

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN



Akselerator Pertumbuhan Konsorsium Mikroba- Mikroalga untuk Peningkatan Efisiensi Hara, Biomassa Akar, dan Ketahanan Stres

TIM PENELITIAN

DR. RER.NAT. YUNUS EFFENDI (Anggota - Universitas Al Azhar Indonesia)
DR. ARIEF PAMBUDI (Anggota - Universitas Al Azhar Indonesia)
ANDI MUKRAMIN YUSUF (Anggota - Universitas Al Azhar Indonesia)
AKHMAD RIZKY SAPUTRA (Mahasiswa - Universitas Al Azhar Indonesia)
RAHARDIAN GARUDA LANGIT DEWANGGA, S.Sos. M.Si. (Mitra Industri – PT IJO Inovasi
Indonesia)

**DIREKTORAT JENDERAL RISET DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AL AZHAR INDONESIA**

2026

**LEMBAR PENGESAHAN
PENELITIAN**

1. Judul : Akselerator Pertumbuhan Konsorsium Mikroba-
Mikroalga untuk Peningkatan Efisiensi Hara, Biomassa
Akar, dan Ketahanan Stres
- 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. 984715528,-

Mengetahui,
Kepala LPIPM



(Dr.rer.nat. Yunus Effendi)

Jakarta, 12 Juli 2026
Ketua/Tim Peneliti UAI



(Dr.rer.nat. Yunus Effendi)

LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

FASE 1 - ENGINEERING DAN SPEC LOCK

Akselerator Pertumbuhan Konsorsium Mikroba-Mikroalga untuk Peningkatan Efisiensi Hara, Biomassa Akar, dan Ketahanan Stres

Skema: Hilirisasi Ajakan Industri

TKT awal: 6 | Target fase: penguncian spesifikasi teknis menuju TKT 7

Durasi program: 1 tahun (2026)

Ketua Peneliti: Dr.rer.nat. Yunus Effendi, M.Si., M.Sc.

Universitas Al Azhar Indonesia

2026

A. RINGKASAN KEMAJUAN FASE 1

Fase 1 roadmap peningkatan TKT difokuskan pada rekayasa formulasi dan penguncian spesifikasi produk Smart Layered Composite Fertilizer (SLCF). Target fase ini adalah mengubah basis teknologi yang telah terbukti pada skala penelitian menjadi desain produk yang terdefinisi secara teknis, dapat direproduksi, dan siap memasuki tahap pilot batch serta standardisasi mutu. Pekerjaan Fase 1 mencakup konsolidasi hasil penelitian terdahulu, finalisasi arsitektur multilayer, harmonisasi komponen biologis dan nutrisi, penetapan atribut mutu kritis, penyusunan formula kandidat, serta penyusunan kerangka SOP produksi dan aplikasi.

Kesimpulan kemajuan Fase 1

Basis teknis untuk penguncian desain telah tersedia: kultur konsorsium bakteri telah dioptimasi pada penelitian sebelumnya, proses pengecilan ukuran NPK telah dikarakterisasi dengan PSA/SEM, dan arsitektur multilayer berbasis perlite-alginat-CaCl₂-submicron NPK telah didefinisikan pada proposal 2026. Fase 1 saat ini berada pada tahap finalisasi spesifikasi bersama mitra, terutama pada harmonisasi strain, batas ukuran partikel NPK, formula kandidat, dan parameter QC rilis awal.

B. TARGET FASE 1 SESUAI ROADMAP

Komponen	Target Fase 1	Bukti/Dasar yang Tersedia	Status Kemajuan
Arsitektur produk	Core perlite + mikroba/mikroalga -> coating alginate-CaCl ₂ -> lapisan submicron NPK -> coating luar	Desain arsitektur telah ditetapkan dalam proposal 2026	Terdefinisi; perlu penguncian komposisi
Ukuran granul	WDG 0,3-0,6 mm dan mudah terdispersi	Rentang target telah ditetapkan dalam proposal	Target ditetapkan
Komponen biologis	Konsorsium Bacillus/Lysinibacillus + mikroalga Chlorella/Spirulina	Data historis menunjukkan kultur Bacillus sp. dan L. xylanilyticus dapat mencapai densitas tinggi	Perlu harmonisasi strain final
Komponen nutrisi	Submicron NPK	Data PSA/SEM historis menunjukkan partikel dominan sekitar 986 nm namun masih terjadi aglomerasi	Perlu optimasi ukuran dan anti-aglomerasi
Atribut mutu awal	Viabilitas, kontaminasi, kadar air/caking, wetting-dispersi, kompatibilitas nozzle/tank-mix	Parameter QC telah dirumuskan dalam roadmap/WP	Kriteria perlu difinalkan
Luaran Fase 1	Spec Sheet v1.0; 2-3 formula kandidat; SOP produksi dan tank-mix v1	Kerangka spesifikasi dan proses tersedia	Dalam finalisasi

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN

C.1. Konsolidasi basis biologis konsorsium mikroba

Pengembangan SLCF memanfaatkan pengalaman penelitian sebelumnya dalam optimasi kultur konsorsium bakteri. Pada laporan kemajuan 2023, tiga isolat bakteri tanah - *Bacillus cereus* strain X, *Bacillus* sp., dan *Lysinibacillus xylanilyticus* - diremajakan dari stok gliserol, dikultur pada media LB, dan kurva tumbuhnya ditentukan kembali untuk memastikan kondisi fisiologis optimal. Kultur menunjukkan fase pertumbuhan aktif dan dapat mencapai densitas sekitar 10^9 - 10^{10} CFU/mL pada titik pertumbuhan tertinggi. Data ini menjadi dasar teknis bahwa platform konsorsium *Bacillus*-*Lysinibacillus* layak dikembangkan sebagai core biologis produk.



Gambar 1. Dokumentasi optimasi kultur isolat bakteri pada penelitian pengembangan sebelumnya; data ini menjadi basis teknis konsorsium mikroba untuk SLCF.

Selain penggunaan sel vegetatif, penelitian sebelumnya juga mengeksplorasi pemanfaatan endospora sebagai bentuk inokulum yang lebih toleran terhadap tekanan lingkungan dan proses formulasi. Pendekatan ini relevan dengan kebutuhan SLCF karena tahapan granulasi,

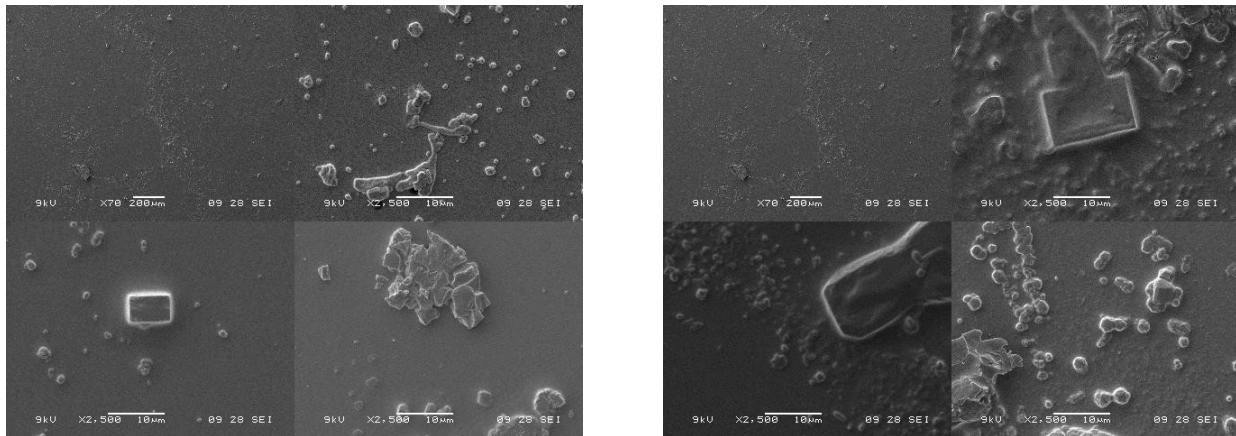
coating, pengeringan, penyimpanan, dan rehidrasi dapat menurunkan viabilitas sel jika kondisi proses tidak dikendalikan.

Catatan penguncian spesifikasi biologis

Proposal 2026 menyebut *Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp., dan *Lysinibacillus xylanilyticus*, sedangkan prototipe terdahulu menggunakan *Bacillus cereus* strain X, *Bacillus* sp., dan *L. xylanilyticus*. Karena itu, identitas strain yang akan digunakan pada produk final perlu dikunci secara eksplisit dalam Spec Sheet v1.0 agar konsisten antara desain produk, SOP produksi, QC, dan dokumen HKI.

C.2. Konsolidasi komponen submicron NPK

Penelitian terdahulu telah melakukan pengecilan ukuran pupuk NPK 15:15:15 secara mekanik menggunakan planetary ball mill dan mengkarakterisasi hasilnya menggunakan Particle Size Analyzer (PSA) serta Scanning Electron Microscopy (SEM). Hasil dokumentasi menunjukkan heterogenitas ukuran partikel, dengan fraksi partikel berukuran mikrometer dan submikrometer. Pengukuran PSA melaporkan ukuran dominan sekitar 986 nm. Dengan demikian, istilah submicron NPK pada proposal 2026 konsisten dengan arah optimasi teknologi dan lebih tepat digunakan sebagai target engineering dibanding klaim nano yang belum sepenuhnya homogen.



Gambar 2. Hasil SEM partikel NPK hasil pengecilan ukuran pada penelitian terdahulu. Terlihat variasi ukuran dan pembentukan agregat/aglomerasi yang menjadi dasar kebutuhan optimasi Fase 1.

Aglomerasi merupakan isu teknis penting karena dapat meningkatkan ukuran agregat efektif, menurunkan mobilitas partikel, memengaruhi dispersi dalam air, dan berpotensi mengganggu kompatibilitas nozzle. Oleh karena itu, keputusan engineering Fase 1 diarahkan pada pengendalian distribusi ukuran, penggunaan bahan pembasah/dispersan yang kompatibel, serta penetapan spesifikasi dispersi setelah rehidrasi.

C.3. Finalisasi arsitektur multilayer SLCF

Berdasarkan proposal 2026, desain SLCF telah didefinisikan sebagai water-dispersible granule dengan arsitektur core-shell berlapis. Core menggunakan perlite berpori sebagai carrier biologis untuk konsorsium bakteri dan komponen mikroalga. Core kemudian

dilindungi coating alginate-CaCl₂, diikuti lapisan submicron NPK dan coating luar alginate-CaCl₂. Desain ini ditujukan untuk mengurangi kontak langsung antara komponen biologis dan nutrisi pekat, mempertahankan viabilitas, serta mengatur disintegrasi granul saat tank-mix.

Lapisan	Komponen	Fungsi Utama	Parameter yang Dikunci
Core biologis	Perlite + konsorsium bakteri + mikroalga	Mikrohabitat biologis, mobilisasi hara, biostimulasi	Identitas strain; rasio inokulum; target viabilitas
Coating I	Alginate + CaCl ₂	Proteksi core dan pengendalian rehidrasi	Konsentrasi alginat/CaCl ₂ ; ketebalan; integritas
Lapisan nutrisi	Submicron NPK	Sumber NPK dengan aksesibilitas tinggi	Distribusi ukuran; loading NPK; aglomerasi
Coating II	Alginate + CaCl ₂	Stabilitas penyimpanan dan kontrol disintegrasi	Kekuatan granul; wetting; dispersibility
Produk akhir	WDG 0,3-0,6 mm	Kemudahan penanganan dan aplikasi	Ukuran granul; kadar air; caking; nozzle/tank-mix

C.4. Penguncian atribut mutu kritis dan draft Product Specification Sheet

Parameter mutu yang telah diidentifikasi pada proposal dan roadmap selanjutnya ditransformasikan menjadi atribut mutu kritis untuk Spec Sheet v1.0. Parameter ini menjadi dasar gate review sebelum memasuki Fase 2 (pilot batch berulang dan standarisasi QC).

Atribut Mutu Kritis	Target/arrah spesifikasi	Metode verifikasi awal
Identitas dan kemurnian konsorsium	Strain terdefinisi; bebas kontaminasi	Kultur, morfologi/QC mikroba; PCR bila diperlukan
Viabilitas konsorsium	Target produk $\geq 10^8$ CFU ekuivalen	Total plate count/CFU
Ukuran granul	0,3-0,6 mm	Ayakan dan distribusi ukuran
Submicron NPK	Target fraksi submikron konsisten	PSA dan SEM
Kadar air dan caking	Rendah dan stabil selama penyimpanan	Moisture/caking test
Wetting-dispersibility	Terdispersi cepat, residu minimal	Uji dispersi air
Kompatibilitas aplikasi	Tidak menyumbat nozzle/mesh	Tank-mix dan nozzle test
Stabilitas biologis	Mempertahankan viabilitas selama penyimpanan	Stability monitoring
Keamanan formulasi	Tidak menunjukkan kontaminan/ketidakstabilan fisik	QC mikroba dan inspeksi fisik

C.5. Capaian teknis Fase 1 dan keputusan engineering

- Arsitektur multilayer SLCF telah terdefinisi dan dapat dijadikan desain referensi untuk formula kandidat.
- Basis biologis konsorsium telah didukung oleh data kultur dan viabilitas dari pengembangan sebelumnya.

- Basis teknologi submicron NPK telah didukung oleh karakterisasi PSA dan SEM; isu utama yang harus dikendalikan adalah heterogenitas ukuran dan aglomerasi.
- Target ukuran granul WDG 0,3-0,6 mm, stabilitas produk, viabilitas mikroba, dan kompatibilitas tank-mix telah teridentifikasi sebagai parameter kunci.
- Draft isi Product Specification Sheet dapat disusun, tetapi penutupan Fase 1 memerlukan harmonisasi strain, penetapan 2-3 formula kandidat final, dan angka acceptance criteria yang disepakati bersama mitra industri.

D. STATUS LUARAN FASE 1

Luaran Fase 1	Target	Status	Tindak Lanjut
Product Specification Sheet v1.0	Spesifikasi komponen, atribut mutu, target aplikasi	Draft substantif tersedia	Finalisasi bersama mitra dan penetapan acceptance criteria
Formula kandidat	2-3 formula final	Design space tersedia; formula belum dikunci final	Susun matriks komposisi dan pilih 2-3 kandidat
SOP produksi v1	Alur preparasi carrier, inokulasi, coating, loading NPK, pengeringan, ayakan	Kerangka proses tersedia dari riset terdahulu	Tetapkan parameter proses dan critical control point
SOP tank-mix v1	Prosedur rehidrasi, dispersi, mesh/nozzle compatibility	Parameter kebutuhan telah teridentifikasi	Lakukan uji dispersi dan nozzle setelah formula kandidat tersedia
Rencana QC rilis batch	Panel uji minimal untuk pilot batch	Parameter QC telah dirumuskan	Finalisasi metode, batas penerimaan, dan form QC

E. PERAN MITRA DAN KOLABORASI PADA FASE 1

Model pelaksanaan Fase 1 mengikuti prinsip co-development. Tim perguruan tinggi memimpin konsolidasi bukti ilmiah, desain formula, penetapan atribut mutu, serta metode karakterisasi. Mitra industri berperan memvalidasi kebutuhan produk, komoditas prioritas, target klaim kinerja, batas biaya, persyaratan stabilitas dan kompatibilitas aplikasi. Keputusan akhir Spec Lock perlu dituangkan dalam gate review bersama sebelum pilot batch Fase 2 dimulai.

Pihak	Peran Fase 1	Bukti/Output
Perguruan tinggi	Finalisasi arsitektur, harmonisasi strain, desain formula, atribut mutu, metode QC awal	Draft formula matrix, draft spec sheet, draft SOP
Mitra industri	Validasi kebutuhan pasar/operasional, batas biaya, shelf-life, kemudahan aplikasi, kesiapan proses	Persetujuan target spesifikasi dan acceptance criteria
Bersama	Gate review untuk penguncian desain	Spec Sheet v1.0 dan kandidat formula yang disetujui

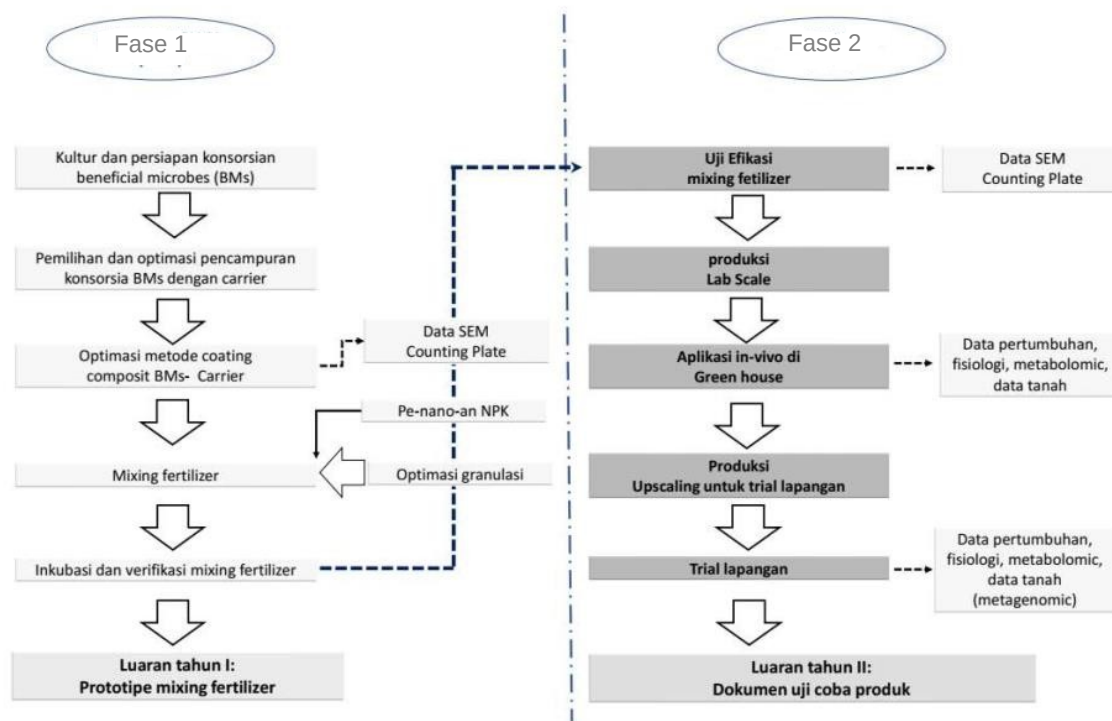
F. KENDALA DAN RISIKO TEKNIS FASE 1

- Ketidakkonsistenan identitas strain antara prototipe terdahulu dan proposal 2026 perlu diselesaikan sebelum formula dikunci.
- Partikel NPK hasil pengecilan ukuran terdahulu masih menunjukkan heterogenitas dan aglomerasi, sehingga target submicron perlu dikonfirmasi dengan metode PSA/SEM pada bahan yang akan digunakan untuk batch 2026.
- Coating berlapis berpotensi menurunkan viabilitas jika kondisi ionik, kadar air, atau pengeringan tidak sesuai; parameter proses harus diposisikan sebagai critical process parameters pada SOP.
- Spesifikasi WDG harus menyeimbangkan kekuatan granul saat penyimpanan dengan kemampuan disintegrasi cepat saat tank-mix.
- Acceptance criteria untuk viabilitas, dispersi, caking, dan kompatibilitas nozzle belum seluruhnya dinyatakan sebagai nilai numerik dan perlu dikunci pada akhir Fase 1.

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

Untuk menutup Fase 1 dan memasuki Fase 2, kegiatan prioritas berikut ditetapkan:

- Melakukan gate review bersama mitra untuk mengesahkan Product Specification Sheet v1.0.
- Menetapkan identitas strain final dan rasio konsorsium bakteri-mikroalga pada produk.
- Menyusun minimal 2-3 formula kandidat dengan variasi loading biologis, coating, dan submicron NPK yang terkontrol.
- Melakukan verifikasi cepat dispersi, stabilitas fisik awal, viabilitas pasca-coating, serta kompatibilitas nozzle untuk memilih formula kandidat terbaik.
- Menyelesaikan SOP produksi v1, SOP tank-mix v1, batch record template, dan QC checklist.
- Memulai Fase 2: produksi pilot batch berulang minimal tiga batch untuk menguji reproduktibilitas proses dan mutu.



Gambar 3. Diagram alir pengembangan prototipe pupuk komposit pada penelitian terdahulu; tahapan kultur konsorsium, carrier, coating, pengecilan ukuran NPK, dan verifikasi menjadi basis engineering SLCF 2026.

H. KESIMPULAN KEMAJUAN FASE 1

Fase 1 telah memiliki dasar ilmiah dan teknis yang memadai untuk penguncian desain SLCF. Bukti pengembangan sebelumnya menunjukkan bahwa konsorsium *Bacillus-Lysinibacillus* dapat diproduksi pada densitas tinggi dan bahwa teknologi pengecilan ukuran NPK telah menghasilkan fraksi submikron, walaupun masih diperlukan pengendalian aglomerasi. Proposal 2026 telah memperjelas arsitektur multilayer, format WDG, target viabilitas, stabilitas, dan kompatibilitas aplikasi. Dengan demikian, pekerjaan tersisa pada Fase 1 terutama bersifat decision-making engineering: harmonisasi strain, penetapan formula kandidat, kuantifikasi acceptance criteria, dan pengesahan Spec Sheet/SOP bersama mitra. Penyelesaian empat komponen tersebut akan menjadi dasar yang kuat untuk memasuki pilot batch dan standardisasi QC pada Fase 2.

I. DAFTAR PUSTAKA DAN DOKUMEN ACUAN

1. Proposal Penelitian 2026. Akselerator Pertumbuhan Konsorsium Mikroba-Mikroalga untuk Peningkatan Efisiensi Hara, Biomassa Akar, dan Ketahanan Stres. Skema Hilirisasi Ajakan Industri.
2. Laporan Kemajuan Penelitian 2023. Pengembangan mixing fertilizer berbasis nano NPK dan beneficial microbes.
3. Peraturan Menteri Pertanian No. 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.
4. Setlow P. Mechanisms for the prevention of damage to the DNA in spores of *Bacillus* species. *Annual Review of Microbiology*. 1995;49:29-54.

5. Usman M, Farooq M, Wakeel A, et al. Nanotechnology in agriculture: current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment*. 2020;721:137778.
6. Lowry GV, Gregory KB, Apte SC, Lead JR. Transformations of nanomaterials in the environment. *Environmental Science & Technology*. 2012;46:6893-6899.



PROTEKSI ISI PROPOSAL

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

PROPOSAL PENELITIAN 2026

Rencana Pelaksanaan Penelitian: tahun 2026 s.d 2026

1. JUDUL PENELITIAN

Akselerator Pertumbuhan Konsorsium Mikroba–Mikroalga untuk Peningkatan Efisiensi Hara, Biomassa Akar, dan Ketahanan Stres

2. INFORMASI PENELITIAN

Riset Prioritas	Bidang Fokus
Bioekonomi	Ketahanan 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	TKT Saat Ini	Lama Kegiatan
Hilirisasi Ajakan Industri	6	1 Tahun

3. IDENTITAS PENGUSUL

Nama	Peran	Jenis	Program Studi/Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta
YUNUS EFFENDI 0004077302 Universitas Al-Azhar Indonesia	Ketua	Dosen	Pengelolaan Sumber Daya Alam		260242
ARIEF PAMBUDI 0314048704 Universitas Al-Azhar Indonesia	Anggota	Dosen	Biologi		-
Akhmad Rizky Saputra	Anggota	Mahasiswa	-		-
benson	Anggota	Mahasiswa	-		-

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Tahun Luaran	Kategori Luaran	Jenis Luaran	Status Target Capaian
1	AJAKAN INDUSTRI - STRATEGIS 2026	Kekayaan intelektual didaftarkan	Ada
1	AJAKAN INDUSTRI - STRATEGIS 2026	MoU/PKS antara Institusi Ketua Peneliti dengan Mitra	Ada

5. ANGGARAN

Tahun 1 Total Rp1.074.380.000

Kelompok	Komponen	Deskripsi	Satuan	Vol.	Harga	Total
Pengadaan Peralatan	Kendaraan	Sewa kendaraan operasional lapang (Jawa Barat minibus Rp5.670.000/bulan)	bulan	12	5.670.000	68.040.000
Pengadaan Peralatan	Peralatan penelitian	Sewa traktor/olah tanah (biaya riil/kontrak)	paket	10	2.500.000	25.000.000
Pengadaan Peralatan	Kebun Percobaan/lahan percobaan	Sewa lahan demplot (biaya riil/kontrak)	lokasi	6	12.000.000	72.000.000

Pengadaan Peralatan	Peralatan penelitian	Sewa/pemakaian pilot equipment granulasi-coating	bulan	6	15.000.000	90.000.000
Pengadaan Peralatan	Obyek penelitian	Jasa operator lapang (tanam-rawat-panen; borongan)	paket	1	19.600.000	19.600.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Analisis tanah (N, P, K, pH, C-org/OM, CEC)	paket	10	2.200.000	22.000.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Analisis jaringan tanaman (N, P, K + mikro)	paket	20	1.100.000	22.000.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Uji viabilitas & kontaminan mikroba (CFU, kemurnian)	paket	10	1.000.000	10.000.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	SEM validasi coating & spot mikroba	paket	20	1.220.000	24.400.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	XRF pemetaan unsur daun (NUE proxy)	paket	10	640.000	6.400.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Analisis NGS metagenomic shotgun	paket	12	4.950.000	59.400.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Uji stabilitas akselerasi (moisture, caking, dispersibility)	bulan	12	1.270.000	15.240.000
Analisis Data	HR Pengolah Data	analisis bioinformatika	paket	1	1.540.000	1.540.000
Analisis Data	Transport	transport lokasi pengiriman sample dan kurir	paket	10	1.000.000	10.000.000
Analisis Data	Biaya analisis sampel	Biaya analisis sample pada lembaga bersertifikasi	paket	10	2.200.000	22.000.000
Bahan	Belanja ATK	Kertas, tinta printer, biaya fotocopy, biaya cetak laporan, alat tulis, label, cetak poster, dll	paket	1	2.000.000	2.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Media & reagen kultur konsorsium Bacillus-Lysinibacillus (steril, agar/broth, cryoprotectant, kit QC)	paket	2	30.000.000	60.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Media kultur mikroalga (nutrien, CO ₂ /consumable, kontrol kontaminasi)	paket	2	17.500.000	35.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Perlite + preparasi (pencucian, pengeringan, ayakan, sterilisasi)	paket	1	25.000.000	25.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Alginate + CaCl ₂ (coating bertingkat) dan asam humat	paket	1	6.000.000	6.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Submicron NPK + consumable proses (submicron milling/dispersion aid)	paket	1	32.000.000	32.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Adjuvan foliar (wetting-sticking agent, humectant, antifoam, buffer), trehalosa, arabic gum, etc	paket	1	15.000.000	15.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Kemasan barrier, label, desiccant	paket	1	10.000.000	10.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Consumable lapang (benih, ajir, mulsa, alat sampling sederhana)	paket	1	10.000.000	10.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Bahan uji/test (PCR kits, molekuler stuffs, DNA/RNA extraction kits, PCR tubes, cDNA synthesis kits, etc)	paket	2	18.500.000	37.000.000
Bahan	Bahan Penelitian (Habis Pakai)	Bahan kimia habis pakai (ethanol, NaCl, Tris, agarose, DNA ladder, dll)	paket	1	12.000.000	12.000.000
Pengumpulan Data	Uang harian dalam negeri	Uang harian perjalanan dinas (acuan Jawa Barat: luar kota Rp430.000/OH)	OH	90	430.000	38.700.000
Pengumpulan Data	Penginapan	Penginapan (biaya riil/at cost)	malam	35	1.000.000	35.000.000
Pengumpulan Data	Biaya Taksi Bandara/Transportasi	Tiket/transport antarkota (at cost)	tiket	22	1.200.000	26.400.000
Pengumpulan Data	Biaya Taksi Bandara/Transportasi	BBM/tol/parkir & transport lokal (at cost)	paket	12	1.000.000	12.000.000

Pengumpulan Data	Kegiatan Survei	Logistik sampling (cool box, kurir, bahan pengawet)	paket	8	1.000.000	8.000.000
Pengumpulan Data	Biaya Konsumsi	konsumsi selama kegiatan di lapangan	paket	30	900.000	27.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Luaran KI (paten, hak cipta dll)	Penguatan & pendaftaran HKI/paten (draft, gambar, biaya proses)	paket	1	15.000.000	15.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya Publikasi artikel di Jurnal Bereputasi Internasional	Publikasi ilmiah (APC jurnal)	paket	1	35.000.000	35.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya seminar internasional	Diseminasi (akomodasi selama seminar, poster, materi)	paket	2	9.000.000	18.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Paket adopsi (SOP, QC sheet, label, MSDS; cetak & digital)	paket	1	8.000.000	8.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Video demo & materi pemasaran awal	paket	1	6.000.000	6.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen uji produk	Audit mutu internal & uji penerimaan mitra	-	1	6.000.000	6.000.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Biaya pembuatan dokumen feasibility study	Workshop final, laporan akhir, policy brief	paket	1	5.620.000	5.620.000
Pelaporan Hasil Penelitian dan Luaran Wajib	Uang harian rapat di dalam kantor	Uang harian rapat dalam kantor 6 orang	OH	12	350.000	4.200.000
Honorarium	HR Ketua Peneliti	honorarium ketua peneliti 12 bulan	bulan	12	3.600.000	43.200.000
Honorarium	HR Anggota	Honorarium anggota peneliti (1 orang)	bulan	12	2.400.000	28.800.000
Honorarium	HR Asisten	Honorarium asisten (2 orang)	bulan	24	1.500.000	36.000.000
Honorarium	HR Administrator	Honorarium administrator	bulan	12	820.000	9.840.000

6. LAMPIRAN

1. 251028 Format Proposal Pengusulan oleh Perguruan Tinggi.pdf

2. 251028 Format Rekam Jejak Pengusul.pdf

Lampiran 1 - Substansi Usulan



PROPOSAL PENGUSULAN OLEH PERGURUAN TINGGI PROGRAM PRIORITAS DAN STRATEGIS - AJAKAN INDUSTRI

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

A. JUDUL

Tuliskan judul usulan

[Smart Layered Composite Fertilizer (SLCF): solusi pemupukan yang terukur dan terstandardisasi]

B. DESKRIPSI TEKNOLOGI YANG DIUSULKAN (Maks 1000 kata)

Uraikan secara komprehensif nama teknologi/inovasi yang ditawarkan, prinsip kerja teknologi tersebut, keunggulan teknisnya, serta aspek kebaruan (novelty) yang membedakannya dari solusi yang telah ada di pasaran. Sertakan penjelasan bagaimana teknologi ini relevan dan dapat menjawab langsung tantangan atau kebutuhan yang telah dijabarkan oleh mitra industri dalam dokumen spesifikasi produk. Bila tersedia, lampirkan bukti kesiapan awal teknologi seperti hasil penelitian terdahulu, purwarupa, paten, hak cipta, atau rekam jejak pengujian.

[Teknologi/inovasi yang ditawarkan

Smart Layered Composite Fertilizer (SLFCF), pupuk cerdas komposit berlapis (multilayer) yang dirancang sebagai granul “sprayable” tipe WDG (*water-dispersible granule*) untuk aplikasi foliar. Granul memiliki arsitektur core-shell berurutan: (1) konsorsium bakteri (*Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp., *Lysinibacillus xylanilyticus*) bersama mikroalga (*Chlorella/Spirulina*) yang “ditanam”/diimobilisasi di dalam carrier mineral berpori perlite, (2) coating alginate + CaCl_2 sebagai pelindung dan pengendali pelepasan, (3) lapisan submicron NPK (300–900 nm), dan (4) coating alginate + CaCl_2 terluar untuk stabilitas, proteksi, dan pengaturan disintegrasi saat tank-mix.

Prinsip kerja teknologi

Prinsip kerja SLFCF menggabungkan sinergi nutrient, biologi, rekayasa material (nanofikasi) dalam satu unit:

1. Core biologis (perlite berpori) menjaga mikroba dan komponen mikroalga berada dalam mikrohabitat yang lebih stabil saat penyimpanan dan setelah aplikasi; mikroalga berperan sebagai biostimulant/ko-faktor untuk mendukung vigor dan respons fisiologis tanaman [1-3]. Kebutuhan mitra justru menekankan konsorsium generasi baru yang menggabungkan fungsi pelarut hara/fitohormon dan ko-faktor mikroalga untuk mendongkrak serapan dan ketahanan stres.
2. Coating alginate + CaCl_2 membentuk “barrier” protektif agar tidak terjadi kontak fisik antara agen hayati (mikroba dan mikroalga) dengan submmikron NPK dan mengatur rehidrasi/disintegrasi granul saat dicampur air.
3. Submicron NPK meningkatkan ketersediaan/akses hara dan memperkuat efisiensi pemupukan; lapisan ini bekerja bersama mikroba untuk meningkatkan nutrient uptake efficiency (NUE). Rasional sinergi ini adalah inti keunggulan prototipe sebelumnya.

Secara operasional untuk *foliar/soil-drench/seed dipping*, granul dibuat pada rentang 0,3–0,6 mm agar mudah ditangani, lalu harus terdispersi sempurna di tangki menjadi partikel jauh lebih halus sebelum melewati nozzle (konsep WDG).

Keunggulan teknis utama

1. Integrasi fungsi lengkap dalam satu platform: nutrisi cepat-tersedia (submicron NPK) + bioaktivasi oleh konsorsium bakteri + biostimulasi mikroalga, sehingga target efisiensi pemupukan tidak hanya “klaim mikroba”, tetapi ditopang arsitektur material dan nutrisi. Ini selaras dengan sasaran program pengembangan prototipe tim: menurunkan dosis NPK tanpa menurunkan hasil dan meningkatkan NUE.
2. Stabilitas dan standar mutu dapat ditingkatkan melalui desain “protected core” dan coating bertingkat, langsung menargetkan kebutuhan mitra terhadap konsorsium yang stabil ($\geq 10^8$ CFU/mL/ekuivalen), umur simpan ≥ 12 bulan, serta kompatibel tank-mix dengan SOP aplikasi yang jelas.
3. Bukti awal konsep komposit: prototipe berbasis perlite–alginat–submicron NPK telah menunjukkan kinerja kompetitif mendekati NPK konvensional pada uji lapang bunga matahari, dan profil sebaran/akumulasi unsur daun pada cabai yang serupa dengan NPK meski dosis NPK di komposit jauh lebih rendah. Ini memperkuat argumentasi bahwa efisiensi bisa dicapai tanpa “menambah input kimia”.

Aspek kebaruan (novelty) yang membedakannya dari solusi pasar

Mitra menilai produk hayati di pasar umumnya hanya berisi 1–2 strain dengan mutu tidak konsisten dan minim data penghematan pupuk lintas tanah, sehingga petani takut menurunkan dosis. SLCF membedakan diri melalui:

- Arsitektur multilayer yang fungsional, bukan sekadar “campuran mikroba + ekstrak alga”: core biologis di perlite → coating protektif → lapisan submicron NPK → coating luar (*double-coat*) yang mengunci stabilitas sekaligus mengatur pelepasan/dispersi. Blueprint bertahap ini konsisten dengan rancangan prototipe tim (imobilisasi di perlite + coating alginate dan CaCl_2 + penambahan submicron NPK).
- Kombinasi “submicron nutrient delivery + konsorsium multi-fungsi + biostimulant mikroalga” dalam satu sistem: submicron NPK meningkatkan akses hara, mikroba memobilisasi dan meningkatkan efisiensi serapan, sekaligus mikroalga memberi ko-faktor/biostimulasi [3-5]. Ini memperluas mekanisme kerja dibanding biofertilizer konvensional berbasis 1–2 strain [6-7].
- Dirancang sejak awal untuk standardisasi hilirisasi (TKT naik): prototipe tim menargetkan peningkatan menuju TKT lebih tinggi melalui uji multilokasi–multimusim, standardisasi mutu, dan demonstrasi operasional. Ini “menutup gap” yang sering terjadi pada produk pasar: ada produk, tetapi minim bukti lintas agroekosistem dan SOP aplikasi yang kuat.

Relevansi langsung terhadap kebutuhan/tantangan mitra (berbasis spesifikasi mitra industri)

Dokumen mitra menegaskan masalah inti: NPK masih tidak efisien, biaya pupuk volatil, dan petani sulit menurunkan dosis tanpa takut kehilangan hasil; sementara produk hayati yang ada sering tidak terstandar dan tidak menunjukkan data penghematan pupuk di berbagai tipe tanah [5-7]. SLCF menjawabnya secara langsung dengan desain berikut:

- Target pengurangan pupuk 20–30% dengan hasil setara/lebih tinggi ditopang mekanisme ganda: submicron NPK meningkatkan akses hara dan “*timing*” serapan, sementara konsorsium bakteri + mikroalga meningkatkan serapan dan ketahanan stress, selaras dengan target mitra (serapan NPK +12–20% dan biomassa akar +25–40%).
- Konsistensi mutu dan adopsi: multilayer coating dan sistem carrier perlite memfasilitasi pengembangan produk yang lebih stabil dan dapat distandardisasi, memenuhi tuntutan mitra akan konsorsium stabil, tank-mix compatible, serta SOP aplikasi (seed-treatment + foliar/soil-drench) untuk adopsi luas.
- Menggeser model “tambah input” ke “efisiensi biologis terukur”: selaras dengan fokus mitra bahwa tanpa platform ini bisnis akan tetap bergantung pada peningkatan input kimia. Bukti awal prototipe komposit yang kompetitif pada dosis NPK jauh lebih rendah memperkuat jalur efisiensi sebagai proposisi nilai.

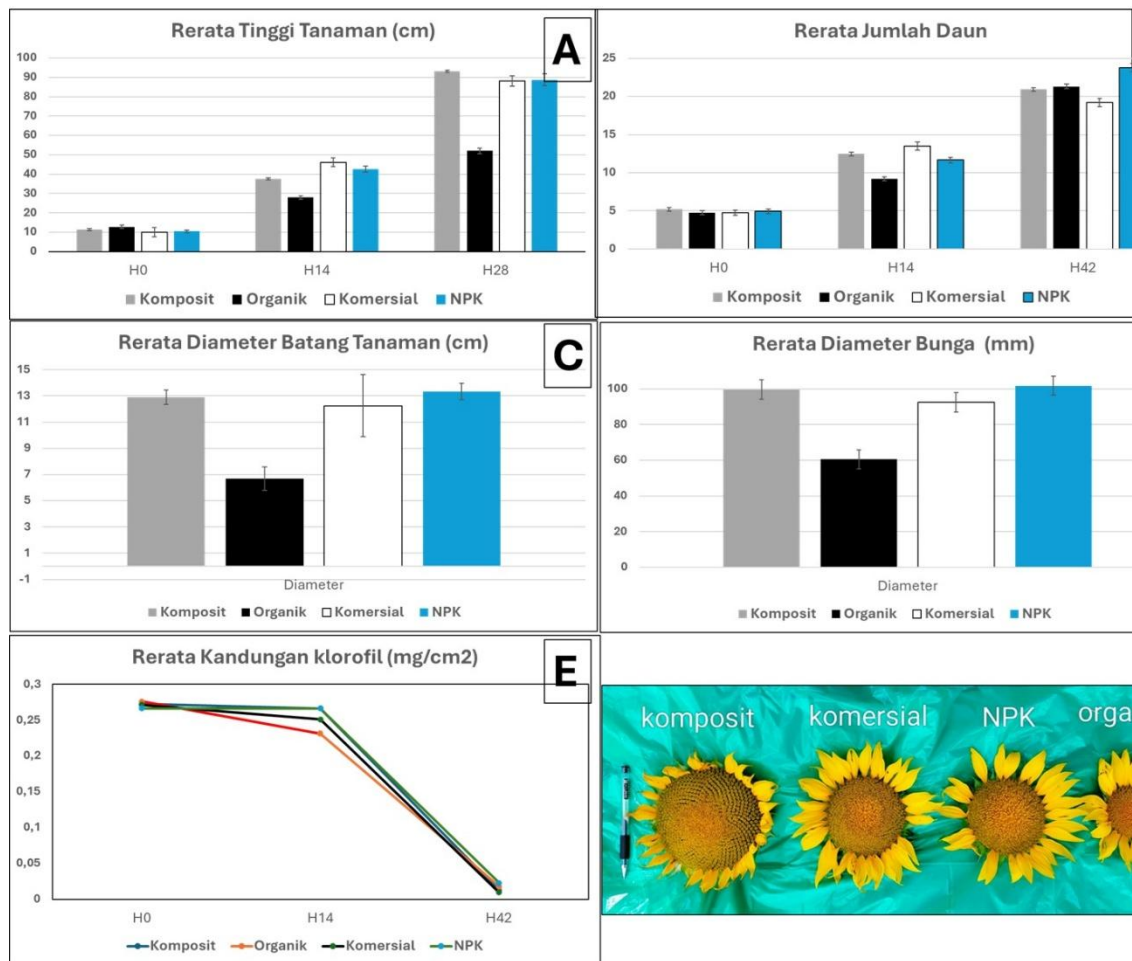
Penelitian terdahulu oleh tim pengusul telah menghasilkan **prototipe smart fertilizer komposit submicron NPK + konsorsia mikroba**. Prototipe tersebut memanfaatkan konsorsia mikroba (*Bacillus cereus strain X*, *Bacillus sp.*, dan *Lysinibacillus xylanilyticus*) yang diimobilisasi pada carrier mineral berpori, kemudian dibentuk sebagai sistem pupuk komposit dengan pelapisan bertahap untuk mendukung pelepasan hara terkendali sekaligus menjaga viabilitas mikroba [8-11]. Hasil uji terbatas di lapangan pada tanaman bunga matahari dan tanaman cabai menunjukkan performa pertumbuhan tanaman yang kompetitif dibanding pupuk pembanding, serta indikasi peningkatan efisiensi serapan hara pada uji greenhouse. Tabel 1 dan gambar 1 menunjukkan performa pupuk komposit submicron NPK + mikroba sebanding dengan efek pupuk NPK dosis maksimal.

Tabel 1. Perbandingan efek pemupukan terhadap

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

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][12]. 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 (Gambar 2).



Gambar 1. 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).



Gambar 2. Perbandingan struktur akar dari tanaman bunga matahari....]

C. VALUE PROPOSITION (Maks 500 kata)

Jelaskan nilai tambah atau keunggulan kompetitif dari teknologi yang ditawarkan terhadap kebutuhan mitra industri. Nilai tambah bisa berupa peningkatan efisiensi operasional, penurunan biaya, pengurangan ketergantungan pada bahan atau teknologi impor, peningkatan kualitas produk, kemampuan integrasi dalam sistem produksi mitra, atau kontribusi pada kelestarian lingkungan. Soroti bagaimana solusi ini menjadi fit terhadap pain point mitra industri dan potensi pasar yang dapat dibuka atau diperluas.

[**Value proposition** teknologi **Smart Layered Composite Fertilizer (SLCF)** adalah menghadirkan **solusi pemupukan foliar/seed treatment ataupun soil drench yang terukur dan terstandarisasi** untuk menjawab kebutuhan mitra yakni efisiensi pemupukan NPK yang rendah, performa produk hayati pasar yang tidak konsisten, serta kebutuhan produk yang stabil ($\geq 10^8$ CFU, umur simpan ≥ 12 bulan) dan mudah diintegrasikan ke praktik budidaya. SLCF menggabungkan konsorsium bakteri robust (*Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp., *Lysinibacillus xylanilyticus*) dan biostimulan mikroalga (*Chlorella/Spirulina*) yang diimobilisasi dalam perlite berpori, kemudian dilindungi *double-coating* alginate- CaCl_2 dan dipadukan dengan lapisan submicron NPK. Desain ini membuat produk tidak hanya “*biofertilizer*”, tetapi platform efisiensi submicron NPK meningkatkan akses hara, mikroba memperkuat mobilisasi/serapan, dan mikroalga mendukung respons fisiologis serta daya tahan stres, sehingga mitra dapat menawarkan **klaim penghematan pupuk yang lebih kredibel** (mis. pengurangan dosis 20–30% dengan hasil setara/lebih baik) dan **peningkatan serapan/biomassa akar** sesuai target spesifikasi mitra.

Dari sisi biaya dan operasional, SLCF berpotensi menurunkan biaya pemupukan petani dan mengurangi ketergantungan pada strategi “menaikkan input kimia”, sekaligus membuka ruang margin bagi mitra melalui produk bernilai tambah (biologi, nutrisi, formulasi cerdas). Format **WDG sprayable (0,3–0,6 mm)** mendukung logistik (lebih ringan, stabil) dan **kompatibel tank-mix**, sehingga mudah diintegrasikan ke sistem produksi dan jaringan distribusi mitra tanpa perubahan besar pada peralatan aplikasi. Dampak lingkungannya selaras dengan tuntutan pasar: efisiensi hara yang lebih tinggi berarti **lebih sedikit kehilangan hara**, menekan potensi jejak emisi dan pencemaran. Dengan diferensiasi berbasis **arsitektur multilayer dilengkapi bukti uji** (bukan sekadar campuran), solusi ini cocok untuk memperluas pasar mitra dari biostimulan/produk hayati konvensional menuju segmen “*efficiency-driven input*” pada komoditas strategis (padi, cabai, hortikultura) dan pelanggan korporasi yang menuntut konsistensi serta data kinerja lintas agroekosistem.

Dari sisi **pengurangan ketergantungan impor**, SLCF mendorong pergeseran nilai dari ketergantungan pada volume NPK konvensional, yang rantai pasoknya rentan, ke **efisiensi penggunaan hara** melalui desain submicron dan biologi. Selain itu, komponen kunci seperti **perlite, alginate- CaCl_2 , dan biomassa mikroalga** berpotensi disuplai/diolah secara domestik, sehingga mitra dapat membangun rantai pasok lokal dan meningkatkan ketahanan produksi. Kualitas produk juga meningkat karena arsitektur multilayer memungkinkan **standarisasi mutu** (stabilitas viabilitas, kompatibilitas tank-

mix, umur simpan) dan menutup kelemahan produk pasar yang sering hanya 1–2 strain tanpa platform proteksi yang kuat [13–16].

Dari sisi **integrasi sistem produksi mitra**, format **WDG sprayable (0,3–0,6 mm)** memudahkan manufaktur (granulasi–coating–QC), logistik (lebih stabil dibanding cair), dan penggunaan di lapang karena kompatibel dengan praktik semprot yang sudah berjalan (tank-mix, nozzle mist), sehingga adopsi tidak membutuhkan perubahan besar pada peralatan petani atau SOP layanan agronomi mitra. Kontribusi terhadap **kelestarian lingkungan** terjadi melalui peningkatan efisiensi hara dan penurunan kehilangan nutrisi, yang berimplikasi pada penurunan potensi emisi dan pencemaran per satuan hasil. Secara komersial, diferensiasi “**multilayer nutrient–bio–algae** dengan bukti kinerja” membuka/memperluas pasar mitra dari biostimulan biasa menuju segmen **input efisiensi tinggi** untuk komoditas strategis (padi, cabai, hortikultura) dan pelanggan korporasi yang menuntut konsistensi, data, serta roadmap pemenuhan standar ESG.]

D. ROADMAP PENINGKATAN TINGKAT KESIAPAN TEKNOLOGI (TKT)

Bagian ini tidak lebih dari 500 kata. Sajikan tahapan pengembangan teknologi dalam bentuk naratif dan kronologis, dimulai dari TKT saat ini menuju TKT target (misal dari TKT 6 ke TKT 7). Jelaskan kegiatan utama yang akan dilakukan pada setiap tahapan, estimasi waktu pelaksanaan per fase, luaran yang akan dihasilkan, serta indikator capaian TKT. Tambahkan penjelasan strategi mitigasi risiko jika proses pengembangan mengalami hambatan. Roadmap sebaiknya dilengkapi dalam bentuk tabel atau bagan.

[Roadmap peningkatan TKT SLCF dari TKT 6 menuju TKT 7 disusun dalam 5 fase untuk mengubah prototipe yang sudah tervalidasi terbatas menjadi teknologi yang **terbukti operasional, konsisten, dan siap dijalankan mitra**.

Fase 1 (1–2 bulan): Rekayasa formulasi dan penguncian spesifikasi produk. Kegiatan difokuskan pada finalisasi arsitektur SLFCF versi sprayable WDG (core perlite+mikroba+mikroalga → coating alginate+CaCl₂ → lapisan submicron NPK → coating luar) serta penetapan ukuran granul 0,3–0,6 mm dan target “*after-dispersion*” agar residu minimal untuk nozzle. Bersama mitra disusun Product Specification Sheet yang memuat target kinerja, stabilitas ≥12 bulan, viabilitas, kompatibilitas tank-mix, dan keamanan. **Luaran** fase ini: spec sheet v1, 2–3 formula kandidat, serta draft SOP produksi dan SOP tank-mix v1.0; **mitigasi** utama adalah iterasi cepat *binder/disintegrant* dan fraksi carrier bila dispersi/nozzle belum stabil.

Fase 2 (2–3 bulan): Pilot batch dan standardisasi QC. Dilakukan produksi pilot **batch** berulang (≥3 **batch**) untuk menguji reproduktibilitas granulasi, pengeringan lembut, dan ayakan fraksi 0,3–0,6 mm, disertai penguatan QC rilis (ukuran, kadar air/*caking*, **wetting**–dispersi, uji nozzle/mesh, viabilitas konsorsium/CFU, kontaminasi) serta uji kompatibilitas tank-mix dan simulasi aplikasi. **Luaran**: SOP produksi v1 + *template batch record*, QC *checklist* dan *release spec*, dan minimal 3 batch memenuhi spesifikasi. **Mitigasi**: optimasi pengeringan lembut/protektan dan evaluasi moisture barrier packaging bila viabilitas turun.

Fase 3 (2 bulan paralel; monitoring lanjut hingga 12 bulan): Stabilitas dan *shelf-life* terakselerasi. Uji stabilitas akselerasi untuk memprediksi tren *shelf-life*, penetapan strategi kemasan (barrier, desiccant opsional), serta jadwal monitoring T0–1–3–6–12 bulan. **Luaran**: laporan stabilitas dan rekomendasi kemasan, serta stabilitas protocol dan *tracker*.

Mitigasi: bila *caking* meningkat, turunkan *moisture*, modifikasi *binder/disintegrant*, atau perkuat *barrier packaging*.

Fase 4 (3–4 bulan; 1 musim): Demonstrasi operasional multi-lokasi untuk komoditas prioritas Mitra Industri. Uji lapang 2–3 lokasi pada 1 musim dengan rancangan perlakuan: praktik petani, NPK standar, SLFCF + NPK standar, serta SLFCF + pengurangan NPK (mis. 20–30%). Metrik utama meliputi *yield*/komponen hasil, indikator efisiensi pupuk, dan catatan operasional aplikasi (*nozzle*, waktu dispersi, jam kerja, ketahanan hujan). **Luaran:** dataset multi-lokasi, laporan demonstrasi operasional, dan SOP aplikasi lapang v2.0. **Mitigasi:** penjadwalan fleksibel dan adjuvan kompatibel untuk risiko hujan; RCBD, ulangan memadai, dan standardisasi aplikasi untuk variabilitas lokasi.

Fase 5 (1–2 bulan): Validasi kesiapan adopsi mitra industri dan paket hilirisasi. Dilakukan review kesesuaian spesifikasi, biaya produksi awal, dan rancangan *supply chain*; finalisasi SOP produksi, QC, dan aplikasi; dan “produk kit” lapang; serta penguatan HKI dan rencana *scale-up*. **Luaran:** paket dokumen operasional lengkap, laporan kesiapan adopsi dan rekomendasi *scale-up*, serta pembaruan HKI bila diperlukan. **Mitigasi:** optimasi formula (*carrier lokal*), simplifikasi proses, dan substitusi komponen bila biaya/bahan tidak kompetitif.

Roadmap dalam tabel

Fase	Durasi (estimasi)	Fokus kegiatan	Luaran kunci	Indikator TKT (6→7)	Risiko utama	Mitigasi cepat
1	1–2 bln	Kunci desain SLFCF + spesifikasi Mitra	Spec Sheet 1.0; formula final 2–3 varian; SOP ver 1	Parameter mutu & target kinerja terdefinisi	Dispersi/ <i>nozzle</i> belum stabil	Optimasi <i>binder/disintegrant</i> ; pre-slurry; filter/ <i>nozzle</i> standard
2	2–3 bln	Pilot batch berulang dan standardisasi QC	SOP v1.1; QC acceptance; ≥3 batch konsisten	Reproduktibilitas proses & mutu	Viabilitas turun pasca proses	Pengeringan lembut; protektan; packaging barrier
3	2 bln paralel (lanjut 12 bln)	Stabilitas akselerasi & strategi kemasan	Laporan stabilitas; stability protocol	Bukti awal shelf-life/ketahanan logistik	Caking/ <i>moisture</i>	Turunkan <i>moisture</i> ; ubah <i>binder</i> ; desiccant
4	3–4 bln (1 musim)	Multi-lokasi komoditas prioritas	Dataset lapang; laporan demo; SOP aplikasi ver 2	Demonstrasi operasional di minimal ≥2 lokasi	Cuaca/variasi lokasi	RCBD, ulangan cukup, jadwal fleksibel
5	1–2 bln	Paket adopsi mitra + hilirisasi	Paket SOP dan QC; rencana <i>scale-up</i> ; update HKI	Bukti kesiapan adopsi operasional	Biaya produksi	Simplifikasi proses; substitusi <i>carrier lokal</i>

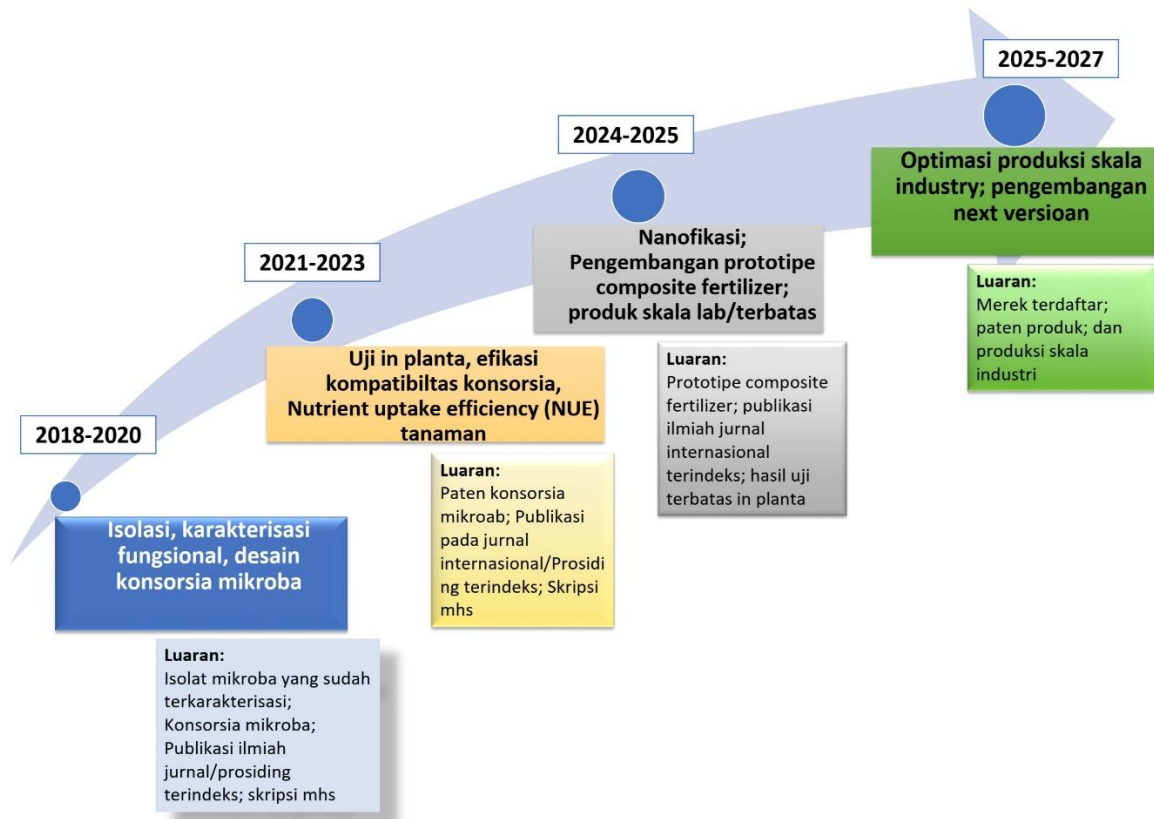
...]

E. PETA JALAN PENGEMBANGAN PRODUK

Bagian ini menggambarkan perjalanan pengembangan produk/teknologi yang diusulkan dalam rangka menghasilkan output akhir (hilirisasi). Peta jalan penelitian harus berkerangka waktu dan TKT yang dibedakan menjadi 3 milestone. Penggambaran lebih baik dalam bentuk diagram, bukan farafarase.

[Penelitian ini disusun sebagai fase hilirisasi dari pengembangan pupuk biofertilizer komposit berbasis mikroba/fungi/mikroalga menguntungkan dan submicron NPK. **Penelitian terdahulu** sebagai dasar sudah dilakukan sejak 2018 yakni isolasi dan karakterisasi mikroba menguntungkan. Dari penelitian tahun 2023-2024 sudah dapat dihasilkan formulasi awal pupuk komposit yang terdiri dari gabungan konsorsia mikroba menguntungkan dengan submicron NPK dengan alginate sebagai material pelapis.

Karakterisasi structural dan fungsional sudah dilakukan pada tahun 2024-2025. Hasil uji lapangan terbatas menunjukkan pupuk komposit submicron NPK + konsorsia mikroba mampu menghasilkan efek pertumbuhan yang sama (tidak berbeda) dengan aplikasi pupuk kimia NPK dosis maksimal pada tanaman bunga matahari. Selain itu efisiensi penerapan nutrisi (NUE) oleh tanaman cabai juga menunjukkan efek pupuk komposit yang sama dengan efek pupuk kimia NPK dosis maksimal



Gambar 1. Roadmap pengembangan smart composite fertilizer submicron NPK + microbes/fungi/microalgae

Adapun peta jalan pekerjaan pada tahun 2026, focus pada pengembangan Smart Layered Composite Fertilizer (SLCF) dan milestone pengembangan (Kesiapan Teknis, Bukti stabilitas awal, Kesiapan adopsi). (Gambar 2)



Gambar 2. Peta jalan penelitian peningkatan TKT 6 ke 7 pengembangan Smart Layered Composite Fertilizer (SLCF) 2026]

E. USULAN RENCANA KOLABORASI TEKNIS DAN OPERASIONAL (maks 1000 kata).

Rincikan bentuk kolaborasi antara tim peneliti dari perguruan tinggi dan mitra industri selama pelaksanaan program. Jelaskan peran teknis masing-masing pihak, pembagian tanggung jawab, ketersediaan fasilitas (laboratorium, lokasi uji coba, mesin produksi), akses data, serta alokasi sumber daya manusia (peneliti, teknisi, operator lapangan). Sebutkan pula mekanisme koordinasi dan evaluasi bersama (misal: rapat bulanan, laporan triwulan, kunjungan lapangan bersama). Tekankan prinsip sinergi dan keberlanjutan hubungan setelah program berakhir.). Penggambarannya dapat dibuat menggunakan konsep Working Package (WP). Bagian ini harus bisa menjustifikasi Rancangan Anggaran Belanja (RAB) yang diusulkan setiap tahun.

- [Kerangka kolaborasi: Program dijalankan sebagai kemitraan *co-development* antara tim perguruan tinggi (pengembang SLCF) dan mitra industri untuk mempercepat peningkatan TKT 6→7, dengan prinsip: (i) perguruan tinggi memimpin *engineering* dan pembuktian ilmiah, (ii) mitra industri memimpin standardisasi operasional, kesiapan produksi, dan jalur hilirisasi, serta (iii) keputusan teknis dibuat berbasis data dan *gate review* per fase/WP.
- WP1 – Engineering dan Spec Lock (Penguncian desain dan spesifikasi produk):
 - Peran perguruan tinggi: finalisasi desain SLCF (arsitektur multilayer, konsorsium mikroba–mikroalga, carrier perlite, coating alginate+CaCl₂, integrasi submicron NPK), serta penetapan parameter mutu kunci (dispersi, kompatibilitas nozzle, target viabilitas).

- Peran mitra industri: menyusun dan memvalidasi kebutuhan mitra/spesifikasi produk (komoditas prioritas, target klaim kinerja, batas biaya, kebutuhan stabilitas ≥ 12 bulan, kompatibilitas aplikasi lapang, aspek keamanan).
 - Luaran bersama: *Product Specification Sheet* v1.0, 2–3 formula kandidat final, SOP produksi dan SOP tank-mix versi awal, serta rencana QC rilis batch.
- WP2 – *Pilot batch* berulang dan standardisasi mutu:
 - Peran perguruan tinggi: transfer metode, penguatan desain proses, dan penyusunan QC checklist dan *acceptance criteria* (ukuran granul, kadar air/caking, wetting–dispersi, uji nozzle/mesh, viabilitas konsorsium/CFU, kontaminasi).
 - Peran mitra industri: memimpin produksi pilot batch berulang (≥ 3 batch) menggunakan fasilitas pilot/produksi, menjalankan QC rilis batch, serta memastikan reproduktibilitas proses dan mutu.
 - Luaran bersama: SOP produksi v1 dan batch record, *release specification* dan standar QC, serta minimal 3 batch konsisten sebagai bukti kesiapan operasional menuju TKT 7.
- WP3 – Stabilitas, kompatibilitas, dan demonstrasi multi-lokasi:
 - Peran perguruan tinggi: desain uji (perlakuan–ulangan, indikator kinerja), protokol pengambilan data, analisis hasil (komponen hasil, indikator efisiensi pemupukan, respons fisiologis), serta interpretasi stabilitas (tren *shelf-life*).
 - Peran mitra industri: menyediakan lokasi uji (jejaring lahan mitra/petani/kebun percontohan), tim lapang untuk aplikasi dan pencatatan operasional (kinerja semprot, ketahanan hujan, kemudahan penggunaan), serta skenario penyimpanan/distribusi yang merepresentasikan rantai pasok.
 - Luaran bersama: dataset multi-lokasi (≥ 2 lokasi, 1 musim) + laporan demo operasional, SOP aplikasi lapang versi 2.0, laporan stabilitas akselerasi dan rekomendasi kemasan (barrier/desiccant bila perlu), serta *stability monitoring plan* hingga 12 bulan.
- WP4 – Paket adopsi mitra dan hilirisasi:
 - Peran perguruan tinggi: penyusunan dokumen ilmiah dan teknis (laporan kinerja, parameter mutu, manual teknis), dukungan penguatan HKI (klaim arsitektur multilayer/proses), serta publikasi/komunikasi ilmiah sesuai kesepakatan.
 - Peran mitra industri: rencana scale-up, estimasi biaya produksi, strategi bahan baku (termasuk opsi substitusi carrier lokal), strategi go-to-market, integrasi ke portofolio produk, dan kesiapan kanal distribusi/layanan agronomi.
 - Luaran bersama: paket SOP produksi–QC–aplikasi lengkap, rencana scale-up dan supply chain, pembaruan/penyempurnaan dokumen HKI, serta “product kit” untuk tim lapang mitra.
- Pembagian tanggung jawab:
 - Perguruan tinggi: desain teknologi, validasi ilmiah, metode karakterisasi/QC berbasis sains, analisis data, dan penguatan HKI/publikasi.
 - mitra industri: standardisasi operasional, *pilot/scale-up process*, QC produksi, penyediaan lokasi uji dan jaringan pengguna, serta rencana hilirisasi dan komersialisasi.
- Ketersediaan fasilitas:

- Perguruan tinggi: laboratorium formulasi/karakterisasi, ruang kultur/formulasi mikroba (sesuai SOP internal), fasilitas uji skala *greenhouse*, dan perangkat analitik yang relevan. Beberapa analisis dan uji yang diperlukan akan dilakukan melalui akses fasilitas lab pihak ketiga, misalkan analisis SEM, XFR, metagenomic.
- mitra industri: fasilitas pilot produksi (mixing–granulasi/pengeringan/pengemasan), gudang/penyimpanan untuk uji stabilitas rantai pasok, serta lokasi uji coba lapang multi-lokasi pada komoditas prioritas.
- Akses dan tata kelola data:
 - Perguruan tinggi mengelola data teknis (formulasi, karakterisasi, QC, performa agronomis), mitra industri mengelola data operasional (logistik, biaya, penerimaan pengguna, kinerja lapang), dengan folder bersama dan *template* baku (*batch record*, QC sheet, form lapang).
 - Penggunaan data untuk publikasi/HKI mengikuti perjanjian kolaborasi (kerahasiaan, hak pakai, dan pembagian manfaat).
- Alokasi SDM (minimum operasional):
 - Perguruan tinggi: peneliti utama (koordinator teknis), peneliti anggota (formulasi/QC/analisis), teknisi lab, dan asisten riset/mahasiswa untuk pengujian dan dokumentasi.
 - mitra industri: supervisor produksi, teknisi QC, operator mesin/pengemasan, koordinator lapang, operator aplikasi semprot, dan enumerator pencatatan data.
- Mekanisme koordinasi dan evaluasi bersama:
 - Rapat bulanan: review progres WP, isu teknis, dan keputusan iterasi formula/proses.
 - Laporan triwulan: capaian, deviasi, rencana korektif, serta status indikator TKT.
 - Kunjungan lapangan bersama: audit SOP aplikasi, verifikasi mutu data, dan evaluasi operasional.
 - *Gate review* di akhir WP: keputusan lanjut/penyesuaian menuju fase berikutnya berbasis indikator mutu dan kinerja.
- Prinsip sinergi dan keberlanjutan pasca program:
 - Setelah TKT 7 tercapai, kerja sama dilanjutkan melalui *scale-up* produksi, perluasan komoditas/lokasi, penguatan paket layanan agronomi (SOP dan rekomendasi aplikasi), serta pengembangan portofolio HKI–produk turunan, sehingga hubungan perguruan tinggi– mitra industri menjadi kemitraan jangka panjang (inovasi berkelanjutan dan hilirisasi konsisten).]

G. JADWAL PENELITIAN

Tuliskan rencana waktu pelaksanaan program yang disusun secara terstruktur dalam beberapa fase pengembangan yang berlangsung selama periode penelitian. Setiap fase mencakup kegiatan utama yang mendukung secara langsung pencapaian luaran berupa produk atau sistem teknologi yang dibutuhkan oleh mitra industri. Setiap kegiatan dirancang selaras dengan peningkatan Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT), mulai dari desain awal hingga validasi sistem secara langsung di lapangan

Fase	Durasi (Bulan)	Kegiatan Utama	Luaran yang Dijanjikan	Estimasi TKT
------	----------------	----------------	------------------------	--------------

1	1-2	Persiapan bahan dan perlatan; Kunci desain SLFCF + spesifikasi Mitra	Spec Sheet 1.0; formula final 2–3 varian; SOP ver 1	6
2	2–3	Pilot batch berulang dan standardisasi QC	SOP v1.1; QC acceptance; ≥ 3 batch konsisten	6
3	2 paralel (lanjut 12 bln)	Stabilitas akselerasi & strategi kemasan	Laporan stabilitas; stability protocol	6
4	3–4 (1 musim)	Multi-lokasi komoditas prioritas	Dataset lapang; laporan demo; SOP aplikasi ver 2	7
5	1–2	Paket adopsi mitra dan hilirisasi	Paket SOP dan QC; rencana scale-up; update HKI	7

H. DAFTAR PUSTAKA

Penulisan Daftar Pustaka menggunakan sistem penomoran, sesuai dengan urutan sitasi (perujukan). Hanya pustaka yang disitasi pada usulan penelitian yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka, dan semua yang disitasi harus dituliskan di Daftar Pustaka.

- [1] [Corsi, S., Ruggeri, G., Zamboni, A., Prinsi, B., Espen, L., Ferrante, A., ... & Scarafoni, A. (2022). A Bibliometric Analysis of the Scientific Literature on Biostimulants. *Agronomy*, 12(6), 1257. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061257>
- [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] Nivetha, N., Shukla, P. S., Nori, S. S., Kumar, S., & Suryanarayan, S. (2024). A red seaweed *Kappaphycus alvarezii*-based biostimulant (AgroGain®) improves the growth of *Zea mays* and impacts agricultural sustainability by beneficially priming rhizosphere soil microbial community. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1330237>
- [4] Verma, H., Kumar, D., Kumar, V., Kumari, M., Singh, S. K., Sharma, V., ... & Kumar, A. (2021). The Potential Application of Endophytes in Management of Stress from Drought and Salinity in Crop Plants. *Microorganisms*, 9(8), 1729. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081729>
- [5] Yahya, M., Rasul, M., Hussain, S. Z., Dilawar, A., Ullah, M., Rajput, L., ... & Yasmin, S. (2023). Integrated analysis of potential microbial consortia, soil nutritional status, and agro-climatic datasets to modulate P nutrient uptake and yield effectiveness of wheat under climate change resilience. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1074383>
- [6] Mendoza-Suárez, M., Andersen, S. U., Poole, P. S., & Sánchez-Cañizares, C. (2021). Competition, Nodule Occupancy, and Persistence of Inoculant Strains: Key Factors in

- the Rhizobium-Legume Symbioses. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.690567>
- [7] Kaboré, W., Imbga, B. K., & Kaboré, B. (2023). Use of Connected Objects (IoT) in the Agricultural Sector in Burkina Faso: Approaches and Perspectives. *Physical Science International Journal*, 27(5), 48-60. <https://doi.org/10.9734/psij/2023/v27i5804>
- [8] Effendi, Y., Aini, N., Pambudi, A., Sasaerila, H.Y. 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. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012045>
- [9] 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>
- [10] Denaya, S., Yulianti, R., Pambudi, A., & Effendi, Y. 2021. Novel microbial consortium formulation as plant growth promoting bacteria (PGPB) agent. In *IOP conference series: Earth and environmental science* 637, 12030. Bristol, UK: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012030>
- [11] Hadi, A.E., Khalisha, A., Pambudi, A., Effendi, Y. Potential of bacteria consortium as growth controller of pathogenic fungi *Fusarium oxysporum* F. sp. *cubense* (Foc). In *IOP conference series: Earth and environmental science* 637, 012029. Bristol, UK: IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012029>
- [12] 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>
- [13] Díaz-Rodríguez, A. M., Parra-Cota, F. I., Chávez, L. A. C., García-Ortega, L. F., Alvarado, M., Santoyo, G., ... & Santos-Villalobos, S. d. l. (2025). Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions. *Plants*, 14(2), 191. <https://doi.org/10.3390/plants14020191>
- [14] Fadiji, A. E., Xiong, C., Egidi, E., & Singh, B. K. (2024). Formulation challenges associated with microbial biofertilizers in sustainable agriculture and paths forward. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3(3). <https://doi.org/10.1002/sae2.70006>
- [15] Berninger, T., López, O. G., Bejarano, A., Preininger, C., & Sessitsch, A. (2017). Maintenance and assessment of cell viability in formulation of non-sporulating bacterial inoculants. *Microbial Biotechnology*, 11(2), 277-301. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12880>
- [16] Brondi, M. G., Florencio, C., Vasconcellos, V. M., Ribeiro, C., & Farinas, C. S. (2025). Enhancing the Shelf Life and Stress Tolerance of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Encapsulation in Green Matrices of Nanocellulose and Carboxymethyl Cellulose. *ACS Agricultural Science & Technology*, 5(6), 1178-1188. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.5c00189>
- .]

Lampiran 2 - Rekam Jejak Ketua Peneliti

REKAM JEJAK KETUA PENELITI

Identitas Diri	
Nama lengkap dengan gelar	: Dr.rer.nat. Yunus Effendi, M.Si., M.Sc.
NIDN/NIDK/NUPTK	: 0004077302
Afiliasi	: Universitas Al Azhar Indonesia (UAI)
Jabatan	: LK/ kepala LPPM UAI
Alamat Kantor	: Komplek masjid agung al Azhar Jl. Sisingamangaraja
Nomor HP	Kebayoran baru 12110 Jakarta Selatan
Alamat email	: 082244410473.
	: effendiy@uai.ac.id.

Daftar Artikel yang Relevan dengan Usulan					
Nama penulis (lengkap sesuai urutan)	Kontribusi penulis*	Judul artikel	Nama jurnal	Link artikel di jurnal	Link artikel di Scopus
Sasaerila, Hidayat Yorianta; Effendi, Yunus ; Wijihastuti, Risa Swandari; Pambudi, Arief; Nicola, Flavia De	Co-Author	Studies on the Short- and Long-Term Effects of Rubber-Canna Agroforestry Through Soil Analysis and a Metagenomic Approach	Biosaintifika 16(1), pp. 73–88	https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v15i1.3514	https://www.scopus.com/pages/publications/85199776329?origin=resultslist
Anugrah D.B.; Pambudi A.; Effendi Y.	Corresponding author	Expression of nutrient uptake-related genes in response to beneficial bacterial consortium application on Musa acuminata	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023., 1271, 012011.	https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012011	https://www.scopus.com/pages/publications/85182002575?origin=resultslist

Effendi, Y. , Aini, N., Pambudi, A., Sasaerila, H.Y.	First author	Metagenomics analysis of soil microbial communities in plant agroforestry system rubber tree (<i>Hevea brasiliensis</i>)— <i>Ganyong</i> (<i>Canna</i> sp.).	IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2020, 468, 012045	https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012045	https://www.scopus.com/pages/publications/85084417509?origin=resultslist
Effendi, Y. , Khalisa, A., Pambudi, A	First author	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	https://www.scopus.com/pages/publications/85084463811?origin=resultslist
Denaya, S., Yulianti, R., Pambudi, A., & Effendi, Y.	Corresponding author	Novel microbial consortium formulation as plant growth promoting bacteria (PGPB) agent.	IOP conference series: Earth and environmental science 637, 12030. Bristol, UK: IOP Publishing.	https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012030	https://www.scopus.com/pages/publications/85100800711?origin=resultslist
Hadi, A.E., Khalisha, A., Pambudi, A., Effendi, Y.	Corresponding author	Potential of bacteria consortium as growth controller of pathogenic fungi <i>Fusarium oxysporum</i> F. sp. cubense (Foc).	IOP conference series: Earth and environmental science 637, 012029. Bristol, UK: IOP Publishing.	https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012029	https://www.scopus.com/pages/publications/85100813828?origin=resultslist
Effendi Y. ; Pambudi A.; Sasaerila Y.; Wijihastuti R.S.	First author	Metagenomic analysis of diversity and composition of soil bacteria under intercropping system <i>Hevea brasiliensis</i> and <i>Canna indica</i>	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	https://doi.org/10.1088/1755-1315/391/1/012023	https://www.scopus.com/pages/publications/85078477135?origin=resultslist

Effendi Y.; Pambudi A.; Pancoro, A.	First author	Metagenomic analysis of <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. cubense-infected soil in banana plantation, Sukabumi, Indonesia	Biodiversitas, 2019, 20(7)	https://doi.org/10.13057/biodiv/d200721	https://www.scopus.com/pages/publication/s/85070830188?origin=resultslist
--	--------------	---	----------------------------	---	---

*Jika penulis korespondensi maka perlu menyediakan link full artikel

Daftar Kekayaan Intelektual				
Inventor	Judul KI	Jenis KI	Status KI	Link PDKI
Yunus Effendi; Lulu' nistrina, Heny Isrochawati	LIMA PASANG PRIMER PCR UNTUK MENDETEKSI SERANGAN AWAL CENDAWAN FUSARIUM OXYSPORUM F.SP.CUBENSE PADA PISANG BARANGAN (Musa acuminata)	Paten	granted	Pangkalan Data Kekayaan Intelektual
Yunus Effendi	PRODUK KONSORSIA MIKROBA RIZOSFER PENEKAN PERTUMBUHAN CENDAWAN PATOGEN <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. cubense PENYEBAB PENYAKIT LAYU FUSARIUM PADA TANAMAN PISANG	Paten	terdaftar	Pangkalan Data Kekayaan Intelektual

Daftar Penelitian yang Relevan dengan Usulan			
Nama peneliti	Judul penelitian	Pemberi dana	Link ringkasan laporan**
Yunus Effendi (PI); Diah kusumawaty (anggota); Niken Parwati (anggota)	Pengembangan Pupuk Cerdas Berbasis Nano-NPK dan Beneficial Microbes dengan pelapisan bertahap polimer biodegradable.	Kemenristekdikti 2025	https://docs.google.com/document/d/1dsJ7lp1KgeQrWbhIIJq9ifEOONffYDWY/edit?usp=sharing&ouid=105033877762224301629&rtpof=true&sd=true
Yunus Effendi (PI); Nita Noriko (anggota); Akhmad Rizky (Mahasiswa)	Pertanian Adaptif Berbasis Mikrobioma dan Aplikasi Biofertilizer Antisipasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketahanan Pangan: Studi Kasus di Desa Sukanagalih, Cianjur.	Kemenristekdikti 2025	https://docs.google.com/document/d/1DwymwESdzQbzGJabuqEPvjMiluQI--Q-/edit?usp=sharing&ouid=105033877762224301629&rtpof=true&sd=true
Yunus Effendi (PI); Arief Pambudi (anggota)	Pengembangan mixing fertilizer berbasis nano NPK dan beneficial microbes	Kemenristekdikti 2023	https://docs.google.com/document/d/1kuiUPfdp6nrn_1Q49qJdFiqvOAQ83lYf/edit?usp=sharing&ouid=105033877762224301629&rtpof=true&sd=true
Hidayat yorianta (PI); Yunus Effendi (Anggota)	Mencari Ramuan Pupuk Hayati untuk Porang (Amorphophallus muelleri) yang ditanam dengan Sistem Tumpang Sari di Bawah Tegakan Karet	Universitas Al Azhar Indonesia	https://docs.google.com/document/d/13KV7IDVSP7HsqLnNaIH34eoTTGj5Rmj1/edit?usp=sharing&ouid=105033877762224301629&rtpof=true&sd=true
Yunus Effendi (PI); Adi Pancoro	Model Pengembangan Aspek Suppressive Soil Penghambat	Kemenristekdikti 2018-2020	https://docs.google.com/document/d/102_lqaozYawwdsJbu1KuGh1THDMmpRLL/edit?usp=sharing

(anggota); Arief Pambudi (anggota)	PertumbuhanCendawan Patogen Fusarium oxysporum PadaTanaman Pisang		ng&ouid=105033877762224301629&rtpof=true&sd=true

**Ringkasan laporan disimpan di google drive dengan maksimal 300 kata per judul.