



**BIOFERTILIZER KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT  
TANAMAN KALIANDRA SEBAGAI AGEN  
BIOREMEDIASI UNTUK MENINGKATKAN NILAI  
BIODIVERSITAS DI LAHAN PASCA TAMBANG  
KAPUR**



**Go  
Beyond  
Next**

**Tim penyusun:**

*Avivi Nur Aina, S.Pd., M.Si.*

*Susanti Dhini Anggraini, S.Si., M.Si.*

*Prof. Dr. Dra. Supiana Dian N. M.Kes.*

*Dr. Suwarsih, S.Pi., M.Si*

*Dwi Oktafitria, S.Si., M.Sc*

**Tim lapangan:**

*Salma Aulia Yoviska, S.Pd*

*Widi Meisya Anggraini, S.Si*

*Chusnul Khotimah, S.Pd*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan ke kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan berkat dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan laporan ini yang berisi informasi mengenai program inovasi PT semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Laporan ini merupakan hasil kerja keras dan dedikasi seluruh tim kami yang berkomitmen untuk memajukan perusahaan melalui inovasi dan teknologi terbaru. Di tengah perkembangan industri yang cepat dan tuntutan pasar yang semakin dinamis, PT. Semen Indonesia menyadari pentingnya inovasi sebagai kunci untuk mempertahankan daya saing dan mencapai keunggulan. Program inovasi ini dirancang untuk mengidentifikasi, mengembangkan, dan menerapkan ide-ide kreatif yang dapat meningkatkan efisiensi operasional, kualitas produk, dan layanan pelanggan.

Program ini mencerminkan tekad kami untuk tidak hanya mengikuti perkembangan industri, tetapi juga menjadi pelopor dalam penerapan teknologi dan proses inovatif. Melalui berbagai inisiatif dan proyek inovasi, kami berupaya untuk menciptakan nilai tambah, meminimalkan dampak lingkungan, dan mendukung program berkelanjutan. Laporan ini menyajikan berbagai aspek dari program inovasi kami, mulai dari strategi dan tujuan, hingga pencapaian dan rencana masa depan. Kami berharap informasi yang disajikan dapat memberikan wawasan yang jelas tentang upaya kami dalam mendorong kemajuan dan mencapai visi perusahaan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang mendukung dan berkontribusi dalam pengembangan program inovasi ini. Dukungan dan kerja sama anda sangat berarti bagi kesuksesan dan keberlanjutan inisiatif ini. Semoga laporan ini dapat memberikan inspirasi dan manfaat bagi seluruh stakeholder, serta mendorong kita semua untuk terus berinovasi dan berkolaborasi demi masa depan yang lebih baik.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	2
KATA PENGANTAR .....	4
DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR GAMBAR .....	6
DAFTAR TABEL .....	7
Program Inovasi.....	8
1. Permasalahan Awal .....	8
2. Asal Usul Ide Perubahan atau Inovasi .....	11
3. Penelitian Biofertilizer Konsorsium Bakteri Endofit Kaliandra.....	13
4. Perubahan yang dilakukan dari sistem lama.....	14
a. Perubahan sistem dari program inovasi .....	14
b. Dampak lingkungan dari Program Inovasi .....	16
c. Nilai Tambah Program Inovasi .....	24
5. Gambaran Skematis atau Visual Program Inovasi.....	26

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Kondisi tanaman kaliandra di lahan pasca tambang kapur .....	11
<b>Gambar 2.</b> Pengambilan sampel akar kaliandra untuk analisis bakteri endofit.....	13
<b>Gambar 3.</b> Proses pembuatan Biofertilizer konsorsium bakteri endofit kaliandra.....	14
<b>Gambar 4.</b> Koordinasi dengan Dinas Ketahanan Pangan, Pertanian, dan Perikanan.....	15
<b>Gambar 5.</b> Kondisi pH tanah di lahan pasca tambang kapur .....	17
<b>Gambar 6.</b> Diversitas komunitas makrofauna tanah di lahan pasca tambang kapur. ....	18
<b>Gambar 7.</b> Hasil pengamatan makrofauna tanah di lahan pasca tambang kapur. ....	18
<b>Gambar 8.</b> Kegiatan transfer <i>knowledge</i> kepada petani <i>greenbelt</i> .....	25
<b>Gambar 9.</b> Proses transfer <i>knowledge</i> kepada mahasiswa .....	26
<b>Gambar 10.</b> Gambaran skematis program inovasi .....	26

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Hasil uji analisis potensi pada isolat bakteri endofit kandidat biofertilizer.....	19
<b>Tabel 2.</b> Uraian kebutuhan pembuatan biofertilizer .....	23

## Program Inovasi

# BIOFERTILIZER KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT KALIANDRA SEBAGAI AGEN BIOREMEDIASI UNTUK MENINGKATKAN NILAI BIODIVERSITAS DI LAHAN PASCA TAMBANG KAPUR

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban merupakan salah satu site PT. Semen Indonesia yang selalu berkomitmen untuk memberikan kontribusi positif bagi masyarakat sekitar. Salah satu wujud komitmen tersebut adalah dilakukannya kegiatan Inovasi “**Biofertilizer konsorsium bakteri endofit kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang kapur**”. Program inovasi ini berkontribusi dalam peningkatan nilai biodiversitas khususnya makrofauna tanah dan pengelolaan lahan marginal pasca tambang. Inovasi ini memberikan alternatif pemanfaatan sumber daya hayati yang banyak ditemukan di lahan pasca tambang tanah kapur, yaitu tanaman kaliandra merah yang biasa dimanfaatkan sebagai pakan ternak, menjadi produk bernilai guna, sehingga dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar. Dalam upaya mendukung **ketahanan pangan nasional dan pertanian berkelanjutan**, riset pengembangan potensi mikroorganisme lokal pada lahan terdegradasi perlu dilakukan. Eksplorasi dan uji mikroorganisme lokal pada lahan terdegradasi untuk pemanfaatan lebih lanjut menjadi langkah awal dalam **mengoptimalkan peran mikroba endofit dan mikroba tanah dalam reklamasi lahan terdegradasi**. Penggunaan mikroba lokal yang unggul dapat meningkatkan produktivitas tanaman, mengembalikan kualitas lahan yang baik untuk pertanian, dan **berkorelasi positif terhadap peningkatan diversitas pada lahan marginal**. Dengan demikian, potensi mikroorganisme lokal pada reklamasi lahan terdegradasi berperan penting dalam mendukung terwujudnya ketahanan pangan nasional dan pertanian berkelanjutan.

### 1. Permasalahan Awal

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban merupakan salah satu site PT. Semen Indonesia yang bergerak dalam bidang produksi bahan bangunan semen dengan bahan baku utama adalah batu kapur (*limestone*). Batu kapur untuk produksi semen diambil dengan cara melakukan penambangan pada lahan kapur (Aina *et al.*, 2023). Kegiatan penambangan batu kapur dapat berpotensi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah atau *top soil* yang kaya zat hara, menurunnya produktivitas tanah, penurunan keanekaragaman hayati lingkungan, hingga kerusakan ekosistem. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk pemulihan lahan pasca tambang kapur adalah remediasi atau rehabilitas lahan pasca tambang dengan bantuan

organisme yang berpotensi sebagai agen bioremediasi, seperti mikroba, fungi, hingga tanaman (Kartikawati *et al.*, 2017).

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban telah melakukan revegetasi pada lahan pasca tambang, salah satunya adalah dengan melakukan penanaman pohon kaliandra merah pada lahan pasca tambang dengan jumlah tanaman yang ditanam pada 2023 sebanyak 6.422 dan pada 2024 sebanyak 1.407 tanaman. Kemampuan tanaman kaliandra untuk hidup di lahan marginal yang miskin unsur hara, menjadikan tanaman ini memiliki performa pertumbuhan yang baik pada lahan pasca tambang, dimana tidak semua tanaman mampu bertahan hidup pada lahan marginal miskin unsur hara. Tanaman kaliandra berasal dari famili *leguminosae* sehingga mampu bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* membentuk bintil akar yang berfungsi memfiksasi nitrogen dari udara, sehingga secara alami dapat meningkatkan kesuburan tanah. Daun dan ranting mudanya mengandung protein kasar tinggi (18–25%), menjadikannya sumber pakan ternak yang berkualitas, sementara kayunya bernilai kalor tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar biomassa. Bunga kaliandra merah banyak dimanfaatkan sebagai madu liar, selain itu bunga kaliandra juga berperan sebagai penarik serangga polinator, yang mana hal tersebut berkorelasi dengan diversitas serangga di kawasan pasca tambang (Zakaria *et al.*, 2013).

Selain berasosiasi dengan bakteri membentuk bintil akar, tanaman kaliandra juga berasosiasi dengan bakteri endofit yang tinggal di dalam jaringan tanaman dan tidak bersifat patogen. Bakteri endofit yang berada dalam jaringan tanaman kaliandra dapat dimanfaatkan sebagai biofertilizer. Biofertilizer merupakan pupuk hayati yang mengandung mikroorganisme hidup yang dapat membantu pemulihan lahan pasca tambang dengan cara menyediakan unsur hara mikro dalam tanah. Biofertilizer bermanfaat dalam meningkatkan produksi tanaman dengan cara meningkatkan pertumbuhan tanaman dan pertumbuhan anakan atau tunas pada tanaman (Martínez-Hidalgo *et al.*, 2021).

Tanaman kaliandra merah memiliki performa pertumbuhan yang baik pada lahan marginal pasca tambang. Lahan marginal merupakan lahan yang memiliki keterbatasan dalam mendukung pertumbuhan organisme akibat kondisi fisik, kimia, maupun biologi tanah yang tidak optimal. Salah satu ciri utama lahan marginal adalah miskin hara esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta rendahnya kandungan bahan organik. Selain itu, lahan ini sering kali memiliki pH ekstrem, struktur tanah yang kurang baik, atau tingkat salinitas tinggi yang semakin menurunkan kesuburan tanah. Kondisi tersebut menjadikan lahan marginal sulit dimanfaatkan secara produktif

sebagai habitat organisme, baik tanaman maupun mikroba tanah, karena keterbatasan ketersediaan nutrisi dan rendahnya kualitas lingkungan hidup (Simarmata et al., 2016).

Keterbatasan unsur hara pada lahan marginal PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk juga berdampak pada rendahnya aktivitas biologi tanah, termasuk mikroorganisme yang berperan penting dalam dekomposisi dan siklus nutrisi. Tanpa intervensi, lahan marginal akan tetap berada dalam kondisi degradasi, sehingga pemanfaatannya untuk pertanian atau kegiatan ekologis lain menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemulihan melalui pendekatan yang berkelanjutan, salah satunya dengan pemanfaatan teknologi berbasis hayati (Village & Regency, 2021). Biofertilizer merupakan alternatif yang potensial dalam membantu menyediakan hara tanah, memulihkan lahan kritis, serta memperbaiki struktur tanah. Kemampuan biofertilizer dalam memulihkan lahan akan berdampak pada keberlangsungan hidup mikroorganisme tanah, khususnya adalah makrofauna tanah yang keberadaannya akan menunjang pertumbuhan tanaman dan penting untuk keseimbangan ekosistem (Hajoeningtjas, 2023).

Biofertilizer mengolonisasi sistem perakaran tanaman secara kompetitif, hal tersebut berdampak pada meningkatnya penyerapan nutrisi, meningkatkan produktivitas dan hasil panen, meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres dan ketahanannya terhadap patogen, serta meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme seperti mobilisasi unsur esensial, nutrisi, dan hormon pertumbuhan tanaman. **Biofertilizer bersifat hemat biaya dan ramah lingkungan, dan penggunaannya yang terus-menerus meningkatkan kesuburan tanah.** Biofertilizer juga **meningkatkan hasil panen hingga 10–40% dengan meningkatkan kandungan protein, asam amino esensial, dan vitamin, serta melalui fiksasi nitrogen** (Daniel et al., 2022).

Sebuah study menyebutkan bahwa tanaman kaliandra merupakan tanaman multiguna yang seluruh bagian tanaman dapat dimanfaatkan, mulai dari bunga, batang, daun, hingga akar (Maulidani et al., 2019). Namun, potensi tanaman ini belum banyak diteliti di Indonesia. Selama ini, tanaman kaliandra merah yang ada di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk hanya dimanfaatkan daun dan batangnya, yaitu sebagai sumber pakan ruminansia.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendukung komitmen PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dalam **melestarikan lingkungan** adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme hidup ramah lingkungan dalam membantu proses pemulihan lingkungan. Tanaman kaliandra memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai pupuk hayati, yaitu dengan mengeksplorasi bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai kandidat biofertilizer untuk

membantu memulihkan lahan kritis pasca tambang, membantu pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan nilai biodiversitas.

Pengembangan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri kaliandra merah dapat berkontribusi besar dalam upaya pemulihan lahan pasca tambang serta **membantu dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan** karena biofertilizer menekan risiko pencemaran lingkungan akibat penggunaan pupuk kimia, membantu dalam mempromosikan pertumbuhan tanaman, memperpendek usia perbungaan, memperpanjang umur perakaran, dan menyuburkan tanah melalui penyediaan unsur hara. Pengembangan biofer berbasis kaliandra dapat dilakukan dengan mengisolasi bakteri endofit pada jaringan akar tanaman kaliandra tanpa merusak bagian tumbuhan yang lain, sehingga tanaman ini tetap dapat dimanfaatkan sebagai agen remediasi lahan pasca tambang serta sebagai pakan ruminansia.



**Gambar 1.** Kondisi tanaman kaliandra di lahan pasca tambang kapur

## **2. Asal Usul Ide Perubahan atau Inovasi**

Program inovasi **Biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang kapur** ini berasal dari **perusahaan sendiri**. Ide inovasi ini muncul karena melimpahnya tanaman potensial kaliandra merah yang memiliki kemampuan asosiasi dengan bakteri rhizobium di lahan pasca tambang kapur yang belum dimanfaatkan secara optimal. Kalindra merah merupakan tanaman neurotropis yang memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan yang kurang baik, miskin hara, dan pH asam (Vargas-Díaz et al., 2019).

Tanaman ini menunjukkan performa pertumbuhan yang baik pada lahan marginal, dimana banyak tanaman yang tidak dapat tumbuh baik pada lahan tersebut.

Lahan marginal merupakan lahan kritis yang memiliki pH ekstrem dan miskin unsur hara, sehingga tidak semua organisme dapat hidup pada lahan marginal. Jenis organisme yang tidak kalah penting dalam membantu proses pemulihan lahan pasca tambang adalah makrofauna tanah. Makrofauna tanah umumnya hidup pada tegakan yaitu kutu, ulat, dan dekomposer. Sedangkan pada tanah yang sehat, biasanya ditandai dengan adanya makrofauna tanah kelas tinggi seperti cacing yang dapat menghasilkan kascing yang berfungsi dalam penyuburan tanah.

Upaya untuk meningkatkan diversitas di lahan pasca tambang, khususnya pada makrofauna tanah di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk dapat dimulai dengan pemulihan kondisi tanah pasca tambang. Tanaman yang banyak ditanam di lahan pasca tambang adalah kaliandra merah yang merupakan tanaman *leguminosae*, yakni memiliki kemampuan bersimbiosis dengan bakteri rhizobium penambat nitrogen di udara sehingga tanaman ini mampu menyediakan unsur hara pada tanah dan membantu proses pemulihan tanah. Disisi lain, kemampuan tanaman kaliandra merah untuk tetap tumbuh di lahan miskin hara juga didukung dengan adanya bakteri endofit yang tumbuh di dalam jaringan tanaman, seperti pada daun, batang, dan akar. Bakteri endofit yang hidup didalam jaringan tanaman tidak menyebabkan patogen ataupun merusak jaringan tanaman, tetapi membantu penyediaan unsur hara tanaman serta melindungi tanaman dari cekaman kondisi lingkungan ekstrem (Mwangi et al., 2024).

Bakteri endofit tanaman kaliandra yang dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap kondisi lingkungan, dapat dimanfaatkan sebagai biofertilizer untuk membantu proses pemulihan lahan pasca tambang. Biofertilizer berbasis konsoridium tanaman kaliandra merah memiliki potensi dalam penyediaan unsur hara tanah dan membantu proses pemulihan lahan marginal yang akan berdampak pada kestabilan rantai makanan di alam, peningkatan biodiversitas di lahan pasca tambang, dan membantu dalam menyeimbangkan ekosistem (Korir et al., 2016).

Penggunaan biofer pada lahan marginal dapat memberikan manfaat jangka panjang dalam memulihkan kualitas tanah. Mikroba di dalam biofer, seperti bakteri penambat nitrogen, pelarut fosfat, atau penghasil hormon pertumbuhan tanaman, bekerja secara sinergis untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung keberlangsungan organisme di dalamnya. Dengan cara ini, biofer tidak hanya menyediakan nutrisi secara langsung, tetapi juga memperbaiki ekosistem tanah melalui peningkatan aktivitas biologi dan ketersediaan unsur hara. Penerapan biofer secara konsisten dapat mengubah lahan marginal yang semula miskin hara menjadi lahan yang lebih

produktif dan berkelanjutan, sekaligus mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang berpotensi merusak lingkungan.

### 3. Penelitian Biofertilizer Konsorsium Bakteri Endofit Kaliandra

Program inovasi biofertilizer konsorsium bakteri endofit kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan penelitian yang diinisiasi untuk melihat potensi bakteri endofit sebagai biofertilizer yang **belum pernah** dilakukan sebelumnya di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk, bahkan di Indonesia. Ide inovasi berupa pemanfaatan tanaman multiguna kaliandra yang berada melimpah di kawasan lahan pasca tambang seluas 10 Ha dan belum dimanfaatkan secara optimal. Hingga saat ini, bagian dari tanaman kaliandra yang dimanfaatkan hanyalah daun kaliandra, yaitu sebagai pakan ruminansia.

Kaliandra sendiri merupakan tanaman *leguminosae* yang memiliki kemampuan bersimbiosis dengan bakteri penambat rhizobium membentuk bintil akar. Asosiasi bakteri dengan tanaman kaliandra tidak lepas dari peran bakteri endofit yang hidup di dalam jaringan tanaman kaliandra yang membantu tanaman kaliandra dalam memperoleh unsur hara, produksi hormon, dan membantu melindungi tanaman dari serangan hama (Kaho et al., 2018). Kesadaran perusahaan akan pentingnya menjaga ekosistem di lahan pasca tambang kapur memunculkan ide inovasi pemanfaatan bakteri lokal endofit tanaman kaliandra merah sebagai pupuk hayati yang ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan ekosistem di lahan pasca tambang kapur.



**Gambar 2.** Pengambilan sampel akar kaliandra untuk analisis bakteri endofit

#### 4. Perubahan yang dilakukan dari sistem lama

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban melakukan inovasi **Biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi dalam meningkatkan nilai biodiversitas di kawasan lahan pasca tambang kapur**, dimana sebelumnya tanaman kaliandra hanya dimanfaatkan bagian daunnya sebagai pakan ternak ruminansia. Pembuatan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu isolasi dan karakterisasi kandidat bakteri endofit potensial yang ada di akar tanaman kaliandra, selanjutnya bakteri potensial digunakan sebagai bahan utama pembuatan biofertilizer bersama dengan bahan pembawa berupa molase, yeast extract, dan magnesium sulfat. Langkah terakhir adalah uji coba biofertilizer di area lahan pasca tambang.

Pengembangan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra tergolong sangat baru bahkan belum pernah dilakukan di Indonesia, namun sudah dilakukan di negara-negara luar seperti Amerika dan Eropa. Sehingga, pengembangan biofertilizer berbasis bakteri endofit tanaman kaliandra ini dapat dikatakan sebagai inovasi pertama di Indonesia.



**Gambar 3.** Proses pembuatan Biofertilizer konsorsium bakteri endofit kaliandra

##### a. Perubahan sistem dari program inovasi

Program pengembangan biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi di lahan pasca tambang kapur berdampak pada **perubahan sistem**, dimana dilakukan **pemanfaatan** akar kaliandra merah di lahan

pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk menjadi produk pupuk hayati yang bernilai guna tinggi.

Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit ini dapat menjadi salah satu alternatif dalam upaya pemulihan lahan kritis, membantu pertumbuhan tanaman pertanian melalui penyediaan unsur hara oleh bakteri, serta meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang dengan cara yang ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan program pemerintah yaitu mewujudkan **ketahan pangan dan pertanian berkelanjutan**.

Adanya produk biofertilizer dari pemanfaatan bakteri endofit kaliandra ini juga diharapkan dapat menjadi sumber pupuk hayati dan membantu merubah pola pikir masyarakat tentang pola penggunaan pestisida yang selama ini dijalankan. Program inovasi ini juga dilakukan kerjasama dengan dinas ketahanan pangan, pertanian, dan perikanan kabupaten Tuban, dimana melibatkan pendamping lapangan yang ada dibawah naungan dinas tersebut. Kerjasama ini dilakukan agar hasil yang diperoleh dari program inovasi ini bisa memberi kebermanfaatan secara luas. Selain itu, kerjasama ini juga dianggap menjadi langkah yang tepat dimana Dinas Ketahanan Pangan, Pertanian, dan Perikanan Kabupaten Tuban merupakan salah satu *stakeholder* di Kabupaten Tuban yang memiliki tanggung jawab terhadap masalah pertanian berkelanjutan.



**Gambar 4.** Koordinasi dengan Dinas Ketahanan Pangan, Pertanian, dan Perikanan Kabupaten Tuban.

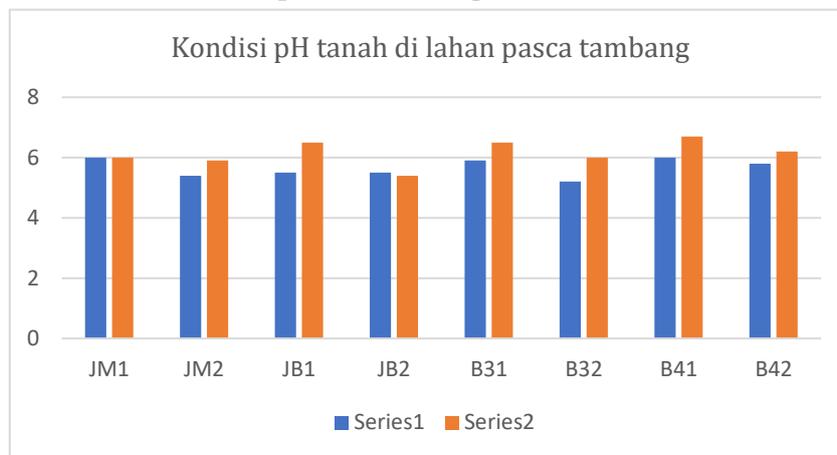
Sedangkan penjelasan perbandingan kondisi sebelum adanya program dan setelah adanya program diuraikan sebagai berikut:

- i. Kondisi sebelum adanya program: Sebelum adanya program inovasi **Biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang** ini, tanaman kaliandra hanya dimanfaatkan bagian daunnya sebagai pakan ternak serta kondisi lahan pasca tambang memiliki pH yang ekstrem yang menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh optimal dan rendahnya komunitas makrofauna tanah.
- ii. Kondisi setelah adanya program: setelah dilakukan program inovasi **Biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang** adalah **pemulihan lahan pasca tambang**, yaitu dengan meningkatnya pH di lahan pasca tambang, dimana sebelum aplikasi biofertilizer pH lahan pasca tambang berada pada nilai rata-rata 5.8 dan setelah pengaplikasian biofertilizer terjadi peningkatan pada angka 6. Peningkatan pH tanah pada lahan pasca tambang mengindikasikan adanya keberhasilan proses pemulihan lahan pasca tambang. **Proses pemulihan lahan pasca tambang dalam jangka waktu lama akan berdampak pada peningkatan nilai biodiversitas makrofauna tanah di lahan pasca tambang.** Inovasi biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra di lahan pasca tambang ini dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya adalah pengambilan sampel akar, isolasi bakteri endofit jaringan akar kaliandra, kultur bakteri, identifikasi morfologi bakteri, kultur pada media selektif pikovskaya's, pemurnian bakteri, uji gram, katalase, motilitas, dan endospora. Setelah semua uji dilakukan, kandidat bakteri potensial dikultur pada media cair yang kemudian dilakukan uji kepadatan bakteri dengan standar McFarland 0.5 dengan panjang gelombang 600nm. Terakhir adalah pembuatan biofertilizer dan uji standarisasi biofer, yaitu uji pH dan OD.

**b. Dampak lingkungan dari Program Inovasi**

Dampak lingkungan yang dihasilkan dari adanya inovasi pengembangan biofertilizer konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang adalah **pengoptimalan pemanfaatan tanaman kaliandra di lahan pasca tambang sebagai pupuk hayati berbasis konsorsium bakteri endofit** yang diisolasi dari

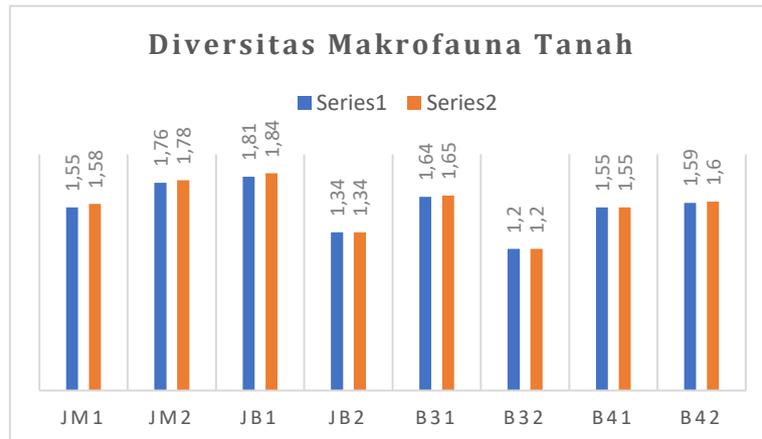
jaringan akar tanaman kaliandra merah. Dampak lain setelah adanya inovasi ini adalah **pemulihan lahan pasca tambang**, yaitu dengan meningkatnya pH tanah di lahan pasca tambang sebesar 0,49, dimana sebelum aplikasi biofertilizer pH lahan pasca tambang berada pada nilai rata-rata 5.66 dan setelah pengaplikasian biofertilizer terjadi peningkatan pada angka 6,15. Peningkatan pH tanah mendekati angka ideal (6,5 – 7,8) pada lahan pasca tambang **mengindikasikan adanya keberhasilan proses pemulihan lahan pasca tambang. Proses pemulihan lahan pasca tambang dalam jangka waktu lama akan berdampak pada peningkatan nilai biodiversitas makrofauna tanah di lahan pasca tambang.**



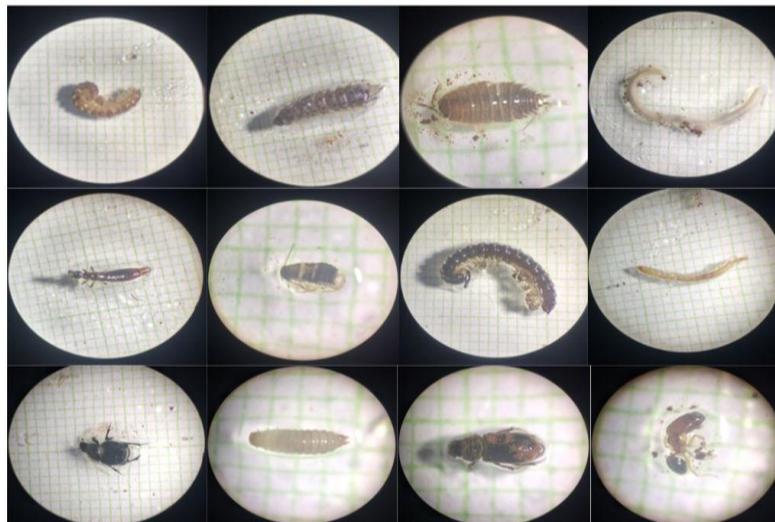
**Gambar 5.** Kondisi pH tanah di lahan pasca tambang kapur, sebelum dan sesudah aplikasi biofertilizer

Hal ini juga dapat dilihat dari adanya **peningkatan indeks keanekaragaman hayati** makrofauna tanah di area tersebut yaitu, Indeks keanekaragaman hayati ( $H'$ ) untuk **makrofauna tanah** mengalami **peningkatan sebesar 0.01** yaitu dari 1.55 menjadi 1.56 pada bulan pertama pengambilan sampel di tahun 2025 dan meningkat pada bulan ketiga setelah pengaplikasian biofertilizer pada lahan pasca tambang. Dalam satu tahun pengaplikasian biofertilizer dapat berdampak pada peningkatan

biodiversitas makrofauna tanah sebesar 0,04. Perhitungan H' pada masing-masing plot sampling pada tiap pengulangan terdapat pada gambar berikut.



**Gambar 6.** Diversitas komunitas makrofauna tanah di lahan pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban sebelum dan sesudah aplikasi biofer.



**Gambar 7.** Hasil pengamatan makrofauna tanah di lahan pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

i. Perhitungan hasil absolute

Perhitungan hasil absolute pada program inovasi pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban ini dilakukan terhadap beberapa parameter, yaitu parameter lingkungan berupa indeks makrofauna tanah. Parameter kedua yang diperoleh hasil absolutnya berupa profil kandidat bakteri, berupa jenis bakteri, kemampuan katalase, fosfatase, endospora, dan motilitas bakteri. Parameter lain

adalah profil biofertilizer yang disesuaikan dengan standar penggunaan biofertilizer, berupa nilai *Optical density* dan pH biofertilizer.

Sementara jenis bakteri endofit hasil isolasi pada akar kaliandra merah sebagai kandidat biofertilizer diuji dengan pengujian gram, katalase, dan kemampuan dalam melarutkan fosfat. Hasil isolasi kandidat bakteri terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil uji analisis potensi pada isolat bakteri endofit kandidat biofertilizer

Kode	Nama	Gram	Katalase	F	Motil	Spore
AKPT1	Sp 1	+	+	-	-	-
AKPT2	Sp 2	-	+	-	-	-
AKPT3	<i>Bacillus</i> spp	+	+	+	+	+
AKPT4	Sp 4	-	+	-	-	-
AKPT5	<i>Pseudomonas</i> spp.	-	+	-	+	-
AKPT6	Sp 6	+	+	-	-	-
AKPT7	<i>Baccillus</i> spp. ( <i>B. megaterium</i> )	+	+	+	+	+
AKPT8	<i>Actinomyces</i>	+	+	+	+	-

Berdasarkan tabel 1, isolat yang dapat digunakan sebagai kandidat biofer adalah isolat dengan nomor kode AKPT 3, AKPT 5, AKPT 7, dan AKPT8. Hasil karakterisasi fungsional mengungkapkan bahwa dua dari keempat isolat kandidat menunjukkan kemampuan yang unggul dalam melarutkan fosfat anorganik pada media spesifik Pikovskaya's Agar. Kemampuan ini dimediasi melalui produksi asam organik, seperti asam glukonat dan asam sitrat, yang akan menghelat ion kalsium atau besi yang mengikat fosfat, sehingga melepaskan ion fosfat ( $PO_4^{3-}$ ) yang tersedia bagi tanaman. Dua isolat lainnya, meskipun tidak menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat yang signifikan, diduga memiliki mekanisme promotor pertumbuhan tanaman yang lain, sehingga tetap berpotensi untuk dikembangkan.

Kemampuan pelarutan fosfat yang dimiliki oleh bakteri, khususnya kelompok yang dikenal sebagai Phosphate-Solubilizing Bacteria (PSB), memainkan **peran krusial dan multifaset dalam strategi pemulihan lahan terdegradasi**. Lahan terdegradasi seringkali dicirikan oleh rendahnya kesuburan tanah, termasuk terkunci atau terikatnya unsur hara esensial seperti fosfor (P) dalam bentuk senyawa anorganik yang tidak tersedia bagi tanaman (seperti kalsium fosfat, besi fosfat, atau aluminium fosfat) maupun dalam bentuk organik. PSB, melalui aktivitas metabolisme mereka, mensekresikan asam organik (seperti asam sitrat, asam glukonat, asam oksalat), enzim

fosfatase, dan ion H<sup>+</sup>, yang berfungsi untuk melarutkan atau memineralisasi bentuk-bentuk fosfat yang tidak tersedia tersebut. Proses ini mengubah fosfor menjadi bentuk ortofosfat terlarut (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> atau HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) yang dapat diabsorpsi langsung oleh sistem perakaran tanaman, sehingga secara langsung **meningkatkan ketersediaan hara P di dalam tanah.**

Selain meningkatkan ketersediaan hara, **aktivitas PSB juga berkontribusi pada perbaikan sifat kimia dan biologis tanah yang lebih luas, yang merupakan inti dari proses rehabilitasi lahan terdegradasi.** Asam organik yang dihasilkan tidak hanya melarutkan P tetapi juga dapat membantu dalam pelepasan kation mikro lainnya seperti besi, seng, dan kalium, serta berperan dalam menurunkan pH rhizosfer yang pada tanah alkalin dapat semakin meningkatkan kelarutan hara. Keberadaan dan aktivitas mikroba ini **meningkatkan populasi dan keanekaragaman hayati tanah, memulihkan jaring-jaring makanan mikroba, dan memperbaiki struktur tanah melalui produksi eksopolisakarida yang mengikat agregat tanah.** Dengan demikian, PSB bertindak sebagai katalisator yang memicu proses pemulihan kesuburan tanah secara alami.

Secara ekologis, introduksi atau stimulasi populasi PSB asli pada lahan terdegradasi menciptakan efek kaskade yang **mempercepat suksesi ekologis.** Ketersediaan P yang meningkat mendukung pertumbuhan vegetasi pionir (seperti tanaman penutup atau legum), yang pada gilirannya menstabilkan tanah, mencegah erosi, dan menambah bahan organik melalui serasah dan perakaran. Peningkatan biomassa tanaman ini menciptakan mikroklimat yang lebih kondusif bagi organisme tanah lainnya, membentuk siklus hara yang lebih mandiri dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pemanfaatan bakteri pelarut fosfat bukan hanya sekadar strategi fertilisasi biologis, melainkan suatu pendekatan bioremediasi yang holistik untuk memulihkan fungsi ekosistem tanah yang telah hilang.

Dua isolat *Bacillus* yang positif pelarut fosfat diduga kuat merupakan spesies seperti *Bacillus megaterium* atau *Bacillus subtilis*. Keduanya dikenal sebagai Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) yang sangat efisien. Sifat Gram-positif dan kemampuan membentuk endospora pada genus *Bacillus* menjadikannya sangat tahan terhadap kondisi lingkungan yang stres dan mudah untuk diformulasi menjadi inokulan biofertilizer yang memiliki viabilitas penyimpanan jangka panjang.

Sementara itu, isolat *Actinomycetes*, yang kemungkinan besar berasal dari genus *Streptomyces*, menawarkan manfaat multifungsi yang komplementer. Selain

memiliki kemampuan pelarutan fosfat dan produksi hormon tumbuh, Actinomycetes terkenal sebagai produsen alami dari berbagai senyawa antibiotik dan antifungal. Kehadirannya dalam konsorsium ini tidak hanya bertujuan untuk menyuburkan tanah, tetapi juga untuk memberikan **perlindungan biologis** (biocontrol) dengan menekan populasi patogen tular tanah yang dapat mengganggu proses revegetasi.

Oleh karena itu, keempat isolat endofit ini membentuk sebuah konsorsium biofertilizer yang komprehensif dan sinergis. Dua isolat *Bacillus* pelarut fosfat berperan sebagai penyedia hara fosfor utama. Isolat *Bacillus* kedua dan isolat Actinomycetes berperan sebagai agen pendukung melalui mekanisme yang masih perlu dieksplorasi lebih lanjut, seperti fiksasi nitrogen, produksi fitohormon, atau antagonisme terhadap patogen. Pemanfaatan konsorsium seperti ini diharapkan dapat secara efektif memacu kesuburan tanah, pertumbuhan tanaman, dan pada akhirnya memulihkan kesehatan ekosistem lahan terdegradasi.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri. Sebelum tahap pembuatan, dilakukan uji antagonisme untuk mengetahui apakah bakteri saling menghambat satu dengan yang lain atau saling bersinergi. Hasil uji antagonisme menunjukkan antara satu bakteri dengan bakteri kandidat lain **tidak saling menghambat** sehingga dapat digunakan sebagai biofertilizer berbasis konsorsium.

Biofertilizer dibuat dengan bahan pembawa molase, yeast extract, dan magnesium sulfat. Sebelum digunakan, produk biofertilizer harus dipastikan memiliki pH netral atau 7 dan memiliki absorbansi 0,8 atau setara dengan  $10^8$  bakteri tiap mL. **Biofer yang dibuat sudah memenuhi standar uji pH dan kepadatan yaitu dengan nilai 0.824 pada standar gelombang 600nm.**

Formulasi biofertilizer (biofer) dibuat dengan mempertimbangkan kondisi fisiologis mikroba yang dikandungnya agar tetap memiliki viabilitas tinggi dan efektivitas optimal saat diaplikasikan. Salah satu parameter penting adalah **pH media**, yang umumnya diatur mendekati netral (pH 7). Sebagian besar bakteri yang digunakan sebagai agen hayati, seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Azotobacter*, merupakan mikroorganisme netrofil yang tumbuh optimal pada pH netral. Pada kondisi ini, enzim-enzim metabolik dapat bekerja dengan efisien sehingga bakteri mampu mempertahankan aktivitas fisiologisnya. Jika pH media terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa) akan mengganggu integritas membran sel, menurunkan aktivitas enzim, dan pada akhirnya menyebabkan penurunan viabilitas bakteri.

Parameter lain yang menjadi standar dalam biofer adalah **kepadatan populasi sel bakteri**, yang biasanya diukur menggunakan nilai *Optical Density* (OD) pada panjang gelombang 600 nm. OD berkorelasi dengan jumlah sel hidup dalam suspensi, sehingga dapat digunakan sebagai indikator konsentrasi inokulum. Standar OD 0.8 dipilih berdasarkan standar McFarland 0,5 karena mewakili fase pertumbuhan eksponensial akhir (late log phase), yaitu saat bakteri masih aktif membelah dengan metabolisme tinggi, tetapi belum mengalami penurunan viabilitas yang signifikan. Kondisi ini sangat penting untuk memastikan bahwa biofer mengandung jumlah sel yang cukup untuk berkompetisi dan berkolonisasi di lingkungan tanah.

Apabila pH formulasi biofer menyimpang dari nilai netral, risiko penurunan kualitas produk menjadi tinggi. Media dengan pH asam dapat mempercepat degradasi dinding sel bakteri, sementara kondisi basa dapat mengganggu sistem transport membran dan menyebabkan lisis sel. Hal serupa berlaku pada parameter OD: kepadatan sel yang terlalu rendah ( $<0.5$ ) menyebabkan inokulum kurang efektif karena jumlah populasi bakteri tidak mencukupi, sedangkan kepadatan yang terlalu tinggi ( $>1.0$ ) menyebabkan kompetisi internal antarsel terhadap oksigen dan nutrisi, sehingga banyak sel mengalami stress atau bahkan mati sebelum diaplikasikan. Dengan demikian, pengendalian kedua parameter ini merupakan langkah esensial dalam menjaga mutu biofer.

Secara keseluruhan, pH yang stabil pada kisaran 7 dan OD sekitar 0.8 merupakan standar penting yang berfungsi menjaga keseimbangan fisiologis bakteri serta efektivitas aplikasi biofertilizer. Kombinasi kondisi tersebut menjamin bahwa bakteri berada dalam keadaan hidup aktif dan mampu beradaptasi lebih cepat saat diaplikasikan ke tanah. Hal ini tidak hanya mendukung keberlangsungan populasi bakteri dalam ekosistem tanah, tetapi juga meningkatkan peluang keberhasilan biofer dalam memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

## ii. Anggaran Program

Anggaran yang dibutuhkan dalam pelaksanaan inovasi Pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang ini terdiri atas **biaya analisis laboratorium dan uji lapangan**. Lebih lanjut, biaya tersebut diuraikan dalam uraian berikut:

Biaya analisis laboratorium: merupakan biaya yang dibutuhkan untuk kegiatan isolasi kandidat bakteri, uji potensi bakteri, pembuatan biofertilizer, dan uji kualitas biofertilizer. Isolasi bakteri membutuhkan bahan-bahan standar mikrobiologi untuk memastikan bahwa isolat yang didapatkan merupakan isolat bakteri endofit dan tidak terkontaminasi dengan bakteri rizosfer maupun bakteri yang hidup pada permukaan akar. Bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan 20 liter biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit diuraikan sebagai berikut:

**Tabel 2.** Uraian kebutuhan pembuatan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit kaliandra

No	Keterangan	Jumlah	Harga satuan	Total
1	Media NA	500gram	1.900.000	1.900.000
2	Pikovskaya's	500gram	1.687.500	1.687.500
3	Aquades	60 liter	30.000	1.800.000
4	Etanol 70%	1000mL	120.000	120.000
5	Alkohol 70%	1000 mL	100.000	100.000
6	Cawan petri	56	35.000	1.960.000
7	Tabung reaksi	46	10.000	460.000
8	Botol kaca 250 mL	16	20.000	320.000
9	Spirtus	2 liter	35.000	70.000
10	Tissu	2 pack	50.000	100.000
11	Alumunium foil	2	50.000	100.000
12	Plastic wrap	3	30.000	90.000
13	Glove nitril	3	85.456	256.368
14	Masker medis	3	51.000	153.000
15	Hipoklorit	2 liter	48.250	96.500
16	Yeast extract	500gram	600	300.000
17	Magnesium sulfat	500gram	490	245.000
18	Nutrient broth	500gram	570	285.000
19	Molase	1 liter	60.000	60.000
20	pH meter universal	1 buah	113.000	113.000
21	Hidrogen peroksida	500 mL	187.333	187.333
22	Cat gram	1 set	588.500	588.500
23	Agar powder	100gram	350.000	350.000
24	Klin lisol lab	5 liter	50.000	250.000
25	Plastik klip 40x30	1 pack	90.000	90.000
26	Label	1 pack	10.000	10.000
27	Spidol	4	10.000	40.000
28	Cetok	5	20.000	100.000
29	Gunting sampling	4	20.000	80.000
30	Botol spray 1 liter	2	20.000	40.000

31	Desain produk		100.000	100.000
32	Erlenmeyer 1000 mL	10	125.000	1.250.000
33	Beaker glass 1000 mL	5	80.500	402.500
34	Erlenmeyer 250 mL	10	58.500	585.000
35	Beaker glass 200 mL	10	26.000	260.000
36	Mikropipet 1 mL	1	2.000.000	2.000.000
37	Mikropipet 500 mikroliter	1	1.500.000	1.500.000
38	Inkubator cool and heat	1	6.900.000	6.900.000
39	Ice cooler box	2	300.000	600.000
40	Blue tip	2	125.000	250.000
41	White tip	2	50.000	100.000
42	Uji absorbansi	8 sampel	200.000	1.600.000
Jumlah				27.499.701

**c. Nilai Tambah Program Inovasi**

Aplikasi program inovasi Pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra ini telah memberikan nilai tambah, baik internal perusahaan maupun bagi masyarakat sekitar, khususnya adalah petani di kawasan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Nilai tambah tersebut diuraikan dalam uraian berikut:

i. Perusahaan

Inovasi Pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra ini memberikan **nilai tambah** bagi perusahaan, dimana produk biofertilizer ini dapat digunakan sebagai salah satu agen remediasi lahan pasca tambang serta untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang

ii. Masyarakat

**Nilai tambah** adanya inovasi pengembangan biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra merah bagi Masyarakat adalah Masyarakat khususnya petani di kawasan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tuban mendapatkan transfer *knowledge* terkait pemanfaatan tanaman kaliandra sebagai pupuk hayati atau biofertilizer. Kegiatan transfer *knowledge* ini dilakukan pada tanggal 09 September 2025, dimana kegiatan ini diikuti oleh para petani *Greenbelt* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Dalam kegiatan tersebut disampaikan manfaat tanaman multiguna kaliandra sekaligus memperkenalkan salah satu produk hasil pemanfaatan tanaman kaliandra yaitu biofertilizer sebagai alternatif pupuk kimia. Dimana, biofertilizer

berbasis bakteri kaliandra ini merupakan pupuk hayati yang ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan pertanian.



**Gambar 8.** Kegiatan transfer knowledge kepada petani *greenbelt* di Kawasan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban

### iii. Replikasi program

Terkait replikasi program, telah dilakukan **transfer knowledge** inovasi Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan nilai biodiversitas di lahan pasca tambang kapur kepada mahasiswa **Universitas PGRI Ronggolawe Tuban (UNIROW)** yang dilakukan pada Sabtu, 20 Agustus 2025.

Dalam kegiatan tersebut, terjadi **transfer ilmu** tentang potensi pemanfaatan bakteri endofit pada jaringan tanaman kaliandra merah sebagai pupuk hayati **oleh pihak industri kepada institusi pendidikan**. Dalam kegiatan tersebut juga disampaikan bahwa pihak inovasi ini dapat menjadi **rujukan** bagi mahasiswa Universitas PGRI Ronggolawe (UNIROW) dan melalui kegiatan studi dan riset dosen dan mahasiswa, pihak UNIROW juga akan melakukan pengembangan pemanfaatan tanaman kaliandra di lahan pasca tambang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban, serta melakukan penggalian manfaat lain dari keberadaan tanaman kaliandra merah pada lahan pasca tambang tersebut. Dengan demikian, diharapkan nantinya akan tercipta **Link and Match** antara **dunia pendidikan dengan dunia industri**. Selain itu juga dapat dilakukan sinergi kegiatan yang melibatkan mahasiswa maupun dosen dari institusi perguruan tinggi setempat dalam melakukan pengembangan lebih lanjut dari produk inovasi ini menjadi produk dengan nilai ekonomi tinggi, sehingga

dapat membantu meningkatkan perekonomian Masyarakat melalui pemanfaatan biofer sebagai alternatif pengganti pestisida.

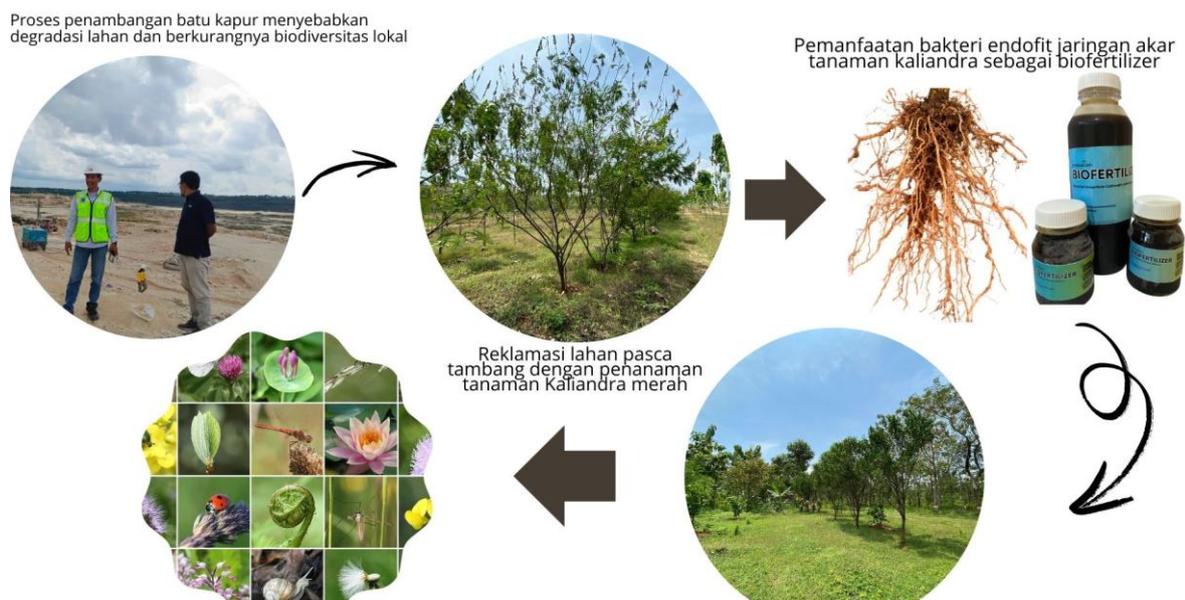


**Gambar 9.** Proses transfer *knowledge* pemanfaatan tanaman kaliandra kepada mahasiswa Universitas PGRI Ronggolawe Tuban

### 5. Gambaran Skematis atau Visual Program Inovasi

Pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra sebagai agen bioremediasi untuk meningkatkan biodiversitas di lahan pasca tambang kapur ini dilakukan dengan pengambilan bagian tanaman seperti akar dan daun yang kemudian dilanjutkan dengan uji laboratorium. Dalam hal ini, pengujian yang dilakukan adalah isolasi bakteri kandidat biofertilizer, pembuatan biofertilizer, dan pengaplikasian biofertilizer di lahan pasca tambang.

Gambaran skematis atau visual dari program inovasi pengembangan Biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Gambaran skematis program inovasi biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit tanaman kaliandra di lahan pasca tambang kapur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

## Daftar Pustaka

- Aina, A. N., Nurtjahyani, S. D., Sriwulan, S., & Purnomo, E. (2023). Isolation And Identification of Arbuscula Mycorrhiza (Ma) In Plant Rhizosphere in Greenbelt Area of PT. Semen Indonesia Tbk Tuban. *Journal of Biodiversity and Biotechnology*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.20961/jbb.v3i1.72038>
- Daniel, A. I., Fadaka, A. O., Gokul, A., Bakare, O. O., Aina, O., Fisher, S., Burt, A. F., Mavumengwana, V., Keyster, M., & Klein, A. (2022). Biofertilizer: The Future of Food Security and Food Safety. *Microorganisms*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061220>
- Hajoeningtijas, O. D. (2023). Potensi Mikroorganisme Lokal pada Reklamasi Lahan Terdegradasi Sebagai Pendukung Terwujudnya Ketahanan Pangan Nasional. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v5i.747>
- Kaho, F., Yemefack, M., Yongue-Fouateu, R., Kanmegne, J., & Bilong, P. (2018). Potentials of Calliandra calothyrsus Meissner for Improving Soil Fertility and Maize Performance in the Forest Savannah Transition Zone of Cameroon. *Nigerian Journal of Soil and Environmental Research*, 7(1), 33–44. <https://doi.org/10.4314/njser.v7i1.28416>
- Kartikawati, A., Trisilawati, O., & Darwati, I. (2017). Pemanfaatan pupuk hayati (biofertilizer) pada tanaman rempah dan obat. *Jurnal Prespektif*, 16(1), 33–43.
- Korir, D., Goopy, J. P., Gachuri, C., & Butterbach-Bahl, K. (2016). Supplementation with Calliandra calothyrsus improves nitrogen retention in cattle fed low-protein diets. *Animal Production Science*, 56(3), 619–626. <https://doi.org/10.1071/AN15569>
- Martínez-Hidalgo, P., Flores-Félix, J. D., Sánchez-Juanes, F., Rivas, R., Mateos, P. F., Regina, I. S., Peix, Á., Martínez-Molina, E., Igual, J. M., & Velázquez, E. (2021). Identification of canola roots endophytic bacteria and analysis of their potential as biofertilizers for canola crops with special emphasis on sporulating bacteria. *Agronomy*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy11091796>
- Maulidani, A., Hatta, G. M., Yudi, D., Arifin, F., & Kehutanan, J. (2019). Studi daya dan kualitas hidup kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus*) pada tiga jenis tanah di areal reklamasi bekas penambangan semen. *Jurnal Sylva Scientiae*, 02(3), 540–547.
- Mwangi, P. M., Eckard, R., Gluecks, I., Merbold, L., Mulat, D. G., Gakige, J., Marquardt, S., & Pinares-Patino, C. S. (2024). Supplementation of a tropical low-quality forage with Calliandra calothyrsus improves sheep health and performance, and reduces methane emission. *Frontiers in Animal Science*, 5(April), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1296203>
- Simarmata, T., Hersanti, Turmuktini, T., Fitriatin, B. N., Setiawati, M. R., & Purwanto. (2016). Application of Bioameliorant and Biofertilizers to Increase the Soil Health and Rice Productivity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(4), 181–184.

<https://doi.org/10.1016/j.hjb.2017.01.001>

Vargas-Díaz, A. A., Ferrera-Cerrato, R., Silva-Rojas, H. V., & Alarcón, A. (2019). Isolation and evaluation of endophytic bacteria from root nodules of glycine max l. (merr.) and their potential use as biofertilizers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(3). <https://doi.org/10.5424/sjar/2019173-14220>

Village, S., & Regency, J. (2021). *Efektivitas Pupuk Organik dan Pupuk Hayati terhadap Pemulihan Tanah Terdegradasi di Desa Sucopangepok Kabupaten Jember Effectiveness of Organic Fertilizer and Biofertilizer on the Recovery of Degraded Soil in*. 45(2), 175–185.

Zakaria, Z., Muslim, D., Sophian, R. I., Kuswaryan, S., & Tanuwiria, U. H. (2013). Bio-engineering, melalui pemanfaatan tanaman kaliandra (*Caliandra calothyrsus*) di wilayah zona rawan longsor, Jawa Barat. *Bulletin of Scientific Contribution*, 11(3), 168–175.