

LAPORAN PELAKSANAAN PROGRAM INOVASI
ASPEK PERLINDUNGAN KEANEKARAGAMAN HAYATI

PROGRAM INOVASI
REKAYASA *VERMICOMPOSTING* PADA LAHAN REKLAMASI
TAMBANG BATU GAMPING DENGAN TEKNIK TANAM
GROOVE PLANTING SYSTEM (GPS) UNTUK PENGAYAAN
ORGANISME TANAH

Periode : Januari – Desember 2021 dan Januari – Juni 2022



PT SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PELAKSANAAN PROGRAM INOVASI ASPEK PERLINDUNGAN KEANEKARAGAMAN HAYATI

PROGRAM INOVASI

REKAYASA *VERMICOMPOSTING* PADA LAHAN REKLAMASI TAMBANG BATU
GAMPING DENGAN TEKNIK TANAM *GROOVE PLANTING SYSTEM* (GPS) UNTUK
PENGAYAAN ORGANISME TANAH

Periode : Januari – Desember 2021 dan Januari – Juni 2022

Disiapkan oleh:	Disetujui oleh:
Tanggal:	Tanggal:

PT SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk

Program Inovasi

Rekayasa *Vermicomposting* Pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping Dengan Teknik Tanam *Groove Planting System* (GPS) Untuk Pengayaan Organisme Tanah

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban memiliki komitmen dalam melakukan upaya perbaikan lingkungan khususnya terkait upaya perlindungan keanekaragaman hayati dari kegiatan Inovasi Rekayasa *Vermicomposting* Pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping Dengan Teknik Tanam *Groove Planting System* (GPS) Untuk Pengayaan Organisme Tanah. Pada tahun 2022, PT Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban melakukan implementasi program unggulan di bidang perlindungan keanekaragaman hayati yaitu program Rekayasa *Vermicomposting* Pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping Dengan Teknik Tanam *Groove Planting System* (GPS) Untuk Pengayaan Organisme Tanah.

1. Permasalahan Awal

Lahan pasca tambang ini merupakan lahan batu gamping yang telah selesai ditambang karena telah mencapai masa batas penambangan (Asmarahman, 2018; Haridjaja, dkk., 2011; Oktafitria, dkk., 2019). Lahan tambang yang telah selesai masa tambang, **harus dilakukan reklamasi** agar lahan tersebut dapat kembali berdaya guna. Proses reklamasi lahan pasca tambang batu kapur secara umum mengandalkan **penebaran tanah pucuk**, sementara keberadaan tanah pucuk **terbatas** (Merisa, dkk., 2019). Oleh karenanya, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban telah mengembangkan sistem tanam yang dapat **menghemat penggunaan tanah pucuk**. Sistem tanam tersebut ialah **sistem tanam alur** atau ***Groove Planting System* (GPS)**.

Sistem tanam GPS di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban telah diaplikasikan sejak tahun 2019 hingga saat ini. Penerapan sistem tanam **GPS** ini telah terbukti memiliki **efektivitas yang lebih baik** dibandingkan dengan sistem tanam konvensional, baik dilihat dari **efisiensi biaya, tenaga kerja, penghematan tanah pucuk**, parameter **pertumbuhan tanaman**, maupun **kualitas tanahnya**. Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Nurtjahyani, dkk. (2020) menunjukkan bahwa sistem tanam GPS memiliki **profil bakteri tanah** yang lebih **melimpah** dibandingkan dengan sistem tanam konvensional dengan penebaran tanah pucuk. Alfariza, dkk. (2021) juga menemukan hal serupa, dimana diperoleh **jumlah dan jenis bakteri tanah** yang **lebih tinggi** pada lahan reklamasi dengan sistem tanam GPS daripada sistem tanam konvensional. Pada parameter pertumbuhan tanaman, sistem tanam GPS juga menunjukkan **pertumbuhan tanaman jati yang lebih baik** dibanding lahan reklamasi sistem konvensional (Nurtjahyani, dkk., 2020).

Sistem tanam GPS yang dikembangkan pertama kali oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban pada tahun 2019 adalah sistem GPS dengan dimensi panjang 100cm, lebar 110cm, kedalaman 60cm, jarak tanam 4x2m, dan jarak antar alur adalah 4m. Dimensi tersebut dirasa masih kurang optimal, sehingga pada

tahun 2020 dilakukan optimalisasi sistem tanam GPS dengan perubahan dimensi menjadi panjang 100cm, lebar 75cm, kedalaman 48cm, dengan jarak tanam 4x3m, dan jarak antar alur adalah 3,25m. Perubahan dimensi tersebut menjadikan peningkatan efisiensi penggunaan tanah pucuk, biaya, dan tenaga kerja untuk proses reklamasi lahan pasca tambang kapur.

Meskipun sistem tanam GPS dapat memberikan banyak manfaat dan menunjukkan tingkat keberhasilan revegetasi yang baik, namun selama proses pemeliharaan tanaman **masih dibutuhkan biaya operasional** yang cukup **tinggi**, terutama untuk meningkatkan kesuburan tanah. Salah satu upaya yang dilakukan agar tanaman revegetasi dapat tumbuh dengan baik, adalah memenuhi kebutuhan nutrisinya. Pemenuhan kebutuhan nutrisi tanaman yang digunakan dalam proses revegetasi lahan pasca tambang batu gamping dilakukan dengan pemberian **pupuk kimia sintetis** (Dewanto, dkk., 2017).

Pemupukan ini dilakukan agar tanaman dapat tumbuh dengan baik meskipun ditanam pada lahan pasca tambang batu gamping yang miskin hara. Pemupukan tanaman revegetasi di lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dilakukan dengan menggunakan **pupuk urea dan phonska**. Pemupukan ini dilakukan setiap **tiga bulan sekali** sebanyak **masing-masing jenis pupuk 45gram per tanaman**.

Penggunaan pupuk kimia, selain membutuhkan **biaya yang besar**, dalam jangka waktu lama dapat menimbulkan **kerusakan tanah** (Fauzan, dkk., 2021; Marwantika, 2020)). Hal ini dikarenakan pupuk kimia juga dikategorikan sebagai **sumber pencemar** karena mengandung unsur tertentu yang masuk ke dalam suatu sistem, dalam hal ini adalah tanah (Wibowo dan Alawiyah, 2019). Dengan demikian akan menyebabkan adanya **residu kimia** pada tanah. Adanya residu kimia ini akan dapat **mengganggu keseimbangan ekosistem tanah** pada area yang tercemar dan memberikan **dampak negatif** bagi **kesuburan tanah** (Prabowo dan Subantoro, 2018).

Residu kimia dalam tanah dapat mempengaruhi **biodiversitas organisme tanah**, baik mikrofauna, makrofauna, maupun mikroorganisme tanah. Di sisi lain, aktivitas dan diversitas biota tanah dapat mempengaruhi **kesehatan dan vigor tanaman**, dimana kesehatan dan vigor tanaman akan meningkat apabila aktivitas dan diversitas biota tanah juga meningkat (Indahwati, 2012). Oleh karenanya perlu dilakukan upaya untuk mengurangi ketergantungan pada penggunaan pupuk kimia, namun tetap dapat mencukupi kebutuhan hara tanaman tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem tanah (Sudjana, 2013).

Upaya tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan organisme perombak bahan organik menjadi anorganik, seperti **cacing tanah**. Cacing tanah merupakan salah satu organisme tanah yang dapat **mempengaruhi sifat-sifat penting tanah**, seperti agregat tanah, kapasitas air tanah, aktivitas mikroflora, dan ketersediaan hara tanah (Sihaloho, dkk., 2015). Dengan demikian, keberadaan cacing tanah sering kali secara tidak langsung mempengaruhi **pertumbuhan tanaman**. Selain pertumbuhan tanaman, keberadaan cacing tanah juga dapat **meningkatkan** daya

dukung lingkungan terhadap aktivitas organisme lain. Sehingga dapat meningkatkan diversitas organisme tanah (Setiawati, dkk., 2018).

Pemanfaatan cacing tanah dalam merombak bahan organik menjadi bahan anorganik melalui proses ingesti dan digesti dikenal dengan istilah **vermicomposting**. Aplikasi vermicomposting terbukti **efektif** dalam membantu meningkatkan hara tanah dan membangun sistem pertanian berkelanjutan yang tidak membahayakan kesehatan, baik tanah, air, maupun udara (Setiawan, dkk., 2018).

Namun, aplikasi vermicomposting dalam proses reklamasi lahan pasca tambang batu gamping **belum pernah** dilakukan. Oleh karena itu, dalam kegiatan inovasi ini dilakukan **rekayasa vermicomposting dalam teknik tanam Alur atau Groove Planting System (GPS) pada proses reklamasi lahan pasca tambang batu gamping**.

2. Asal Usul Ide Perubahan atau Inovasi

Pengembangan program inovasi Rekayasa *Vermicomposting* Pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping Dengan Teknik Tanam *Groove Planting System* (GPS) Untuk Pengayaan Organisme Tanah ini merupakan **modifikasi dari aplikasi teknik tanam GPS** yang telah diimplementasikan **perusahaan sendiri** sejak tahun 2019. Dalam kegiatan inovasi ini, dilakukan **adopsi teknik vermicomposting** yang telah diketahui dapat membantu meningkatkan hara tanah dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman yang **diimplementasikan** pada teknik tanam **GPS** pada lahan reklamasi tambang batu gamping.

Ide inovasi berupa rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk pengayaan organisme ini didasari oleh beberapa hal. Hal-hal yang **mendasari** munculnya ide penelitian inovasi ini antara lain **kebutuhan nutrisi** bagi tanaman dalam proses revegetasi lahan pasca tambang, kebutuhan pupuk tanaman untuk revegetasi lahan pasca tambang batu gamping yang selama ini dipenuhi dari penggunaan **pupuk kimia**, adanya **potensi serasah** daun dan ranting dari tanaman pada lahan reklamasi yang telah dilakukan pada tahun sebelumnya, **kesadaran** perusahaan akan pentingnya menjaga lingkungan agar tercipta **kehidupan yang berkelanjutan**, dan penelitian-penelitian terkait aplikasi vermicomposting yang memberikan banyak manfaat, baik untuk pertumbuhan tanaman maupun untuk peningkatan daya dukung lingkungan terhadap organisme tanah.

Program inovasi ini dilakukan pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban **Tahun 2021** dengan menggunakan tanaman jati (*Tectona grandis*) dan nyamplung (*Callophylum inophyllum* L.). Tanaman tersebut membutuhkan nutrisi baik mikronutrient maupun makronutrient. Sementara lahan pasca tambang batu gamping sendiri memiliki kandungan hara yang rendah. Oleh karenanya dilakukan teknik tanam GPS, dimana pada alur yang dibuat dilakukan penebaran tanah pucuk dengan kedalaman 48cm. Kedalaman ini telah diketahui mampu mendukung pertumbuhan

tanaman jati dengan baik. Selain tanah pucuk yang diketahui memiliki kandungan hara yang cukup baik, kebutuhan nutrisi tanaman jati (*Tectona grandis*) dan nyamplung (*Callophylum inophyllum* L.) ini dipenuhi dengan pemberian **pupuk kimia**. Pupuk kimia yang diberikan adalah jenis **Urea dan Phonska**. Pemberian pupuk sendiri dilakukan setiap **3 bulan sekali** dengan masing-masing jenis pupuk diberikan sebanyak **45gram** untuk setiap tanaman. Dalam **1 hektar lahan** dengan teknik tanam GPS menggunakan dimensi panjang 100cm, lebar 75cm, dan kedalaman 48cm terdapat sekitar 825 tanaman. Dengan demikian kebutuhan pupuk urea dan phonska dalam sekali pemupukan masing-masing adalah $45\text{gram} \times 825 \text{ tanaman} = 37.125\text{gram}/\text{Ha}$, maka dalam satu tahun jumlah **148,500 gram/Ha/Tahun**. Harga pupuk urea per kg adalah Rp 16.000,00. Dengan demikian satu kali pemupukan membutuhkan biaya pembelian pupuk sebesar Rp 594.000,00/Ha lahan reklamasi. Sedangkan untuk pupuk phonska setiap Kg dapat dibeli dengan harga Rp 17.000,00 hingga Rp 200.000,00 per Kg. Sehingga kebutuhan pupuk phonska untuk 1 hektar lahan reklamasi berkisar antara Rp 631.125, 00 hingga Rp 7.425.000,00. Sementara dalam satu tahun pemupukan dilakukan paling 3 hingga 4 kali. Maka total biaya untuk pembelian pupuk dalam melakukan reklamasi 1 hektar lahan pasca tambang batu gamping adalah **Rp 4.900.500 hingga Rp 32.076.000,00/Ha/Tahun**. Selain biaya untuk pembelian pupuk, juga dibutuhkan tenaga kerja untuk penebaran pupuk. Penebaran pupuk untuk satu hektar lahan dibutuhkan 5 tenaga kerja selama 1 hari kerja. Ongkos tenaga kerja perhari adalah Rp 200.000,00, sehingga **biaya tenaga kerja** untuk pemupukan 1 hektar lahan dalam 1 tahun adalah $5 \times \text{Rp } 200.000,00 \times 4 = \text{Rp } 4.000.000/\text{Ha/Tahun}$. Dengan demikian **total biaya** untuk pemupukan 1 hektar lahan dalam 1 tahun adalah $\text{Rp } 32.076.000 + \text{Rp } 4.000.000,00 = \text{Rp } 36.076.000/\text{Ha/Tahun}$. Semakin luas lahan yang direklamasi, maka biaya yang dibutuhkan untuk pembelian pupuk dan tenaga kerja penebaran pupuk juga akan semakin tinggi.

Selain dari sisi biaya yang tidak sedikit, pertimbangan lain yang mendorong pengembangan penelitian inovasi ini adalah pemberian **pupuk kimia** dalam jangka panjang justru memberikan **efek negatif**, baik bagi **kesuburan tanah** maupun **lingkungan**. Penggunaan pupuk kimia dalam jangka panjang akan berpengaruh terhadap **penurunan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah**. Romli (2012) mengatakan bahwa 66% dari 7 hektar lahan pertanian di Indonesia berada dalam kondisi kritis akibat penggunaan pupuk kimia berlebihan dan dalam jangka yang panjang. Aplikasi pupuk kimia dalam jangka panjang akan meningkatkan akumulasi residu kimia pada tanah, dimana hal ini akan dapat **menurunkan diversitas fauna tanah**. sementara keberadaan fauna tanah itu sendiri sering kali memberikan manfaat bagi kesuburan tanah maupun mendukung pertumbuhan tanaman.

Adanya **kesadaran dan komitmen** PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban dalam mendukung kelestarian lingkungan demi kehidupan yang berkelanjutan menjadi **faktor utama** yang menjadikan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. mengupayakan **teknik-teknik reklamasi** yang **optimal** dalam

mendukung **pertumbuhan tanaman** serta **meminimalisasi dampak negatif** yang ditimbulkan terhadap **lingkungan**. Komitmen tersebut didukung dengan keberadaan bahan berupa serasah daun dan ranting yang berasal dari guguran tanaman reklamasi yang telah ditanam pada tahun-tahun sebelumnya.

Serasah daun dan ranting tersebut merupakan bahan organik yang dapat dikonversi menjadi bahan anorganik berupa kompos yang dapat digunakan sebagai substitusi penggunaan pupuk kimia. Pada dasarnya bahan-bahan tersebut dapat terurai secara alami. Akan tetapi aplikasi organisme pengurai akan membantu mempercepat proses penguraian tersebut. Organisme pengurai yang dimaksud dapat berupa jamur, bakteri, ataupun **cacing tanah**.

Cacing tanah diketahui sebagai **organisme perekayasa ekosistem tanah yang baik**. Hal ini dikaitkan dengan kemampuan cacing tanah dalam **memanfaatkan** bahan organik maupun tanah untuk dicerna yang selanjutnya **dikonversi** menjadi **kascing** (Rahmawati dan Herumurti, 2016). Kascing sendiri merupakan ekskresi dari sistem pencernaan cacing tanah berupa agregat granular yang memiliki **kandungan hara yang tinggi**. Selain penyediaan hara, keberadaan cacing tanah dalam ekosistem tanah juga membantu **memperbaiki tekstur tanah**, sehingga akan memudahkan **perkembangan perakaran** tanaman. Selain itu juga akan **meningkatkan efektivitas** penyerapan air permukaan. Pemanfaatan cacing tanah pada proses konversi bahan organik menjadi bahan anorganik ini dikenal dengan istilah vermicomposting (Putri, dkk., 2021).

Dengan demikian **aplikasi vermicomposting** dapat digunakan sebagai **alternatif pemenuhan hara** tanaman reklamasi lahan pasca tambang batu gamping, sehingga **mengurangi** ketergantungan terhadap **pupuk kimia**. Oleh karenanya kegiatan inovasi ini dilakukan dengan melakukan rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS). Kegiatan inovasi ini diharapkan dapat menjadi **solusi** terhadap **keterbatasan tanah pucuk**, namun tetap dapat **mengoptimalkan** pertumbuhan tanaman dengan memenuhi **kebutuhan hara**, **memperbaiki tekstur tanah**, meningkatkan **efektivitas penyerapan air** permukaan, serta tetap **menjaga kelestarian lingkungan** dengan adanya **peningkatan daya dukung** lingkungan terhadap **biota tanah**. Adanya daya dukung tersebut akan menyebabkan **kelimpahan dan keragaman jenis** biota tanah semakin **meningkat**. Dengan demikian, tujuan reklamasi akan dapat tercapai, dimana lahan pasca tambang batu gamping yang telah mengalami penurunan fungsi dan kualitas akan kembali memiliki daya guna sesuai peruntukannya.

3. Perubahan yang dilakukan dari Sistem Lama

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban melakukan **inovasi program rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk Pengayaan Organisme Tanah** yang merupakan **kombinasi** dari teknik tanam **GPS** yang terbukti mampu meningkatkan efektivitas biaya dan waktu, serta

penggunaan tanah pucuk dalam proses reklamasi, serta mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dengan teknik **vermikomposting** yang diketahui dapat meningkatkan zat hara tanah, memperbaiki struktur tanah, dan memperbaiki kualitas tanah secara umum, sehingga dapat meningkatkan daya dukung lingkungan tanah terhadap kehidupan dan aktivitas organisme tanah. Secara utuh, inovasi rekayasa vermikomposting pada teknik tanam GPS ini **belum pernah** diimplementasikan. Adapun, secara terpisah teknik tanam GPS **pertama kali** diimplementasikan di Cina pada **sektor pertanian**, sementara pada **sektor pertambangan** aplikasi teknik tanam GPS **pertama kali** diimplementasikan oleh **PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban** sendiri yang telah didaftarkan **Paten Sederhana** dengan nomor permohonan **S00202108491**, dan saat ini sedang dalam tahap **Distribusi Approval**. Sedangkan vermikomposting merupakan teknik pengomposan dengan memanfaatkan organisme cacing tanah, telah banyak diaplikasi untuk mengomposkan berbagai bahan organik. Namun **aplikasi vermikomposting** dalam sistem tanam **GPS** pada **lahan reklamasi tambang batu gamping belum pernah** diimplementasikan baik di Indonesia maupun di Luar Indonesia, sehingga telah disusun draft paten sederhana untuk diajukan permohonannya.

a. Perubahan Sistem dari Program Inovasi

Program rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk Pengayaan Organisme Tanah berdampak pada **perubahan Sub Sistem** dimana terdapat aplikasi **vermikomposting** pada **teknik tanam GPS di lahan reklamasi tambang batu gamping** sebagai upaya untuk pengayaan organisme tanah, optimalisasi pertumbuhan tanaman, dan meminimalisasi dampak negatif dari penggunaan pupuk kimia dalam jangka panjang, sehingga juga menjadi upaya konservasi flora dan fauna tanah dengan penjelasan sebagai berikut:

- i. **Kondisi sebelum adanya program:** sebelum adanya program inovasi rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk Pengayaan Organisme Tanah ini, reklamasi lahan pasca tambang batu gamping PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban ini dilakukan dengan teknik tanam **GPS** dengan dimensi **panjang 100cm, lebar 75cm, kedalaman 48cm**, jarak tanam 4x3m, dan jarak antar alur 3,25m dan pemeliharaan serta perawatan tanaman dilakukan dengan **menyiram tanaman 2 hari sekali** pada sore hari dan pemupukan menggunakan **pupuk urea dan phonska** setiap **3 bulan sekali** dengan dosis pemupukan sebanyak **45gram** untuk masing-masing **jenis pupuk per tanaman**. Penggunaan pupuk kimia sintetis ini menyebabkan **pH tanah** menjadi cenderung **asam**, **tekstur tanah** menjadi **keras**, dan **diversitas mikroorganisme tanah rendah**.

- ii. **Kondisi setelah adanya program:** setelah dilakukan program inovasi rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk Pengayaan Organisme Tanah ini, reklamasi lahan pasca tambang batu gamping PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban ini dilakukan dengan teknik tanam **GPS** dengan dimensi **panjang 100cm, lebar 75cm, kedalaman 48cm**, jarak tanam 4x3m, dan jarak antar alur 3,25m dan pemeliharaan serta perawatan tanaman dilakukan dengan **menyiram tanaman 2 hari sekali** pada sore hari dan pemupukan yang **awalnya menggunakan urea dan phonska digantikan dengan aplikasi vermikomposting** dengan melakukan penambahan cacing tanah dan serasah pada tanaman jati dan nyamplung. Cacing tanah yang digunakan adalah jenis ANC atau Africans Night Crawler (*Eudrilus eugeniae*) dan serasah yang digunakan adalah serasah daun tanaman jati. Penambahan cacing tanah dan serasah ini **lebih ramah lingkungan** dibandingkan dengan pupuk kimia sintetis, sehingga dapat **menghindari dampak negatif** pupuk kimia terhadap lingkungan, salah satunya adalah mampu membantu tanah dalam memberikan **daya dukung lingkungan** terhadap **kehidupan dan aktivitas organisme tanah**.

b. Dampak Lingkungan dari Program Inovasi

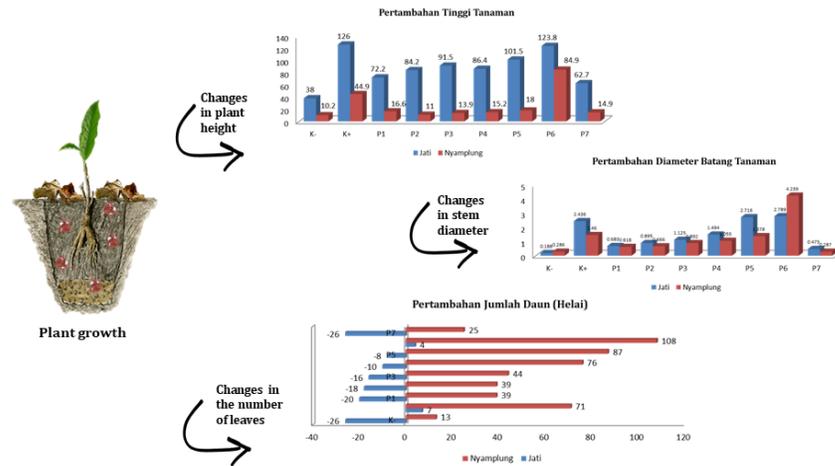
Dampak lingkungan yang dihasilkan adalah adanya **peningkatan kualitas pertumbuhan tanaman** yang dapat dilihat dari parameter pertumbuhan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah dan warna daun. program inovasi ini juga menunjukkan adanya **peningkatan kualitas faktor lingkungan tanah**, berdasarkan parameter pH dan kelembaban tanah. **Kandungan hara tanah** dengan adanya aplikasi vermikomposting pada program inovasi ini juga tampak **semakin baik** berdasarkan nilai C organik, N, P, K, Mg, dan KTK. Dengan adanya perbaikan faktor lingkungan dan kandungan hara tanah, program inovasi ini juga menunjukkan adanya **peningkatan indeks keanekaragaman hayati** pada tahun 2022 sebesar **0,399 H'** dengan anggaran biaya sebesar **Rp 1.968.000,00/Ha/Tahun**. Perhitungan nilai absolut dan penjelasan anggaran program inovasi adalah sebagai berikut:

i. Perhitungan hasil absolut

Penghitungan hasil absolut pada program inovasi rekayasa vermicomposting pada lahan reklamasi pasca tambang batu gamping dengan teknik tanam *Groove Planting System* (GPS) untuk Pengayaan Organisme Tanah ini dilakukan terhadap beberapa parameter, yaitu **pertumbuhan tanaman, kualitas faktor lingkungan, kandungan hara tanah, dan mikroorganisme tanah**.

Pengukuran **pertumbuhan tanaman** dilakukan pada tanaman jati (*Tectona grandis*) dan nyamplung (*Callophylum inophyllum* L.) yang ditanam dengan teknik tanam GPS yang telah direkayasa menggunakan vermicomposting.

Parameter pertumbuhan tanaman yang diukur meliputi **tinggi tanaman**, **diameter batang**, dan **jumlah daun**. Hasil pengukuran tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.

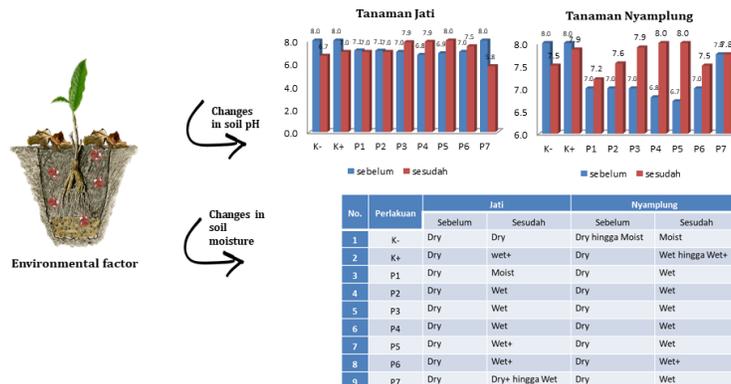


Gambar 1 Pertumbuhan Tanaman dengan Adanya Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa K+ (Kontrol positif, pemberian pupuk kimia urea dan phonska) menunjukkan hasil pertambahan tinggi tanaman jati yang paling tinggi, yaitu 126cm. Sedangkan pada kelompok perlakuan, **P6** (kombinasi pemberian cacing 35 ekor dan 50 gram serasah daun) pada **tanaman jati** menunjukkan **pertambahan tinggi tanaman paling besar** di antara kelompok perlakuan yang lain, yaitu sebesar **123,8cm**. Demikian halnya pada **tanaman nyamplung**, perlakuan **P6** juga menunjukkan nilai **pertambahan tinggi tanaman nyamplung tertinggi**, yaitu **84,9cm**. Berdasarkan hasil pada Gambar 1 juga dapat dilihat bahwa **semua kelompok perlakuan** menghasilkan pertambahan tinggi tanaman yang **lebih besar** dibandingkan dengan **kontrol negatif**. Hal ini menunjukkan bahwa rekayasa vermikomposting pada teknik tanam GPS di lahan reklamasi tambang batu gamping dapat membantu **mengoptimalkan pertumbuhan tanaman**, baik pada tanaman jati maupun pada tanaman nyamplung berdasarkan parameter **tinggi tanaman**.

Pada parameter **diameter batang**, tampak bahwa perlakuan **P6**, baik pada tanaman **jati** maupun **nyamplung**, menunjukkan **pertambahan diameter batang** tanaman **tertinggi**, dimana pada diameter batang tanaman **jati** bertambah sebesar **2,789cm** dan pada tanaman **nyamplung** sebesar **4,239cm**. Pada Gambar 1 juga tampak bahwa kelompok perlakuan menunjukkan **pertambahan diameter batang yang relatif lebih besar** dibandingkan dengan kelompok **kontrol negatif**. Hasil ini menunjukkan bahwa rekayasa vermikomposting dapat membantu **mengoptimalkan pertumbuhan tanaman** berdasarkan parameter **diameter batang**.

Pada parameter **jumlah daun** tampak pada Gambar 1 bahwa perlakuan **P6** pada **nyamplung**, memberikan **pertambahan jumlah daun tertinggi**, yaitu sebanyak **108 helai**. Sedangkan pada tanaman **jati**, sebagian besar kelompok perlakuan mengalami penurunan jumlah daun. Hal ini dikarenakan jumlah daun pada tanaman jati selain dipengaruhi oleh nutrisi, juga dipengaruhi oleh faktor musim. Musim berkaitan dengan adaptasi tingkah laku tanaman jati yang menggugurkan daunnya saat musim kemarau. Penghitungan jumlah daun ini dilakukan saat musim kemarau, sehingga jumlah daun tanaman jati sebagian besar mengalami penurunan jumlah, dengan jumlah **penurunan tertinggi** adalah **K-** (Kontrol negatif) dan **P7** (perlakuan 50 gram serasah). Sedangkan pada **K+** (Kontrol positif) dan **P6** (Perlakuan 35 ekor cacing dan 50 gram serasah), daun tanaman jati mengalami **penambahan jumlah** dari pengamatan sebelum dilakukannya perlakuan, dimana pada P6 jumlah daun jati bertambah sebanyak 4 helai, dan pada K+ daun jati bertambah sebanyak 7 helai. Kualitas Faktor lingkungan juga mengalami perbaikan setelah diimplementasikannya program inovasi ini. Faktor lingkungan yang diukur adalah pH dan kelembaban tanah. hasil pengukuran faktor lingkungan dalam program inovasi ini ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Faktor Lingkungan Tanah dengan Adanya Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS

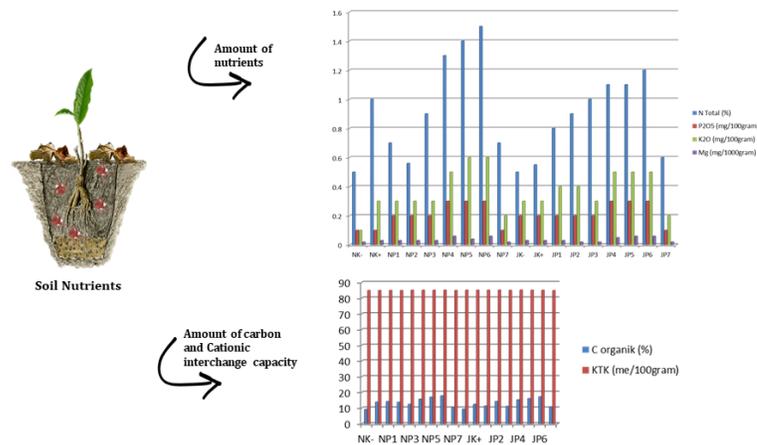
Gambar 2 menunjukkan bahwa perlakuan **P3 hingga P6** pada tanaman **jati** menunjukkan adanya **peningkatan pH**. **Sebelum** diberikan perlakuan rerata pH pada P3 hingga P6 adalah **6,9**. Namun **setelah** perlakuan pH tanah pada perlakuan P3 hingga P6 reratanya adalah **7,8**. Sedangkan pada tanaman **nyamplung**, perlakuan **P1 hingga P6** menunjukkan adanya **peningkatan pH**, dengan peningkatan rata-rata sebesar **0,8**. Adanya peningkatan pH tanah dapat digunakan sebagai salah satu indikator peningkatan kesuburan tanah. Proses vermikomposting diketahui dapat meningkatkan pH tanah karena produk vermikompos dari proses

vermikomposting itu sendiri yang umumnya memiliki pH netral hingga alkalis. Adanya vermikompos dalam media tumbuh tanaman jati dan nyamplung pada lahan reklamasi tambang batu kapur dalam program inovasi ini diduga dapat menetralkan aluminium dan besi tanah, sehingga dapat menurunkan potensial kemasaman tanah. Proses vermikomposting akan mendekomposisi bahan organik yang ada dan akan menghasilkan asam-asam organik, seperti asam humat dan asam fulvat. Asam organik ini akan bereaksi dengan logam aluminium membentuk khelat.

Sementara pada **kontrol positif** yang diberikan **urea dan phonska**, tampak terjadi **penurunan pH**. Penurunan pH tanah tersebut terkait erat dengan reaksi pelarutan urea dan phonska dalam tanah. Urea dan phonska yang diberikan ke dalam tanah akan menyerap air yang ada dalam tanah. Pupuk Urea dan phonska yang semula kering, setelah menyerap air akan meningkat kadar airnya dan volumenya bertambah dan terjadi reaksi dengan air yang membebaskan ion hidrogen. Ion hidrogen yang terbebaskan tersebut berpengaruh terhadap peningkatan kemasaman tanah atau terjadi penurunan pH tanah.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa **kelembaban tanah setelah** dilakukan perlakuan cenderung mengalami **peningkatan**. Namun tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan yang satu dengan perlakuan yang lain. Kelembaban tanah dapat dipengaruhi oleh curah hujan, jenis tanah, dan laju evapotranspirasi, dimana kelembaban tanah akan menentukan ketersediaan air dalam tanah bagi pertumbuhan tanaman.

Pada program inovasi ini juga menunjukkan **kandungan hara tanah yang lebih baik** dengan adanya aplikasi **vermikomposting** dibandingkan dengan kontrol negatif. Hal tersebut tampak pada Gambar 3, yang menunjukkan bahwa **P6**, baik pada jati (**JP6**) maupun nyamplung (**NP6**) memiliki kandungan **N total paling tinggi** dibandingkan perlakuan lain, maupun kontrol, baik kontrol negatif maupun kontrol positif, yaitu **1,2%** (**JP6**) dan **1,5%** (**NP6**). Sementara pada kontrol negatif sebesar **0,5%** dan kontrol positif **1%**. Kandungan N total sendiri yang baik untuk pertumbuhan tanaman **minimum** adalah **0,4%**. Dengan demikian kandungan N total **telah memenuhi** kandungan N total minimum yang baik untuk pertumbuhan tanaman. Pada P_2O_5 , perlakuan **P4, P5, dan P6**, baik pada **nyamplung** maupun pada **jati (0,3mg/100gram)** menunjukkan nilai yang paling tinggi di antara perlakuan lain. **K₂O dan C organik tertinggi** ditunjukkan pada **P4 dan P5** pada nyamplung (**0,6mg/100gram dan 18%**) dan **P4, P5, dan P6** pada jati (**0,5mg/100gram dan 17%**).



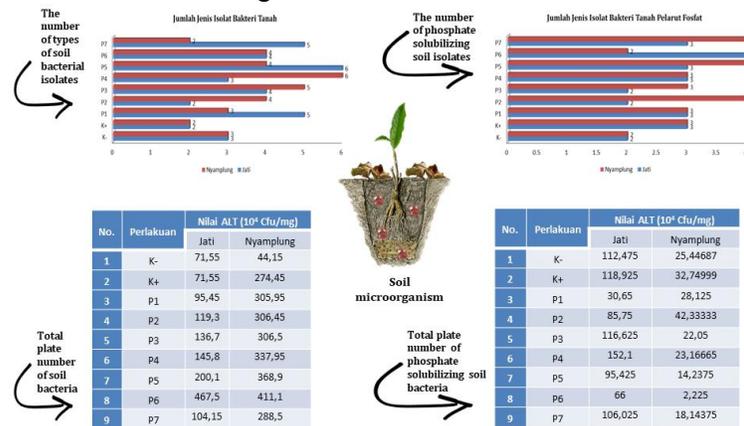
Gambar 3 Kandungan Hara Tanah dengan Adanya ReKayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS

Pada parameter biologi berupa mikroorganismen tanah, Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah **jenis isolat bakteri tanah** yang ditemukan **paling tinggi** adalah pada **P5** (25 ekor cacing tanah dan 50 gram serasah daun), baik pada jati maupun pada nyamplung yaitu sebanyak 6 isolat dari total 12 isolat yang ditemukan. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa kelompok **perlakuan** cenderung memiliki bakteri tanah yang **lebih beragam** dibandingkan kelompok kontrol positif. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk kimia sintetis dapat menyebabkan jenis isolat bakteri tanah yang mampu berkoloni di tanah semakin terbatas. Hal ini salah satunya berkaitan dengan adanya penambahan pupuk urea dan phonska pada kelompok kontrol positif dapat menurunkan pH tanah. Sementara sebagian besar bakteri tanah umumnya tumbuh optimal pada pH netral. Adanya penambahan bahan organik dalam tanah dapat meningkatkan populasi bakteri tanah. Hasil perhitungan **indeks keanekaragaman** bakteri tanah menunjukkan ada **peningkatan nilai H' sebesar 0,399**.

Selain keragaman, **kelimpahan** populasi bakteri tanah juga dapat digunakan sebagai **indikator kualitas lahan** berdasarkan parameter biologi. Kelimpahan bakteri tanah dalam program inovasi ini dihitung berdasarkan Angka Lempeng Total (ALT) atau *Total Plate Count* (TPC). Nilai ALT **tertinggi** diperoleh pada perlakuan **P6** (35 ekor cacing tanah dan 50 gram serasah), baik pada tanaman jati maupun nyamplung. Pada tanaman **jati**, nilai ALT P6 sebesar **467,5X10⁴ cfu/mg** sampel dan pada tanaman **nyamplung**, nilai ALT pada P6 sebesar **411,1 X10⁴ cfu/mg**. Seluruh perlakuan memiliki nilai ALT bakteri tanah yang **lebih tinggi** dibandingkan kontrol negatif. Hal ini dikarenakan adanya penambahan cacing tanah dan serasah mampu meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, dimana bahan organik ini akan dimanfaatkan bakteri sebagai

sumber karbon. Semakin tinggi populasi bakteri tanah akan menyebabkan sifat fisik dan kimia tanah menjadi semakin baik pula. Populasi mikroba yang tinggi mengindikasikan adanya bahan organik yang cukup, suhu yang sesuai, ketersediaan air yang cukup, dan kondisi ekologi tanah yang mendukung.

Selain bakteri tanah, pada penelitian ini juga dilakukan isolasi **bakteri pelarut fosfat**. Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan kelompok bakteri yang dapat melarutkan fosfat, dengan mensekresikan enzim fosfatase dan asam organik berbobot molekul rendah, sehingga menjadikan unsur P tersedia dan siap untuk diserap oleh tanaman. Keberadaan BPF mampu **meningkatkan** ketersediaan P di dalam tanah. Perlakuan **P2, P5, dan P7** pada tanaman **nyamplung** memiliki jenis BPF yang **lebih beragam**, yakni 4 jenis isolat BPF. Sementara pada tanaman **jati**, perlakuan **P6** memiliki BPF yang **lebih beragam** dibanding kelompok yang lain, yang juga memiliki 4 jenis isolat BPF. nilai ALT BPF tertinggi adalah K+ untuk tanaman jati (118,925X10⁴Cfu/mg) dan P2 untuk tanaman nyamplung (42,33333 X10⁴Cfu/mg). Secara umum nilai ALT BPF pada rhizosfer tanaman jati lebih tinggi dibandingkan tanaman nyamplung. Hal ini dapat dipengaruhi oleh eksudat akar yang dihasilkan oleh akar tanaman jati dan nyamplung. Perbedaan eksudat akar yang dihasilkan dapat mempengaruhi jumlah dan jenis bakteri, termasuk BPF yang dapat hidup dan mengkolonisasi area rhizosfer tanaman. Semakin tinggi nilai ALT BPF akan semakin membantu menyediakan unsur P bagi tanaman.



Gambar 4 Mikroorganisme Tanah dengan Adanya Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS

ii. Anggaran program

Anggaran yang dibutuhkan dalam pelaksanaan inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk pengayaan organisme tanah ini terdiri atas biaya pembelian bibit cacing tanah, biaya tenaga kerja aplikasi vermikomposting

pada lahan reklamasi. Lebih lanjut anggaran biaya tersebut diuraikan dalam uraian berikut:

Biaya pembelian bibit cacing tanah: bibit cacing yang dibutuhkan untuk satu hektar lahan yang terdiri dari 825 bibit tanaman kurang lebih **9,2 kg**. Harga 1 kg bibit cacing adalah Rp **40.000,00**. Aplikasi cacing tanah ini cukup dilakukan sekali, karena cacing tanah mampu hidup dan berkembang biak sendiri. Oleh karenanya biaya untuk pembelian bibit cacing tanah ini adalah $Rp\ 40.000 \times 9,2\ kg =$ **Rp 368.000,00/Hektar/tahun**.

Biaya tenaga kerja: jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk aplikasi vermikomposting ini sekitar **8 orang** selama 1 hari untuk 1 hektar lahan. Ongkos tenaga kerja 1 hari sekitar Rp 200.000,00/Hari. Sehingga jumlah biaya untuk tenaga kerja adalah $Rp\ 200.000,00 \times 8 =$ **Rp 1.600.000,00/Hektar**.

Biaya total: biaya total adalah biaya pembelian bibit cacing dan biaya tenaga kerja, yaitu $Rp\ 368.000,00 + Rp\ 1.600.000,00 =$ **Rp 1.968.000,00/Hektar/tahun**.

c. Nilai Tambah Program Inovasi

Program inovasi ini telah dimanfaatkan menjadi **pusat edukasi** bagi masyarakat sekitar (**petani Greenbelt**), **sekolah**, dan **perguruan tinggi** yang ada di Tuban dan sekitarnya.

Program inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk pengayaan organisme tanah telah **disosialisasikan** kepada **petani Greenbelt** binaan PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban. Petani *Greenbelt* juga telah mengikuti **pelatihan** dalam melakukan vermikomposting dengan memanfaatkan limbah pertanian yang ada, sehingga bisa menghasilkan **produk vermikompos** untuk dapat dimanfaatkan sebagai pengganti pupuk kimia sintetis. Dengan demikian para petani *greenbelt* dapat **menghemat biaya** untuk **pembelian pupuk** kimia sintetis yang harganya semakin mahal dan sering kali mengalami kelangkaan. Selain itu, produk vermikompos yang dihasilkan oleh petani *greenbelt* juga dapat **dipasarkan** melalui **koperasi petani greenbelt PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban**.

Selain bagi petani *Greenbelt*, kunjungan terkait inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk pengayaan organisme tanah ini juga dilakukan oleh beberapa instansi seperti **Kementerian ESDM, Universitas Internasional Semen Indonesia (UISI), Universitas Airlangga (UNAIR), dan Universitas PGRI Ronggolawe (UNIROW)**.



(a)



(b)

Gambar 5 (a) Sosialisasi dan Pelatihan Vermikomposting Bagi Petani Greenbelt dan (b) Produk Vermikompos

Kunjungan oleh **kementerian ESDM** yang dilakukan pada **9 Agustus 2022**. Kunjungan ini dilakukan pada lahan reklamasi tahun 2021 yang merupakan lokasi dilakukannya inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk pengayaan organisme tanah.



Gambar 6 Kunjungan Kementerian ESDM pada Lokasi Inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk Pengayaan Organisme Tanah

Kunjungan dari dosen dan mahasiswa **UISI** dilakukan pada tanggal **20 Juli tahun 2022**. Pada kunjungan ini, dosen dan mahasiswa UISI diajak langsung ke lokasi inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk pengayaan organisme tanah, sehingga dapat melihat secara langsung di lapangan. Selain itu juga diberikan penjelasan oleh tim dari divisi tambang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Pabrik Tuban terkait inovasi yang dilakukan.



Gambar 7 Kunjungan Dosen dan Mahasiswa UISI pada Lokasi Inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk Pengayaan Organisme Tanah

Kegiatan serupa juga dilakukan dalam kunjungan yang dilakukan oleh **UNAIR** dan **UNIROW**. Kunjungan dosen dan mahasiswa **UNAIR** dilakukan pada **16 Agustus 2022** yang dikemas dalam kegiatan **summercourse**. Dalam kegiatan ini, sebelum dilakukan kunjungan secara langsung ke lahan reklamasi tempat dilakukannya inovasi, dilakukan pemaparan materi terlebih dahulu terkait inovasi yang dilakukan. Sedangkan kunjungan oleh dosen dan mahasiswa **Unirow** dilakukan pada **31 Agustus 2022**.



Gambar 8 Summercourse Mahasiswa UNAIR

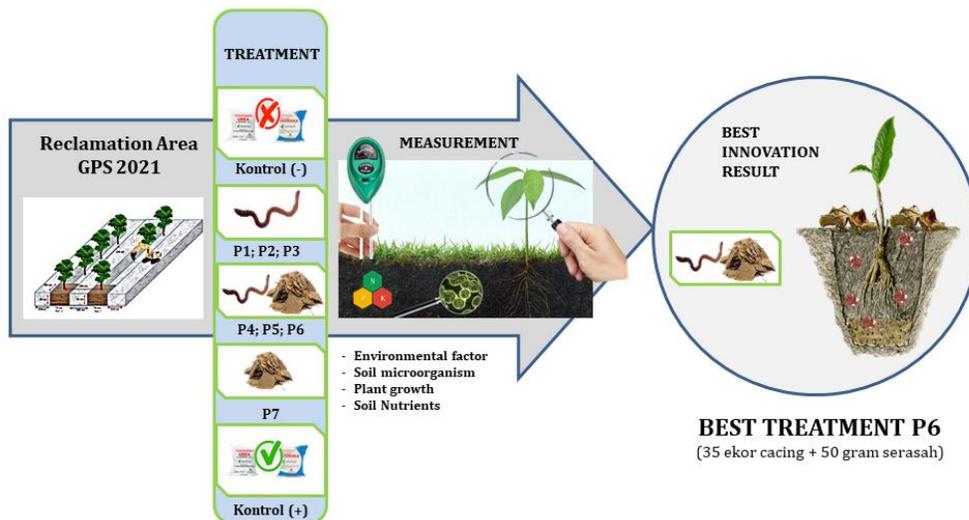
Dalam kegiatan kunjungan yang dilakukan oleh beberapa perguruan tinggi tersebut telah terjadi **transfer ilmu** tentang **vermikomposting** yang diaplikasi dalam dunia industri tambang, tepatnya dalam proses reklamasi **oleh pihak industri kepada institusi pendidikan**. Dengan demikian diharapkan nantinya akan tercipta **Link and Match** antara **dunia pendidikan dan dunia industri**.



Gambar 9 Kunjungan Dosen dan Mahasiswa UNIROW pada Lokasi Inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk Pengayaan Organisme Tanah

4. Gambaran Skematis atau Visual Program Inovasi

Gambaran skematis atau visual dari program inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk Pengayaan Organisme Tanah ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Gambaran Skematis Program Inovasi Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam GPS untuk Pengayaan Organisme Tanah