



Pemanfaatan *Pseudomonas Fluorescens* untuk Pertumbuhan Sengon di Lahan Bekas Tambang Kapur

Eugenia Marcella Hotmauli Manik^{1*}, M. Akbari Danasla²

^{1,2}Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

Email: eugeniamarcella13@gmail.com^{1*}, m.danasla@ta.itera.ac.id²

Alamat: Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, Indonesia 35365

*Penulis Korespondensi

Abstract: Abandoned mining sites often experience a decline in soil fertility, which impacts soil quality and agricultural sustainability. This study aims to explore the potential of *Pseudomonas fluorescens* in rehabilitating limestone mining lands and enhancing the growth of Sengon (*Falcataria moluccana*) trees grown in polybag media. Sengon was selected as a pioneer species due to its resilience in degraded soils and its ability to improve soil structure. This study used an experimental design involving eight different treatments, which included the application of manure and varying concentrations of *Pseudomonas fluorescens*. Evaluations were conducted on the 25th and 50th days by measuring plant growth parameters such as plant height, root length, and key soil chemical properties, including pH, organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, and cation exchange capacity (CEC). The results showed that the application of 15 mL of *Pseudomonas fluorescens* on day 50 resulted in optimal plant growth, as indicated by an increase in plant height, root length, and soil quality improvement. The application of *Pseudomonas fluorescens* also enhanced soil pH, organic carbon, total nitrogen, and cation exchange capacity, all of which contributed to the improvement of soil fertility in the limestone mining land. This study provides evidence that *Pseudomonas fluorescens* can play a role in the rehabilitation of abandoned mining lands and improve the growth of Sengon trees, contributing to the recovery of degraded ecosystems.

Keywords: Abandoned Mining Land; *Pseudomonas Fluorescens*; Sengon (*Falcataria Moluccana*); Soil Fertility; Soil Rehabilitation.

Abstrak: Lahan bekas tambang sering mengalami penurunan kesuburan tanah, yang berdampak pada kualitas tanah dan keberlanjutan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi *Pseudomonas fluorescens* dalam merehabilitasi lahan bekas tambang batu kapur dan meningkatkan pertumbuhan pohon Sengon (*Falcataria moluccana*) yang dibudidayakan di media polybag. Sengon dipilih sebagai spesies pionir karena ketahanannya terhadap tanah yang terdegradasi dan kemampuannya untuk memperbaiki struktur tanah. Penelitian ini menggunakan rancangan percobaan yang melibatkan delapan variasi perlakuan, yang mencakup aplikasi pupuk kandang dan berbagai konsentrasi *Pseudomonas fluorescens*. Evaluasi dilakukan pada hari ke-25 dan ke-50 dengan mengukur parameter pertumbuhan tanaman seperti tinggi tanaman, panjang akar, serta sifat kimia tanah utama, yang meliputi pH, karbon organik, nitrogen total, fosfor total, kalium total, dan kapasitas tukar kation (KTK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian 15 mL *Pseudomonas fluorescens* pada hari ke-50 menghasilkan pertumbuhan tanaman yang optimal, yang ditunjukkan dengan peningkatan tinggi tanaman, panjang akar, serta perbaikan kualitas tanah. Pemberian *Pseudomonas fluorescens* juga berhasil meningkatkan pH tanah, karbon organik, nitrogen total, dan kapasitas tukar kation, yang secara keseluruhan meningkatkan kesuburan tanah di lahan bekas tambang batu kapur. Penelitian ini memberikan bukti bahwa *Pseudomonas fluorescens* dapat berperan dalam rehabilitasi tanah bekas tambang dan meningkatkan pertumbuhan tanaman sengon, yang dapat berkontribusi pada pemulihan ekosistem yang terdegradasi.

Kata kunci: Kesuburan Tanah; Lahan Bekas Tambang; *Pseudomonas Fluorescens*; Rehabilitasi Tanah; Sengon (*Falcataria Moluccana*).

1. LATAR BELAKANG

Lokasi tambang bekas seringkali mengalami degradasi parah akibat aktivitas penambangan yang intensif. Setelah operasi penambangan dihentikan, tanah biasanya mengalami penurunan kesuburan yang signifikan, sehingga mengurangi kemampuannya untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Degradasi ini tidak hanya mengganggu ekosistem lokal tetapi juga berkontribusi pada kerusakan lingkungan yang lebih luas. Oleh karena itu, merehabilitasi lahan bekas penambangan sangat penting untuk memulihkan fungsi ekologi dan meningkatkan produktivitas tanah.

Salah satu pendekatan efektif untuk merehabilitasi bekas lokasi pertambangan melibatkan penggunaan mikroorganisme bermanfaat, seperti bakteri. *Pseudomonas fluorescens*, khususnya adalah bakteri yang dikenal karena kemampuannya meningkatkan kesuburan tanah melalui berbagai mekanisme, termasuk dekomposisi bahan organik, fiksasi nitrogen, dan penekanan patogen. Selain itu, mikroorganisme ini dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, sehingga memfasilitasi penanaman spesies pionir selama upaya reklamasi lahan.

Spesies tumbuhan pionir berperan sebagai indikator penting keberhasilan restorasi lahan karena kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang di lingkungan yang terdegradasi, sering didukung oleh asosiasinya dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Selain itu, sistem akar spesies pionir ini memainkan peran vital dalam mencegah erosi tanah dengan menstabilkan partikel tanah dan mengurangi dampak aliran air (Andriani, Kurniahu, & Sriwulan, 2019). Salah satu spesies pionir yang paling cocok untuk tujuan ini adalah Sengon (*Falcataria moluccana*). Spesies ini tidak hanya menunjukkan adaptabilitas yang kuat terhadap tanah miskin nutrisi tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik melalui aktivitas fotosintesis dan akumulasi biomassa. Oleh karena itu, integrasi *Pseudomonas fluorescens* dengan budidaya Sengon di lahan yang sebelumnya digunakan untuk penambangan kapur diharapkan dapat mempercepat proses rehabilitasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas *Pseudomonas fluorescens* dalam meningkatkan kondisi tanah di bekas lokasi penambangan kapur dengan menilai pengaruhnya terhadap kinerja pertumbuhan spesies pionir Sengon (*Falcataria moluccana*). Penelitian ini dilakukan di Area disposal 4 PT Semen Baturaja menggunakan media tanam polybag. Penelitian ini membandingkan tanah yang diolah dengan *Pseudomonas fluorescens* dan pupuk organik dengan tanah kontrol yang tidak diolah, serta menganalisis perubahan pada beberapa sifat kimia tanah, termasuk pH, karbon organik, kapasitas tukar kation (KTK),

nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Selain itu, penelitian ini juga mengkaji sifat fisik tanah dan respons fisiologis tanaman. Menurut (Miftahurrohmat & Sutarman, 2020), bakteri *Pseudomonas fluorescens* memainkan peran penting dalam meningkatkan kesehatan tanaman dan mempercepat pertumbuhan vegetatif dengan memproduksi enzim yang mengubah fosfor organik (P-organik) menjadi fosfor anorganik (P-anorganik), sehingga lebih mudah diserap oleh tanaman.

2. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari hingga April 2025, diawali dengan pengambilan sampel tanah dari lahan reklamasi PT Semen Baturaja. Pengambilan sampel dilakukan di lokasi reklamasi Disposasi 4 dan persemaian sengon pada tanggal 3 Februari hingga 14 Februari 2025. Pendekatan eksperimental dilakukan untuk menilai pengaruh berbagai komposisi media tanam baik dengan maupun tanpa penambahan pupuk kandang dan *Pseudomonas fluorescens* terhadap pertumbuhan tanaman. Rasio tanah dan pupuk yang digunakan dalam perlakuan adalah 1:1.

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan utama, termasuk tanah bekas tambang, bibit Sengon (*Falcataria moluccana*) berumur satu bulan, *Pseudomonas fluorescens*, pupuk kandang, dan pengukur pH tanah.

Pelaksanaan Penelitian

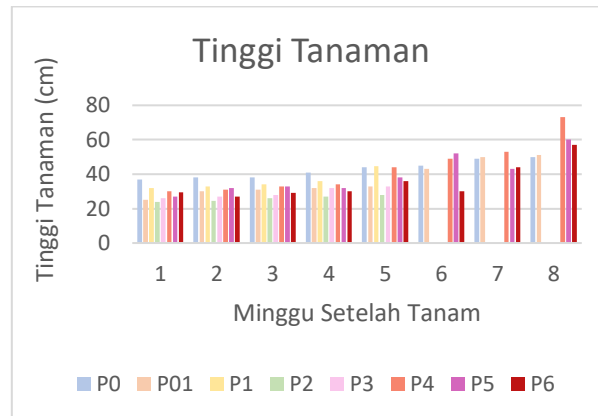
Penelitian ini menerapkan delapan perlakuan yang berbeda, yang dikategorikan berdasarkan periode pengamatan. Evaluasi hari ke-25 mencakup lima perlakuan: P0 (hanya tanah tambang, yang berfungsi sebagai kontrol), P01 (tanah tambang dengan pupuk), P1 (tanah tambang dengan pupuk dan 15 mL *Pseudomonas fluorescens*), P2 (tanah tambang dengan pupuk dan 30 mL *Pseudomonas fluorescens*), dan P3 (tanah tambang dengan pupuk dan 45 mL *Pseudomonas fluorescens*). Untuk evaluasi hari ke-50, tiga perlakuan tambahan yaitu: P4 (tanah tambang dengan pupuk dan 15 mL *Pseudomonas fluorescens*), P5 (tanah tambang dengan pupuk dan 30 mL *Pseudomonas fluorescens*), dan P6 (tanah tambang dengan pupuk dan 45 mL *Pseudomonas fluorescens*). Perlakuan-perlakuan ini dirancang untuk menilai pengaruh berbagai konsentrasi bakteri selama dua periode pertumbuhan terhadap sifat-sifat tanah dan perkembangan tanaman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang didapatkan dari berbagai perlakuan pada penanaman sengon mempengaruhi tinggi tanaman dan panjang akar. Pemberian bakteri juga mengubah kandungan C - Organik, Nitrogen Total, Fosfor Total, Kalium Total, dan KTK pada tanah. Hasil lengkap dari semua perlakuan adalah sebagai berikut:

Analisis Sifat Fisik Tanaman

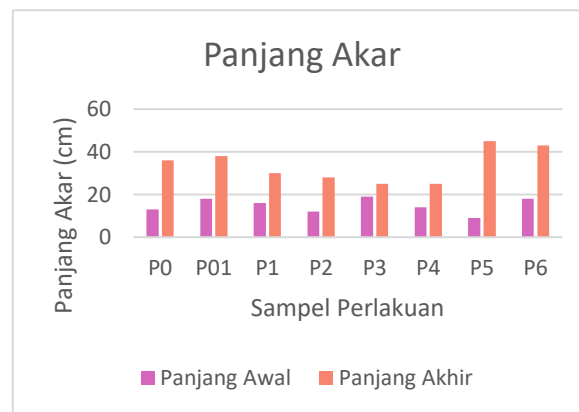
Tinggi Tanaman



Gambar 1. Hasil Pengukuran Tinggi Tanaman Sengon.

Dari Gambar 1 didapatkan hasil pengukuran tinggi tanaman yang cukup terlihat perbedaannya antara tiap dosis bakteri yang diberikan pada tanaman sengon dengan tanaman yang tidak diberikan bakteri sama sekali, namun hal tersebut dapat dikaitkan dengan hasil pengujian kadar C – Organik, N Total, P Total, K Total, dan KTK yang ada pada tanah tersebut. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* bermanfaat dalam meningkatkan ketersediaan unsur nitrogen (N) dan fosfor (P) di tanah, meliputi peningkatan tinggi, biomassa, dan jumlah daun yang menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik pada tanaman kedelai (Zulaikah & Yuliani, 2018). *Pseudomonas fluorescens* mempunyai kombinasi sifat yang baik yang dapat mempengaruhi kesehatan tanaman dan kesuburan tanah yang berguna dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman (Dorjey, Dolkar, & Sharma, 2017).

Panjang Akar



Gambar 2. Hasil Pengukuran Panjang Akar Tanaman Sengon.

Akar berfungsi sebagai penambat tubuh tumbuhan, mengambil air dan nutrisi dari dalam tanah (Tanjung, 2024). Panjang akar yang baik menunjukkan kemampuan tanaman untuk menyerap air dan nutrisi dari tanah, yang pada gilirannya akan mendukung pertumbuhan bagian atas tanaman (batang dan daun) secara keseluruhan. Penelitian menunjukkan bahwa akar dengan persebaran lateral yang baik lebih unggul dalam mengakses area tanah yang kaya nutrisi (Waruwu, Zendrato, Mendrofa, Gulo, & Lase, 2025). Perlakuan yang diuji mulai dari kontrol (P0), penambahan pupuk dan bakteri (P01), hingga variasi dosis bakteri *Pseudomonas fluorescens* (P1-P6) bertujuan untuk mengoptimalkan pertumbuhan akar. Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dikenal sebagai *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan hormon pertumbuhan, atau melindungi tanaman dari patogen, sehingga secara tidak langsung mendukung pemanjangan akar. *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria* (PGPR) adalah jenis bakteri yang hidup di sekitar akar tanaman (rizosfer) dan membantu mendorong pertumbuhan tanaman (Husen, Saraswati, & Hastuti, 2006). Pertumbuhan akar yang kuat dan panjang akan berkorelasi positif dengan tingkat kelangsungan hidup tanaman saat ditanam di lapangan dan kecepatan pertumbuhannya di masa yang akan datang, yang merupakan tujuan utama dari penelitian ini.

Analisis Kandungan Tanah Pascatambang

Tabel 1. Hasil Analisis Tanah Pascatambang.

No	Parameter	Hasil	Kategori
1	pH	7,5	Agak Alkalis
2	C- Organik	1,19	Rendah
3	Nitrogen Total	0,14	Rendah
4	P2O2 Potensial	49,94	Tinggi
5	K2O Potensial	52,30	Tinggi
6	Kapasitas Tukar Kation	37,26	Sangat Tinggi

Keterangan : *Berdasarkan Badan Standarisasi Instrumen Pertanian, 2023

Tanah pada disposasi 4 di area pertambangan kapur memiliki pH terukur sebesar 7,5 dan dikategorikan agak alkalis. Hal ini menggambarkan tanah tersebut cenderung sedikit basa, yang bisa mempengaruhi ketersediaan beberapa unsur hara bagi tanaman (Yusma, Putra, & Syahlabi, 2024). Rendahnya nilai ini mengindikasikan tanah tersebut kurang bahan organik, yang umumnya terjadi pada tanah pascatambang akibat hilangnya lapisan atas tanah. Nitrogen adalah salah satu unsur hara utama yang dibutuhkan semua jenis tanaman termasuk legum yang membantu pertumbuhan dan produksi yang optimal (Iswiyanto, Radian, & Abdurrahman, 2023). Pada tabel dijelaskan bahwa kandungan nitrogen terukur adalah 0,14% yang dikategorikan rendah dan menunjukkan keterbatasan nutrisi bagi tanaman di tanah tersebut. Lalu kadar kalium juga menunjukkan hasil yang tinggi, yaitu 52,30%, dimana kalium bermanfaat untuk ketahanan tanaman terhadap penyakit, sehingga ketersediaan kalium yang tinggi ini umumnya adalah hal yang baik. Selanjutnya kapasitas tukar kation, yang mencerminkan kemampuan tanah untuk menyimpan dan menyediakan unsur hara bermuatan positif, terukur sangat tinggi, yaitu 37,26%.

Kandungan Setelah Perlakuan

Hasil yang didapatkan dari berbagai macam perlakuan pada penanaman tanaman sengon mempengaruhi variabel pengamatan dan pemberian bakteri dengan beberapa perlakuan tersebut mempengaruhi kandungan C - Organik, Nitrogen Total, Fosfor Total, Kalium Total, dan KTK dalam tanah. Pada keseluruhan perlakuan yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

C – Organik

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan pengukuran kadar C - Organik dalam sampel tanah dengan berbagai macam perlakuan dan diukur dengan rentan waktu 25 HST dan 50 HST adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Laboratorium Kadar C-Organik.

Kode Sampel	Kadar C - Organik	Kriteria
	%	
Hasil Pengujian 25 HST		
P0	0,86	Sangat Rendah
P01	8,69	Sangat Tinggi
P1	9,04	Sangat Tinggi
P2	9,95	Sangat Tinggi
P3	8.86	Sangat Tinggi

Hasil Pengujian 50 HST

P4	10,59	Sangat Tinggi
P5	10,51	Sangat Tinggi
P6	12,67	Sangat Tinggi

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Tanah tambang yang tidak mendapat perlakuan tambahan memiliki kadar C - Organik yang rendah. Hal ini karena aktivitas penambangan umumnya menghilangkan lapisan topsoil yang kaya bahan organik, serta mengganggu struktur tanah dan siklus nutrisi alami (Deddy, 2017). Tanah ini cenderung kekurangan unsur hara dan memiliki kesuburan yang rendah. Meskipun dilakukan penanaman tanaman sengon, jika tidak ada pupuk yang diberikan, maka kadar C - Organik justru sangat rendah, bahkan lebih rendah dari tanah tambang tanpa campuran apapun. Ini menunjukkan bahwa tanaman tanpa dukungan nutrisi yang cukup tidak mampu menyumbangkan bahan organik yang signifikan ke dalam tanah dalam jangka waktu yang diukur (Nangaro, Tamod, & Titah, 2020), atau bahkan mungkin menguras bahan organik yang ada untuk pertumbuhannya sendiri tanpa adanya penggantian. Tanaman dalam kondisi ini kemungkinan besar mengalami stres nutrisi dan pertumbuhannya terhambat. Sampel dengan pengujian waktu 25 HST mengindikasikan bahwa kombinasi perlakuan dengan penanaman dan pemberian bakteri sangat efektif dalam meningkatkan bahan organik dalam tanah dengan waktu relatif singkat. Sedangkan pada sampel dengan pengujian waktu 50 HST semua sampel semakin meningkat dan pada sampel P6 menunjukkan akumulasi bahan organik yang sangat baik seiring waktu yaitu mencapai 12,67 %. Namun kadar C - Organik yang sangat tinggi dan berlebih dalam tanah dapat memiliki dampak negatif tertentu seperti dapat menyebabkan masalah seperti peningkatan konsentrasi fosfor, yang dapat menjadi polutan (Ersek, 2023). Hal ini dapat dikaitkan dengan hasil pengukuran tinggi tanaman pada Tabel 1.

Nitrogen Total

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan pengukuran kadar Nitrogen Total dalam sampel tanah dengan berbagai macam perlakuan dan diukur dengan rentan waktu 25 HST dan 50 HST adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Pengujian Laboratorium Kadar Nitrogen Total.

Kode Sampel	Kadar Nitrogen Total	Kriteria
	%	
Hasil Pengujian 25 HST		
P0	0,13	Rendah
P01	0,67	Tinggi
P1	0,80	Sangat Tinggi
P2	0,70	Tinggi
P3	0,76	Sangat Tinggi
Hasil Pengujian 50 HST		
P4	0,80	Sangat Tinggi
P5	0,76	Sangat Tinggi
P6	0,89	Sangat Tinggi

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Sampel tanah tanpa perlakuan apapun baik pupuk maupun bakteri menunjukkan kadar Nitrogen Total yang sangat rendah. Kondisi ini mencerminkan tanah yang tidak subur atau terdegradasi. Nitrogen yang tidak seimbang, kurang maupun berlebih akan berdampak negatif. Jika kekurangan maka akan menghambat pertumbuhan tanaman, sedangkan jika kelebihan tidak hanya menghambat pertumbuhan tapi juga dapat mencemari lingkungan. (Duan, et al., 2007). Penambahan pupuk secara signifikan meningkatkan kadar Nitrogen Total dari rendah menjadi tinggi. Ini menunjukkan bahwa pupuk berhasil menyediakan sumber nitrogen bagi tanah (Admin, 2025). Pada sampel dengan pengujian 25 HST pemberian *Pseudomonas fluorescens* dosis 15 ml menunjukkan peningkatan kadar Nitrogen Total yang luar biasa, mencapai kategori sangat tinggi. Ini mengindikasikan bahwa bakteri ini berperan aktif dalam siklus nitrogen tanah, melebihi efek pupuk pada sampel P01. Dosis 30 ml menunjukkan kadar Nitrogen Total yang tinggi, namun sedikit lebih rendah dari P1 dan P3. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor lain atau fluktuasi alami dalam ekosistem mikroba, namun tetap jauh lebih baik dibandingkan P0 dan setara dengan P01. Dosis 45 ml juga menghasilkan kadar Nitrogen Total yang sangat tinggi, mendekati P1. Ini memperkuat bukti bahwa *Pseudomonas fluorescens* efektif dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen (Ayesha, Advinda, Violita, Handayani, & Putri, 2023). Sedangkan pada sampel yang diuji dengan rentan waktu 50 HST tetap menunjukkan kadar Nitrogen Total yang sangat tinggi. Ini menunjukkan keberlanjutan

efek bakteri dalam menjaga ketersediaan nitrogen. Hal ini dapat dilihat pada sampel P4 yang setara dengan P1 pada hari ke-25. P5 setara dengan P2 pada hari ke-25 dimana menunjukkan peningkatan ke kategori sangat tinggi, menunjukkan akumulasi nitrogen seiring waktu. P6 setara dengan P3 pada hari ke-25 yaitu mencapai kadar Nitrogen Total tertinggi di antara semua sampel pada hari ke-50. Ini menegaskan bahwa dosis *Pseudomonas fluorescens* yang lebih tinggi, dikombinasikan dengan waktu yang lebih lama, dapat menghasilkan akumulasi nitrogen yang optimal. Hal ini dapat dikaitkan pada Tabel 1 yaitu hasil pengukuran tinggi tanaman.

Fosfor Total

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan pengukuran kadar Fosfor Total dalam sampel tanah dengan berbagai macam perlakuan dan diukur dengan rentan waktu 25 HST dan 50 HST adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Laboratorium Kadar Fosfor Total.

Kode Sampel	Kadar Fosfor Total %	Kriteria
Hasil Pengujian 25 HST		
P0	43,61	Tinggi
P01	119,19	Sangat Tinggi
P1	128,79	Sangat Tinggi
P2	118,29	Sangat Tinggi
P3	93,82	Sangat Tinggi
Hasil Pengujian 50 HST		
P4	115,67	Sangat Tinggi
P5	108,54	Sangat Tinggi
P6	145,75	Sangat Tinggi

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Dari hasil pengujian laboratorium, menunjukkan hasil dari semua sampel tanah, baik yang diuji 25 HST maupun 50 HST, menunjukkan kadar fosfor total yang tinggi. Ini mengindikasikan bahwa tanah tambang tersebut sudah memiliki kandungan fosfor yang melimpah, bahkan sebelum perlakuan tambahan. Penambahan pupuk meningkatkan kadar fosfor menjadi sangat tinggi (Sari, Sudarsono, & Darmawan, 2017). Namun, peningkatan tinggi tanaman dibandingkan P0 tidak terlalu drastis hanya mengalami penambahan tinggi 1 cm lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa pada kadar yang sudah tinggi, penambahan pupuk saja tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap penyerapan fosfor oleh tanaman, atau ada faktor pembatas lain. Pada P1 menunjukkan kadar fosfor tertinggi dan tinggi tanaman yang relatif baik dibandingkan P2 dan P3. Ini bisa mengindikasikan bahwa kombinasi pupuk dan volume bakteri *Pseudomonas fluorescens* 15 mL efektif dalam mempertahankan ketersediaan

fosfor terlarut untuk tanaman. Sedangkan pada sampel P2 dan P3 meskipun kadar fosfornya sangat tinggi, tinggi tanaman justru lebih rendah dibandingkan P1 dan bahkan P0. Jika diasumsikan P0 terus tumbuh konsisten ini mengindikasikan bahwa dosis bakteri yang terlalu tinggi pada periode 25 HST justru dapat menghambat pertumbuhan awal tanaman, atau ada interaksi kompleks antara pupuk, bakteri, dan penyerapan hara pada periode awal. Untuk P4 memiliki kadar fosfor yang sangat tinggi dan menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman yang paling signifikan yaitu 73 cm di antara semua sampel, terutama dibandingkan dengan P5 dan P6. Ini menunjukkan bahwa pada jangka waktu yang lebih panjang, dosis bakteri *Pseudomonas fluorescens* 15 mL bersama pupuk sangat efektif dalam mendukung pertumbuhan tanaman sengon, sedangkan P5 dan P6 memiliki kadar fosfor sangat tinggi, namun tinggi tanaman lebih rendah dibandingkan P4. P6 bahkan memiliki kadar fosfor tertinggi yaitu sebesar 145,75% tetapi tinggi tanamannya relatif lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa dosis bakteri yang lebih tinggi tidak selalu berkorelasi positif dengan pertumbuhan tanaman yang lebih baik, terutama pada kadar fosfor yang sudah sangat tinggi di tanah (Provin & Pltt, 2008).

Kalium Total

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan pengukuran kadar Kalium Total dalam sampel tanah dengan berbagai macam perlakuan dan diukur dengan rentan waktu 25 HST dan 50 HST adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian Laboratorium Kadar Kalium Total.

Kode Sampel	Kadar Kalium Total	Kriteria
	%	
Hasil Pengujian 25 HST		
P0	53,60	Tinggi
P01	271,13	Sangat Tinggi
P1	281,37	Sangat Tinggi
P2	263,36	Sangat Tinggi
P3	239,63	Sangat Tinggi
Hasil Pengujian 50 HST		
P4	263,51	Sangat Tinggi
P5	294,22	Sangat Tinggi
P6	527,03	Sangat Tinggi

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa meskipun tanah tambang tanpa campuran apapun memiliki kadar kalium yang dapat dikategorikan tinggi namun dengan penambahan pupuk dapat meningkatkan kadar kalium menjadi lebih tinggi (Rahma, Rasyid, & Jayadi, 2019). Penambahan bakteri juga sama halnya dengan penggunaan pupuk yaitu membuat kadar

kalium menjadi lebih tinggi. Namun, penambahan bakteri tidak menunjukkan perubahan yang cukup besar dalam penurunan kadar kalium dalam 25 HST. Bahkan, P1 menunjukkan kadar tertinggi di antara kelompok 25 HST dan P6 untuk 50 HST. Terjadi penumpukan kalium dengan waktu yang lebih lama dan belum sepenuhnya dimanfaatkan oleh tanaman atau diikat oleh mikroorganisme. Penggunaan bakteri dilihat cukup baik pada perlakuan bakteri P1 dan pada perlakuan P2 dan P3 tidak menunjukkan lebih baik dibandingkan P1. Meskipun P1, P2, dan P3 memiliki kadar kalium yang sangat tinggi, penambahan bakteri dalam jangka waktu 25 HST tampaknya tidak secara signifikan meningkatkan pertumbuhan, bahkan P2 dan P3 menunjukkan pertumbuhan yang lebih buruk dibandingkan P0 dan P01. Ini bisa mengindikasikan bahwa pada kadar kalium yang sudah sangat tinggi, penambahan bakteri dalam jangka pendek tidak memberikan efek positif yang cukup besar, atau bahkan ada efek negatif dari dosis bakteri. Pada pengujian 50 HST, penambahan bakteri terutama pada P4 dan P5 menunjukkan hasil pertumbuhan yang jauh lebih baik, meskipun kadar kaliumnya juga sangat tinggi. Ini menunjukkan bahwa keterkaitan antara pupuk dan bakteri dalam memobilisasi atau membuat kalium lebih tersedia bagi tanaman membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terlihat dampaknya pada pertumbuhan tanaman (Fan, et al., 2024). Namun, pada dosis bakteri tertinggi P6, meskipun kadar kaliumnya tinggi, pertumbuhannya tidak seoptimal P4 dan P5, menunjukkan adanya ambang batas atau efek toksik dari kadar kalium yang terlalu tinggi, atau efek dosis bakteri tertentu. Kalium bersaing dengan unsur hara lain untuk penyerapan oleh akar tanaman, kadar kalium yang terlalu tinggi dapat menghambat penyerapan unsur tersebut (Xu, et al., 2020).

Kapasitas Tukar Kation

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium didapatkan pengukuran kadar Kapasitas Tukar Kation dalam sampel tanah dengan berbagai macam perlakuan dan diukur dengan rentan waktu 25 HST dan 50 HST adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Pengujian Laboratorium Kapasitas Tukar Kation.

Kode Sampel	KTK	Kriteria
	%	
Hasil Pengujian 25 HST		
P0	35,67	Tinggi
P01	48,83	Sangat Tinggi
P1	48,04	Sangat Tinggi
P2	48,09	Sangat Tinggi
P3	48,78	Sangat Tinggi

Hasil Pengujian 50 HST		
P4	42,81	Sangat Tinggi
P5	55,90	Sangat Tinggi
P6	51,81	Sangat Tinggi

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Dari pengujian laboratorium tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas tukar kation yang dihasilkan memiliki kategori yang sangat tinggi. KTK adalah ukuran kemampuan tanah untuk menahan dan menyediakan unsur hara esensial yang bermuatan positif (kation) bagi tanaman. Kation-kation penting ini meliputi kalium (K⁺), kalsium (Ca²⁺), magnesium (Mg²⁺), dan amonium (NH₄⁺) (Havlin, Tisdale, Nelson, & Beaton, 2017). Semakin tinggi nilai KTK, semakin besar kapasitas tanah untuk menyimpan hara dan mencegah pencucian hara oleh air hujan, sehingga hara dapat tersedia secara berkelanjutan untuk diserap oleh akar tanaman (Harefa & Zebua, 2024). Sampel P0 sudah memiliki KTK yang tinggi secara alami, meskipun tidak diberi perlakuan pupuk atau bakteri. KTK yang sudah tinggi ini menunjukkan bahwa tanah memiliki kemampuan dasar yang baik untuk menahan dan menyediakan hara bagi tanaman. Penambahan pupuk menyebabkan peningkatan KTK cukup besar karena pupuk menyediakan kation-kation hara. Meskipun KTK meningkat drastis, tinggi tanaman P01 hanya sedikit lebih tinggi dari P0. Ini menunjukkan bahwa meskipun kapasitas penahanan hara meningkat, ketersediaan hara masih membatasi pertumbuhan, atau ada efek penyesuaian tanaman terhadap lingkungan hara yang tiba-tiba melimpah. Pada sampel P1 pertumbuhan menunjukkan hasil terbaik dibandingkan sampel lainnya. Ini mengindikasikan bahwa dalam jangka pendek 25 HST, KTK yang tinggi saja tidak cukup untuk menjamin pertumbuhan optimal. Ada faktor lain yang berperan, dan salah satunya adalah dosis bakteri. Dosis 30 mL P2 dan 45 mL belum memberikan efek positif yang maksimal dalam 25 HST, atau bahkan sedikit menghambat di awal, dibandingkan dengan dosis 15 mL. Bakteri membutuhkan waktu untuk berkolonisasi dan berinteraksi secara efektif dengan tanah dan tanaman (Gros, et al., 2018). Pada sampel pengujian 50 HST juga menunjukkan bahwa dosis bakteri 15 mL adalah dosis yang optimal untuk digunakan karena hasil pengujian dari KTK berkorelasi dengan hasil pengukuran tinggi tanaman. Sedangkan pada P5 dan P6 menunjukkan hasil KTK yang sangat tinggi namun tinggi tanaman tidak mengalami perubahan yang cukup besar. Hal ini bisa mengindikasikan bahwa dosis bakteri yang terlalu tinggi melewati titik optimal akan memberikan efek negatif seperti persaingan berlebihan antar mikroba atau efek toksik dari metabolit bakteri (Ferrarezi, et al., 2022).

pH**Tabel 7.** Hasil Pengukuran pH Tanah.

Sampel	pH Awal	Kriteria	pH Akhir	Kriteria
Hasil Pengukuran 25 HST				
P0	7,5	Netral	7,5	Netral
P01	7,3	Netral	7,7	Agak Alkalis
P1	7,6	Agak Alkalis	7	Netral
P2	7,6	Agak Alkalis	7,2	Netral
P3	7,6	Agak Alkalis	7,2	Netral
Hasil Pengukuran 50 HST				
P4	7,6	Agak Alkalis	7	Netral
P5	7,6	Agak Alkalis	7,2	Netral
P6	7,6	Agak Alkalis	7,3	Netral

Keterangan : P0 (Tanah), P01 (Tanah + Pupuk kandang), P1 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 15mL), P2 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 30 mL), P3 (Tanah + Pupuk kandang + Bakteri *P. fluorescens* 45 mL)

Tanah dengan pH netral umumnya dianggap ideal karena ketersediaan unsur hara bagi tanaman berada dalam kondisi optimal (Dewangana, et al., 2023). Setelah diberikan perlakuan dengan bakteri *Pseudomonas fluorescens*, menunjukkan bahwa pH menjadi netral. Ini menunjukkan bahwa aplikasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* menurunkan pH tanah, membuatnya menjadi netral dari kondisi awal (Pratiwi, N.Aini, & Soelistyono, 2016). Perubahan ini menunjukkan adanya aktivitas atau pengaruh bakteri terhadap kondisi kimia tanah. Ini bisa menjadi indikator bahwa *Pseudomonas fluorescens* berperan dalam modifikasi lingkungan rizosfer yang mungkin menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman.

4. KESIMPULAN

Tanah tambang yang belum diolah ditemukan memiliki tingkat dasar kalium dan fosfor yang relatif tinggi, serta kapasitas tukaran kation (KTK) yang baik, yang memungkinkan tanah tersebut mendukung pertumbuhan sengon yang memadai. Penerapan pupuk secara signifikan meningkatkan konsentrasi nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), karbon organik, dan KTK, sehingga meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan. Peran bakteri dalam mempromosikan pertumbuhan tanaman, terutama pada perlakuan P4 dan P5, menjadi lebih jelas pada 50 hari setelah penanaman (HST).

Pseudomonas fluorescens mungkin berkontribusi pada perkembangan tanaman dengan meningkatkan proses mineralisasi atau meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi di tanah yang kaya nutrisi. Namun, data yang disajikan menunjukkan bahwa tingkat nutrisi yang sangat tinggi tidak selalu menghasilkan pertumbuhan tanaman yang optimal. Konsentrasi nutrisi yang

berlebihan dapat menyebabkan hasil negatif seperti toksisitas atau ketidakseimbangan nutrisi. Dosis bakteri optimal diamati pada perlakuan P4, di mana 15 mL inokulum bakteri menghasilkan hasil pertumbuhan terbaik pada 50 HST, menunjukkan bahwa dosis bakteri yang efisien ada untuk kondisi tanah dan tanaman spesifik yang digunakan dalam studi ini. Sebaliknya, dosis bakteri yang lebih tinggi menghasilkan hasil yang kurang optimal dan dalam beberapa kasus, bahkan menghambat pertumbuhan tanaman, meskipun masih menghasilkan kinerja yang relatif kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini berhasil diselesaikan dengan dukungan, bimbingan, dan masukan dari berbagai pihak. Saya ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan rahmat-Nya yang memungkinkan penyelesaian penelitian ini. Saya juga sangat berterima kasih kepada PT Semen Baturaja, khususnya Unit Manajemen Lingkungan (HSE), atas bantuan berharga mereka dalam memfasilitasi pengumpulan data lapangan. Saya berharap penelitian ini dapat menjadi referensi yang berguna dan berkontribusi pada kemajuan karya ilmiah berkualitas tinggi di masa depan.

DAFTAR REFERENSI

- Admin. (2025, January 20). Pupuk kandang: Sumber hara alami untuk berbagai jenis tanaman.
- Andriani, R., Kurniahu, H., & Sriwulan. (2019). Inventarisasi tumbuhan pionir lahan bekas tambang kapur di Kecamatan Rengel Kabupaten Tuban Jawa Timur. *Biotropic: The Journal of Tropical Biology*.
- Ayesha, C., Advinda, L., Violita, Handayani, D., & Putri, D. H. (2023). Potensi *Pseudomonas fluorescens* sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. *Serambi Biologi*, 8(1).
- Deddy, E. (2017). Pengelolaan lansekap lahan bekas tambang: Pemulihan lahan dengan pemanfaatan sumberdaya lokal (In-situ). *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(2).
- Dewangana, S. K., Shrivastava, S. K., Kumari, L., Minj, P., Kumari, J., & Sahu, R. (2023). The effects of soil pH on soil health and environmental sustainability: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*.
- Dorjey, S., Dolkar, D., & Sharma, R. (2017). Plant growth-promoting rhizobacteria *Pseudomonas*: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(7), 1335–1344.
- Duan, Y. H., Zhang, Y. L., Ye, L. T., Fan, X. R., Xu, G. H., & Shen, Q. R. (2007). Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition. *Annals of Botany*, 99, 1153–1160.

- Ersek, K. (2023, February 9). Holganix soil nourishing root stimulating.
- Fan, S., Hu, Q., Liu, Q., Xu, W., Wang, Z., Huang, Y., & Dong, W. (2024). The synergistic effect of plant growth-promoting rhizobacteria and spent mushroom substrate improves ginseng quality and rhizosphere nutrients. *Agriculture, MDPI*.
- Ferrarezi, J. A., Estrada, P. D., Batista, B. D., Aniceto, R. M., Tschoeke, B. A., Andrade, P. A., & Caro, M. (2022). Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria from the Brazilian Amazon on the bacterial community associated with maize in the field. *Applied Soil Ecology, 170*.
- Gros, M. F., Shinde, S., Larsen, P. E., Zerbs, S., Korajczyk, P. J., Kemner, K. M., & Noirot, P. H. (2018). Dynamics of aspen roots colonization by pseudomonads reveals strain-specific patterns of biofilm formation. *Frontiers in Microbiology*.
- Harefa, D. F., & Zebua, M. (2024). Peran kapasitas tukar kation dalam mempertahankan kesuburan tanah pada berbagai jenis tekstur tanah. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan, 1*(1).
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Pearson India Education Services.
- Husen, E., Saraswati, R., & Hastuti, R. D. (2006). *Pupuk organik dan pupuk hayati*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Iswiyanto, A., Radian, & Abdurrahman, T. (2023). Pengaruh nitrogen dan fosfor terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai edamame pada tanah gambut. *Pontianak*.
- Miftahurrohmat, A., & Sutarman. (2020). Utilization of *Trichoderma* sp. and *Pseudomonas fluorescens* as biofertilizer in shade-resistant soybean. *International Conference on Engineering and Applied Technology (ICEAT)*.
- Nangaro, R. A., Tamod, Z. E., & Titah, T. (2020). Analisis kandungan bahan organik tanah di kebun tradisional Desa Sereh Kabupaten Kepulauan Talaud.
- Pratiwi, H., Aini, N., & Soelistyono, R. (2016). Effects of *Pseudomonas fluorescens* and sulfur on nutrient uptake, growth, and yield of groundnut in an alkaline soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*.
- Provin, T. L., & Pitt, J. L. (2008, December 7). Phosphorus: Too much and plants may suffer. *Texas A&M AgriLife*.
- Rahma, S., Rasyid, B., & Jayadi, M. (2019). Peningkatan unsur hara kalium dalam tanah melalui aplikasi POC batang pisang dan sabut kelapa. *Jurnal Ecosolum, 8*(2).
- Sari, M. N., Sudarsono, & Darmawan. (2017). Pengaruh bahan organik terhadap ketersediaan fosfor pada tanah-tanah kaya Al dan Fe. *Buletin Tanah dan Lahan, 1*(1).
- Tanjung, D. D. (2024). *Dasar-dasar fisiologi tumbuhan*. CV HEI Publishing Indonesia.

- Waruwu, P. C., Zendrato, D. H., Mendrofa, J. B., Gulo, K. P., & Lase, N. K. (2025). Pola pertumbuhan akar timun di polybag: Implikasinya pada penyerapan nutrisi dan ketahanan hidup. *Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1).
- Xu, X., Du, X., Wang, F., Sha, J., Chen, Q., Tian, G., & Jiang, Y. (2020). Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings. *Frontiers in Plant Science*.
- Yusma, M. I., Putra, F. R., & Syahlabi, S. (2024). Perbandingan karakteristik tanah pada empat jenis tutupan lahan pascatambang kapur, Ciampea. *Bogor*.
- Zulaikah, D., & Yuliani. (2018). Penggunaan agen hayati *Rhizobium* sp. dan *Pseudomonas fluorescens* terhadap pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max*) pada tanah salin. *LenteraBio*, 7(3).