

## Enumerasi Potensi Cendawan pada Lahan Pasca Tambang Nikel PT. Vale Indonesia Tbk.

### *Enumeration of Fungal Potential in Post-Mining Land at PT. Vale Indonesia Tbk*

Siti Halimah Larekeng<sup>1,2,3\*</sup>, Munajat Nursaputra<sup>1,3</sup>, Nasri<sup>1,3</sup>, Andi Siady Hamzah<sup>1,3</sup>,  
Sri Wahyuni Jufri<sup>2</sup>, Muhammad Bima Akzad<sup>4</sup>, Andri Ardiansyah<sup>5</sup>

<sup>\*</sup>Email korespondensi: [sittihalimah@unhas.ac.id](mailto:sittihalimah@unhas.ac.id)

<sup>1</sup>Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan No. km 10, Tamalanrea Indah, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

<sup>2</sup>Pusat Kolaborasi Riset Mikroba Karst, Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan No. km 10, Tamalanrea Indah, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

<sup>3</sup>Biodiversity Research Group, Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan No. km 10, Tamalanrea Indah, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

<sup>4</sup>Puslitbang Natural Heritage and Biodiversity LPPM Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan No. km 10, Tamalanrea Indah, Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

<sup>5</sup>Departmen Environment and Permit Management, PT. Vale Indonesia, Jl. Ternate 44, Sorowako, Nuha - Luwu Timur (Sorowako), Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, 92983

#### ABSTRAK

Penelitian ini menyelidiki keanekaragaman dan kepadatan cendawan rhizosfer di lahan pasca tambang nikel PT. Vale Indonesia Tbk., dengan tujuan untuk menilai potensinya dalam mendukung proses revegetasi dan pemulihan ekologis. Melalui analisis populasi cendawan pada berbagai tingkat pengenceran dalam media PDA, penelitian ini mengungkap hubungan antara durasi pasca-reklamasi dengan peningkatan aktivitas mikrobiologis tanah. Hasil menunjukkan bahwa lahan yang lebih lama direklamasi memiliki populasi cendawan yang lebih padat, khususnya pada pengenceran lebih rendah, menandakan pentingnya cendawan rhizosfer dalam pemulihan kesehatan tanah. Penelitian ini menegaskan bahwa keberadaan tanaman secara signifikan mempengaruhi jumlah dan keanekaragaman cendawan rhizosfer. Temuan ini memberikan wawasan mengenai pentingnya memilih jenis cendawan spesifik untuk strategi revegetasi lahan pasca tambang, yang tidak hanya menunjang pertumbuhan tanaman tetapi juga mempercepat pemulihan ekologis. Hal ini dapat berkontribusi pada pengembangan praktek terbaik dalam rekayasa ekologi dan manajemen lingkungan pada area pasca tambang.

**Kata kunci:** cendawan rhizosfer; reklamasi lahan; revegetasi; dinamika populasi; kesehatan tanah.

#### ABSTRACT

*This study investigated the diversity and density of rhizosphere fungi in the post-nickel mining land of PT. Vale Indonesia Tbk., to assess its potential in supporting revegetation and ecological recovery. By analyzing fungal populations at various dilution levels in PDA media, this study revealed the relationship between post-reclamation duration and increased soil microbiological activity. The results showed that longer reclaimed land had denser fungal populations, especially at lower dilutions, indicating the importance of rhizosphere fungi in soil health recovery. This study confirmed that the presence of plants significantly affected the abundance and diversity of rhizosphere fungi. These findings provide insight into the importance of selecting specific fungal species for post-mining land revegetation strategies, which support plant growth and accelerate ecological recovery. It can contribute to developing best practices in ecological engineering and environmental management in post-mining areas.*

**Keywords:** *rhizosphere fungi; land reclamation; revegetation; population dynamics; soil health.*

## I. PENDAHULUAN

Reklamasi lahan pasca tambang merupakan tantangan lingkungan yang kritis dan membutuhkan strategi efektif untuk memulihkan keseimbangan ekologi dan mempromosikan penggunaan lahan yang berkelanjutan. Di daerah seperti PT. Vale Indonesia Tbk., di mana penambangan nikel telah mengubah bentang alam dan ekosistem asli, pengenalan komponen biotik yang sesuai sangat penting untuk pemulihan ekologi. Penelitian telah menyoroti potensi cendawan rhizosfer dalam memainkan peran penting dalam proses ini karena kemampuan mereka untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman (Costa dkk., 2006; Li & Chen, 2022). Upaya revegetasi sangat tergantung pada pemilihan jenis tanaman yang sesuai dan interaksi tanaman ini dengan lingkungan mikroba mereka (Cakyayanti & Setiadi, 2014; Sariwahyuni, 2012). Hubungan simbiosis ini meningkatkan penyerapan nutrisi dan memberikan ketahanan yang lebih besar terhadap stres lingkungan, yang sangat penting untuk pemulihan ekologi yang berhasil.

Studi terbaru menekankan interaksi dinamis dalam rhizosfer, dimana komunitas mikroba, khususnya cendawan, memberikan kontribusi signifikan terhadap kesehatan tanaman dan pemulihan tanah. Interaksi ini kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor biotik dan abiotik dalam tanah pasca tambang (Bhat dkk., 2022; Mishra dkk., 2022). Memahami dinamika mikroba ini sangat penting untuk meningkatkan strategi revegetasi dan memastikan keberlanjutan jangka panjang dari lahan yang direklamasi. Oleh karena itu, menggali keanekaragaman dan kepadatan komunitas cendawan rhizospheric di area tambang pasca penambangan memberikan langkah dasar menuju upaya pemulihan ekologi yang berinformasi dan efektif.

Tantangan utama dalam pemulihan ekologi area pasca tambang di PT. Vale Indonesia Tbk. terletak pada kondisi tanah yang terdegradasi, yang umumnya rendah dalam nutrisi esensial dan keanekaragaman mikroba. Degradasi ini secara signifikan menghambat pendirian dan pertumbuhan vegetasi, komponen kunci dari pemulihan ekologi. Hipotesis yang mendorong penelitian ini mengusulkan bahwa cendawan rhizosfer, karena peran mereka dalam siklus nutrisi dan peningkatan struktur tanah, sangat penting untuk meningkatkan kualitas tanah dan mendukung upaya revegetasi (Hassan dkk., 2019; Qu dkk., 2020). Menangani tantangan ini melibatkan penggunaan strategis cendawan rhizospheric untuk memanfaatkan fungsi ekologis mereka, seperti biofertilisasi, fitostimulasi, dan biocontrol, yang dapat secara substansial meningkatkan kondisi tanah dan kesehatan tanaman. Dengan menyelidiki keanekaragaman dan kepadatan komunitas cendawan dalam rhizosfer tanaman di situs tambang yang direklamasi, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan strategi inokulasi mikroba yang disesuaikan yang dapat mempercepat proses revegetasi dan meningkatkan keberlanjutan praktik pemulihan ekologi (Babalola dkk., 2021; Li & Chen, 2022).

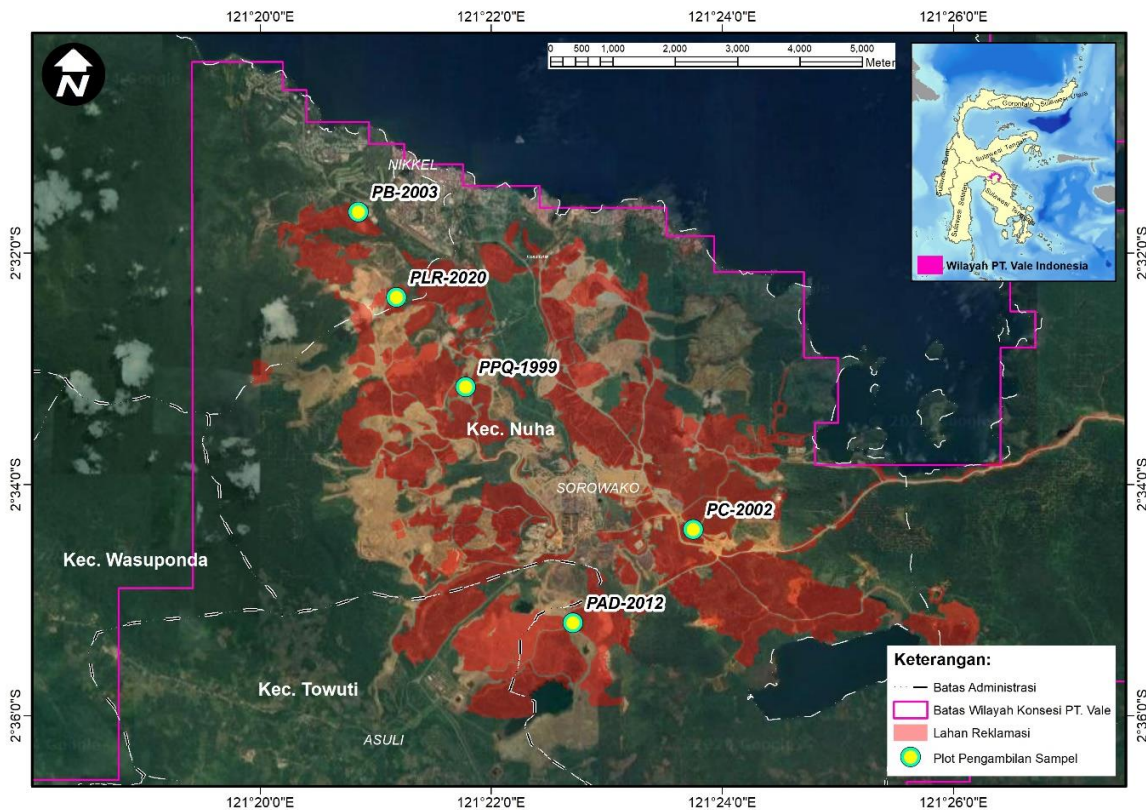
Efektivitas intervensi mikroba dalam pemulihan ekologi telah didokumentasikan secara luas dalam literatur ilmiah. Misalnya, aplikasi rhizobacteria penggalak pertumbuhan tanaman (PGPR) dan komunitas cendawan tertentu telah menunjukkan janji dalam meningkatkan ketahanan tanaman dan pertumbuhan di tanah yang terdegradasi (Emmett dkk., 2019; Zhuang dkk., 2020). Komunitas mikroba ini memainkan peran penting dalam solubilisasi nutrisi, yang sangat penting untuk tahap awal pendirian tanaman di area pasca tambang di mana tingkat nutrisi tanah biasanya suboptimal. Lebih lanjut, pengenalan cendawan seperti mikoriza telah dicatat untuk meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan nutrisi, memfasilitasi hasil pertumbuhan yang lebih baik di bawah kondisi stres yang khas dari bentang alam pasca tambang (Chen dkk., 2021; Li & Chen, 2022). Adaptabilitas ini sangat penting untuk keberhasilan upaya revegetasi, karena cendawan ini dapat memodifikasi hubungan simbiosis mereka tergantung pada kebutuhan kesehatan tanaman dan tanah. Terakhir, mengintegrasikan vermicompost cacing tanah ke dalam strategi pemulihan tanah dapat meningkatkan kekayaan dan aktivitas mikroba di rhizosfer, lebih mendukung pertumbuhan tanaman dan keseimbangan ekologi (Mishra dkk., 2022). Pendekatan multifaset menggunakan inokulan cendawan dan amandemen organik merupakan strategi yang menjanjikan untuk mempercepat pemulihan ekologi di area pasca tambang, mendukung tujuan yang lebih luas dari keberlanjutan lingkungan dan konservasi keanekaragaman hayati.

Meskipun potensi cendawan rhizospheric dalam pemulihan ekologi telah diakui dengan baik, masih terdapat kesenjangan dalam pemahaman kita tentang peran spesifik mereka dan efektivitas dalam berbagai kondisi lingkungan pasca tambang. Sebagian besar studi telah berfokus pada aspek terisolasi dari kontribusi mikroba terhadap pertumbuhan tanaman, sering kali dalam kondisi terkontrol yang tidak sepenuhnya mereplikasi dinamika kompleks dari bentang alam pasca tambang (Babalola dkk., 2021; Pappas dkk., 2021). Diperlukan studi lapangan yang komprehensif yang mengevaluasi dampak komunitas mikroba di bawah berbagai stres lingkungan yang ditemui di situs reklamasi tambang. Selain itu, interaksi antara taksa mikroba yang berbeda dan dampak kolektif mereka terhadap kesehatan tanaman dan pemulihan tanah belum dipahami dengan baik. Ini sangat penting untuk mengembangkan solusi mikroba terintegrasi yang dapat diterapkan secara efektif dalam proyek pemulihan ekologi skala besar. Menangani celah ini melalui penelitian yang ditargetkan dapat secara signifikan meningkatkan aplikasi praktis teknologi mikroba dalam memulihkan bentang alam pasca tambang.

Studi ini bertujuan untuk menyelidiki keanekaragaman dan kepadatan populasi cendawan rhizospheric di area pasca tambang di PT. Vale Indonesia Tbk., serta menilai kontribusi potensial mereka terhadap revegetasi dan pemulihan ekologi. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada fokusnya menggabungkan penyelidikan lapangan dengan teknik molekuler untuk memahami interaksi kompleks antara komunitas cendawan dan akar tanaman dalam konteks pasca tambang yang nyata. Ruang lingkup penelitian ini mencakup eksplorasi ilmiah dinamika mikroba serta aplikasi praktis temuan ini dalam meningkatkan strategi revegetasi, sehingga berkontribusi pada praktik penambangan yang berkelanjutan dan pemulihan ekologi.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Oktober hingga Desember 2023. Lokasi pengambilan sampel tanah rhizosfer adalah di lahan pasca tambang PT. Vale Indonesia Tbk, yang terletak di Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan (Gambar 1). Area ini dipilih karena historis aktivitas pertambangan dan proses revegetasi yang sedang berlangsung, yang membuatnya menjadi lokasi yang ideal untuk mempelajari interaksi cendawan rhizosfer dengan tanah yang telah mengalami gangguan ekologis.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian

Identifikasi dan penghitungan populasi cendawan rhizosfer dilakukan di Laboratorium Mikroba Karst yang berada di Pusat Penelitian dan Pengembangan Natural Heritage and Biodiversity, LPPM Universitas Hasanuddin di Makassar. Laboratorium ini dipilih karena fasilitasnya yang lengkap untuk studi mikrobiologi dan pengalaman luas dalam menangani sampel ekologi dari berbagai ekosistem di Indonesia, khususnya yang berhubungan dengan dampak aktivitas manusia terhadap biodiversitas mikroba.

Proses penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan terstruktur, yakni:

- a. Pengambilan sampel tanah pertama kali dilakukan di lima lokasi yang berbeda: Plot Butoh (PB), Plot Candra (PC), Plot Lahan Reklamasi (PLR), Plot Pongsessa Quarry (PPQ), dan Plot Anoa DSP (PAD). Setiap plot memiliki ukuran 20m x 50m, di mana sampel diambil dari lima titik di ujung plot dan satu titik di tengah plot menggunakan metode pengeboran pada kedalaman 20 cm dari tanaman terdekat. Sampel kemudian

- dimasukkan ke dalam kantong plastik klip, diberi label yang sesuai, dan dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut.
- b. Setelah sampel tiba di laboratorium, dilakukan pengenceran suspensi cendawan dari tanah secara berseri dalam kondisi laminary air flow. Setiap sampel tanah ditimbang sebanyak 1 gram untuk memastikan konsistensi dalam pengenceran. Selanjutnya, suspensi cendawan diencerkan dari  $10^1$  hingga  $10^4$ , di mana dari setiap tingkat pengenceran, diambil 0.5 mL larutan menggunakan mikropipet dan ditanam pada media Potato Dextrose Agar (PDA). Setiap pengenceran diulang dua kali untuk memperoleh data yang akurat.
  - c. Proses inokulasi dilakukan dengan memvortex suspensi selama satu menit untuk memastikan bahwa suspensi menjadi homogen. Suspensi yang telah homogen tersebut kemudian disebar pada cawan petridish menggunakan batang penyebar steril. Setiap cawan petridish diberi label yang sesuai, ditutup dengan plastik wrap untuk mencegah kontaminasi, dan diinkubasi pada suhu ruang  $27-28^{\circ}$  C selama 7 hari.
  - d. Pengamatan pertumbuhan cendawan dimulai pada hari ke-3 setelah inokulasi. Populasi cendawan yang tumbuh dihitung menggunakan rumus jumlah koloni per cawan dikali faktor pengenceran, yang dinyatakan dalam satuan Colony Forming Units (CFU) (Idris dkk., 2018). Selanjutnya, jumlah cendawan dalam 1 gram tanah dihitung dengan membagi jumlah koloni yang tumbuh dengan faktor pengenceran. Prosedur ini memastikan keakuratan dalam mengestimasi kepadatan dan keanekaragaman cendawan di setiap lokasi pengambilan sampel, memberikan data yang penting untuk evaluasi potensi biologis tanah pasca tambang.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan perbandingan jumlah koloni cendawan rhizosfer pada sampel tanah pasca tambang yang bervariasi berdasarkan rentang tahun sejak reklamasi. Sampel-sampel yang diberi kode dari PPQ hingga PLR mencerminkan periode reklamasi dari tahun 1999 hingga 2020. Jumlah koloni rata-rata tertinggi diamati pada sampel PPQ yang direklamasi pada tahun 1999, dengan jumlah mencapai  $1,5 \times 10^4$  CFU/g pada faktor dilusi tertinggi. Sebaliknya, upaya reklamasi terbaru, yang diwakili oleh sampel PLR dari tahun 2020, menunjukkan jumlah koloni terendah dengan maksimum  $0,5 \times 10^3$  CFU/g. Tren menurun ini menunjukkan adanya korelasi antara usia reklamasi dan kepadatan populasi cendawan rhizosfer, dengan tanah yang telah lama direklamasi mendukung kepadatan koloni cendawan yang lebih tinggi.

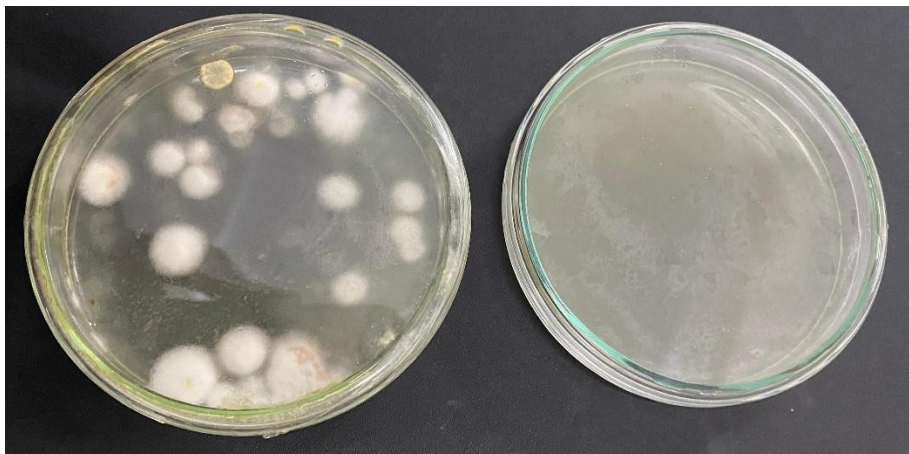
Data yang diamati sejalan dengan temuan Karmaita & Latifa (2023), yang menunjukkan bahwa tanah yang telah lebih lama dibudidayakan pasca-reklamasi menjadi tuan rumah koloni mikroba yang lebih banyak dibandingkan dengan situs yang baru direklamasi. Tren ini konsisten dengan literatur, karena Morgan dkk. (2005) dan Badri & Vivanco (2009) telah menetapkan bahwa komunitas mikroba yang diperkaya dalam rhizosfer tanaman yang dibudidayakan. Korelasi antara kehadiran tanaman dan kepadatan mikroba juga didukung oleh Zhou & Wu (2012), yang melaporkan bahwa sampel tanah rhizosfer yang dikumpulkan dari tanaman yang dibudidayakan menunjukkan jumlah koloni cendawan yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan pengaruh akar tanaman terhadap

komunitas mikroba di tanah sekitarnya, yang kemungkinan besar disebabkan oleh peningkatan ketersediaan sumber karbon yang berasal dari akar seperti yang dicatat oleh Lynch & Whipps (1990). Selain itu, Sun dkk. (2014) telah menunjukkan bahwa sampel rhizosfer dari perlakuan yang berbeda menunjukkan perbedaan komposisi mikroba yang signifikan, menekankan dampak dari kehadiran tanaman pada komunitas mikroba rhizosfer.

**Tabel 1.** Total Cendawan Rhizosfer pada Tanah Pasca Tambang Nikel

No	Kode Sampel	Tahun Reklamasi	Rata-rata Jumlah koloni (CFU/g)		
			$10^2$	$10^3$	$10^4$
1	PPQ	1999	$21 \times 10^2$	$7 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$
2	PC	2002	$17 \times 10^2$	$4,5 \times 10^3$	$5 \times 10^4$
3	PB	2003	$19,5 \times 10^2$	$1 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$
4	PAD	2012	$2,5 \times 10^2$	$0,5 \times 10^3$	$0 \times 10^4$
5	PLR	2020	$1 \times 10^2$	$0,5 \times 10^3$	$0 \times 10^4$

Gambar 2 memperlihatkan hasil pengamatan koloni cendawan pada media Potato Dextrose Agar (PDA). Panel A (Plot Lahan Reklamasi - PLR) menunjukkan adanya koloni cendawan yang terlihat jelas, menandakan keberhasilan pertumbuhan cendawan di lahan yang telah direklamasi. Sebaliknya, Panel B (Plot Pongsessa Quarry - PPQ) tidak menunjukkan pertumbuhan cendawan yang terlihat, menunjukkan kondisi yang kurang menguntungkan atau tidak adanya cendawan di sample tersebut. Pengamatan selama 7 hari mengindikasikan bahwa cendawan mulai menyebar pada bagian permukaan media PDA, khususnya pada Plot PLR yang menunjukkan peningkatan jumlah koloni seiring waktu.



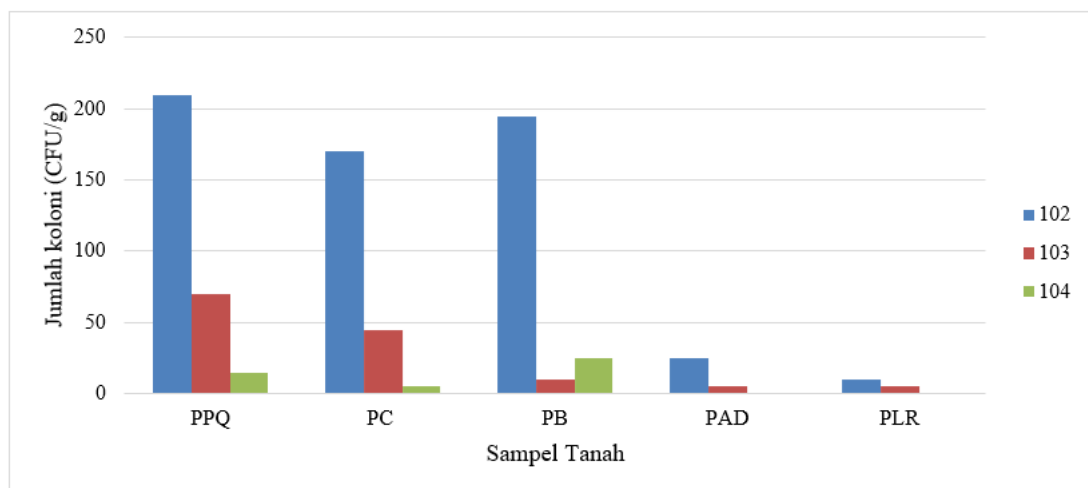
**Gambar 2.** Koloni cendawan pada media PDA: (A) Plot Lahan Reklamasi (PLR) dan (B) Plot Pongsessa Quarry (PPQ) Pasca Tambang Nikel

Kondisi yang ditunjukkan dalam Gambar 2 konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan PDA sebagai medium untuk menumbuhkan cendawan. Seperti yang dilaporkan oleh Ahmed dkk. (2014) dan McQuilken dkk. (1995), PDA efektif dalam mempromosikan pertumbuhan miselia dan sporulasi berbagai spesies cendawan. Penggunaan PDA juga penting dalam studi karakteristik pertumbuhan cendawan entomopatogenik seperti *Beauveria bassiana* (Ortiz-Urquiza dkk., 2016; Safavi dkk.,



2007), serta mempromosikan sporulasi cendawan smut inti padi *Tilletia barclayana* (Wang dkk., 2021). Tambahan pula, PDA telah digunakan untuk menilai pertumbuhan cendawan dalam kondisi lingkungan yang berbeda, seperti pengaruh spektrum cahaya dan penyimpanan suhu rendah pada pertumbuhan *Didymella bryoniae* (Virtuoso dkk., 2024). Pengamatan koloni cendawan pada PDA dari waktu ke waktu memberikan wawasan berharga mengenai kinetika pertumbuhan dan pola sporulasi berbagai spesies cendawan, yang berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang biologi dan ekologi mereka.

Gambar 3 memaparkan distribusi populasi cendawan pada sampel tanah dengan tiga tingkat pengenceran yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa pada pengenceran  $10^2$ , lokasi PPQ dan PAD memiliki jumlah koloni cendawan yang signifikan, menandakan tingginya kepadatan cendawan pada pengenceran ini. Sementara itu, pada pengenceran yang lebih tinggi, yaitu  $10^3$  dan  $10^4$ , terdapat penurunan jumlah koloni yang konsisten di semua lokasi. Lokasi PC, PB, dan PLR menunjukkan jumlah koloni yang lebih rendah pada semua tingkat pengenceran, dengan pengurangan yang lebih nyata seiring dengan peningkatan pengenceran.



**Gambar 3.** Populasi Cendawan pada Tiga Pengenceran dari Sampel Tanah Pasca Tambang Nikel

Penurunan jumlah koloni cendawan seiring dengan peningkatan pengenceran sesuai dengan prinsip-prinsip dasar mikrobiologi dan teknik pengenceran yang digunakan untuk memperoleh suspensi mikroba dari sampel tanah (Hol dkk., 2010). Metode pengenceran memainkan peran penting dalam memahami dinamika populasi mikroba dan interaksi tanaman-mikroba, seperti yang diamati dalam penelitian tentang kolonisasi endofitik dan pembentukan cendawan entomopatogenik pada tanaman (Tefera & Vidal, 2009). Penelitian oleh Franklin dkk. (2001) juga menggunakan teknik pengenceran untuk menyelidiki dampak pengenceran terhadap struktur komunitas mikroba dan potensi fungsionalnya, memberikan wawasan tentang implikasi ekologis dari pengenceran pada komunitas mikroba tanah. Selanjutnya, dilusi serial dari suspensi tanah telah digunakan untuk memanipulasi keanekaragaman mikroba tanah dan mempelajari efek pengenceran pada komposisi komunitas mikroba dan potensi fungsional (Yan dkk., 2015).

Penelitian ini membuka perspektif baru dalam pemulihan ekosistem pasca tambang, dengan menemukan bahwa usia reklamasi berbanding lurus dengan kepadatan cendawan. Ini menggarisbawahi pentingnya investasi waktu dalam budidaya mikroba rhizosfer untuk memperkuat kesehatan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Temuan tersebut menyarankan bahwa strategi revegetasi yang efektif harus memprioritaskan inisiatif jangka panjang yang mendorong keragaman mikroba, dengan harapan akan menunjang sukses pemulihan ekologi yang berkesinambungan. Selanjutnya, monitoring berkala mikroba menjadi penting sebagai penunjuk kemajuan dalam pemulihan tanah, membantu penyesuaian strategi reklamasi. Pengamatan pada lahan yang telah direklamasi menunjukkan bahwa waktu dan proses alami esensial dalam memperbaiki kondisi mikrobiologis tanah. Suksesnya pertumbuhan cendawan di lahan seperti PLR menunjukkan bahwa perawatan tanah dan interaksi dengan tanaman asli membawa pengaruh positif terhadap komunitas mikroba. Hal ini memberi panduan kepada praktisi revegetasi untuk mengambil langkah yang sistematis dalam memanfaatkan cendawan untuk rehabilitasi lahan.

Lebih jauh, penelitian menekankan betapa teknik pengenceran krusial dalam membedah komposisi mikroba tanah dan memahami peranan spesifik cendawan dalam ekosistem. Temuan dari Gambar 3 menyatakan bahwa teknik ini vital dalam mengidentifikasi cendawan yang dominan, yang memberikan pemahaman mendalam tentang ekologi cendawan dan membantu pengembangan strategi pengelolaan yang mampu menjaga biodiversitas mikroba. Hasil ini menjelaskan bahwa populasi cendawan yang lebih padat pada pengenceran lebih rendah di PPQ dan PAD bisa menjadi indikator bahwa tanah di lokasi tersebut memiliki mikroflora yang mungkin mendukung proses revegetasi lebih efektif dibandingkan lokasi lainnya. Penemuan ini menjadi landasan untuk merancang kebijakan pengelolaan yang lebih baik dalam mendukung pemulihan lahan pasca tambang dengan fokus pada cendawan yang berperan dalam peningkatan kualitas tanah dan keberhasilan revegetasi.

Populasi cendawan di lahan pasca tambang memiliki keterkaitan yang erat dengan pH tanah. Pengukuran menunjukkan pH tanah di lokasi sampel berkisar antara 5.46 hingga 6.5, yang mendukung pertumbuhan mikroba tanah umumnya yang lebih menyukai pH sekitar netral. Penemuan ini menegaskan bahwa keseimbangan pH adalah kunci untuk mendukung keragaman dan aktivitas mikroba dalam tanah. Faktor-faktor lingkungan seperti pH, kelembapan, kandungan bahan organik, kapasitas penahanan air tanah, dan struktur tanah memainkan peranan penting dalam mempengaruhi populasi cendawan di lahan pasca tambang. Penelitian Cooke & Johnson (2002) menyoroti pengaruh pH, kadar nutrisi, dan bahan organik terhadap kolonisasi tanaman alami di situs berlogam, menekankan pentingnya faktor-faktor ini dalam membentuk komunitas mikroba. Sun dkk. (2017) menekankan peranan faktor lingkungan eksternal dan autogenik dalam mempengaruhi pemulihan mikroba, menunjukkan interaksi kompleks kondisi lingkungan terhadap komunitas mikroba. Kane dkk. (2020) mendemonstrasikan pengaruh deterministik faktor-faktor lingkungan, termasuk sifat-sifat tanah, terhadap suksesi mikroba tanah setelah penambangan permukaan, menyoroti pentingnya faktor-faktor ini dalam mengatur dinamika komunitas mikroba.



Temuan ini sangat penting dalam memahami bahwa kesehatan mikroba tanah adalah pondasi dari pemulihan ekologi, khususnya di lahan pasca tambang. Kehidupan mikroba dalam tanah penting untuk pasokan nutrisi yang esensial bagi kelangsungan hidup tanaman. Temuan ini juga menegaskan tantangan yang ada dalam pemulihan lahan pasca tambang, seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Pratiwi dkk. (2021), yang mengeksplorasi penggunaan cendawan mikoriza arbuskular dan sekam padi yang diarangkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dalam kondisi tanah yang stres. Penelitian pengamatan tentang cendawan potensial di lahan pasca tambang telah memberikan wawasan berharga tentang dinamika komunitas cendawan dan tanggapan mereka terhadap upaya reklamasi lahan. Studi Sun dkk. (2017) dan Ngugi dkk. (2020) telah menyoroti pola pemulihan yang berbeda dari komunitas bakteri dan cendawan tanah selama restorasi ekosistem dan sepanjang kronosekuens restorasi pasca pertambangan batu bara, masing-masing. Studi ini menunjukkan pentingnya pemahaman tentang kekayaan dan dinamika suksesi cendawan dalam bentang alam pasca tambang.

Selain itu, penelitian oleh Vahter dkk. (2020) menekankan restorasi percepatan bentang alam pasca tambang melalui pengenalan bersama cendawan mikoriza asli dan benih tanaman, menyoroti potensi pemanfaatan komunitas cendawan asli untuk memfasilitasi pemulihan ekologi. Penelitian oleh Sansupa dkk. (2022) juga memberikan pencerahan tentang hidup di tambang batu kapur terbuka, memberikan wawasan tentang taksa cendawan yang ada dan kontribusi potensial mereka terhadap upaya rehabilitasi. Penelitian pengamatan juga telah menangani tantangan reklamasi lahan pasca tambang, seperti dibuktikan oleh studi-studi seperti Pratiwi dkk. (2021), yang mengeksplorasi pemanfaatan cendawan mikoriza arbuskular dan sekam padi yang dikarbonisasi untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman di bawah kondisi tanah yang stres. Studi-studi ini secara kolektif menyoroti pentingnya pemahaman dinamika komunitas cendawan, peran potensial cendawan asli dalam restorasi, serta tantangan dan peluang yang terkait dengan reklamasi lahan pasca tambang.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan menilai populasi cendawan rhizosfer di lahan pasca tambang nikel PT. Vale Indonesia Tbk. Temuan menunjukkan bahwa keanekaragaman dan kepadatan populasi cendawan meningkat seiring berjalannya waktu pasca-reklamasi, dengan sampel tanah yang lebih lama direklamasi seperti PPQ menunjukkan aktivitas mikroba yang lebih tinggi. Pengamatan pada media PDA memberikan bukti langsung tentang perbedaan dinamika pertumbuhan cendawan antar plot yang diteliti. Populasi cendawan yang lebih tinggi pada pengenceran rendah menunjukkan adanya hubungan antara keberadaan tanaman dan peningkatan populasi cendawan rhizosfer, yang mendukung hipotesis bahwa cendawan rhizosfer memiliki peran penting dalam proses pemulihan ekologis dan revegetasi lahan pasca tambang. Kesimpulan ini membuka peluang bagi strategi revegetasi yang melibatkan pemilihan jenis cendawan rhizosfer spesifik, berpotensi meningkatkan kesehatan tanah dan keberhasilan revegetasi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi aplikasi praktis dari temuan ini dalam usaha pemulihan lahan tambang, dengan fokus pada interaksi antara

chendawan dan jenis tanaman yang digunakan dalam revegetasi. Penelitian ini memberikan kontribusi penting pada literatur mengenai revegetasi lahan pasca tambang, menekankan peran vital mikroorganisme tanah dalam mempromosikan keberlanjutan lingkungan dan keberhasilan upaya rehabilitasi.

## V. UCAPAN TERIMA KASIH

Atas nama tim penelitian, kami ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada Kedaireka, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, serta PT. Vale Indonesia atas dukungan finansial yang diberikan melalui Program Matching Fund Tahun 2023. Kontribusi ini, yang secara formal diwujudkan melalui Kontrak Kerjasama PT. Vale Indonesia dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Hasanuddin Nomor: 040/PJ/PTVI/V/2023/LEG/MTM dan 1989/UN4.22/PT.01.03/2023.

## VI. REFERENSI

- Ahmed, F., Alam, N., Khair, A. (2014). Incidence and Biology of *Corynespora Cassiicola* (Berk. & Curt.) Wei. Disease of Okra in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Botany*. <https://doi.org/10.3329/bjb.v42i2.18028>
- Babalola, O. O., Molefe, R. R., Amoo, A. E. (2021). Metagenome Assembly and Metagenome-Assembled Genome Sequences From the Rhizosphere of Maize Plants in Mafikeng, South Africa. *Microbiology Resource Announcements*. <https://doi.org/10.1128/mra.00954-20>
- Badri, D. V., Vivanco, J. M. (2009). Regulation and Function of Root Exudates. *Plant Cell & Environment*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01926.x>
- Bhat, B. A., Tariq, L., Nissar, S., Islam, S. T., Islam, S. U., Mangral, Z. A., Ilyas, N., Sayyed, R. Z., Govarthanan, M., Kim, W., Dar, T. U. H. (2022). The Role of Plant-Associated Rhizobacteria in Plant Growth, Biocontrol and Abiotic Stress Management. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/jam.15796>
- Cakyayanti, I. D., Setiadi, Y. (2014). Study Results of Research about the Growth Rate of Tree Species in Post-Mining Area. *Journal of Tropical Silviculture*, 5(2).
- Chen, J.-Z., Huang, X., Tong, B., Wang, D., Liu, J., Liao, X., Sun, Q. (2021). Effects of Rhizosphere Fungi on the Chemical Composition of Fruits of the Medicinal Plant *Cinnamomum Migao* Endemic to Southwestern China. *BMC Microbiology*. <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02216-z>
- Cooke, J. A., Johnson, M. S. (2002). Ecological Restoration of Land With Particular Reference to the Mining of Metals and Industrial Minerals: A Review of Theory and Practice. *Environmental Reviews*. <https://doi.org/10.1139/a01-014>
- Costa, R., Götz, M., Mrotzek, N., Lottmann, J., Berg, G., Smalla, K. (2006). Effects of Site and Plant Species on Rhizosphere Community Structure as Revealed by Molecular Analysis of Microbial Guilds. *Fems Microbiology Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2005.00026.x>

- Emmett, B. D., Buckley, D. H., Drinkwater, L. E. (2019). Plant Growth Rate and Nitrogen Uptake Shape Rhizosphere Bacterial Community Composition and Activity in an Agricultural Field. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.16171>
- Franklin, R. B., Garland, J. L., Bolster, C. H., Mills, A. L. (2001). Impact of Dilution on Microbial Community Structure and Functional Potential: Comparison of Numerical Simulations and Batch Culture Experiments. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.67.2.702-712.2001>
- Hassan, M. K., McInroy, J. A., Kloepper, J. W. (2019). The Interactions of Rhizodeposits With Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in the Rhizosphere: A Review. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture9070142>
- Hol, W. H. G., Boer, W. d., Termorshuizen, A. J., Meyer, K., Schneider, J., Dam, N. M. v., Veen, J. A. V., Putten, W. H. van der. (2010). Reduction of Rare Soil Microbes Modifies Plant–herbivore Interactions. *Ecology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01424.x>
- Idris, J. M., Hamid, Z. A., Chow, P. W., Shuib, S., Mathialagan, R. D. (2018). Elucidating Lineage-Specific Myelotoxicity and Chromosomal Aberration Status in Hydroquinone- Exposed Hematopoietic Stem / Progenitor Cells. *Life Sciences Medicine and Biomedicine*. <https://doi.org/10.28916/lsm.2.1.2018.10>
- Kane, J., Morrissey, E. M., Skousen, J., Freedman, Z. (2020). Soil Microbial Succession Following Surface Mining Is Governed Primarily by Deterministic Factors. *Fems Microbiology Ecology*. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa114>
- Karmaita, Y., Latifa, D. (2023). Identifikasi Mikroorganisme Indigenous Pada Lahan Bekas Tambang Emas Di Nagari Palaluar Kabupaten Sijunjung. *ABEC Indonesia*, 223–227.
- Li, J., & Chen, Y. (2022). *Rhodiola Rosea* Polysaccharides Promote the Proliferation of Bone Marrow Haematopoietic Progenitor Cells and Stromal Cells in Mice With Aplastic Anaemia. *Pharmaceutical Biology*. <https://doi.org/10.1080/13880209.2022.2083187>
- Lynch, J. M., Whipps, J. M. (1990). Substrate Flow in the Rhizosphere. *Plant and Soil*. <https://doi.org/10.1007/bf00011685>
- McQuilken, M. P., Mitchell, S. J., Budge, S. P., Whipps, J. M., Fenlon, J. S., Archer, S. A. (1995). Effect of *Coniothyrium Minitans* on Sclerotial Survival and Apothecial Production of *Sclerotinia Sclerotiorum* in Field-grown Oilseed Rape. *Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb02748.x>
- Mishra, M., Pande, R. K., Ray, S. (2022). A Comprehensive Review on Earthworms' Vermicompost: A Strategy for Sustainable Waste Management. *Ecs Transactions*. <https://doi.org/10.1149/10701.20101ecst>
- Morgan, J. A. W., Bending, G. D., White, P. J. (2005). Biological Costs and Benefits to Plant–microbe Interactions in the Rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri205>
- Ngugi, M. R., Fechner, N., Neldner, V. J., Dennis, P. G. (2020). Successional Dynamics of

- Soil Fungal Diversity Along a Restoration Chronosequence Post-coal Mining. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/rec.13112>
- Ortiz-Urquiza, A., Fan, Y., Garrett, T. J., Keyhani, N. O. (2016). Growth Substrates and Caleosin-Mediated Functions Affect Conidial Virulence in the Insect Pathogenic Fungus *Beauveria Bassiana*. *Microbiology*. <https://doi.org/10.1099/mic.0.000375>
- Pappas, M. L., Samaras, K., Koufakis, I., Broufas, G. D. (2021). Beneficial Soil Microbes Negatively Affect Spider Mites and Aphids in Pepper. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091831>
- Pratiwi, □, Narendra, B. H., Siregar, C. A., Turjaman, M., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Mulyanto, B., Suwardi, S., Iskandar, I., Maharani, R., Rayadin, Y., Prayudyaningsih, R., Yuwati, T. W., Prematuri, R., Susilowati, A. (2021). Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscape in Indonesia: A Review. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land10060658>
- Qu, Q., Zhang, Z., Peijnenburg, W. J., Liu, W., Lu, T., Hu, B., Chen, J., Chen, J., Zhao, L., Qian, H. (2020). Rhizosphere Microbiome Assembly and Its Impact on Plant Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00073>
- Safavi, S. A., Shah, F. A., Pakdel, A. K., Rasouljan, G. R., Bandani, A. R., Butt, T. M. (2007). Effect of Nutrition on Growth and Virulence of the Entomopathogenic Fungus *Beauveria Bassiana*. *Fems Microbiology Letters*. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00666.x>
- Sansupa, C., Purahong, W., Nawaz, A., Wubet, T., Suwannarach, N., Chantawannakul, P., Chairuang Sri, S., Disayathanooat, T. (2022). Living Fungi in an Opencast Limestone Mine: Who Are They and What Can They Do? *Journal of Fungi*. <https://doi.org/10.3390/jof8100987>
- Sariwahyuni, S. (2012). Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang Pt. incosorowako dengan Bahan Organik, Bakteri Pelarut Fosfat dan Bakteri Pereduksi Nikel. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 6(2), 33–39.
- Sun, J., Zhang, Q., Zhou, J., Wei, Q. (2014). Illumina Amplicon Sequencing of 16S rRNA Tag Reveals Bacterial Community Development in the Rhizosphere of Apple Nurseries at a Replant Disease Site and a New Planting Site. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111744>
- Sun, S., Song, L., Avera, B. N., Strahm, B. D., Badgley, B. D. (2017). Soil Bacterial and Fungal Communities Show Distinct Recovery Patterns During Forest Ecosystem Restoration. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.00966-17>
- Tefera, T., Vidal, S. (2009). Effect of Inoculation Method and Plant Growth Medium on Endophytic Colonization of Sorghum by the Entomopathogenic Fungus *Beauveria Bassiana*. *Biocontrol*. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9216-y>
- Vahter, T., Bueno, C. G., Davison, J., Herodes, K., Hiiesalu, I., Kasari-Toussaint, L., Oja, J., Olsson, P. A., Sepp, S., Zobel, M., Vasar, M., Öpik, M. (2020). Co-introduction of Native Mycorrhizal Fungi and Plant Seeds Accelerates Restoration of Post-mining

---

Landscapes. *Journal of Applied Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13663>

- Virtuoso, M. C. S., Silva, E. H. C., Silva, E. M., Valente, T. d. S., Vargas, P. F., Braz, L. T., Panizzi, R. C. (2024). Providing Inoculum for *Didymella Bryoniae* Studies: The Effect of Light Spectrum and Storing at Low Temperature. *Brazilian Journal of Biology*. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.253436>
- Wang, L., Nysetvold, E., Zhou, X.-G. (2021). Culture Media Promoting Sporulation of Rice Kernel Smut Fungus *Tilletia Barclayana*. *European Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02348-y>
- Yan, Y., Kuramae, E. E., Klinkhamer, P. G. L., Veen, J. A. v. (2015). Revisiting the Dilution Procedure Used to Manipulate Microbial Biodiversity in Terrestrial Systems. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/aem.00958-15>
- Zhou, X., Wu, F. (2012). Dynamics of the Diversity of Fungal and *Fusarium* Communities During Continuous Cropping of Cucumber in the Greenhouse. *Fems Microbiology Ecology*. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01312.x>
- Zhuang, L., Li, Y., Wang, Z., Yu, Y., Zhang, N., Yang, C. Y., Zeng, Q., & Wang, Q. (2020). Synthetic Community With Six *Pseudomonas* Strains Screened From Garlic Rhizosphere Microbiome Promotes Plant Growth. *Microbial Biotechnology*. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13640>