

**Research Article****Identifikasi dan Kelimpahan Bakteri Pelarut Fosfat dari Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah*****Identification and Abundance of Phosphate-Solubilizing Bacteria from the Rhizosphere of Plants in Post-Tin Mining Land***Vania Putri <sup>1\*</sup>, Ismed Inonu <sup>1</sup>, Rahmad Lingga<sup>1</sup><sup>1</sup> Jurusan Magister Ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunjuk, Bangka 33215

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

**ABSTRACT**

*This study aimed to isolate and identify Phosphate-solubilizing Bacteria (PSB) from the rhizosphere of spinach, water spinach, and lamtoro grown on post-tin mining land in Padang Baru Village, Central Bangka Regency. Soil samples were collected from the rhizosphere and serially diluted before being cultured on Pikovskaya agar to isolate PSB, which were then characterized morphologically, physiologically, and biochemically. Biochemical tests included Gram staining, catalase, motility, methyl red (MR), and Triple Sugar Iron Agar (TSIA) tests, while phosphate solubilization activity was quantified using the Phosphate Solubilization Index (PSI). A total of seven isolates were successfully obtained and showed diverse colony morphologies, indicating adaptation to extreme post-mining conditions. The isolates were identified as belonging to the genera *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, and *Acinetobacter*, known for solubilizing phosphate via organic acids and exopolysaccharides (EPS). Although the PSI values were in the moderate range, the high colony abundance demonstrated strong viability and ecological competitiveness. These research suggest that PSB from degraded post-mining soils may serve as potential biofertilizers to enhance phosphorus availability and support ecological rehabilitation.*

**Keywords:** *Phosphate-Solubilizing Bacteria; Tin Post-Mining; Pseudomonas; Rhodococcus; Acinetobacter.***ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Sampel tanah rizosfer dikumpulkan, diencerkan secara bertingkat, selanjutnya sampel ditumbuhkan pada media *Pikovskaya* untuk mengisolasi bakteri pelarut fosfat (BPF). Isolat yang tumbuh dikarakterisasi secara morfologis, fisiologis, dan biokimiawi, meliputi uji pewarnaan Gram, katalase, motilitas, *Methyl Red* (MR), dan *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), serta diuji aktivitas pelarutan fosfatnya secara kuantitatif menggunakan Indeks Kelarutan Fosfat (IKF). Sebanyak tujuh isolat berhasil diperoleh dan menunjukkan variasi morfologi koloni yang mencerminkan adaptasi terhadap kondisi ekstrem lahan pascatambang. Isolat teridentifikasi berasal dari genus *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, dan *Acinetobacter*, yang dikenal mampu melarutkan fosfat melalui produksi asam organik dan eksopolisakarida (EPS). Meskipun nilai IKF tergolong sedang, kelimpahan koloni yang tinggi menunjukkan viabilitas dan daya saing mikroba yang baik. Penelitian ini menunjukkan potensi besar BPF dari lahan pascatambang sebagai biofertilizer untuk meningkatkan ketersediaan fosfat dan mendukung upaya rehabilitasi lahan terdegradasi.

**Kata kunci:** *Biofertilizer, Pascatambang Timah, Pseudomonas, Rhodococcus, Acinetobacter*

\*Korespondensi Penulis

E-mail : [vaniaptryy05@gmail.com](mailto:vaniaptryy05@gmail.com)DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v10i1.947>

## 1. Pendahuluan

Kegiatan penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung merupakan salah satu sektor utama yang berkontribusi terhadap perekonomian daerah, namun juga menimbulkan dampak lingkungan dan sosial yang signifikan (Damayanti *et.al* 2023). Kegiatan penambangan yang tidak menerapkan prinsip keberlanjutan telah menyebabkan kerusakan pada ekosistem darat dan laut, seperti hutan, terumbu karang, dan mangrove. Selain itu, pencemaran air dan udara serta perubahan tata guna lahan turut memperburuk kondisi lingkungan. Petani juga mengalami penurunan hasil panen dan meningkatnya biaya produksi karena harus membeli pupuk akibat berkurangnya lahan dan matinya mikroorganisme akibat penambangan timah (Dwi Haryadi *et.al* 2025).

Upaya reklamasi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif dari penambangan timah di wilayah Kepulauan Bangka Belitung ini. Sutarman (2019), mengemukakan bahwa tanah memerlukan mikroorganisme yang dapat berperan sebagai pendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan kesuburan tanah dan meningkatkan hasil panen secara langsung maupun tidak langsung. Berbagai mikroorganisme di dalam tanah seperti bakteri, fungi, algae, protozoa dan *actynomicetes* berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Namun, aktivitas penambangan timah menyebabkan penurunan mikroorganisme tersebut. Selain itu, ketersediaan unsur hara juga menurun dan menjadi masalah utama dalam pemupukan fosfor (P). Efisiensi pemupukan di lahan pertanian tergolong rendah, karena hanya 10 – 30% pupuk yang diberikan dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Fitriawati 2018).

Penggunaan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan cara efektif dalam memperbaiki kondisi tanah yang terdegradasi akibat penambangan timah. Tanah pasca tambang umumnya miskin unsur hara, terutama fosfor yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Hal ini didapatkan dari hasil penelitian Nurjahya dan Agustina (2015) menunjukkan bahwa penambangan timah darat di Pulau Bangka menyebabkan penurunan kualitas sifat tanah. Perubahan tersebut ditandai dengan peningkatan fraksi pasir dari 70% menjadi 97%. Selain itu, konsentrasi fosfat, kalsium, magnesium, kalium dan natrium pada lahan yang tidak terganggu lebih tinggi dibandingkan pada lahan yang terganggu. Kandungan C-organik tercatat kurang dari 2%, serta kapasitas tukar kation (KTK) sangat rendah, yaitu berkisar antara 0,4 – 3,9 cmol/100 gram. Suhu tanah dapat mencapai 45°C pada siang

hari, sementara laju penguapan pada tailing berpasir dapat mencapai 4 L/m<sup>2</sup>/hari atau dua kali lebih tinggi dibandingkan tanah yang tidak terganggu. Penggunaan BPF di lahan bekas tambang, baik langsung maupun dicampur dengan kompos, dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, dan merangsang pertumbuhan akar tanaman. Kompos juga merupakan pupuk yang mengandung unsur hara makro dan mikrom sedangkan BPF berperan dalam siklus unsur hara tanah (Sri *et.al* 2022). Selain itu, penggunaan BPF juga mendukung reklamasi karena ramah lingkungan dan dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia (Xiao-Kai Shi *et.al* 2017).

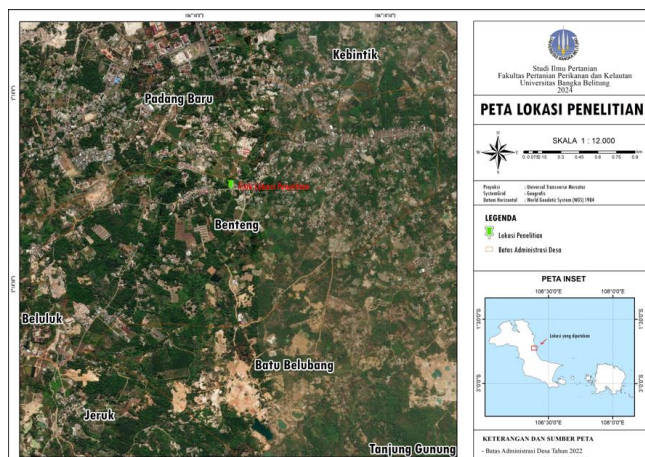
Identifikasi bakteri pelarut fosfat merupakan langkah penting dalam upaya meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman secara alami. Proses ini dimulai dengan isolasi bakteri dari lingkungan seperti tanah rizosfer sebagai tempat mikroorganisme tersebut aktif berinteraksi dengan akar tanaman (Mubarik *et.al* 2016). Bakteri yang berhasil diidentifikasi seperti *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, dan *Acinetobacter* yang berpotensi dimanfaatkan sebagai agen hayati dalam pertanian berkelanjutan (Ella Dewani Larasati *et.al* 2018).

Bakteri pelarut fosfat (BPF) dalam penelitian ini diisolasi dari rizosfer lahan pasca tambang timah untuk memperoleh mikroorganisme yang telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan ekstrem dan berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk hayati dalam reklamasi lahan. Isolat diperoleh dari rizosfer kangkung, bayam, dan petai cina. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jenis dan kelimpahan BPF pada rizosfer tanaman Berbagai studi sebelumnya Novalia *et.al* (2022) menunjukkan bahwa lahan pasca tambang timah umumnya memiliki kandungan fosfor yang rendah, namun keberadaan bakteri pelarut fosfat di rizosfer tanaman lokal mampu meningkatkan ketersediaan fosfor melalui proses pelarutan fosfat yang tidak tersedia. Oleh karena itu, salah satu strategi yang dapat diterapkan untuk mendukung keberhasilan reklamasi lahan pasca tambang adalah dengan memanfaatkan mikroba potensial. Berkaitan dengan hal ini, bakteri pelarut fosfat berperan penting tidak hanya sebagai pupuk hayati, tetapi juga sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman, sehingga dapat meningkatkan kualitas tanah marginal dan mendukung peningkatan produktivitas lahan.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan mulai Oktober 2024 – April 2025. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Agroteknologi Fakultas Pertanian, Perikanan, dan

Kelautan, serta Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bangka Belitung. Pengambilan sampel tanah rizosfer dari tanaman bayam, kangkung dan petai cina diambil dari kebun petani di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah (2°17'15.64"S 106°16'98.13" E). Lokasi penelitian dipilih karena merupakan lahan pasca tambang timah yang mewakili kondisi lahan terdegradasi di Kabupaten Bangka Tengah. Lahan ini telah ditinggalkan selama ± 10 - 15 tahun setelah aktivitas penambangan, dengan karakteristik kondisi iklim di lokasi penelitian tergolong relatif stabil yang ditandai dengan telah berkembangnya vegetasi secara alami dalam jumlah yang cukup banyak di area tersebut. Peta lokasi penelitian dalam pengambilan sampel tanah dibagian daerah rizosfer dapat dilihat Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Rizosfer Tanah

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu autoklaf, botol duran, bunsen, *blue tip*, batang pengaduk, cawan petri, *colony counter*, erlenmeyer, jangka sorong, jarum ose atau loop, kamera, LAFB (*Laminar Air Flow Cabinet*), mikroskop, mikropipet, kamera, kedik, kompor, kertas, kertas label, korek api gas, kaca preparat, kertas kalibrasi timbangan panci, pipet tetes, plastik, spatula, silk, tabung reaksi, timbangan analitik, tisu, tusuk gigi.

Bahan yang digunakan agar, aluminium foil, alkohol 70%, *aquadest*,  $\text{FeSO}_4$ , glukosa,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , *Muller-Hiltton Agar*, media SIM (*Sulfide Indole Motility*),  $\text{NaCl}$ , NB (*Nutrient Broth*),  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , *lactose peptone*, *phena red*, *Pikovskaya*, rizosfer tanaman, *sucrose*, spiritus, *yeast extract*. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel tanah dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru,

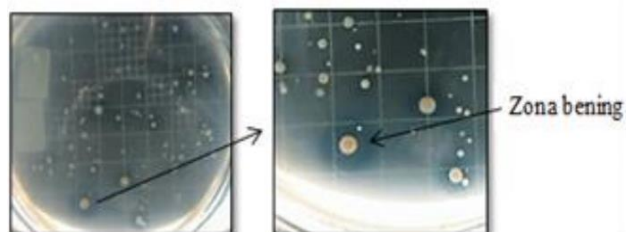
Kabupaten Bangka Tengah. Pengambilan sampel dilakukan pada dua titik lokasi, yaitu bagian tengah dan bawah lahan. Setiap titik diambil sebanyak 1 gram tanah, sehingga total sampel mencapai 6 gram. Sampel dimasukkan ke dalam plastik berlabel sesuai jenis tanaman dan lokasi pengambilan, lalu disimpan pada suhu lingkungan sebelum dibawa ke laboratorium.

Pemilihan tanaman bayam, kangkung, dan petai cina sebagai sumber isolat didasarkan pada kemampuannya untuk tumbuh dan beradaptasi pada lahan pasca tambang timah, serta keberadaan rizosfer yang aktif dalam mendukung kehidupan mikroorganisme tanah. Tanaman-tanaman tersebut juga merupakan vegetasi yang umum ditemukan di lokasi penelitian sehingga dianggap representatif. Selain itu, beberapa penelitian melaporkan bahwa rizosfer tanaman sayuran dan legum memiliki keragaman mikroorganisme yang tinggi, termasuk bakteri pelarut fosfat yang berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Mukanto *et.al* 2015). Tanaman legum seperti petai cina diketahui memiliki interaksi simbiotik dengan mikroorganisme tanah yang dapat meningkatkan kesuburan tanah, sedangkan tanaman sayuran seperti bayam dan kangkung memiliki sistem perakaran yang mampu mendukung aktivitas mikroba di daerah rizosfer (Qudisia *et.al* 2021). Oleh karena itu, ketiga tanaman tersebut dipilih sebagai sumber isolat untuk mengkaji potensi bakteri pelarut fosfat pada lahan pasca tambang timah.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu isolat bakteri yang diambil dari rizosfer tanaman lahan pasca tambang timah akan ditumbuhkan pada media selektif seperti *Pikovskaya* agar yang mengandung fosfat tak larut, sehingga bakteri yang mampu melarutkan fosfat akan membentuk zona bening di sekitar koloni. Setelah itu, dilakukan karakterisasi morfologi koloni, perhitungan jumlah kelimpahan koloni, uji aktivasi bakteri pelarut fosfat dan berbagai uji biokimia yang dilakukan sebanyak 5 tahap yaitu dimulai pewarnaan gram, uji katalase, uji motilitas, uji MR (*Methyl Red*), dan uji TSIA untuk mengenali sifat biologis bakteri. Selain itu, aktivitas pelarutan fosfat juga diuji secara kuantitatif untuk mengetahui potensi bakteri dalam meningkatkan ketersediaan fosfat.

Pengambilan sumber isolasi bakteri pelarut fosfat (BPF) diambil dari lahan pasca tambang timah yang bersumber dari akar tanaman yang telah ditanam atau tumbuh dilahan pasca tambang timah. Hal ini dilakukan untuk mempermudah bakteri yang hidup dilahan pasca tambang timah

agar lebih mudah beradaptasi untuk kepentingan reklamasi dan budidaya. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui keberadaan bakteri pelarut fosfat yang berpotensi pada perakaran tanaman tersebut. Isolasi bakteri dilakukan dengan metode pengenceran bertingkat menggunakan teknik *plating*. Tanah seberat 1 gram dicampur dengan aquades steril dan di-vortex hingga homogen, lalu dilakukan pengenceran seri hingga mencapai  $10^{-6}$ . Suspensi dari pengenceran  $10^{-3}$  dan  $10^{-5}$  diambil sebanyak 1 mL dan diinokulasikan ke dalam cawan petri berisi media *Pikovskaya* kemudian diinkubasi selama 24 – 72 jam pada suhu 37 °C. Setelah inkubasi, dilakukan analisis kelimpahan bakteri menggunakan metode Total Plate Count (TPC) dengan menghitung jumlah koloni pada cawan petri yang berisi antara 30 – 300 koloni. Nisa (2011), mengemukakan bahwa aktivitas pelarutan fosfat diamati dari terbentuknya zona bening (*halozone*) di sekitar koloni pada media *Pikovskaya*, yang menunjukkan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat. Keberadaan bakteri pelarut fosfat dikatakan positif apabila terdapat zona bening (*halozone*) pada media *Pikovskaya* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Koloni tunggal pada medium selektif *Pikovskaya* setelah masa inkubasi (Sugianto *et al.* 2018).

Menurut Waluyo (2008), koloni bakteri dapat dihitung tanpa menggunakan mikroskop. Jumlah koloni yang berada di dalam cawan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Koloni per mL/gram} = \text{Jumlah koloni per cawan} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

Koloni tunggal yang tumbuh kemudian diisolasi ulang (*reisolasi*) menggunakan teknik goresan kuadran untuk memperoleh biakan murni. Koloni yang berbeda secara morfologis

ditumbuhkan kembali pada media *Pikovskaya* baru secara aseptik dan diinkubasi. Identifikasi bakteri dilakukan secara makroskopis dengan mengamati bentuk, warna, tepi, tekstur, dan permukaan koloni, serta secara mikroskopis menggunakan pewarnaan gram untuk menentukan sifat gram-positif atau gram-negatif serta bentuk sel bakteri (*coccus, basil, atau spiral*).

Selanjutnya, dilakukan uji biokimia untuk mengidentifikasi karakter fisiologis bakteri. Uji katalase dilakukan dengan meneteskan  $H_2O_2$  ke koloni bakteri untuk melihat pembentukan gelembung. Uji motilitas dilakukan pada media SIM semi-solid, uji *Methyl Red* (MR) untuk mengetahui kemampuan fermentasi menjadi asam, dan uji TSIA untuk mendeteksi fermentasi glukosa, laktosa/sukrosa, produksi gas, dan  $H_2S$ . Terakhir, aktivitas pelarutan fosfat diuji dengan menumbuhkan isolat pada media *Pikovskaya* dan mengukur zona bening serta diameter koloni setelah inkubasi pada suhu 20 – 30 °C selama 24 jam. Semakin tinggi nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF), semakin tinggi aktivitas pelarutan fosfat oleh bakteri rizosfer. Nilai IKF dihitung dengan rumus berikut (Karpagam dan Nagalakshmi 2014).

$$\text{Indeks Kelarutan Fosfat} = \frac{\text{Diameter Koloni} + \text{Zona Bening}}{\text{Diameter Koloni}}$$

### 3. Hasil

Isolat bakteri pelarut fosfat yang diambil dari rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah didapatkan sebanyak 7 isolat. Pengkodean isolat dalam penelitian ini disusun secara sistematis untuk memudahkan identifikasi dan analisis data. Kode K, B, dan P masing – masing menunjukkan asal isolate bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina. Sementara itu, kode U menunjukkan ulangan ke-2 dan ke-3 pada tahap pengenceran (Tabel 1). Berdasarkan hasil karakterisasi makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia, isolat bakteri pelarut fosfat tersebut teridentifikasi ke dalam 3 genus bakteri. Genus bakteri tersebut adalah *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* (Tabel 2). Bentuk sel dari genus bakteri tersaji pada Gambar 3.

**Identifikasi dan Kelimpahan Bakteri Pelarut Fosfat Dari Rizosfer Tanaman di Lahan Pasca Tambang Timah**

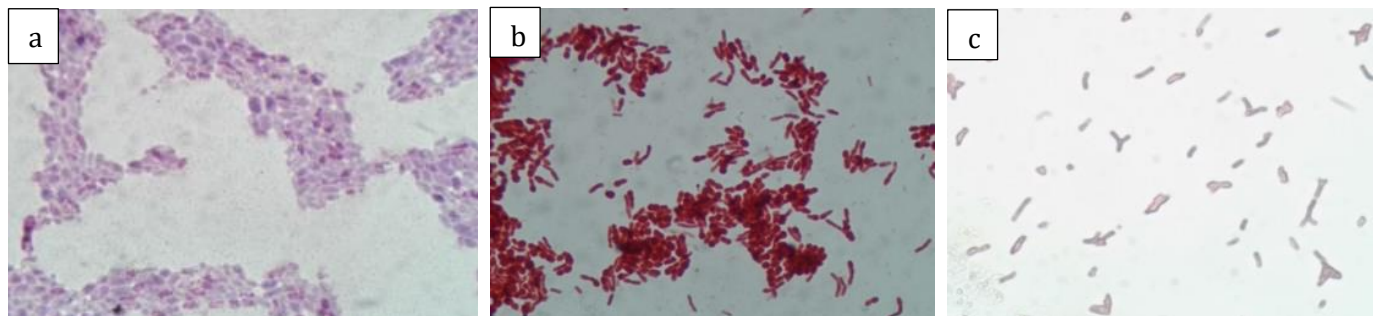
Tabel 1. Morfologi Koloni Bakteri Pelarut Fosfat

Kode Isolat	Morfologi Koloni Bakteri							
	Bentuk	Tepi	Elevasi	Ukuran	Penampilan	Optik	Tekstur	Warna
K2.U <sup>-3</sup> (a)	Bundar	Seluruh	Datar	Sedang	Mengkilap	Buram	Berlendir	Merah Muda
K1.U <sup>-3</sup> (a)	Bundar	Bergelombang	Menonjol	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
P2.U <sup>-5</sup> (b)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Mengkilap	Tembus Cahaya	Berlendir	Cream
K1.U <sup>-5</sup> (a)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
B2.U <sup>-3</sup> (a)	Tidak Teratur	Bergelombang	Datar	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
B2.U <sup>-3</sup> (b)	Bundar	Seluruh	Dinaikkan	Kecil	Kusam	Buram	Berlendir	Cream
K1.U <sup>-5</sup> (a)	Bundar	Bergelombang	Rata	Sedang	Kusam	Buram	Berlendir	Putih

Keterangan : Berpigmen = Kuning, biru dan merah muda. Tidak Berpigmen = Krem dan putih

Tabel 2. Karakter Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Kode Isolat	Uji Katalase	Pewarnaan Gram	Uji Methyl Red	Uji Motilitas	Bentuk Sel	Uji TSIA	Genus
K2.U <sup>-3</sup> (a)	+	+	-	-	Cocobacillus	Slant : basa Butt : asam	<i>Rhodococcus</i>
K1.U <sup>-3</sup> (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
P2.U <sup>-5</sup> (b)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
K1.U <sup>-5</sup> (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
B2.U <sup>-3</sup> (a)	+	-	-	+	Bacil	Slant: asam Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
B2.U <sup>-3</sup> (b)	+	-	-	+	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Pseudomonas</i>
K1.U <sup>-5</sup> (a)	+	-	-	-	Bacil	Slant : basa Butt : asam	<i>Acinetobacter</i>



Gambar 3. Morfologi Sel Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Identifikasi Genus (Perbesaran 1000x).  
Keterangan: (a) *Rhodococcus*, (b) *Pseudomonas*, (c) *Acinetobacter*.

Hasil analisis kelimpahan koloni bakteri pelarut fosfat pada tiap jenis rizosfer tanaman kangkung, bayam, dan petai cina yang terdapat pada lokasi kebun di desa Padang Baru dengan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengamatan pada tingkat pengenceran  $10^{-3}$  menunjukkan bahwa B2.U<sup>-3</sup> memiliki jumlah koloni bakteri tertinggi sebesar  $1,85 \times 10^5$  CFU, sedangkan yang terendah ditemukan pada K1.U<sup>-3</sup> sebesar  $2,9 \times 10^4$  CFU.

Hasil uji analisis kelimpahan koloni bakteri yang tumbuh pada pengenceran tingkat  $10^{-3}$  dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengamatan uji analisis kelimpahan koloni bakteri pada tingkat pengenceran  $10^{-5}$  yang menunjukkan hasil tertinggi pada sampel tanah K1.U<sup>-5</sup> yaitu  $5,3 \times 10^6$  dibandingkan dengan P1.U<sup>-5</sup> yaitu  $1,6 \times 10^6$  yang merupakan hasil terendah yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Pengamatan uji aktivitas pelarutan fosfat dilakukan saat koloni bakteri menunjukkan adanya zona bening pada media Pikovskaya tersebut. Hasil dari pelarutan fosfat terdapat 3 kategori yaitu rendah, sedang dan tinggi yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Bakteri Yang Tumbuh Pada Pengenceran tingkat  $10^{-3}$

Kode Isolat	Kelimpahan Koloni Bakteri yang Tumbuh		Keterangan
	Jumlah Koloni Bakteri		
K1.U <sup>-3</sup>	29.000		$2,9 \times 10^4$
K2.U <sup>-3</sup>	92.000		$9,2 \times 10^4$
B1.U <sup>-3</sup>	80.000		$8,0 \times 10^4$
B2.U <sup>-3</sup>	185.000		$1,85 \times 10^5$
P1.U <sup>-3</sup>	55.000		$5,5 \times 10^4$
P2.U <sup>-3</sup>	141.000		$1,41 \times 10^5$

Keterangan : CFU = *Colony Forming Unit*

Tabel 4. Uji Analisis Kelimpahan Koloni Bakteri Yang Tumbuh Pada Pengenceran tingkat  $10^{-5}$

Kode Isolat	Kelimpahan Koloni Bakteri yang Tumbuh		Keterangan
	Jumlah Koloni Bakteri		
K1.U <sup>-5</sup>	5.300.000		$5,3 \times 10^6$
K2.U <sup>-5</sup>	2.000.000		$2,0 \times 10^6$
B1.U <sup>-5</sup>	3.200.000		$3,2 \times 10^6$
B2.U <sup>-5</sup>	4.000.000		$4,0 \times 10^6$
P1.U <sup>-5</sup>	1.600.000		$1,6 \times 10^6$
P2.U <sup>-5</sup>	2.600.000		$2,6 \times 10^6$

Keterangan: CFU = *Colony Forming Unit*

Tabel 5. Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat

Kode Isolat	Nilai IKF	Keterangan
K2.U <sup>-3</sup> (a)	3,09 mm	Sedang
K1.U <sup>-3</sup> (a)	2,51 mm	Sedang
P2.U <sup>-5</sup> (b)	2,50 mm	Sedang
K1.U <sup>-5</sup> (a)	2,30 mm	Sedang
B2.U <sup>-3</sup> (a)	2,83 mm	Sedang
B2.U <sup>-3</sup> (b)	2,29 mm	Sedang

Keterangan: IKF = Indeks Kelarutan Fosfat

Tabel 6. Hasil Analisis Unsur Hara P Tersedia dan pH dalam tanah yang telah dikomposit

Parameter	Jenis Tanaman			
	Bayam	Kangkung	Petai Cina	
pH Tanah	H <sub>2</sub> O	5,5	6,2	6,2
	N KCl	5,5	5,8	5,6
C-Organik (%)	0,83	1,20	1,02	
N-Total (%)	0,08	0,14	0,09	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Tersedia (mg/Kg)	1023,09	473,51	26,81	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Potensial (mg/100g)	115,48	138,55	7,28	
Timbal (Pb) (mg/Kg)	< 8,00	< 8,00	< 8,00	
Alumunium (Al) (mg/Kg)	1,22	1,28	2,51	

Faktor yang dapat mempengaruhi kehidupan bakteri tanah selain dari faktor lingkungan yaitu dari faktor fisik dan kimia tanah juga. Hasil analisis unsur hara P Tersedia dan pH dalam tanah dari tiga jenis rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah tercantum pada Tabel 5. Sebanyak tujuh isolat berhasil diperoleh dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina yang menunjukkan potensi sebagai sumber BPF.

Kondisi kimia tanah pada tiga jenis rizosfer tanaman menunjukkan variasi yang cukup nyata, terutama pada parameter pH, C-organik, N-total, serta ketersediaan fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Nilai pH tanah tergolong agak masam hingga mendekati netral, dengan kisaran tertinggi pada rizosfer kangkung dan petai cina, yang berpotensi lebih mendukung aktivitas mikroorganisme tanah dibandingkan kondisi yang lebih asam. Kandungan C-organik dan N-total tertinggi juga ditemukan pada rizosfer kangkung, yang mengindikasikan ketersediaan bahan organik dan unsur hara yang lebih baik untuk mendukung pertumbuhan mikroba, termasuk bakteri pelarut fosfat (BPF). Sementara itu, kadar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tersedia sangat tinggi pada rizosfer bayam, namun relatif lebih rendah pada kangkung dan sangat rendah pada petai cina, yang menunjukkan adanya perbedaan tingkat ketersediaan fosfor di masing-masing lokasi.

Perbedaan ini dapat memengaruhi keberadaan dan aktivitas BPF, di mana kondisi dengan fosfor rendah umumnya mendorong mikroorganisme untuk lebih aktif melarutkan fosfat terikat. Selain itu, kandungan logam berat seperti Pb masih berada di bawah ambang batas, sedangkan Al relatif lebih tinggi pada petai cina yang berpotensi memengaruhi ketersediaan hara dan aktivitas mikroba. Secara keseluruhan, variasi sifat kimia tanah ini menjadi faktor penting yang memengaruhi

keberagaman dan potensi bakteri pelarut fosfat pada masing-masing rizosfer tanaman (Tabel 6).

#### 4. Pembahasan

##### 4.1 Morfologi Koloni BPF

Sebanyak tujuh isolat bakteri pelarut fosfat (BPF) diambil dari rizosfer tanaman di lahan pasca tambang timah Desa Padang Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Berdasarkan morfologi koloninya, isolat menunjukkan variasi bentuk, tepi, elevasi, ukuran, tekstur, dan warna. Sebagian besar isolat memiliki koloni tidak teratur, bergelombang, dan berlendir yang merupakan ciri umum BPF. Ciri tersebut menunjukkan kemampuan bakteri dalam menghasilkan eksopolisakarida (EPS), yaitu senyawa seperti lendir yang disekresikan ke luar sel. EPS berperan dalam membantu bakteri melekat di akar tanaman, melindungi dari cekaman lingkungan, dan memfasilitasi pelarutan fosfat dengan cara mengikat ion logam penghambat ketersediaan fosfat (Fei Pang *et.al* 2024).

Koloni umumnya berukuran kecil dengan permukaan kusam hingga mengkilap, serta warna bervariasi yaitu berwarna merah muda, krem, dan putih (Tabel 1). Variasi morfologi ini menunjukkan adanya keanekaragaman bakteri dan potensi adaptasi terhadap lingkungan ekstrim serta dapat mendukung peranannya sebagai agen hayati untuk memperbaiki kesuburan tanah, khususnya di lahan pasca tambang (Vijay *et.al* 2018).

Jenis tanaman asal rizosfer turut berperan dalam membentuk keberagaman dan karakteristik BPF yang ditemukan. Setiap tanaman menghasilkan komposisi eksudat akar yang berbeda, seperti asam organik, gula, dan senyawa fenolik, yang dapat memengaruhi kolonisasi, pertumbuhan, serta

aktivitas metabolik bakteri di sekitar perakaran. Lahan pasca tambang timah yang memiliki kondisi tanah marginal, perbedaan jenis tanaman berpotensi menentukan struktur komunitas mikroba termasuk bakteri pelarut fosfat, karena tanaman yang lebih adaptif cenderung menciptakan lingkungan rizosfer yang lebih mendukung bagi perkembangan bakteri fungsional. Dengan demikian, variasi isolat BPF yang diperoleh tidak hanya mencerminkan adaptasi bakteri terhadap kondisi ekstrem, tetapi juga menunjukkan adanya pengaruh spesifik dari jenis tanaman terhadap keberadaan dan efektivitas BPF dalam mendukung rehabilitasi lahan pasca tambang.

#### 4.2 Karakter Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Berdasarkan hasil uji biokimia dan identifikasi morfologi sel, isolat bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari rizosfer tanaman pada lahan pasca tambang timah terdiri atas tiga genus yaitu *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, dan *Acinetobacter*. Identifikasi genus dilakukan melalui serangkaian uji seperti katalase, pewarnaan gram, uji methyl red, motilitas, dan uji TSIA. Semua isolat menunjukkan hasil positif pada uji katalase, menandakan kemampuannya dalam menguraikan hidrogen peroksida yang umumnya dimiliki oleh bakteri aerob.

Satu isolat K2.U<sup>-3</sup>(a), teridentifikasi sebagai *Rhodococcus* yang merupakan bakteri Gram-positif berbentuk *coccobacillus* yang terlihat jelas pada (Gambar 3a). Isolat ini juga menunjukkan hasil *slant* basa dan *butt* asam pada uji TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*), mencerminkan kemampuan fermentasi glukosa tanpa fermentasi sukrosa dan laktosa. Genus ini dikenal memiliki sifat toleran terhadap logam berat dan sering ditemukan di tanah yang terkontaminasi dan menunjukkan potensinya dalam pelarutan fosfat dan fitoremediasi (Jean *et.al* 2022).

Sebagian besar isolat lainnya termasuk genus *Pseudomonas*, yang dikenali sebagai Gram-negatif, berbentuk batang, dan memiliki motilitas, serta menunjukkan pola fermentasi pada bagian miring (*slant*) bersifat basa dan bagian dasar (*butt*) bersifat asam. Hal ini sesuai dengan penampakan morfologinya pada (Gambar 3b), sehingga sel tampak memanjang dan tersebar. Genus *Pseudomonas* diketahui memiliki peran penting dalam pelarutan fosfat melalui produksi asam organik serta biosintesis ekopolisakarida (EPS) yang dapat membantu meningkatkan ketersediaan fosfat di tanah dan mempromosikan pertumbuhan tanaman, dengan fokus pada produksi asam organik dan hormon pertumbuhan seperti IAA (Nicholas *et.al* 2015). Selain itu, satu isolat lainnya yaitu K1.U<sup>-5</sup>(b) teridentifikasi sebagai genus *Acinetobacter*

yang tampak pada (Gambar 3c). Genus ini juga merupakan bakteri Gram-negatif, berbentuk *bacil* dan dikenali bertahan di lingkungan yang ekstrem serta berkontribusi dalam proses bioremediasi dan pelarutan fosfat. Genus ini juga memiliki kemampuan memproduksi asam organik, seperti asam glukonat dan asam sitrat, yang berperan dalam melarutkan fosfat dari senyawa tidak larut, sehingga meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman, enzim fosfatase, dan ekopolisakarida (EPS). EPS berperan dalam khelasi ion logam seperti Fe<sup>3+</sup> dan Al<sup>3+</sup>, yang membantu melepaskan fosfat dari senyawa tidak larut (Lin Pan and Baiyan Cai 2023).

Kombinasi hasil biokimia, morfologi sel, dan pola fermentasi dari uji TSIA memperkuat ketepatan identifikasi ketiga genus tersebut. *Pseudomonas* sebagai genus dominan menunjukkan potensi besar dalam melarutkan fosfat di tanah marginal seperti lahan pasca tambang sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dan rehabilitasi lingkungan. Hasil identifikasi ini didukung oleh pengamatan mikroskopis pada pewarnaan Gram dengan pembesaran 1000x. Ketiga genus tersebut ditampilkan pada Gambar 3 dan diketahui berpotensi sebagai pelarut fosfat melalui produksi asam organik dan EPS (Etha *et.al* 2023).

#### 4.3 Analisis Kelimpahan Koloni BPF

Analisis kelimpahan koloni Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan langkah awal untuk mengevaluasi kemampuan mikroba melarutkan fosfat di lingkungan. Kelimpahan koloni yang dinyatakan dalam satuan CFU (*colony forming units*), mencerminkan populasi mikroorganisme aktif yang mampu tumbuh pada media selektif, seperti Pikovskaya agar. Tingginya jumlah koloni menunjukkan bahwa isolat tersebut memiliki kemampuan adaptif dan kompetitif yang baik terhadap kondisi lingkungan tertentu (Tabel 3 dan 4). Selain itu, kelimpahan yang tinggi juga sering berkorelasi dengan kapasitas metabolik yang lebih besar, termasuk dalam produksi asam organik atau ekopolisakarida (EPS), yang berperan langsung dalam mekanisme pelarutan fosfat dari senyawa tidak larut. Oleh karena itu, isolat dengan kelimpahan koloni tertinggi dapat diprioritaskan untuk pengembangan biofertilizer berbasis mikroba pelarut fosfat, terutama dalam mendukung pertanian berkelanjutan di lahan-lahan marginal seperti tanah pasca tambang (Jose *et.al* 2025).

#### 4.4 Aktivitas Pelarutan Fosfat

Nilai Indeks Kelarutan Fosfat (IKF) merupakan indikator kuantitatif untuk menilai kemampuan isolat bakteri dalam melarutkan fosfat anorganik yang tidak larut, seperti kalsium fosfat, pada media selektif (Elhaisssoufi *et.al* 2022). Dalam penelitian

ini, seluruh isolat BPF menunjukkan nilai IKF yang termasuk dalam kategori sedang (Tabel 5). Hal ini mengindikasikan bahwa isolat memiliki kapasitas pelarutan fosfat yang cukup baik, meskipun belum mencapai efisiensi maksimum. Kategori sedang pada nilai IKF ini umumnya berkaitan dengan produksi asam organik dalam jumlah sedang, yang mampu menurunkan pH lokal di sekitar koloni dan melepaskan ion fosfat dari kompleks senyawa tidak larut. Selain itu, kemampuan tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti produksi eksopolisakarida (EPS), aktivitas enzimatis, serta kemampuan adaptasi isolat terhadap kondisi lingkungan. Meski nilai IKF belum tinggi, isolat tetap berpotensi menjadi biofertilizer, terutama jika didukung oleh kelimpahan koloni, motilitas, dan kemampuan bertahan di tanah lahan pasca tambang (Syarwani *et.al* 2022).

#### 4.5 Analisis Unsur Hara P Tersedia Dan Ph Dalam Tanah

Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat (BPF) dari rizosfer tanaman yang tumbuh di lahan pascatambang timah, khususnya di Desa Padang Baru. Kondisi tanah di lokasi penelitian yang berhasil diamati dari rizosfer tanaman bayam, kangkung dan, petai cina memperlihatkan variasi karakteristik kimia dan fisik yang mungkin memengaruhi keberadaan dan aktivitas mikroba. pH tanah ( $H_2O$ ) berkisar antara 5.5 - 6.2, menunjukkan kondisi sedikit asam hingga mendekati netral. Kandungan  $P_2O_5$  bervariasi antar rizosfer, dari 26,81 mg/Kg pada petai cina hingga 1023,09 mg/Kg pada bayam. Perbedaan ini menyoroti adaptasi mikroba pada kondisi lingkungan yang beragam dan pentingnya rizosfer sebagai peranan penting bagi mikroorganisme yang berperan dalam siklus nutrisi (Sutono *et.al* 2018).

Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat (BPF) dilakukan dari rizosfer tanaman yang tumbuh di lahan pascatambang timah di Desa Padang Baru. Kondisi tanah pada lokasi penelitian yang diamati dari rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina menunjukkan variasi karakteristik kimia dan fisik yang berpotensi memengaruhi keberadaan serta aktivitas mikroba tanah. Nilai pH tanah ( $H_2O$ ) berkisar antara 5,5–6,2 yang tergolong sedikit asam hingga mendekati netral, kondisi ini masih optimal bagi pertumbuhan BPF karena bakteri pelarut fosfat umumnya mampu beradaptasi pada kisaran pH tersebut dan tetap aktif dalam melarutkan fosfat terikat melalui produksi asam organik.

Perbedaan kandungan  $P_2O_5$  yang cukup signifikan antar rizosfer, yaitu 26,81 mg/kg pada petai cina hingga 1023,09 mg/kg pada bayam,

menunjukkan adanya perbedaan dinamika ketersediaan fosfor yang erat kaitannya dengan jenis tanaman dan aktivitas mikroba di sekitarnya. Tanaman diketahui mampu memengaruhi komunitas mikroba rizosfer melalui eksudat akar yang mengandung senyawa organik, yang dapat merangsang aktivitas bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia. Hal ini menyebabkan setiap jenis tanaman memiliki komunitas BPF yang berbeda (Hugo *et.al* 2023).

Tanaman bayam dengan sistem perakaran relatif dangkal dan eksudat akar yang mudah terdegradasi cenderung meningkatkan aktivitas mikroba, termasuk BPF, sehingga berkontribusi terhadap tingginya kandungan fosfat tersedia. Sebaliknya, petai cina (leguminosa) memiliki sistem perakaran lebih dalam serta interaksi dengan mikroorganisme penambat nitrogen yang dapat menciptakan kondisi rizosfer yang lebih selektif terhadap jenis mikroba tertentu, sehingga jumlah atau aktivitas BPF yang dominan dapat berbeda. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa jenis tanaman berpengaruh terhadap jumlah dan kemampuan isolat BPF, dimana perbedaan rizosfer dapat menghasilkan jumlah isolat dan kapasitas pelarutan fosfat yang berbeda (Syarwani *et.al* 2022).

Faktor lain dari itu juga meliputi kondisi lingkungan seperti kelembapan tanah pada tanaman kangkung juga memengaruhi komunitas mikroba karena faktor aerasi dan kadar air berperan dalam aktivitas mikroorganisme tanah. Secara umum, rizosfer merupakan habitat utama bagi mikroorganisme yang berperan dalam siklus fosfor, di mana BPF berfungsi mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman (Ella *et.al* 2018). Secara keseluruhan variasi kondisi tanah dan jenis tanaman di lahan pascatambang menunjukkan adanya hubungan erat antara karakteristik lingkungan, tipe tanaman, dan keberadaan serta aktivitas bakteri pelarut fosfat.

## 5. Kesimpulan

Hubungan kekerabatan berdasarkan karakter kualitatif terbagi atas dua klaster pada koefisien 61% dan hubungan kekerabatan terdekat terdapat pada aksesori Jawa dan Mayang dengan koefisien 100%. Hubungan kekerabatan berdasarkan karakter kuantitatif terbagi atas empat klaster pada koefisien 20% dan hubungan kekerabatan terdekat terdapat pada aksesori Ungu dan Pulut Hitam dengan koefisien 35%. Aksesori Mayang Hutan menunjukkan hasil skoring sifat kimia beras terbaik. Uji organoleptik menunjukkan bahwa aksesori Pulut

Emas menerima penilaian tertinggi secara keseluruhan yaitu 3,68.

## 6. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Liau Ngit Cung selaku pemilik lahan pertanian sayuran di Desa Padang Baru, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah, yang telah memberikan izin serta membantu dalam pelaksanaan survei dan pengambilan sampel tanah rizosfer tanaman bayam, kangkung, dan petai cina selama penelitian berlangsung.

## 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

- Damayanti A, Salsabila AP, dan Pramasha RR. 2023. Pengaruh pertambangan timah terhadap lingkungan dan masyarakat: Studi kasus di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Indonesian Journal of Economy and Education Economy*, 1(2). hlm195–210. <https://ejournal.upi.edu/index.php/ijee>.
- Dwi Haryadi, Ibrahim dan Darwance. 2025. Dinamika Migrasi dan Tantangan Reklamasi: Studi Kasus pada Komunitas Tambang Timah di Bangka Belitung. *Jurnal ilmu lingkungan*. 1(23) : 218 – 227. DOI : <https://doi.org/10.14710/jil.23.1.218-227>
- Elhaissofi W, Khourchi S, Ibyasser A, Ghoulam C, Rchiad Z, Zeroual Y, Lyamlouli K, dan Bargaz A. 2022. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria naturally colonizing legumes rhizosphere in Morocco. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1000342. DOI : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958300>
- Ella Dewani Larasati, MG Isworo Rukmi, Endang Kusdiyantini dan R Cinta Badia Ginting. 2018. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma*. 1 (20) : 1-8. DOI : <https://doi.org/10.14710/bioma.20.1.1-8>
- Etha Marista, Siti Khotimah dan Riza Linda. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca var. nipah*) di Kota Singkawang. *Protobiont*. 2 (2) : 93 – 101. DOI : <https://doi.org/10.26418/protobiont.v2i2.274>.
- Fei Pang, Qing Li, Manoj Kumar Solanki, Zhen Wang, Yong-Xiu Xing and Deng-Feng Dong. 2024. Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by

phosphate-solubilizing microorganisms. *Review. Frontiers in Microbiology*. DOI : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383813>.

Hugo Pantigoso, Daniel Manter, Steven Fonte, dan Jorge Vivanco. 2023. Root exudate-derived compounds stimulate the phosphorus solubilizing ability of bacteria. *Scientific reports*. DOI : <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30915-2>.

Jean Louise Cocson Damo, Maria Daniela Artigas Ramirez, Shin-ichiro Agake<sup>1</sup>, Mannix Pedro, Marilyn Brown, Hitoshi Sekimoto, Tadashi Yokoyama, Soh Sugihara, Shin Okazaki, and Naoko Ohkama-Ohtsu. 2022. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Paddy Field Soils in Japan. *Microbes Environ*. 37(2), 2022. DOI : <https://doi.org/10.1264/jsme2.me21085>

Jos'e Abraham García-Berumen, Juan Armando Flores de la Torre, Sergio de los Santos-Villalobos, Alejandro Espinoza-Canales, Francisco Guadalupe Echavarría-Ch'airez, Héctor Gutiérrez-Banuelo. 2025. Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: The role of microbial solubilization and innovations in nutrient management. *Current Research in Microbial Sciences*.8. DOI : [10.1016/j.crmicr.2024.100326](https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100326).

Lin Pan and Baiyan Cai. 2023. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Review. Microorganisms*. 11 : 2904. DOI : <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>

Mubarik, Nisa Rachmania, Widyastuti, Rahayu, Wahdi, Emil. 2016. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat Dari Daerah Tambang Kapur Palimanan. [Thesis]. Institut Pertanian Bogor. <https://journal.ipb.ac.id/>.

Mukamto, Syazwani Ulfah, Weda Mahalina, Ahmad Syauqi, Laila Istiqfaroh, dan Guntur Trimulyono. 2015. Isolasi dan Karakterisasi *Bacillus* s.p Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Leguminosae. *Sains dan Matematika*. 3(2) : 2302 – 7290. DOI : <https://journal.unesa.ac.id/index.php/sainsmatematika>.

Nicholas Oteino, Richard Lally, Samuel Kiwanuka, Andrew Lloyd, David Ryan, Kieran J. Germaine and David N. Dowling. 2015. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. *Frontiers*

- in microbiology*. (6) : 745. DOI : <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.00745>
- Nurtjahya E, Agustina F. 2015. Managing the socio-economic impact of tin mining on Bangka Island, Indonesia – preparation for closure. *In Fouride (eds) Mine Closure 2015*. Vancouver Canada. DOI : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710104010>
- Novalia, Eddy Nurtjahya, Ratna Santi, dan Eka Sari. 2022. Karakter Bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* dari Rizosfer Tanaman Lada di Lahan Bekas Tambang Timah. *Jurnal Bios Logos*. 12 (1) : 46 – 54. DOI : <https://doi.org/10.35799/jbl.v12i1.34960>.
- Octaviani. 2011. Eksplorasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Tanah Di Kawasan Mangrove Wonorejo Surabaya. [Skripsi Thesis]. Universitas Airlangga. <http://lib.unair.ac.id/>.
- Qudsia Saeed, Wang Xiukang, Fasih Ullah Haider, Jiří Kučerik, Muhammad Zahid Mumtaz, Jiri Holatko, Munaza Naseem, Antonin Kintl, Mukkaram Ejaz, Muhammad Naveed, Martin Brtnicky and Adnan Mustafa. Rhizosphere Bacteria in Plant Growth Promotion, Biocontrol, and Bioremediation of Contaminated Sites: A Comprehensive Review of Effects and Mechanisms. *International Journal of Molecular Science*. 22 : 10529. DOI : <https://doi.org/10.3390/ijms221910529>.
- Sugianto SK, Shovitri M, dan Hidayat H. 2019. Potensi Rhizobakteri Sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 7(2), 7–10. DOI : <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37241>.
- Sun X, Niu Y, Du Y, Geng C, Guo C, and Zhao L. 2023. Isolation and Identification of New Soil Strains with Phosphate - Solubilizing and Exopolysaccharide - Producing Abilities in the Yellow River Wetland Nature Reserve of Luoyang City, China. *Sustainability*, 15(4), 3607. DOI : <https://doi.org/10.3390/su15043607>.
- Sri Muryati, Citra Rahmatia, Irdika Mansur, dan Sri Wilarso Budi. 2022. Pengaruh Pemberian Pupuk Kompos Terhadap Pertumbuhan Bibit *Octomeles Sumatrana* Miq. Pada Media Tanah Bekas Tambang. *Jurnal Informatika, Sistem Informasi dan Kehutanan (FORSINTA)*. 1(2), 118 – 123. DOI : <https://doi.org/10.53978/jfsa.v1i2.250>.
- Syarwani, Siti Aisyah Hadija, Nirawati. 2022. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Aren (*Arenga Pinnata* (Wurb)Merr) di Desa Bonto Somba Kabupaten Maros. 4 (2) : 2715 – 6451. DOI : <https://doi.org/10.46918/eboni.v4i2.1496>.
- Vijay Singh Kunwar, Sharmila Chimouriya, Janardan Lamichhane and Dhurva Prasad Gauchan. 2018. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Rhizosphere of Coffee Plant and Evaluating Their Effects on Growth and Development of Coffee Seedlings. *BioTechnology : An Indian Journal*. 14(5). <https://www.tsijournals.com/journals/biotechnology-an-indian-journal.html>.
- Waluyo L. 2008. *Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. Malang: UMM Press. <https://ummpress.umm.ac.id/readbook/dfli/p/baca/88/popular-culture-as-reading-for-information>.
- Xiao-Kai Shi, Juan-Juan Maa and Li-Jun Liu. 2017. Effects of phosphate-solubilizing bacteria application on soil phosphorus availability in coal mining subsidence area in Shanxi. *Journal Of Plant Interactions*. 1 (12) : 137–142. DOI : <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1308567>.