**

membantu meningkatkan kesuburan tanah melalui modifikasi komunitas mikroba yang terlibat dalam siklus biogeokimia tanah.]

G. JADWAL PENELITIAN

Jadwal penelitian disusun berdasarkan pelaksanaan penelitian, harap disesuaikan berdasarkan lama tahun pelaksanaan penelitian

[Tahun ke-1

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Persiapan bahan dan alat	X	X										
2	Pembibitan dan pengolahan tanah		X	X									
3	Penanaman di lahan lapangan			X									
4	Pemeliharaan, dan pengumpulan data morfologi			X	X	X	X	X					
5	Pemupukan			X	X	X	X						
6	Isolasi RNA total dan pengiriman uji tanah				X		X			X			
7	Uji enzimatik tanah						X	X	X				
8	qPCR dan analisis tanah							X	X	X	X	X	
9	Analisis data dan korelasi									X	X	X	
10	Penyusunan draf publikasi dan thesis				X	X	X	X	X	X	X	X	X

]

H. DAFTAR PUSTAKA

Sitasi disusun dan ditulis berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada usulan penelitian yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

[

- [1] Hernández-García JA, Bernal JS, Antony-Babu S, Villa-Tanaca L, Hernández G, De-la-Vega-Camarillo E. Teosinte-derived SynCom and precision biofertilization modulate the maize microbiome, enhancing growth, yield, and soil functionality in a Mexican field. *Front Microbiol.* 2025;16:1534327. doi:10.3389/fmicb.2025.1534327.
- [2] Hu J, Richwine JD, Keyser PD, Li L, Yao F, Jagadamma S, et al. Nitrogen fertilization and native C4 grass species alter abundance, activity, and diversity of soil diazotrophic communities. *Front Microbiol.* 2021;12:675693. doi:10.3389/fmicb.2021.675693.
- [3] Khan S, Subhan F, Haleem KS, Khattak MNK, Khan I, Sultan T, et al. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria on yield and disease control of *Nicotiana tabacum*. *Arch Biol Sci.* 2018;70(4):717-725. doi:10.2298/ABS180315035K.
- [4] Gao K, Li W, Gan EI, Li J, Li J, Liu Y. Impacts of 10 years of elevated CO₂ and warming on soil fungal diversity and network complexity in a Chinese paddy field. *Microb Ecol.* 2023;86(4):2386-2399. doi:10.1007/s00248-023-02248-0.

- [5] Zhao S, Li Z, Liu C, Sun J, Song J, Li X, et al. Effects of different manures in combination with fulvic acid on the abundance of N-cycling functional genes in greenhouse soils. *Agriculture*. 2023;13(12):2224. doi:10.3390/agriculture13122224.
- [6] Couradeau E, Sasse J, Goudeau D, Nath N, Hazen TC, Bowen B, et al. Probing the active fraction of soil microbiomes using BONCAT-FACS. *Nat Commun*. 2019;10(1):2770. doi:10.1038/s41467-019-10542-0.
- [7] Bargaz A, Lyamlouli K, Chtouki M, Zeroual Y, Dhiba D. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Front Microbiol*. 2018;9:1606. doi:10.3389/fmicb.2018.01606.
- [8] Xu S, Zhang J, Luo S, Zhou X, Shi S, Tian C. Similar soil microbial community structure across different environments after long-term succession: evidence from volcanoes of different ages. *J Basic Microbiol*. 2018;58(8):704–711. doi:10.1002/jobm.201800016.
- [9] Ahmad MA, Mansoor MS, Zada R, Sumreen S, Khan MA. Microbial community dynamics in agricultural soils: implications for sustainable crop productivity. *Indus J Biosci Res*. 2025;3(4):1024–1032. doi:10.70749/ijbr.v3i4.2287.
- [10] Liu G, Gu Z, Liu X, Li BL. Microenvironment heterogeneity affected by anthropogenic wildfire-perturbed soil mediates bacterial community in *Pinus tabulaeformis* forests. *Front Microbiol*. 2024;15:1415726. doi:10.3389/fmicb.2024.1415726.
- [11] Wang H, Li X, Li X, Li X, Wang J, Zhang H. Changes of microbial population and N-cycling function genes with depth in three Chinese paddy soils. *PLoS One*. 2017;12(12):e0189506. doi:10.1371/journal.pone.0189506.
- [12] Liu J, Wazir ZG, Hou G, Wang G, Rong F, Xu Y, et al. The dependent correlation between soil multifunctionality and bacterial community across different farmland soils. *Front Microbiol*. 2023;14:1144823. doi:10.3389/fmicb.2023.1144823.
- [13] Bhat MA, Mishra AK, Shah SN, Bhat MA, Jan S, Rahman S, et al. Soil and mineral nutrients in plant health: a prospective study of iron and phosphorus in the growth and development of plants. *Curr Issues Mol Biol*. 2024;46(6):5194–5222. doi:10.3390/cimb46060312.
- [14] Khan MA, Mansoor M, Zada R, Sumreen S, Ahmad MA, Farhana F. Role of soil microbiota in enhancing soil fertility and carbon sequestration under changing climate conditions. *Indus J Biosci Res*. 2025;3(2):813–820. doi:10.70749/ijbr.v3i2.2288.
- [15] Abderrahmane N, Zineb G. Groundwater microbiota and biogeochemical functions: implications for water security in arid regions

(Algeria). Rev Gest Soc Ambient. 2025;19(10):e013686.
doi:10.24857/rgsa.v19n10-073.

- [16] Encinas-Valero M, Esteban R, Hereş A, Vivas M, Solla A, Moreno G, et al. Alteration of the tree-soil microbial system triggers a feedback loop that boosts holm oak decline. *Funct Ecol*. 2024;38(2):374-390.
doi:10.1111/1365-2435.14473.
- [17] Azzahra SC, **Effendi Y**, Slamet S. Isolasi dan karakterisasi bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (plant growth promoting rhizobacteria) asal tanah Desa Akar-Akar, Lombok Utara. *J Al-Azhar Indones Seri Sains Teknol*. 2021;6(2):70-75. doi:10.36722/sst.v6i2.662.
- [18] Denaya S, Yulianti R, Pambudi A, **Effendi Y**. Novel microbial consortium formulation as plant growth promoting bacteria (PGPB) agent. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;637:012030. doi:10.1088/1755-1315/637/1/012030.
- [19] Anugrah DB, Pambudi A, **Effendi Y**. Expression of nutrient uptake-related genes in response to beneficial bacterial consortium application on *Musa acuminata*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2023;1271:012011. doi:10.1088/1755-1315/1271/1/012011.
- [20] **Effendi Y**, Aini N, Pambudi A, Sasaerila HY. Metagenomics analysis of soil microbial communities in plant agroforestry system rubber tree (*Hevea brasiliensis*)–ganyong (*Canna* sp.). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2020;468:012045. doi:10.1088/1755-1315/468/1/012045.
- [21] Sasaerila HY, **Effendi Y**, Wijihastuti RS, Pambudi A, De Nicola F. Studies on the short- and long-term effects of rubber-canna agroforestry through soil analysis and a metagenomic approach. *Biosaintifika*. 2024;16(1):73-88. doi:10.15294/biosaintifika.v15i1.3514.
- [22] Pribadi DU, Nurcahyo RD, Koentjoro Y. Kajian dosis pupuk majemuk NPK 16-16-16 dan ketebalan mulsa jerami terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata* L.) pada sistem tanpa olah tanah. *J Agrotech*. 2023;13(1):18-28.
doi:10.31970/agrotech.v13i1.102.
- [23] Gaby JC, Buckley DH. A comprehensive evaluation of nifH as a marker for diazotrophy. *Applied and Environmental Microbiology*. 2012;78(24):9943-9955. doi:10.1128/AEM.02023-12.
- [24] Wang C, et al. Global patterns of soil diazotrophs. *ISME Journal*. 2017;11(9):2054-2063. doi:10.1038/ismej.2017.52.
- [25] Rotthauwe J-H, Orien K, Liesack W. Ammonia-oxidizing bacteria: amoA as a functional marker. *Applied and Environmental Microbiology*. 1997;63(12):4704-4712. doi:10.1128/AEM.63.12.4704-4712.

- [26] Prosser JI, Nicol GW. Archaeal vs bacterial ammonia oxidizers in soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2012;367(1590):2954-2966. doi:10.1098/rstb.2012.0567.
- [27] Daims H, Lückner S, Wagner M. Discovery of complete ammonia-oxidizing (comammox) Nitrospira. *Nature*. 2015;528(7583):504-509. doi:10.1038/nature16145.
- [28] Pester M, Braker G, Galbat J, Wagner M. AOA ecology in soils. *ISME Journal*. 2012;6(9):1687-1693. doi:10.1038/ismej.2012.26.
- [29] Kits KD, et al. Kinetics of comammox. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017;114(40):E8332-E8333. doi:10.1073/pnas.1717261114.
- [30] Pjevac P, et al. nxrB diversity of nitrite-oxidizing bacteria. *ISME Journal*. 2017;11(12):2855-2869. doi:10.1038/ismej.2017.78.
- [31] Kandeler E, et al. ureC and urease in fertilized soils. *Biology and Fertility of Soils*. 2006;42(4):391-398. doi:10.1007/s00374-005-0073-3.
- [32] Jin X, et al. Urease genes and N transformations. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020;147:107842. doi:10.1016/j.soilbio.2020.107842. Urease gene diversity and N turnover. Ragot SA, et al. phoD as a marker for alkaline phosphatase. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017;111:54-62. doi:10.1016/j.soilbio.2017.03.012.
- [33] Fraser T, et al. phoX diversity in soils. *ISME Journal*. 2015;9(6):1291-1301. doi:10.1038/ismej.2014.213.
- [34] Nannipieri P, et al. Phosphatases in the soil environment. *Biology and Fertility of Soils*. 2011;47(2):247-268. doi:10.1007/s00374-010-0487-6.
- [35] Margalef O, et al. pH controls phoC/phoD distributions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017;112:92-99. doi:10.1016/j.soilbio.2017.03.014.
- [36] Miethke M, Marahiel MA. Siderophore biosynthesis genes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 2007;71(3):413-451. doi:10.1128/MMBR.00058-07.
- [37] Cornelis P. Iron uptake systems (e.g., pvd). *Nature Reviews Microbiology*. 2010;8(5):339-352. doi:10.1038/nrmicro2317.
- [38] Kramer J, et al. Siderophore ecology in soils. *ISME Journal*. 2020;14(3):667-679. doi:10.1038/s41396-019-0551-0. Soil siderophore ecology.
- [39] Spaepen S, Vanderleyden J, Remaut H. ipdC pathway and microbial IAA. *FEMS Microbiology Reviews*. 2007;31(4):417-428. doi:10.1111/j.1574-6976.2007.tb00302.x.

[40] Patten CL, Glick BR. IAA and root development. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002;68(1):129-136.
doi:10.1128/AEM.68.1.129-136.2002.]

SURAT TUGAS

No. : 019D/ST/F-01.7/UAI/X/2025

Ketua Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas **Al-Azhar** Indonesia, menugaskan kepada:

Nama : Dr. rer. nat. Yunus Effendi, S.Pd., M.Si., M.Sc.
Status : Dosen Tetap Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam

Sebagai Pembimbing Utama Tesis pada Semester Ganjil Tahun Akademik 2025/2026 untuk mahasiswa sebagai berikut:

No	NIM	NAMA
1	0101624001	Cut Riska Arista
2	0101625003	Akhmad Rizky Saputra

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dilaksanakan sebagai amanah dan ibadah kepada Allah *subhanahu wa ta'ala*.

Jakarta, 06 Oktober 2025

Ketua Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam



Dr. Nita Noriko, M.S.

nn/rr

SURAT TUGAS

No. : 019D/ST/F-01.7/UAI/X/2025

Ketua Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas **Al-Azhar** Indonesia, menugaskan kepada:

Nama : Dr. rer. nat. Yunus Effendi, S.Pd., M.Si., M.Sc.
Status : Dosen Tetap Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam

Sebagai Pembimbing Utama Tesis pada Semester Ganjil Tahun Akademik 2025/2026 untuk mahasiswa sebagai berikut:

No	NIM	NAMA
1	0101624001	Cut Riska Arista
2	0101625003	Akhmad Rizky Saputra

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk dilaksanakan sebagai amanah dan ibadah kepada Allah *subhanahu wa ta'ala*.

Jakarta, 06 Oktober 2025

Ketua Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam



Dr. Nita Noriko, M.S.

nn/rr

PERSETUJUAN PENGUSUL

Tanggal Pengiriman	Tanggal Persetujuan	Nama Pimpinan Pemberi Persetujuan	Sebutan Jabatan Unit	Nama Unit Lembaga Pengusul
05/01/2026 10:18	06/01/2026 10:21	YUNUS EFFENDI	Kepala LP2M	Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M)

Disetujui LPPM :

Komponen Administrasi	Kesesuaian
Kesesuaian Isi Per Bagian	Sesuai
Jumlah Kata Per Bagian	Sesuai
Model Penulisan Sitasi dan Penulisan Daftar Pustaka	Sesuai
Lampiran Surat Keterangan/Surat Tugas Mahasiswa Bimbingan	Sesuai

Komentar: Penilaian Administrasi Insyaa Allah Sudah sesuai

Surakarta, 5 September 2026

LETTER OF ACCEPTANCE

The 13th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment
(ICSAE-13)

Dear Author(s),

We are glad to inform you that your abstract with the following identification:

Paper ID : 139
Title : Effects Of Different Fertilization Systems On Sunflower Growth And Soil Biological Responses
Author(s) : Akhmad Rizky Saputra, Arief Pambudi, Yunus Effendi

is **ACCEPTED** to be presented in ICSAE-13.

Please note that ICSAE-13 will be held in a hybrid format on 24–25 September 2026. The onsite sessions will take place at the UNS Tower, Surakarta, Indonesia, while the online sessions will be conducted via Zoom Meeting.

Furthermore, the registration fee is IDR 1,000,000 for Indonesian Authors or USD 70 for Authors of other nationalities. The registration fee covers 1 (one) paper with 1 (one) presenter.

The registration fee must be transferred to the following account:

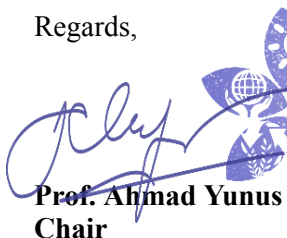
Bank Name : Bank Negara Indonesia
Bank Account Name/Beneficiary : Sri Hartati
Account Number : 0912129372
SWIFT/BIC : BNINIDJAXXX
Note : Registration_ID 139

Please submit the payment proof by **10 September 2026** to link available in ICSAE Website.

If **more than one author** wishes to attend the **onsite conference**, each additional participant must **register separately** under the Non-Presenter Registration via ICSAE Website.

Should you have any questions, please send us a message. We are looking forward to welcoming you to the conference venue.

Regards,



Prof. Ahmad Yunus
Chair

ICSAE-13 Rundown

Date 24-25 September 2026 | Hybrid Conference

SESSION	TIME (GMT +7)	ACTIVITIES	
Day 1 – 24 September 2026 (Onsite Session)			
Opening Ceremony	07.30–08.30	Registration and preparation	
	08.30–08.35	Opening	
	08.35–08.40	Indonesian National Anthem	
	08.40–08.45	Welcome Remarks from Head of the Institute of Research and Community Services, Universitas Sebelas Maret, Indonesia	
	08.45–08.50	Opening Remarks from Dean of Faculty of Animal and Agricultural Sciences, Universitas Diponegoro, Indonesia	
	08.50–09.00	Photo Session	
Keynote Session	09.00–10.00	Keynote Speaker	
Thematic Session		Thematic Session 1	Thematic Session 2
	10.00–12.00	Thematic Invited Speakers 1 (Ballroom)	Onsite Parallel Presentations Thematic 2 (Meeting room)
	12.00–13.00	Lunch Break	
	13.00–15.00	Onsite Parallel Presentations Thematic 1 (Meeting room)	Thematic Invited Speakers 2 (Ballroom)
Closing	15.00–15.30	Coffee Break	
	15.30-16.00	Best Presenter Awards & Announcements	
Day 2 – 25 September 2026 (Online Session)			
Opening	07.30–08.30	Preparation	
	08.30–08.40	Opening	
Online Parallel 1	08.40–11.30	Online Oral Presentations 1	
Breaks	11.30–13.00	Breaks	
Online Parallel 2	13.00–15.00	Online Oral Presentations 2	
Closing	15.00–15.30	Best Presenter Awards & Announcements	
	15.30–16.00	Closing	



ICS AE-13 Parallel Session Guide

ICS AE-13 onsite parallel sessions will be held on **24 September 2026 at UNS Tower, Surakarta, Indonesia**, while the online parallel sessions will be conducted on **25 September 2026 via Zoom Meeting**.

Please note that a **Presenter Certificate** will be given only to the author who delivers the presentation. Other authors who join the session will receive a **Participant Certificate**. The presented manuscript and its listed authors will receive a **Manuscript Certificate**.

1. Onsite Parallel Session

The onsite presentations will be organized into two (2) thematic sessions. The invited speakers and papers assigned to each session will be listed in the ICS AE-13 Programme Book, along with the detailed presentation schedule.

Authors should prepare and submit presentation materials in a .ppt/.pptx file by **15 September 2026** via the link provided on ICS AE Website.

The presentation duration should not exceed 7 minutes. Please specify the presenter's name in the first slide of the presentation.

2. Online Parallel Session

Authors should prepare and submit a pre-recorded video presentation by **15 September 2026** via the link provided on ICS AE Website.

The presenters are free to choose preferred video recording platform, however we suggest using Zoom Meeting recording, because it is easy to use and has a small file size.

Recorded video presentation requirements:

- MP4 format
- Maximum size 30 MB
- Video duration maximum is 7 minutes
- Please introduce presenter name, for certificate purposes

On the conference day, the Committee will play video presentations in parallel for every 3 presenters. It will be continued with live discussion for 5 minutes led by Room Chair. Thus, we hope that all presenters join the Zoom Meeting room during parallel session.