

**Research Article****Identifikasi dan Karakterisasi Fungi Pelarut Fosfat Asal Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah*****Identification and Characterization of Phosphate Solubilizing Fungi from Plant Rhizosphere in Post-Tin Mining Lands***Nabila Fharellia Anjani ^{1*}, Ismed Inonu ¹, Rahmad Lingga ¹¹Jurusan Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunijuk, Bangka 33215

Received: May 31, 2025 /Received in revised : June 04, 2025/ Accepted: June 03, 2026

ABSTRACT

This study aims to determine the abundance of fungi in the rhizosphere of water spinach, spinach, and lamtoro plants planted in post-tin mining land, and the types of phosphate-solubilizing fungi that grow in the rhizosphere of water spinach, spinach, and lamtoro plants planted in post-tin mining land in Padang Baru Village, Central Bangka Regency. This study obtained seven isolate samples that showed several parameters of fungal colonies that had to be identified. The results of the study were that the highest abundance of fungal colonies was found in spinach rhizosphere soil samples, both at dilutions of 10^{-3} (10,900 colonies) and 10^{-5} (530,000 colonies), while the lowest abundance was recorded in the rhizosphere of water spinach (300 colonies) for dilution 10^{-3} and the rhizosphere of lamtoro (30,000 colonies) for dilution 10^{-5} . The most dominant identification result that grew was *Penicillium* sp. The results of several types of phosphate-solubilizing fungi were found, namely *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., and *Aspergillus* sp. Of these four types, the one that plays the most important role in dissolving phosphate is *Aspergillus* sp.

Keywords: Phosphate-solubilizing Fungi, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp.,

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk kelimpahan fungi di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah, dan jenis fungi pelarut fosfat yang tumbuh di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah di Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Penelitian ini diperoleh sebanyak tujuh sampel isolat yang menunjukkan beberapa parameter koloni fungi yang harus diidentifikasi. Hasil penelitian yang didapat adalah kelimpahan koloni fungi tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hasil identifikasi yang paling dominan banyak tumbuh adalah *Penicillium* sp. Ditemukannya hasil beberapa jenis fungi pelarut fosfat yaitu *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., dan *Aspergillus* sp. Pada keempat jenis ini yang berperan penting dalam melarutkan fosfat yang paling tinggi adalah *Aspergillus* sp.

Kata kunci: Fungi Pelarut Fosfat, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp.,

*Korespondensi Penulis

E-mail : nabilafanjani@gmail.comDOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.951>

1. Pendahuluan

Penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan, meliputi aspek fisik, sosial, dan ekonomi, yang berpotensi merugikan manusia secara langsung maupun tidak langsung. Salah satu dampak lingkungan dari penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung adalah terbentuknya kolong yang menurunkan kualitas air, serta kerusakan lain seperti lubang tambang, air asam tambang, timbunan liat (*Overburden*), hamparan tailing, dan perubahan sifat fisik, kimia, serta biologis tanah (Kurnia dan Rohaendi *et al.* 2022). Akibatnya, aktivitas penambangan sangat berisiko dan dapat menurunkan ketersediaan mikroorganisme seperti fungi, dan bakteri pelarut fosfat di dalam tanah. Menurut Erfandi (2017) kondisi tanah yang terganggu dapat menurunkan aktivitas mikroba, menurunkan jumlah spora fungi sebesar 29-78% seperti yang terjadi di bekas area penambangan timah.

Dampak lingkungan dari pertambangan timah dapat dikurangi dengan menerapkan kebijakan berkelanjutan, seperti reklamasi lahan bekas tambang, dan pemanfaatan teknologi ramah lingkungan (Haryadi *et al.* 2025). Salah satu upaya perbaikan lahan pasca tambang adalah melalui pemanfaatan fungi pelarut fosfat. Fungi pelarut fosfat (FPF) merupakan golongan Deuteromycotas dan Ascomycota berfungsi melarutkan fosfat terikat dalam tanah, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman, dan mendukung produktivitas pertanian (Dewi *et al.* 2017). Fungi ini bermanfaat dibidang pertanian yaitu untuk membantu pertumbuhan tanaman, menambah produktivitas tanaman, memperbaiki struktur tanah, dan menambah unsur hara pada tanah, menghambat pertumbuhan patogen, mampu mengeluarkan senyawa alkaloid yang berfungsi sebagai anti fungi, FPF memiliki sifat heterolitik yang kuat, sehingga mampu untuk mendegradasi kitin (Pane *et al.* 2022). Genus yang telah banyak ditemukan di tanah yaitu diantaranya *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp. (Mustika 2022).

Kelimpahan fungi yang bersifat menguntungkan (protagonis) berkontribusi positif terhadap peningkatan laju pertumbuhan tanaman melalui interaksi simbiosis, dan umumnya ditemukan pada zona rizosfer (Noerfitryani & Hamzah 2018). Ginting *et al.* (2024) mengemukakan bahwa keberadaan spesies fungi di dalam tanah asal rizosfer dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, kandungan air tanah, dan bahan organik. Trizela *et al.* (2015) menyatakan, sekumpulan populasi

mikroorganisme berupa fungi, dan bakteri di rizosfer biasanya lebih banyak dan beragam dibandingkan pada tanah yang bukan rizosfer. Salah satu faktor utama yang menyebabkan terjadinya efek rizosfer adalah variasi kandungan senyawa organik di zona perakaran yang berasal dari eksudat akar. Eksudat ini berperan sebagai mediator utama dalam membentuk komunitas mikroorganisme di rizosfer dan mempengaruhi struktur serta aktivitasnya (Chen & Liu 2024).

Areal lahan pasca tambang timah khususnya di daerah Bangka Belitung sudah banyak dimanfaatkan untuk lahan pertanian. Strategi keberhasilan dalam upaya pemulihan lahan pasca tambang timah ini menggunakan penambahan amelioran dengan memanfaatkan mikroorganisme lokal yang bersifat protagonis yaitu fungi pelarut fosfat sebagai media penyubur tanah (Rukmini & Anugrah 2017). Fungi pelarut fosfat yang umumnya dapat ditemukan di area sekitar perakaran tanaman atau di tanah yang kaya akan bahan organik, akan tetapi fungi juga dapat di lahan kritis seperti lahan pasca tambang timah (Suryati *et al.* 2017). Penelitian yang terkait dengan fungi pelarut fosfat di lahan pasca tambang dapat ditemukan dipenelitian menurut Mandasari (2020) mengemukakan bahwa isolat mikroba pelarut fosfat yang lolos seleksi, dan memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang tinggi memiliki potensi sebagai pupuk hayati pada lahan reklamasi pasca tambang timah di Air Jangkang, mikroba yang ditemukan termasuk bakteri dari genus *Chromobacterium*, *Azotobacter*, dan *Serratia*, sedangkan fungi dari genus *Penicillium*. Adapun penelitian menurut Mareta (2026) hasil isolasi fungi yang berasal dari lahan pasca tambang timah didapatkan sebanyak 12 isolat fungi pelarut fosfat yang teridentifikasi yaitu genus *Penicillium* sp. dan *Aspergillus* sp.

Pengambilan sumber inang ditemukan di rizosfer tanah pada tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang diambil dari mikroba tersebut adalah fungi yang memiliki peranan dapat melarutkan fosfat, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui genus fungi yang tumbuh di lahan pasca tambang timah. Penelitian ini dilakukan melalui karakterisasi, dan identifikasi, yang dimulai dengan pengamatan makroskopis, dan mikroskopis. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini penting dilakukan untuk memperoleh isolat murni fungi dari lahan pasca tambang timah di Pulau Bangka. Selain itu, penelitian ini untuk mengamati kelimpahan dan keanekaragaman jenis fungi pada rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Penelitian ini juga diarahkan untuk

mengidentifikasi genus fungi yang dominan pada rizosfer tanaman tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelimpahan fungi di rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang ditanam di lahan pasca tambang timah, dan mengidentifikasi jenis fungi pelarut fosfat yang tumbuh pada rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina di lahan tersebut.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober 2024 - April 2025. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Kelautan, di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains, dan Teknik di Universitas Bangka Belitung. Pengambilan sampel tanah di bagian rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Kode isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman kangkung (K), isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam (B), dan isolat fungi pelarut fosfat yang ditemukan di rizosfer tanaman petai cina (P).

Pemilihan tanaman kangkung, bayam, dan petai cina didasarkan pada perbedaan karakter morfologi, dan sistem perakaran yang berpotensi mempengaruhi mikroorganisme rizosfer, khususnya fungi pelarut fosfat. Tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang tumbuh dipilih dengan cara melihat dari pertumbuhannya dikategorikan tanaman yang sehat, subur, dan baik, serta sehat sehingga berpengaruh adanya faktor keberadaan mikroba banyak yang hidup di inangnya khususnya fungi, hal ini dikarenakan fungi ini membutuhkan berbagai nutrisi untuk hidup seperti nitrogen, karbon, dan mineral organik lainnya (Sari 2018). Menurut Savitri (2022) dan Anggraini (2019) tanaman kangkung, dan bayam sama-sama memiliki sistem perakaran tunggang, dan cabangnya menyebar ke semua arah sehingga dapat menembus tanah sampai kedalaman 6-100 cm, sedangkan tanaman bayam menyebar dangkal pada kedalaman 20-40 cm. Tanaman petai cina memiliki bentuk morfologi berupa pohon atau perdu, bentuk tanaman yang besar, bersifat adaptif, dan sistem perakaran tanaman petai cina sangat kokoh, dan kuat, terdapat nodul akar yang berkayu dan perakarannya lebih dalam sehingga memiliki kemampuan berasosiasi dengan mikroorganisme tanah, khususnya koloni fungi dapat berkembang biak secara banyak. Menurut Hartanto et al. (2023) kemampuan tanaman petai cina dapat tumbuh di lahan kering sehingga membuat menjadi pilihan yang populer dalam rehabilitasi lahan yang terdegradasi atau untuk mengoptimalkan penggunaan lahan yang sulit untuk tanaman lain.

Tanaman petai cina termasuk tanaman Leguminosae yaitu tanaman polong-polongan memiliki sistem perakaran yang mampu bersimbiosis dengan mikroorganisme tanah dengan membentuk bintil akar. Hal ini didukung oleh penelitian dari Widyaningrum (2019) tanaman petai cina memiliki kemampuan cepat tumbuh, sehingga banyak menghasilkan bahan organik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hijau.

Pengambilan sampel tersebut diambil dari kebun petani di Desa Padang Baru, Kec. Pangkalan Baru, Kab. Bangka Tengah ($2^{\circ}17'15.64''S$ $106^{\circ}16'98.13''E$). Pemilihan lokasi tersebut dipilih dikarenakan umur lahan pasca tambang timah sekitar 10-15 tahun dari aspek vegetasi menunjukkan penutupan vegetasi yang lebih baik ditumbuhi dengan beragam jenis variasi tumbuhan yang tumbuh banyak. Berdasarkan hasil penelitian dari Isnaniarti et al. 2017) lahan tambang umur > 10 tahun banyaknya tumbuhan yang tumbuh seperti paku kawat, rumput jagu, simpur, leban, akasia daun lebar, mahang, rengas, obar-obar, cengkodok, kantong semar. Proses suksesi alami berjalan lebih baik dengan adanya perkembangan mikroorganisme tanah yang mempercepat pemulihan kesuburan tanah serta jumlah jenis vegetasi alami meningkat dengan bertambahnya umur tailing, dan mulai terlihat pohon-pohon besar mulai tumbuh (Sitorus et al. 2008). Peta lokasi penelitian dalam pengambilan sampel tanah di bagian daerah rizosfer dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dalam pengambilan sampel tanah di bagian daerah rizosfer

Penelitian dilakukan dengan alat, dan bahan laboratorium, antara lain kamera, alat tulis, penggaris, tabung reaksi, batang segitiga pengaduk, cawan petri, autoklaf, pipet tetes, erlenmeyer, jarum ose atau loop, LAFC (*Laminar Air Flow Cabinet*), bunsen, jangka sorong, dan *micropipet*, *tipblue*, *Pikovskaya*, *aquadest*, alkohol 70%, *wrapping plastic*, aluminium foil, spiritus, plastik, gunting, kertas, kertas label, dan tisu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi fungi pelarut fosfat dari tanah rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang tumbuh di lahan pasca tambang timah di Desa Padang Baru, Bangka Tengah. Pengambilan sampel dilakukan pada satu lokasi kebun milik petani di Liau Ngit Cung, dengan masing-masing tanaman diambil dari dua titik sampling, yaitu bagian tengah dan bawah lahan, untuk mewakili variasi kondisi edafik pada lokasi penelitian. Dari setiap titik diambil 1 gram tanah dengan total 6 gram yang kemudian diberi label sesuai nama tanaman dan titik sampling. Sampel diambil hingga kedalaman 10 cm dari permukaan tanah dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Isolasi fungi dilakukan dengan metode pengenceran berurutan (10^{-1} hingga 10^{-6}). Sebanyak 1 mL hasil pengenceran 10^{-3} dan 10^{-5} masing-masing diambil menggunakan mikropipet P1000 dengan tip 1 mL, lalu ditanam pada cawan petri steril yang berisi media padat Pikovskaya. Inkubasi dilakukan pada suhu ruang selama 3–7 hari untuk memperoleh biakan murni. Pemurnian dilakukan dengan teknik reisolasi dari koloni yang menunjukkan zona bening. Selanjutnya dilakukan uji kelimpahan koloni dengan menghitung jumlah koloni pada media Pikovskaya setelah 14 hari. Menurut Syahidah (2023) terdapat rumus perhitungan kelimpahan fungi yaitu :

Rumus Kelimpahan (Spora/g)

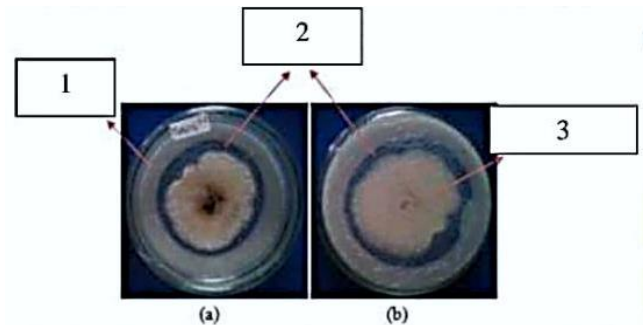
$$\text{Jumlah Koloni} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}} \times \frac{1 \text{ ml}}{\text{Volume Inokulum}}$$

Koloni fungi pelarut fosfat yang menunjukkan zona bening kemudian dikarakterisasi secara makroskopis (warna, bentuk, permukaan, dan ukuran koloni) dan mikroskopis (hifa, spora, vesikel, konidiofor, dan lainnya), dengan acuan berbagai literatur identifikasi fungi. Aktivitas pelarutan fosfat diukur melalui pengamatan zona bening pada media, dan dihitung indeks kelarutan fosfat (IKF) menggunakan rasio diameter zona bening terhadap diameter koloni. Kenampakan fungi pelarut fosfat menggunakan media Pikovskaya dapat dilihat pada Gambar 2.

Isolat fungi pelarut fosfat pada sampel tanah di daerah rizosfer akar tanaman kangkung yang tumbuh di medium pikovskaya, kemudian dilakukan inkubasi pada suhu kamar. Selanjutnya fungi yang tumbuh di medium Pikovskaya dengan menggunakan jarum inokulasi steril, potongan fungi tersebut diletakkan di atas kaca preparat.

Preparat merupakan sampel atau spesimen yang diletakkan pada permukaan kaca objek, dan direkatkan oleh suatu zat, dengan atau tanpa

pewarnaan, kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran tertentu. Pengamatan isolat ini dilakukan dengan cara diukur diameter zona bening, dan diameter koloni.



Gambar 2. Kenampakan fungi pelarut fosfat menggunakan media pikovskaya (a) Tampak depan : 1. Media Pikovskaya, 2. Zona bening, (b) Tampak belakang : 3. Koloni fungi yang tumbuh. Sumber : (Hidayah et al. 2023)

Semakin tinggi indeks kelarutan, maka semakin tinggi kemampuan fungi dalam melarutkan fosfat, yang menunjukkan potensinya sebagai agen biofertilizer di tanah marginal pasca tambang. Fifendy *et al.* (2017) menyatakan, bahwa semakin besar nilai indeks kelarutan fosfat, maka semakin tinggi aktivitas pelarut fosfat fungi rizosfer tersebut, sehingga dapat dilakukan dengan perhitungan Indeks kelarutan fosfat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$\text{Indeks Kelarutan Fosfat} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

keterangan:

A : (Diameter Koloni - zona bening)

B : Diameter Koloni

IKF : Indeks Kelarutan fosfat

3. Hasil

3.1 Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer

Hasil analisis kimia tanah pada sampel komposit dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina di lahan pasca tambang timah ditampilkan pada Tabel 1. Parameter yang dianalisis meliputi pH (H_2O dan KCl), kandungan C-organik, N-total, fosfat tersedia dan potensial (P_2O_6), serta logam berat (Pb dan Al).

Nilai pH tanah pada semua sampel berada dalam kisaran masam. Tanah rizosfer bayam menunjukkan pH (H_2O) sebesar 5,5, sedangkan kangkung dan petai cina masing-masing 6,2. Nilai pH KCl juga menunjukkan kondisi masam, pada

tanaman kangkung paling tinggi berkisar 5,8 dibandingkan petai cina 5,6, dan yang terendah adalah bayam berkisar 5,5. Nilai ini mencerminkan kondisi tanah masam yang umum ditemukan pada lahan pasca tambang.

Kandungan C-organik tertinggi terdapat pada tanah rizosfer kangkung (1,20%), diikuti oleh petai cina (1,02%) dan bayam (0,83%). Namun, seluruh kandungan C-organik ini masih tergolong rendah, hal ini dikarenakan kandungan C-organik dikategorikan pada klasifikasi tanah subur menurut Kadir et al. (2023). Semakin tinggi kadar C-organik total maka kualitas tanah mineral semakin baik. Adapun kadar C-organik yang dikategorikan terdiri dari 5 tingkatan yaitu sangat rendah (< 0,60%), rendah (0,60-1,25%), sedang (1,26%-2,50%), tinggi (2,51%-3,50%) dan sangat tinggi (> 3,50%). Kandungan N-total juga menunjukkan nilai sangat rendah di semua sampel, dengan nilai 0,08% (bayam), 0,14% (kangkung), dan 0,09% (petai cina), yang mencerminkan rendahnya ketersediaan nitrogen di lahan pasca tambang (Santirupini dan Astriani 2023).

Kandungan Fosfat (P_2O_6) tersedia paling tinggi ditemukan pada tanah rizosfer bayam (1023,1 mg/kg), diikuti oleh kangkung (473,51 mg/kg), dan terendah pada petai cina (26,81 mg/kg). Demikian pula, fosfat potensial tertinggi terdapat pada tanah kangkung (138,55 mg/100g), diikuti oleh bayam (115,48 mg/100g), dan sangat rendah pada petai cina (7,28 mg/100g). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi aktivitas mikroba pelarut fosfat dan sifat edafik tanah (Pane et al. 2022).

Kandungan logam berat yaitu timbal (Pb) pada semua sampel berada di bawah batas deteksi maksimal yang diperbolehkan ($\leq 8,00$ mg/kg), menunjukkan tidak adanya pencemaran logam berat timbal yang signifikan. Sementara itu,

kandungan aluminium (Al) berkisar antara 1,22–1,31 mg/kg, yang masih dalam ambang toleransi namun tetap perlu diperhatikan karena sifat toksiknya terhadap organisme tanah dan tanaman pada konsentrasi tinggi. Analisis karakteristik kimia tanah rizosfer bayam, kangkung, dan petai cina dapat dilihat pada Tabel 1.

3.2 Analisis Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh

Analisis kelimpahan koloni fungi dilakukan pada sampel tanah rizosfer bayam (B), kangkung (K), dan petai cina (P) dari dua titik pengambilan, yaitu bagian tengah dan bawah dengan tingkat pengenceran 10^{-3} . yang ditumbuhi di media Pikovskaya dengan jumlah 24 isolat yang telah didapatkan. Hasil penelitian yang telah dilaksanakan mengenai perhitungan jumlah koloni fungi pada rizosfer tanaman kangkung, bayam dan petai cina, maka hasil perhitungan koloni fungi dilakukan secara langsung dengan menjumlahkan total koloni fungi secara keseluruhan lalu dihitung menggunakan rumus kelimpahan koloni fungi.

Hasil analisis jumlah koloni fungi pada media Pikovskaya dari sampel tanah rizosfer kangkung, bayam, dan petai cina menunjukkan bahwa sebanyak 24 isolat fungi berhasil diperoleh. Perhitungan kelimpahan koloni dilakukan dengan menjumlahkan total koloni dari masing-masing sampel kemudian dihitung menggunakan rumus kelimpahan spora/g berdasarkan Syahidah (2023). Pengujian dilakukan pada hasil pengenceran 10^{-3} . Hasil ini ditemukan pada sampel B_1U^{-3} dan P_1U^{-3} , yang masing-masing menunjukkan jumlah koloni fungi tertinggi, masing-masing sebesar 10.900 koloni ($10,9 \times 10^2$ spora/ml), dikategorikan dalam tingkat kelimpahan tinggi.

Tabel 1. Analisis Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer Bayam, Kangkung, dan Petai Cina

Parameter	Sampel Tanah Komposit		
	Bayam	Kangkung	Petai Cina
pH (H ₂ O)	5,5	6,2	6,2
pH (KCl)	5,5	5,8	5,6
C-Organik (%)	0,83	1,2	1,02
N-Total (%)	0,08	0,14	0,09
P ₂ O ₆ Tersedia (mg/kg)	1023,1	473,51	26,81
P ₂ O ₆ Potensial (mg/100g)	115,48	138,55	7,28
Timbal (Pb) (mg/kg)	< 8,00	< 8,00	< 8,00
Aluminium (Al) (mg/kg)	1,22	1,28	2,51

Tabel 2. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Fungi pada Pengenceran tingkat 10^{-3}

Sampel Tanah	Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh	
	Jumlah Koloni fungi	
B ₁ U ⁻³	10.900	10,9 x 10 ²
B ₂ U ⁻³	8.400	8,4 x 10 ²
K ₁ U ⁻³	300	3 x 10 ²
K ₂ U ⁻³	3.500	3,5 x 10 ²
P ₁ U ⁻³	10.900	10,9 x 10 ²
P ₂ U ⁻³	3.800	3,8 x 10 ²

Keterangan :

K = I solat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman kangkung

B = Isolat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman bayam

P = Isolat fungi pelarut fosfat dari rizosfer tanaman petai cina

U = Ulangan dari pengenceran pada tingkat ⁻³

Sampel B₂U⁻³ juga memiliki kelimpahan tinggi, namun sedikit lebih rendah, yakni sebesar 8.400 koloni ($8,4 \times 10^2$ spora/ml). Selanjutnya, sampel P₂U⁻³ menunjukkan hasil sebesar 3.800 koloni ($3,8 \times 10^2$ spora/ml), sedikit lebih tinggi dibandingkan K₂U⁻³ yang memiliki hasil sebesar 3.500 koloni ($3,5 \times 10^2$ spora/ml). Meskipun tergolong tinggi, kelimpahan koloni pada dua sampel masih lebih rendah dibandingkan sampel P₁U⁻³. Hal ini menunjukkan bahwa tanah rizosfer lahan pasca tambang timah tetap berpotensi mendukung keberadaan fungi pelarut fosfat, sehingga kelimpahannya bervariasi tergantung jenis tanaman, dan lokasi. Kelimpahan terendah tercatat pada sampel K₁U⁻³, yakni 300 koloni (3×10^2 spora/ml).

Pengamatan kelimpahan koloni fungi pada tingkat pengenceran 10^{-5} dilakukan untuk mengetahui persebaran jumlah fungi di tanah rizosfer tanaman bayam (B), kangkung (K), dan petai cina (P) yang diambil dari dua titik, yaitu bagian tengah (U) dan bawah (L) yang telah ditemukan dapat dilakukan analisis kelimpahan koloni fungi. Hasil pengamatan analisis kelimpahan koloni fungi yang tumbuh disajikan pada Tabel 3.

Hasil pengamatan uji analisis kelimpahan koloni fungi pada tingkat pengenceran 10^{-5} yang menunjukkan hasil tertinggi yaitu pada sampel B₂U⁻⁵ yaitu sebesar 530.000 koloni ($5,3 \times 10^4$)

dibandingkan dengan sampel tanah K₂U⁻⁵ yaitu sebesar 410.000 koloni ($4,1 \times 10^4$). Pada sampel P₁U⁻⁵ lebih tinggi hasil kelimpahannya yaitu sebesar 260.000 koloni ($2,6 \times 10^4$) dibandingkan dengan sampel B₁U⁻⁵ yaitu sebesar 220.000 koloni ($2,2 \times 10^4$). Hasil kelimpahan dengan sampel terendah terdapat 2 sampel yaitu K₁U⁻⁵ dan P₂U⁻⁵ yaitu sebesar 30.000 koloni (3×10^4).

3.3 Karakterisasi dan Identifikasi pada FPF

Karakterisasi FPF dilakukan terhadap biakan murni yang menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat pada media Pikovskaya. Karakterisasi FPF dilakukan dengan cara pengamatan secara makroskopis yang terdiri dari warna, bentuk koloni, permukaan, dan tipe koloni. Pengamatan mikroskopis yang terdiri yaitu melihat hifa, konidiofor, melihat fialid, bentuk hifa, ada atau tidaknya vesikel, dan bentuk konidia. Karakteristik fungi ini terdiri dari 7 isolat murni yang mengandung kemampun pelarut fosfat diperoleh melalui proses reisolasi yang bertujuan untuk mendapatkan satu biakan murni dari beberapa koloni hasil isolasi tahapan awal. Seluruh isolat yang diperoleh menunjukkan adanya zona bening di sekitar koloni. Adapun kegiatan dari karakterisasi fungi pelarut fosfat yang dari 7 isolat murni dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Fungi Yang Tumbuh pada Pengenceran tingkat 10^{-5}

Sampel Tanah	Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh	
	Jumlah Koloni fungi	
B ₁ U ⁻⁵	220.000	2,2 x 10 ⁴
B ₂ U ⁻⁵	530.000	5,3 x 10 ⁴
K ₁ U ⁻⁵	40.000	4 x 10 ⁴
K ₂ U ⁻⁵	410.000	4,1 x 10 ⁴
P ₁ U ⁻⁵	260.000	2,6 x 10 ⁴
P ₂ U ⁻⁵	30.000	3 x 10 ⁴

Keterangan : U = Ulangan dari pengenceran pada tingkat ⁻⁵

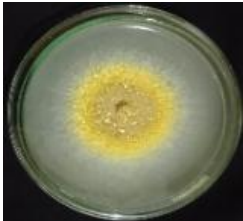
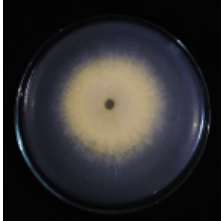
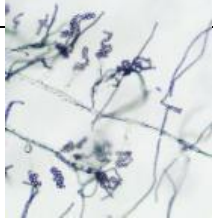



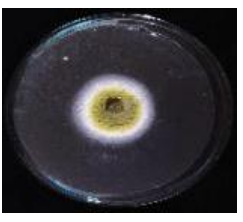
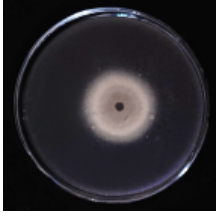

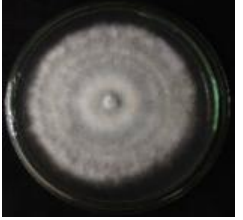
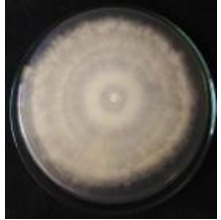

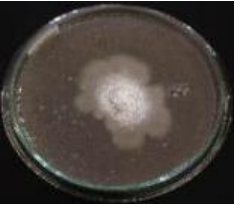
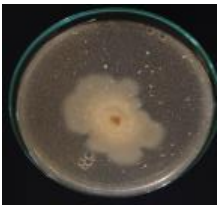







Tabel 4. Karakterisasi Fungi Pelarut Fosfat

Karakteristik Fungi Pelarut Fosfat	
B ₁ U ⁻⁵ (1)	
Makroskopis : warna : kuning kecoklatan, putih di tepi, bentuk : bulat, permukaan : halus mengkilap, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa hialin, septat, bercabang, konidiofor : tegak terdapat fialid yang menyebar radial, bentuk konidia seperti bulat hingga oval
B ₂ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : pigmentasi warna atas : hijau tua, pigmentasi warna bawah : hijau krim pucat, bentuk : bulat, permukaan : halus, tipe koloni : rata, elevasi : cembung.	Mikroskopis : konidiofor : panjang, tidak bercabang, terdapat fialid yang bercabang, bentuk konidia seperti rantai
B ₂ U ⁻³ (2)	
Makroskopis : warna : hijau kekuningan di tengah, putih di tepi, bentuk : bulat, permukaan : kasar, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa hialin, septat, terdapat fialid yang berbaris, bentuk konidia seperti bulat, berantai
K ₁ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : putih sedikit hijau pucat, bentuk : bulat (simetris), tipe koloni : Rata, permukaan : halus sedikit berserabut, elevasi : datar	Mikroskopis : hifa : hialin, bersekat, dan bercabang
P ₁ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : putih, bentuk : bulat, Tipe Koloni : tidak rata (Irreguler), permukaan : halus mengkilap, elevasi : cembung	Mikroskopis : makrokonidia : sabit, konidiofor : tampak tegak, dan bercabang, Hifa bersekat : septum, fialid : tumbuh langsung dari hifa
P ₂ U ⁻³ (1)	
Makroskopis : warna : hijau coklat kekuningan, bentuk : elips, permukaan : halus, tipe koloni : tidak rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa : hialin (transparan), tidak bersepta, dan bercabang, konidiofor : lurus tegak
P ₂ U ⁻³ (2)	
Makroskopis : warna : hijau tua dipinggir terdapat putih, bentuk : bulat, permukaan : halus, tipe koloni : rata, elevasi : cembung	Mikroskopis : hifa : hialin, bersekat (septa), dan bercabang, konidiofor : lurus tegak, terdapatnya vesikel, terdapat fialid, bentuk konidia bulat hingga oval

Hasil isolat yang tumbuh dilakukan kegiatan karakterisasi lalu diikuti dengan kegiatan identifikasi apabila sudah melihat ciri-ciri koloni fungi yang mengandung pelarut fosfat berdasarkan morfologi, lalu dilanjutkan dengan karakteristik mikroskopis yang menggunakan mikroskop lalu

diidentifikasi menggunakan buku yaitu *The identification of Fungi : An Illustrated Introduction with Keys, Glossary, and Guide*. Hasil identifikasi FPF dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Identifikasi Fungi Pelarut Fosfat pada Pengamatan Makroskopis dan Mikroskopis. 7 HST.

Identifikasi Fungi Pelarut Fosfat				
Isolat	Jenis	Makroskopis Tampak Depan	Makroskopis Tampak Belakang	Mikroskopis
B ₁ .U-5(1)	<i>Penicillium</i> sp.			
B ₂ .U-3(1)	<i>Penicillium</i> sp.			
B ₂ .U-3(2)	<i>Penicillium</i> sp.			
K ₁ .U-3 (1)	<i>Trichoderma</i> sp.			
P ₁ .U-3 (1)	<i>Fusarium</i> sp.			
P ₂ .U-3 (1)	<i>Aspergillus</i> sp.			
P ₂ .U-3 (2)	<i>Aspergillus</i> sp.			

3.4 Uji Aktivitas Fungsi Pelarut Fosfat

Uji aktivitas fungsi pelarut fosfat dilakukan berdasarkan pengukuran Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) yang dihitung dari diameter zona bening yang terbentuk pada media Pikovskaya. Nilai IKF mencerminkan kemampuan masing-masing isolat dalam melarutkan senyawa fosfat anorganik, yang berkaitan erat dengan aktivitas metabolik fungsi dan produksi asam organik. Hasil uji aktivitas menunjukkan variasi nilai IKF antar beberapa isolat sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Hasil pengamatan isolat P₂U⁻³(2) menunjukkan nilai IKF tertinggi (5,70 mm) dan tergolong dalam kategori aktivitas pelarutan fosfat tinggi, yang mengindikasikan kemampuan optimal dalam menghasilkan zona bening akibat pelarutan fosfat. Sebaliknya, isolat dari P₁U⁻³ menunjukkan nilai IKF terendah (1,40 mm) dan dikategorikan sebagai terendah.

Tabel 6. Uji Aktivitas Fungsi Pelarut Fosfat

Sampel	Nilai IKF	Keterangan
B ₁ U ⁻⁵ (1)	1,50 mm	Rendah
B ₂ U ⁻³ (1)	2,90 mm	Sedang
B ₂ U ⁻³ (2)	1,50 mm	Rendah
K ₁ U ⁻³ (1)	2,40 mm	Sedang
P ₁ U ⁻³ (1)	1,40 mm	Rendah
P ₂ U ⁻³ (1)	2,30 mm	Sedang
P ₂ U ⁻³ (2)	5,70 mm	Tinggi

4. Pembahasan

4.1 Karakteristik Kimia Tanah Rizosfer

Berdasarkan hasil pengamatan dari karakteristik kimia tanah rizosfer bayam, kangkung, petai cina yang tumbuh di lahan pasca tambang timah pada parameter pH tanah menunjukkan tanah rizosfer bayam memiliki pH yang terendah yaitu berkisar 5,5 yang dikategorikan kondisi relatif masam. Menurut (Hartati et al. 2023) menyatakan bahwa, pengaruh pH tanah dapat dipengaruhi lingkungan sehingga menyebabkan ketersediaan hara menurun. Nilai analisis kimia tanah pada rizosfer bayam terendah dibandingkan kangkung, dan petai cina, hal ini terjadi karena pengambilan sampel tanah komposisi rizosfer pada tanaman bayam dilakukan setelah masa panen.

Adapun pada penelitian dari Ramadhana et al. (2019) proses pelapukan bahan organik yang menghasilkan asam organik, dan anorganik dalam

proses reaksi asam pada tanah, sehingga tingkat kemasaman tanah tersebut sangat dipengaruhi kelarutan hara tanah. Pada tanah rizosfer pada tanaman kangkung, dan petai cina menunjukkan pH sebesar 6,2 mendekati kondisi yang netral.

Pengamatan kandungan C-organik tertinggi ditemukan pada rizosfer kangkung (1,20%), diikuti petai cina (1,02%) dan bayam (0,83%). Meskipun demikian, seluruh nilai tersebut tergolong rendah berdasarkan klasifikasi kesuburan tanah yang idealnya memiliki kandungan >5% (Kadir et al. 2022). Rendahnya C-organik disebabkan dengan rendahnya bahan organik dan aktivitas dekomposer di lahan pasca tambang (Hijrah et al. 2024). C-Organik dapat dikategorikan tinggi karena dipengaruhi oleh kondisi vegetasi yang ditanam di lahan pasca tambang timah sehingga kondisi permukaan lahan dipenuhi dengan serasah dedaunan dari vegetasi yang ditanam (Hamid et al. 2017)

Pengamatan kandungan nitrogen total (N-total) pada ketiga sampel juga rendah, yaitu berkisar antara 0,08–0,14%. Tanah rizosfer kangkung memiliki kandungan tertinggi (0,14%), meskipun rendah, namun lebih potensial dalam mendukung mikroba, dan pertumbuhan tanaman dibandingkan bayam, dan petai cina. Rendahnya kandungan N-total dipengaruhi oleh pencucian, penguapan, serapan tanaman, dan kompetisi mikroba, khususnya fungsi terhadap nutrisi inang (Patti et al. 2013)

Pengamatan P₂O₆ tersedia paling tinggi ditemukan pada rizosfer bayam (1023,1 mg/kg), diikuti kangkung (473,51 mg/kg), dan terendah pada petai cina (26,81 mg/kg). Namun, P₂O₆ potensial tertinggi ditemukan pada kangkung (138,55 mg/100g), yang mencerminkan cadangan fosfat terikat yang masih bisa dimobilisasi. Hal ini mendukung peluang penggunaan mikroba pelarut fosfat sebagai agen peningkat ketersediaan fosfat (Widowati 2022).

Pengamatan kadar logam timbal (Pb) di seluruh sampel berada di bawah ambang batas aman (<8 mg/kg). Namun, kandungan aluminium (Al) tertinggi terdapat pada tanah petai cina (2,51 mg/kg), yang dapat bersifat toksik bagi mikroba dan tanaman terutama pada kondisi tanah masam. Aluminium dapat membentuk kompleks dengan fosfat, sehingga menghambat ketersediaannya (Setiawan 2021). Hal ini Kadar Aluminium yang rendah menguntungkan karena Al tinggi dapat mengikat P, menghambat ketersediaannya, sehingga aktivitas Aluminium dapat ditekan melalui kompleksasi asam organik atau amelioran menjadi P lebih tersedia (Minarsih et al. 2020).

4.2 Analisis Kelimpahan Koloni Fungi yang Tumbuh

Hasil analisis kelimpahan koloni fungi pelarut fosfat, berdasarkan Tabel 2 dan 3, kelimpahan koloni tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hal ini yang terjadi karena tingginya populasi FPF pada rizosfer bayam, dan petai cina lebih tinggi dipengaruhi oleh eksudat akar yang lebih kaya nutrisi, dan bahan organik. Menurut Silva et al. (2023) aktivitas fungi pelarut fosfat sangat dipengaruhi oleh kondisi mikro lingkungan di sekitar akar tanaman rizosfer, termasuk kandungan air, tanah, suhu, dan kandungan mineral.

Berdasarkan hasil tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan tingginya kelimpahan koloni fungi yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam dapat dihubungkan dengan kondisi analisis kimia tanah yang lebih mendukung aktivitas fungi pelarut fosfat. Hal ini menunjukkan dari tinggi kandungan P_2O_5 tersedia pada tanah rizosfer tanaman bayam yaitu 1023,1 mg/kg serta kadar aluminium (Al) yang lebih rendah yaitu 1,22 mg/kg dibandingkan petai cina yang mencapai 2,51 mg/kg. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa fungi pada rizosfer bayam memiliki kemampuan lebih baik dalam melarutkan fosfat terikat, sehingga fosfor yang tersedia dalam jumlah lebih tinggi. Menurut (Kalay et al. 2019) menyatakan bahwa, apabila terdapat kondisi analisis kimia terkandung P_2O_5 yang tersedia di dalam tanah, maka fosfat dapat berbentuk organik yang berasal dari bahan organik, dan anorganik berasal dari mineral-mineral yang mengandung fosfat. Mikroorganisme seperti fungi yang ditemukan di rizosfer tanaman bayam memiliki kemampuan melepas fosfor (P) dari ikatan Fe, Al, Ca, dan M sehingga P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Ketersediaan fosfat anorganik di dalam tanah sangat ditentukan oleh pH tanah, jumlah dan tingkat dekomposisi bahan organik serta aktivitas mikroorganisme di dalam tanah dan semakin tinggi P yang tersedia maka penyerapan oleh tanaman juga akan semakin banyak (Sukmasari et al. 2020) Pelarutan senyawa fosfat oleh mikroorganisme pelarut fosfat dapat berlangsung melalui proses kimiawi maupun biologis, baik pada fosfat organik maupun anorganik. Secara biologis, proses pelarutan fosfat terjadi karena mikroorganisme serta akar tanaman

menghasilkan enzim fosfatase dan fitase yang berperan dalam menguraikan senyawa fosfat sehingga lebih tersedia bagi tanaman (Kalay et al. 2019)

Rizosfer petai cina kandungan Al yang lebih tinggi dapat menyebabkan fosfor lebih banyak terikat dalam bentuk Al-P sehingga menghambat ketersediaan fosfor dan menekan aktivitas beberapa mikroorganisme tanah. Penurunan aktivitas Al diketahui dapat meningkatkan fungsi komunitas mikroba tanah termasuk fungi (Kang dan Lu 2023).

4.3 Karakterisasi dan Identifikasi pada FPF

Hasil pengamatan berdasarkan Tabel 4 dan 5 yaitu *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., dan *Aspergillus* sp. diamati. Karakter makroskopis ini penting karena menjadi indikasi awal dalam identifikasi genus fungi. Menurut Watanabe (2010) perbedaan warna dan bentuk koloni sering digunakan dalam klasifikasi awal fungi tanah. Ciri mikroskopis seperti bentuk konidiofor, konidia, dan tipe hifa memperkuat identifikasi genus : *Penicillium* sp. : memiliki hifa hialin, septat, konidiofor tegak bercabang dengan konidia berbentuk bulat hingga oval. *Trichoderma* sp. : Konidiofor bercabang, konidia berbentuk bulat dan berwarna hialin. Menurut Harman et al. (2004), *Trichoderma* dikenal memiliki fialid tunggal atau berkelompok dalam struktur seperti semanggi. *Fusarium* sp. : Hifa hialin bersekat dengan makrokonidia berbentuk sabit. *Aspergillus* sp. : Konidiofor tidak bercabang, membentuk vesikel di ujung dengan konidia tersusun melingkar.

4.4 Uji Aktivitas Fungi Pelarut Fosfat

Hasil pengamatan yang berdasarkan Tabel 6. menunjukkan bahwa Isolat P_2U^{-3} (2) dari rizosfer tanaman petai cina memiliki aktivitas pelarutan fosfat tertinggi dengan nilai IKF sebesar 5,70 mm, yang termasuk dalam kategori tinggi. Hal ini menandakan bahwa isolat tersebut memiliki kemampuan paling optimal dalam memproduksi asam organik untuk melarutkan fosfat, sehingga membentuk zona bening yang luas (Verma et al. 2013).

5. Kesimpulan

Kelimpahan koloni fungi tertinggi ditemukan pada sampel tanah rizosfer bayam, baik pada pengenceran 10^{-3} (10.900 koloni) maupun 10^{-5} (530.000 koloni), sedangkan kelimpahan terendah tercatat pada rizosfer kangkung (300 koloni) untuk

pengenceran 10^{-3} dan rizosfer petai cina (30.000 koloni) untuk pengenceran 10^{-5} . Hasil identifikasi yang paling dominan banyak tumbuh adalah *Penicillium* sp. Fungi yang melarutkan fosfat yang paling tinggi adalah *Aspergillus* sp.

6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada petani Liau Ngit Cung yang memiliki kebun sayuran yaitu bayam, dan kangkung di desa Padang Baru, Kec. Pangkalan Baru, Kab. Bangka Tengah atas izin melakukan survei, dan pengambilan sampel tanah rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina.

7. Declaration of Conflicting Interests

The author declares that there is no potential conflict of interest in the research, writing and publication of this article.

8. Daftar Pustaka

- Asril M, Lestari W, Sanjaya BMF, Manguntungi RF, Sudewi S, Swandi MK, Paulina M dan Kunusa WR. 2023. Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan. Medan : Yayasan Kita Menulis.
- Choyrot WF. 2009. Gambaran Mikroskopik Sediaan Permanen Larva Nyamuk *Aedes Aegypti* yang Dibuat dengan Teknik Mounting yang Berbeda. *Jurnal Parasitologi*. DOI: <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/JLabMed/article/view/10793>
- Dewi RP, Basuki dan Widiastuti L. 2017. Uji Potensi Bakteri dan Jamur Pelarut Fosfat Dalam Meningkatkan Jumlah P Tersedia Pada Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Agripeat*. 18(1): 27-35. DOI: <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/documents/detail/806722>
- Santirupini IAP dan Astriani NKNK. 2023. Evaluasi Kesesuaian Lahan bagi Strategi Tanaman. <https://distanpangan.baliprov.go.id/evaluasi-kesesuaian-lahan-bagi-tanaman-strategis/>. [1 Mei 2026].
- Erfandi D. 2017. Pengelolaan Lansekap Lahan Pasca Tambang : Pemulihan Lahan dengan Pemanfaatan Sumberdaya Lokal (*In-Situ*). *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 11(2): 55-56. DOI: [10.2018/jsdl.v11i2.7371](https://doi.org/10.2018/jsdl.v11i2.7371)
- Fifendy M, Handayani D dan Zilvi U. 2017. Isolasi Cendawan Endofit Pelarut Fosfat dari Akar Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Journal Biosains*. 1(2). DOI: <https://jurnalhpt.ub.ac.id/index.php/jhpt/article/view/399>
- Ginting S, Pamekas T dan Neildi Z. 2024. Eksplorasi, Isolasi dan Identifikasi Jamur Entomopatogen Asal Rizosfer Tanaman Jagung di Bengkulu dengan Metode Baiting Insect. *Jurnal Agrikultura*. 35(2): 308-320. DOI: [10.24198/agrikultura.v35i2.55390](https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.55390)
- Hamid I, Priatna SJ, Hermawan DA. 2017. Karakteristik Beberapa Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Penelitian Sains*. 19(1). DOI: <https://doi.org/10.56064/jps.v19i1.8>
- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I and Lorito M. 2004. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Journal Nature Reviews Microbiology*. 2(1): 43–56. DOI: [10.1038/nrmicro797](https://doi.org/10.1038/nrmicro797)
- Hartati RD, Suryaman M dan Saepudin A. 2023. Pengaruh Pemberian Bakteri Pelarut Fosfat pada berbagai pH Tanah terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr). *Jurnal Agrotechnology and Crop Science*. 1(1): 26-34. DOI: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=_K7X57UAAAAJ&citation_for_view=_K7X57UAAAAJ:4T0pqqG69KYC
- Haryadi D, Ibrahim dan Darwance. 2025. Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi : Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 23(1): 218-227. DOI: [10.14710/jil.23.1.218-227](https://doi.org/10.14710/jil.23.1.218-227)
- Hidayah IN, Novianto ED dan Rahmiyah M. 2023. *Eksplorasi Cendawan Pelarut Fosfat di Lahan Bekas Erupsi Merapi dan Uji Potensi Isolat Terpilih terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (Vigna radiata L.)*. *Journal of Junior Agricultural Scientists*. 5(2): 22-35. DOI: <https://scholar.google.com/citations?user=hv7iLH4AAAAJ&hl=id>
- Hijrah N, Syarbini M dan Ratna. 2024. Sebaran C-organik Tanah Berdasarkan Tanaman Revegetasi pada Lahan Bekas Tambang Batu Bara. *Jurnal Agroekotek View*. 7(2): 45-54. DOI: <https://doi.org/10.20527/agtview.v7i2.5681>
- Chen L and Liu Y. 2024. The Function of Root Exudates in the Root Colonization by Beneficial Soil Rhizobacteria. *Journal of Biology*. 13(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13020095>
- Kadir M, Abidin Z, Mulyawan R, Bachtiar T, Yuniarti A, Yusra S, Citraresmin A, Sofyan ET, Joy B dan Mulyani O. 2023. Kesuburan Tanah. Makassar : Yayasan Kita Menulis.

- Matichenkov VV and Calvert DV. Silicon as a Beneficial Element for Sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologist*. 22: 21-30. DOI: <https://www.semanticscholar.org/paper/SILICON-AS-A-BENEFICIAL-ELEMENT-FOR-SUGARCANE-Matichenkov-Calvert/65f167afb2db6794f3fbdebba0cd749129897b60>
- Minarsih S, Samijan dan Arianti FD. 2020. Peningkatan Ketersediaan Phosphat pada Tanah Masam Melalui Inokulasi BPF dan Penambahan Bahan Organik. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, "Komoditas Sumber Pangan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan di Era Pandemi Covid -19"*. Palembang 20 Oktober 2020. Hlm 958-965. DOI: <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/journal/view/14516?page=3>
- Mustika TNS. 2022. Potensi Cendawan Rhizosfer pada Tegakan Jabon Merah Provenans sidrap dalam melarutkan Unsur Hara Fosfat, Nitrogen, dan Kalium. [Skripsi]. Makassar: Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
- Noerfitryani dan Hamzah. 2018. Inventarisasi Jenis-Jenis Cendawan pada Rhizosfer Pertanaman Padi. *Jurnal Galung Tropika*. 7(1): 11-21. DOI: [10.31850/jgt.v7i1.282](https://doi.org/10.31850/jgt.v7i1.282)
- Pane RDP, Ginting EN dan Hidayat Fandi. 2022. Mikroba Pelarut Fosfat dan Potensinya dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Sains dan Teknologi*, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Trizelia, Armon N dan Jailani H. 2015. Keanekaragaman Cendawan Entomopatogen pada Rizosfer berbagai Tanaman Sayuran. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1 (5). Semarang 9 Mei 2015. hlm998-1004. DOI: <https://smujo.id/psnmbi/article/view/1213>
- Verma A, Yadav J, Tiwari KN and Lavakush. 2013. Impact of phosphate solubilizing microorganisms on growth and yield parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agricultural Research*. 8(2): 55-70. DOI: [10.31830/2348-7542.2024.ROC-1107](https://doi.org/10.31830/2348-7542.2024.ROC-1107)
- Warta PPKS. 27(1): 51-59. DOI: <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v27i1.81>
- Patti PS, Kaya E dan Silahooy CH. 2013. Analisis Status Nitrogen dalam Kaitannya dengan Serapan N oleh Tanaman Padi Sawah di Desa Waimita, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Agrologia*. 2(1): 51-58. DOI: [10.30598/a.v2i1.278](https://doi.org/10.30598/a.v2i1.278)
- Ramadhana DD, Donantho D, dan Rachel R. 2019. Penilaian Status Kesuburam Tanah pada Lahan Pasca Tambang di Areal PT. Trubaindo Coal Mining Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembah*. 2(1): 24-28. DOI: <http://dx.doi.org/10.35941/jatl.2.1.2019.2529.24-28>
- Silva LID, Pereira MC, Carvalho AMXD, Buttros VH, Pasqual M and Doria J. 2023. Phosphorus-Solubilizing Microorganismes : A Key to Sustainable Agriculture. *Journal Agriculture*. 13(2): 462. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020462>
- Setiawan Y. 2021. Pengaruh Logam Berat terhadap Aktivitas Mikrobiologi Tanah. *J. Kehutanan*. 13(2): 102-110. DOI: [10.1088/1755-1315/113/1/012009](https://doi.org/10.1088/1755-1315/113/1/012009)
- Syahidah RN. 2023. Kelimpahan dan Keragaman Jamur Rizosfer pada Tanaman Meniran (*Phyllanthus niruri* L.) di Berbagai Variasi Dosis Pupuk Urea.[Skripsi]. Jakarta: Fakultas
- Watanabe T. 2010. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi : Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species, Third Edition. London : CRC Press, Boca Raton.
- Widowati L. 2022. Efektivitas Fungi Pelarut Fosfat pada Tanah Miskin Hara. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 24(3): 181-190. DOI: <https://jurnal.polinela.ac.id/index.php/jppt/index>
- Zulputra Z dan Nelvia N. Ketersediaan P, Serapan P dan Si oleh Tanaman Padi Gogo (*Oryza Sativa* L.) pada Lahan Ultisol yang diaplikasikan Silikat dan Pupuk Fosfat. *Jurnal Agroteknologi*. 8(2): 9-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.24014/ja.v8i2.3351>