



Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.)

*Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from the Rhizosphere of Cavendish Banana (*Musa acuminata* L.)*

Jean Delliana Putri, Sumardi*, Salman Farisi, & Rochmah Agustrina
Jurusan Biologi, Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lampung, Indonesia

Abstrak

Fosfor merupakan salah satu unsur hara yang sangat penting bagi tanaman. Namun sebagian besar fosfor terikat oleh koloid tanah dan tidak larut, sehingga peran bakteri pelarut fosfat sangat diperlukan untuk melepaskan fosfat terikat. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, mengkarakterisasi, dan menguji patogenitas isolat bakteri pelarut fosfat. Penelitian ini menggunakan metode eksploratif meliputi pengambilan sampel tanah, isolasi bakteri, perhitungan jumlah kepadatan koloni bakteri, pemurnian isolat, perhitungan nilai indeks kelarutan fosfat dan seleksi bakteri potensial, karakterisasi morfologi dan fisiologi, serta uji patogenitas. Hasil penelitian menunjukkan kepadatan koloni yaitu $3,2 \times 10^3$ CFU/g dengan nilai indeks kelarutan fosfat berkisar dari 1,38-3,65. Koloni dengan nilai indeks kelarutan fosfat tertinggi yaitu JE1 dengan nilai 3,65; JE2 dengan nilai 3,63; JE3 dengan nilai 3,13; JE4 dengan nilai 3,08; dan JE5 dengan nilai 2,94. Koloni memiliki bentuk *irregular* dengan tepi *undulate*, warna koloni didominasi putih dengan elevasi *umbonate*, *raised*, dan *flat*. Sebagian besar isolat memiliki bentuk sel *short bacil* dengan sifat Gram negatif, tidak mampu membentuk spora, mampu memfermentasikan glukosa, menghasilkan enzim katalase, dan tidak motil. Uji patogenitas menunjukkan hanya isolat JE1 yang tidak bersifat patogen terhadap daun tembakau.

Kata Kunci: Bakteri Pelarut Fosfat; Karakterisasi; Patogenitas

Abstract

Phosphorus is a very important nutrient for plants. However, most of the phosphorus is bound by soil colloids and is insoluble, so the role of phosphate solubilizing bacteria is needed to release the bound phosphate. This study aims to isolate, characterize, and test the pathogenicity of phosphate solubilizing bacterial isolates. This research used an exploratory method including taking soil samples, bacterial isolation, calculating the density of bacterial colonies, calculating the phosphate solubility index value and selecting potential bacteria, morphological and physiological characterization, and pathogenicity test. The results showed that the colony density was $3,2 \times 10^3$ CFU/g with phosphate solubility index values ranging from 1,38-3,65. The colony with the highest phosphate solubility index value is JE1 with a value of 3,65; JE2 with a value of 3,63; JE3 with a value of 3,13; JE4 with a value of 3,08; and JE5 with a value of 2,94. Colonies have an irregular shape with undulate edges, the colony color is predominantly white with umbonate, raised and flat elevations. Most isolates have short bacillus cells that are Gram negative, do not form spores, are able to ferment glucose, produce the enzyme catalase, and are not motile. The pathogenicity test showed that only the JE1 isolate was not pathogenic to tobacco leaves.

Keywords: Phosphate Solubilizing Bacteria; Characterization; Pathogenicity

How to Cite: Putri, J.D., Sumardi, Farisi, S., & Agustrina, R. (2024). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 6(2) 2024: 103-119

*E-mail: Sumardi.1965@fmipa.unila.ac.id

ISSN 2722-9777 (Online)



PENDAHULUAN

Pisang merupakan komoditas hortikultura yang unggul di Indonesia. Pisang memiliki nilai gizi dan keragaman genetik yang sangat tinggi. Pisang banyak dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia, khususnya di Lampung. Pada tahun 2021, produksi pisang di Indonesia adalah sebesar 8.741.147 ton. Kemudian pada tahun 2022 produksi pisang mengalami peningkatan sebesar 5,77 % atau sebesar 504 ribu ton menjadi 9.245.427 ton (Nisa *et al.*, 2024). Lampung merupakan provinsi terbesar kedua di Indonesia sebagai penghasil komoditas pisang. Namun Dinas Pertanian Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung menyebutkan produksi pisang di Lampung relatif menurun secara tidak signifikan dari tahun ke tahun. Produktivitas pisang di Lampung hanya sekitar 10-15 ton/ha, padahal potensi produktivitas pisang bisa mencapai sekitar 35-40 ton/ha (Cahyawati *et al.*, 2020). Penyebab kesenjangan produktivitas tersebut salah satunya adalah masalah kesuburan tanah. Produktivitas tanaman menjadi optimal jika mendapatkan unsur hara yang cukup. Sebaliknya, jika mengalami defisiensi hara akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman adalah fosfor (P) yang sebagian besar terdapat dalam bentuk fosfat tidak larut, sehingga tanaman tidak dapat menyerap secara langsung unsur tersebut. Menurut Karpagam & Nagalakshmi (2014), fosfor sangat diperlukan bagi tanaman dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer energi, pembelahan dan pembesaran sel, serta proses lainnya. Defisiensi fosfor dapat menyebabkan pengurangan sintesis ATP sehingga akan menghambat energi yang dibutuhkan sel untuk berfungsi secara optimal dan mengakibatkan gangguan metabolik dan fisiologis. Defisiensi fosfor juga dapat menghambat sintesis nukleotida, memperlambat replikasi DNA, dan mengganggu stabilitas struktur DNA yang mengakibatkan penurunan kemampuan sel untuk berkembang biak dan memperbaiki diri. Selain itu, defisiensi fosfor dapat mengganggu efisiensi produksi energi tanaman karena dalam proses fotosintesis fosfor merupakan sumber energi utama sehingga produktivitas tanaman akan menurun.

Unsur P di dalam tanah banyak dijerap oleh tanah liat, Al, Mg, Ca, dan Fe. Unsur P yang ditambahkan ke tanah hanya dapat dimanfaatkan sekitar 10-30 % dalam bentuk granul dan sekitar 70-90 % sisa dari pupuk fosfat tetap berada di dalam tanah tetapi tidak

tersedia, sehingga penyerapannya tidak efektif (Larasati *et al.*, 2018). Alternatif untuk mengatasi rendahnya ketersediaan fosfat tanah yaitu memanfaatkan mikroorganisme tanah berupa bakteri pelarut fosfat (BPF) yang memiliki kemampuan untuk melarutkan dan memineralisasi unsur P anorganik melalui sekresi asam-asam organik dan enzim fosfatase. Populasi bakteri pelarut fosfat pada rhizosfer mencapai 10-100 kali lebih tinggi daripada daerah non rhizosfer karena dipacu dan tercukupi oleh sekresi bahan organik dari akar tanaman. Bakteri pelarut fosfat yang telah banyak ditemukan yaitu *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, dan *Klebsiella* (Ilham *et al.*, 2014).

Penelitian Mukamto *et al.*, (2015) berhasil mengisolasi dan mengkarakterisasi bakteri pelarut fosfat *Bacillus* sp. dari rhizosfer *Leguminosae*. Penelitian Abdelmoteleb & Gonzalez-Mendoza (2020) berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri pelarut fosfat yaitu *Bacillus cereus* dan *Bacillus megaterium* dari rhizosfer *Tamarix ramossima*. Penelitian Asrul & Aryantha (2020) berhasil mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri pelarut fosfat yaitu *Amycolaptosis albidoflavus* dari rhizosfer kelapa sawit. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses isolasi dan karakterisasi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer pisang Cavendish. Eksplorasi bakteri non patogen dilakukan dari rhizosfer tanaman pisang karena rhizosfer merupakan zona interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas pisang. Bakteri pelarut fosfat pada rhizosfer dapat memfasilitasi penyerapan fosfor melalui proses solubilisasi fosfat. Implikasi dari penelitian ini sangat signifikan bagi praktik pertanian dan pengelolaan tanah, yaitu dapat menerapkan teknik pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan mikroorganisme alami di rhizosfer untuk mengurangi penggunaan bahan kimia dan memperbaiki struktur tanah, mendorong penggunaan pupuk hayati yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta membantu dalam mengembangkan varietas pisang yang lebih adaptif terhadap lingkungan lokal sehingga berpotensi untuk meningkatkan hasil panen secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dari bulan Desember 2023 sampai Maret 2024. Proses pengambilan sampel tanah dilakukan di Terbanggi Besar, Lampung Tengah. Proses isolasi dan karakterisasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

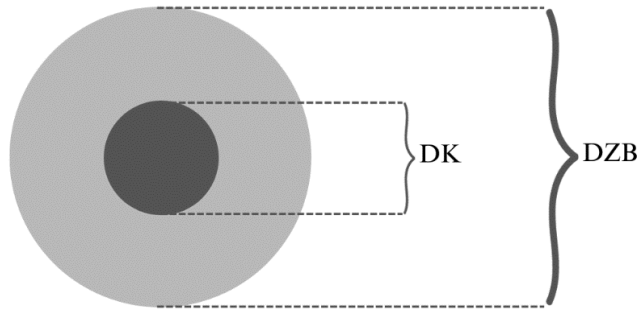
Sampel tanah diambil dengan teknik *purposive sampling* pada tanaman pisang berusia 7,8 bulan karena pada usia ini tanaman pisang berada pada fase vegetatif aktif. Sistem perakaran pisang berkembang dengan baik dan interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme tanah mencapai tingkat yang optimal. Oleh karena itu, pada usia ini jumlah dan aktivitas bakteri pelarut fosfat di rhizosfer pisang cenderung lebih tinggi, sehingga proses isolasi bakteri memberikan peluang terbaik untuk mendapatkan strain bakteri yang efektif. Kedalaman tanah yang diambil yaitu sekitar 0-20 cm dari 5 titik dengan masing-masing titik sebanyak 50 gram, lalu tanah dikompositkan dan diukur pH tanah. Secara biologis, kedalaman 0-20 cm merupakan zona yang paling aktif, terutama di sekitar akar tanaman yang kaya bahan organik dan nutrisi, serta merupakan tempat utama terjadinya interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme tanah. Selanjutnya tanah dibawa ke Laboratorium Mikrobiologi dengan menggunakan *cool box*.

Proses pengenceran berseri dilakukan dengan menimbang 10 gram tanah lalu dimasukkan ke dalam Erlenmeyer berisi 90 mL NaCl 0,85 % steril (0,85 gram NaCl dan 100 mL aquades), dan dihomogenkan dengan *shaker* selama 30 menit. Hasil ini dijadikan sebagai pengenceran pertama (10^{-1}) (Rosita *et al.*, 2023). Selanjutnya diambil 1 mL suspensi dari pengenceran 10^{-1} menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 9 mL NaCl 0,85 % steril lalu dihomogenkan menggunakan *vortex* sebagai pengenceran 10^{-2} . Prosedur kerja diulang hingga memperoleh tingkat pengenceran 10^{-10} . Proses isolasi bakteri dilakukan dengan teknik *spread plate* menggunakan media selektif agar *Pikovskaya* (5 gram $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; 0,5 gram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 0,2 gram NaCl; 0,1 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,2 gram KCl; 10 gram glukosa; 0,5 gram *yeast extract*; 0,002 gram $\text{H}_{14}\text{MnO}_{11}\text{S}$; 0,002 gram $\text{H}_{14}\text{FeO}_{11}\text{S}$; 20 gram agar; dan 1 liter aquades). Selanjutnya diambil masing-masing 0,1 mL suspensi dari pengenceran 10^{-3} sampai 10^{-10} menggunakan mikropipet, lalu diinokulasikan ke cawan petri berisi media agar *Pikovskaya* dan diratakan ke seluruh permukaan media menggunakan drigalski. Cawan petri diinkubasi pada suhu 37 °C selama 3 x 24 jam (Panjaitan *et al.*, 2020).

Selanjutnya dihitung kepadatan jumlah koloni yang tumbuh pada cawan petri yang berkisar dari 25-250 koloni dengan menggunakan rumus Utami *et al.* (2021).

$$\text{Total koloni (CFU/g)} = \frac{\text{Jumlah koloni} \times \text{Faktor pengenceran}}{\text{Berat tanah}}$$

Selanjutnya dilakukan proses pemurnian koloni bakteri. Indikator positif koloni yang berpotensi melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening (*halozone*) yang ada di sekeliling koloni. Perwakilan koloni potensial dipilih dan ditumbuhkan kembali pada media agar *Pikovskaya* dengan metode titik lalu cawan petri diinkubasi kembali pada suhu 37 °C selama 3 x 24 jam. Kemampuan pelarutan fosfat pada bakteri dibuktikan berdasarkan nilai indeks kelarutan fosfat (IKF) dengan menggunakan rumus Oksana *et al.*, (2020).



Gambar 1. Ilustrasi Perhitungan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat.

$$IKF = \frac{DZB}{DK}$$

Keterangan:

IKF = Indeks Kelarutan Fosfat

DK = Diameter Koloni

DZB = Diameter Zona Bening

Nilai indeks kelarutan fosfat dibagi menjadi empat kategori diantaranya yaitu kategori sangat rendah dengan nilai indeks di bawah 1,00, kategori rendah dengan nilai indeks antara 1,00-2,00, kategori sedang dengan nilai indeks antara 2,00-3,00, dan kategori tinggi dengan nilai indeks di atas 3,00 (Mardiansyah & Trimulyono, 2021). Lima koloni dipilih berdasarkan kemampuan melarutkan fosfat paling tinggi. Selanjutnya dilakukan karakterisasi morfologi, karakterisasi fisiologi, dan uji patogenitas. Karakterisasi morfologi dilakukan dengan mengamati bentuk, warna, bentuk tepi, dan elevasi koloni. Karakterisasi fisiologi yang dilakukan meliputi uji pewarnaan Gram, uji pewarnaan spora, uji fermentasi karbohidrat, uji katalase, dan uji motilitas.

Uji pewarnaan Gram dilakukan dengan digoreskan 1 ose isolat ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat ditetesi kristal violet dan didiamkan selama 1 menit, kemudian dibilas dan dikeringanginkan. Selanjutnya preparat ditetesi lugol/iodin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dan dikeringanginkan. Preparat ditetesi

alkohol 70 % selama 30 detik hingga lapisan tampak lebih pucat. Kemudian preparat ditetesi safranin dan didiamkan 1 menit, lalu dibilas dan dikeringanginkan. Preparat lalu diamati di bawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil meliputi bentuk sel dan jenis Gram bakteri. Sifat Gram positif ditandai dengan sel bakteri yang berwarna ungu dan sifat Gram negatif ditandai dengan sel bakteri yang berwarna merah (Panjaitan *et al.*, 2020).

Uji pewarnaan spora dilakukan dengan cara isolat bakteri digoreskan 1 ose ke atas kaca objek secara aseptik lalu diratakan dan difiksasi. Preparat ditetesi *malachite green* selama 10 menit lalu dibilas dan dikeringanginkan. Selanjutnya preparat ditetesi safranin selama 5 detik, dibilas, dan dikeringanginkan. Preparat diamati di bawah mikroskop mulai dari perbesaran kecil meliputi bentuk spora dan warna spora.

Uji fermentasi karbohidrat dilakukan dengan diambil sebanyak 1 ose isolat lalu diinokulasikan ke dalam tabung reaksi berisi media *Nutrient Broth* (NB) yang ditambahkan glukosa, sukrosa, dan laktosa, serta ditambahkan indikator *bromo cressol purple* (BCP). Tabung reaksi sebelumnya sudah dimasukkan tabung Durham. Selanjutnya tabung diinkubasi pada suhu 37 °C selama 1 x 24 jam. Hasil uji dikatakan positif jika terjadi perubahan warna media dari ungu menjadi kuning dan terbentuk gelembung gas di dalam tabung Durham (Nuryanti *et al.*, 2021).

Uji katalase dilakukan dengan diambil 1 ose isolat bakteri secara aseptik lalu digoreskan ke atas permukaan kaca objek. Preparat ditetesi larutan hidrogen peroksida (H₂O₂) lalu dilakukan pengamatan. Hasil uji dikatakan positif jika terbentuk gelembung gas pada isolat setelah ditetesi larutan hidrogen peroksida (Wibowo *et al.*, 2022).

Uji motilitas dilakukan dengan diambil sebanyak 1 ose isolat bakteri lalu ditusukkan secara tegak lurus ke dalam media *Nutrient Agar* semi solid. Selanjutnya media diinkubasi pada suhu 37 °C selama 1 x 24 jam. Hasil uji positif jika terbentuk sebaran bakteri pada media sehingga warna media berubah menjadi keruh (Wibowo *et al.*, 2022).

Uji patogenitas dilakukan dengan cara diambil 1 ose isolat lalu diinokulasikan ke dalam 100 mL media cair *Pikovskaya* dan diinkubasi dengan *shaker* selama 1 x 24 jam. Selanjutnya 1 mL suspensi bakteri diinjeksikan pada sisi abaksial daun tembakau dengan *syringe* steril dan diberi label pada titik injeksi. Pengamatan dilakukan setelah 2 x 24 jam dengan melihat gejala nekrosis pada daun. Jika titik injeksi berubah menjadi kuning atau muncul bercak kecoklatan maka isolat bersifat patogen terhadap tanaman. Jika daun tetap hijau berarti isolat tidak bersifat patogen terhadap tanaman (Hanif & Susanti, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat

Jenis tanah di perkebunan pisang Cavendish lahan 49A2 yaitu tanah humus yang berwarna coklat kehitaman dan bertekstur gembur. Kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat yaitu $3,2 \times 10^3$ CFU/g. Hasil pengukuran pH tanah yaitu 6,62. Pada penelitian ini, kepadatan koloni bakteri lebih rendah dibandingkan penelitian Nuraisya *et al.*, (2020) dengan total koloni bakteri 10^4 CFU/g. Hal ini dapat disebabkan karena kondisi pH tanah. Mardiyansah & Trimulyono (2021) menyatakan bahwa semakin rendah pH tanah maka jumlah populasi bakteri pada tanah semakin rendah. Pertumbuhan bakteri pelarut fosfat optimum pada pH 5,6-7. Nilai pH 6,62 termasuk optimum untuk pertumbuhan bakteri pelarut fosfat di tanah.

Tabel 1. Kepadatan Koloni Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi

Sampel	Komposit	Total Koloni Bakteri (CFU/g)
1		
2		
3	1	$3,2 \times 10^3$
4		
5		

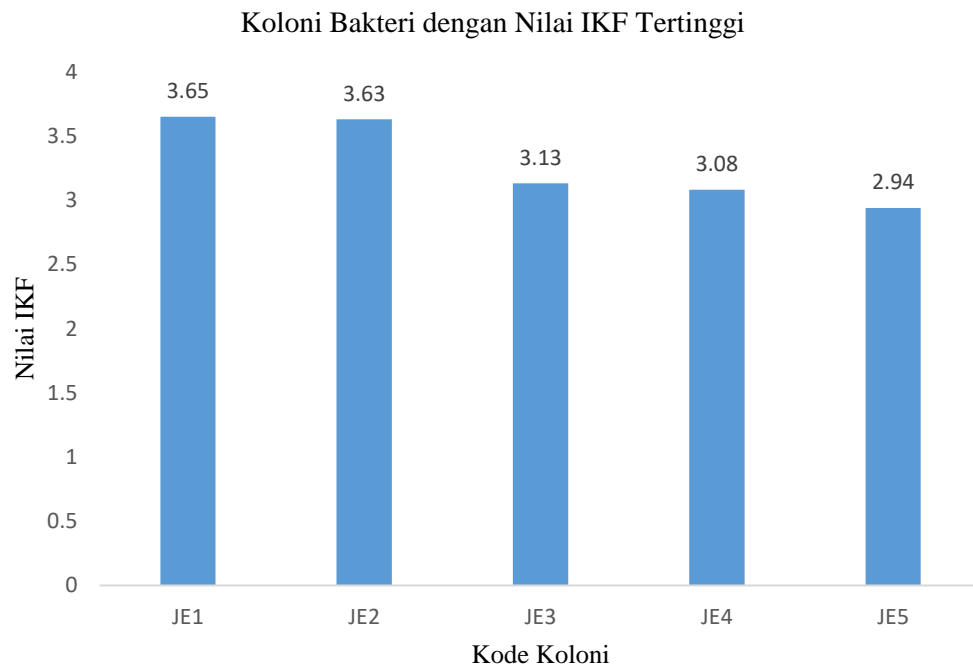
Jumlah kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat disebabkan diantaranya oleh faktor eksudat, kadar C organik, dan kadar P tersedia dalam tanah. Komposisi senyawa eksudat bergantung pada usia dan fase pertumbuhan tanaman. Produksi eksudat pisang Cavendish paling tinggi terjadi pada fase vegetatif (usia 1-6 bulan) (Andriani & Rahayu, 2023). Usia pisang Cavendish di penelitian ini berada pada fase generatif (usia 7,8 bulan), sehingga produksi eksudat tidak optimal yang menyebabkan kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat menjadi rendah. Kadar C organik dan P tersedia dalam tanah bertolak belakang dengan kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat. Kadar P tersedia yang tinggi menyebabkan kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat menjadi rendah. Kadar C organik yang tinggi menyebabkan kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat semakin tinggi karena C organik digunakan oleh bakteri pelarut fosfat sebagai sumber energi (Mardiyansah & Trimulyono, 2021).

Kepadatan jumlah koloni yang berbeda juga dapat disebabkan oleh pengaruh suhu lingkungan, tipe vegetasi, pH tanah, kelembaban tanah, aerasi tanah, dan jenis habitat bakteri. Kepadatan koloni bakteri pelarut fosfat pada tanah berkorelasi positif terhadap ketersediaan fosfat tanah. Semakin banyak jumlah koloni bakteri pelarut fosfat yang ada di dalam tanah maka ketersediaan fosfat akan semakin tinggi. Sebaliknya, semakin sedikit jumlah koloni bakteri pelarut fosfat yang ada di dalam tanah maka ketersediaan fosfat tanah akan semakin rendah.

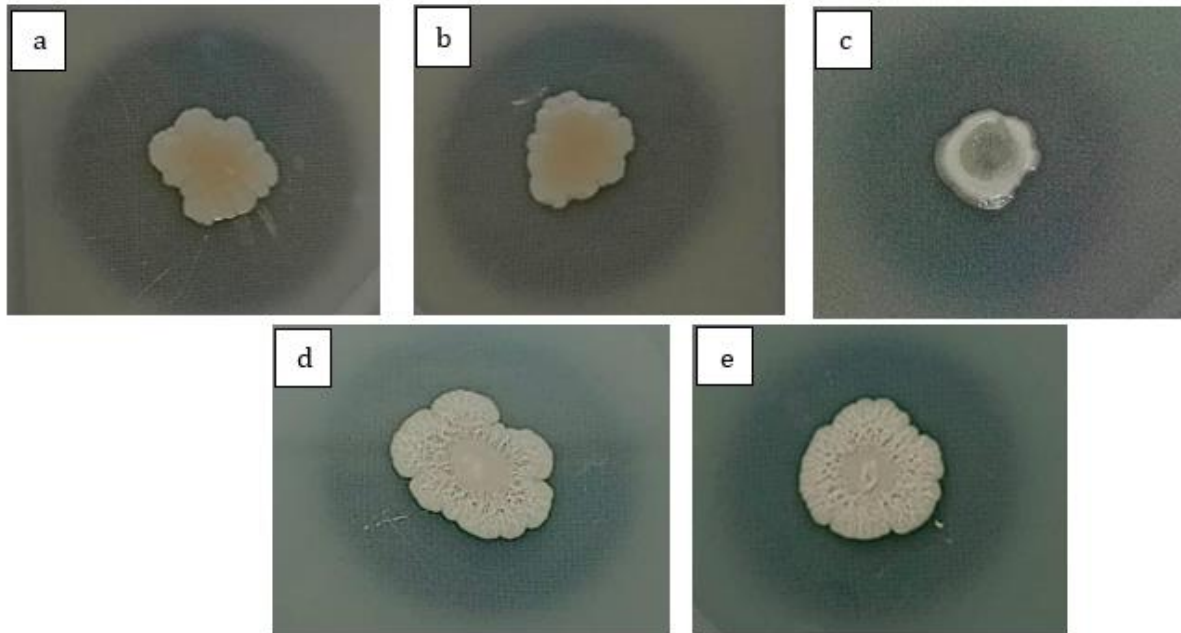
Tabel 2. Nilai Indeks Kelarutan Fosfat Koloni Bakteri Hasil Isolasi

Kode Koloni	Diameter Koloni (cm)	Diameter Zona Bening (cm)	Nilai IKF	Keterangan
J3.1	1,18	2,58	2,18	
J3.2	2,28	5,06	2,21	
J3.3	2,34	5,44	2,32	
J3.4	0,68	2,13	3,13	✓ (JE3)
J3.5	1,18	2,36	2,00	
J3.6	0,63	1,38	2,19	
J3.7	0,91	3,31	3,63	✓ (JE2)
J3.8	1,00	3,65	3,65	✓ (JE1)
J3.9	0,60	1,30	2,16	
J4.1	1,68	2,33	1,38	
J4.2	0,80	2,00	2,50	
J4.3	0,70	1,20	1,71	
J4.4	0,75	1,65	2,20	
J4.5	1,08	3,33	3,08	✓ (JE4)
J4.6	1,13	3,33	2,94	✓ (JE5)

Keterangan: ✓ = Koloni Terpilih Berdasarkan Nilai IKF Tertinggi



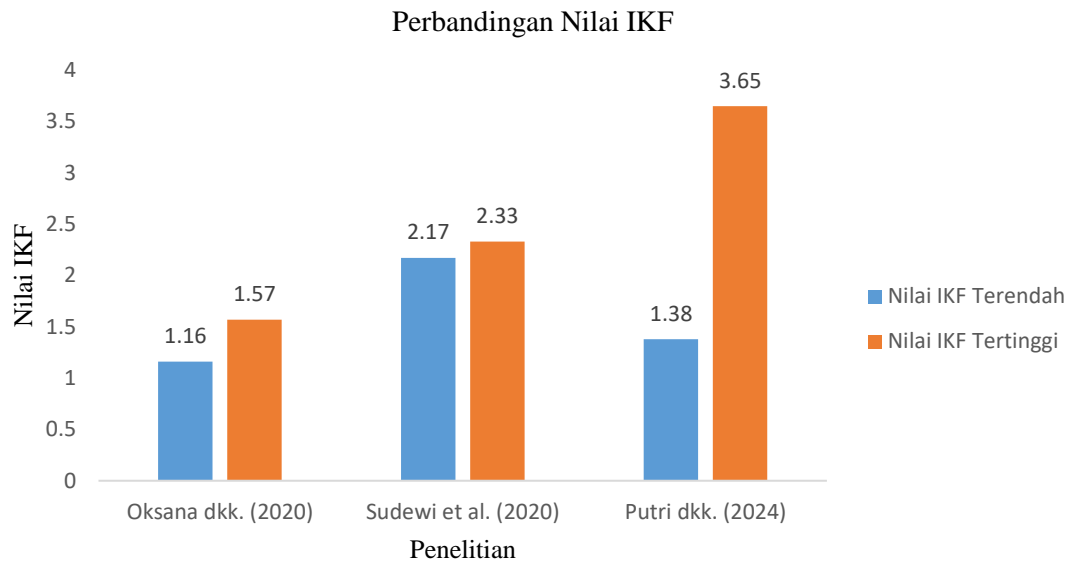
Gambar 2. Koloni Bakteri dengan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat Tertinggi.



Gambar 3. Lima Koloni Bakteri Pelarut Fosfat dengan Nilai Indeks Kelarutan Fosfat Tertinggi yaitu JE1 (a), JE2 (b), JE3 (c), JE4 (d), dan JE5 (e).

Koloni bakteri pelarut fosfat dipilih berdasarkan diameter zona bening yang dihasilkan di sekeliling koloni. Rahmayuni *et al.*, (2018) menyebutkan zona bening yang muncul dikarenakan bakteri memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ di dalam media agar *Pikovskaya*. Bakteri tersebut mensekresikan asam-asam organik, kemudian berikatan dengan ion Ca dari $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang terkandung di dalam media agar *Pikovskaya*, lalu melepaskan H_2PO_4^- dan membentuk zona bening di sekelilingnya. Selain itu, kemampuan pelarutan fosfat anorganik oleh bakteri disebabkan karena bakteri menghasilkan enzim fosfatase untuk melarutkan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ di dalam media sehingga membentuk zona bening.

Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui nilai indeks kelarutan fosfat dari koloni bakteri yaitu berkisar dari 1,38-3,65. Sebanyak 2 koloni memiliki nilai indeks kelarutan fosfat dengan kategori rendah, 9 koloni memiliki nilai indeks kelarutan fosfat dengan kategori sedang, dan 4 koloni memiliki nilai indeks kelarutan fosfat dengan kategori tinggi. Koloni bakteri dengan nilai indeks kelarutan fosfat paling tinggi secara berurutan yaitu J3.8 dengan nilai 3,65; J3.7 dengan nilai 3,63; J3.4 dengan nilai 3,13; J4.5 dengan nilai 3,08; dan J4.6 dengan nilai 2,94. Kemudian 5 koloni bakteri tersebut diberi kode sebagai isolat JE1 sampai JE5 sesuai urutannya (Gambar 2). Nilai indeks kelarutan fosfat pada penelitian ini yang berkisar dari 1,38-3,65 lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Oksana *et al.*, (2020) dengan nilai indeks kelarutan fosfat yang didapatkan berkisar dari 1,16-1,57 dan penelitian Sudewi *et al.*, (2020) dengan nilai indeks kelarutan fosfat yang didapatkan berkisar dari 2,17-2,33.



Gambar 4. Perbandingan Nilai IKF Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu.

Isolat bakteri dengan nilai indeks kelarutan fosfat yang tinggi menandakan bahwa asam-asam organik dan aktivitas enzim fosfatase yang dihasilkan juga tinggi. Sesuai dengan penelitian Syarwani *et al.*, (2022) bahwa semakin tinggi asam-asam organik dan enzim fosfatase yang dihasilkan oleh bakteri pelarut fosfat, maka semakin besar kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat dan semakin lebar zona bening yang dihasilkan. Kelima isolat dengan kemampuan pelarutan fosfat paling baik dipilih untuk digunakan dalam proses karakterisasi morfologi, karakterisasi fisiologi, dan uji patogenitas untuk mengetahui isolat yang potensial dijadikan sebagai kandidat pupuk hayati.

Karakteristik Morfologi, Karakteristik Fisiologi, dan Uji Patogenitas Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Karakterisasi morfologi pada kelima isolat bakteri pelarut fosfat meliputi bentuk, warna, bentuk tepi, dan elevasi koloni. Kelima isolat bakteri pelarut fosfat memiliki bentuk koloni dan bentuk tepi koloni yang seragam. Kelima koloni secara keseluruhan memiliki bentuk *irregular* dengan bentuk tepi koloni *undulate*, warna koloni yang ditemukan yaitu warna krem dan didominasi warna putih. Lalu bentuk elevasi koloni yang ditemukan yaitu *umbonate*, *raised*, dan *flat* (Tabel 3). Karakterisasi fisiologi isolat bakteri pelarut fosfat meliputi uji pewarnaan Gram, uji pewarnaan spora, uji fermentasi karbohidrat, uji katalase, dan uji motilitas.

Tabel 3. Karakteristik Morfologi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat

Karakterisasi/Uji		Kode Isolat					
		JE1	JE2	JE3	JE4	JE5	
Karakteristik Morfologi	Bentuk Koloni	<i>Irregular</i>	<i>Irregular</i>	<i>Irregular</i>	<i>Irregular</i>	<i>Irregular</i>	
	Warna Koloni	Krem	Krem	Putih	Putih	Putih	
	Bentuk Tepi Koloni	<i>Undulate</i>	<i>Undulate</i>	<i>Undulate</i>	<i>Undulate</i>	<i>Undulate</i>	
	Elevasi Koloni	<i>Umbonate</i>	<i>Umbonate</i>	<i>Raised</i>	<i>Flat</i>	<i>Flat</i>	
	Uji Pewarnaan Gram	Bentuk Sel Sifat Gram	<i>Short Bacil</i> Negatif	<i>Short Bacil</i> Negatif	<i>Short Bacil</i> Negatif	<i>Short Bacil</i> Negatif	<i>Short Bacil</i> Positif
Karakteristik Fisiologi	Uji Pewarnaan Spora	Bentuk Spora	-	-	-	-	
	Uji Fermentasi Karbohidrat	Warna Spora	-	-	-	-	
		Glukosa	++	++	++/G	+	+
		Sukrosa	-	-	-	-	-
	Laktosa	-	-	-	-	-	
Uji Patogenitas	Uji Katalase	+	+	+	+	+	
	Uji Motilitas	-	-	-	-	-	
	Tingkat Patogenitas	-	+	+	+	+	

Keterangan:

- *Irregular* (bentuk koloni tidak beraturan)
- *Undulate* (bentuk tepi koloni bergelombang).
- *Umbonate* (ketinggian koloni cembung, di bagian tengah lebih menonjol)
- *Raised* (ketinggian koloni nyata terlihat, namun rata pada seluruh permukaan)
- *Flat* (ketinggian koloni hampir rata dengan media)
- Uji pewarnaan spora: - (tidak ada spora)
- Uji fermentasi karbohidrat: ++ (warna media kuning menyeluruh), ++/G (warna media kuning menyeluruh dan terdapat gelembung gas), + (warna media kuning namun tidak menyeluruh), - (warna media tidak kuning dan tidak terdapat gelembung gas)
- Uji katalase: + (terbentuk gelembung-gelembung gas)
- Uji motilitas: - (tidak motil)
- Uji patogenitas: - (tidak bersifat patogen), + (bersifat patogen)

Kelima isolat bakteri pelarut fosfat memiliki bentuk koloni dan bentuk tepi koloni yang seragam yaitu bentuk *irregular* dengan bentuk tepi koloni *undulate*. Warna koloni bakteri pelarut fosfat yang ditemukan yaitu warna krem pada koloni JE1 dan JE2, dan secara umum didominasi oleh warna putih pada koloni JE3, JE4, dan JE5. Bentuk elevasi bakteri pelarut fosfat yang ditemukan yaitu *umbonate* pada koloni JE1 dan JE2, *raised* pada koloni JE3, serta *flat* pada koloni JE4 dan JE5.

Tujuan uji pewarnaan Gram yaitu membedakan bakteri berdasarkan sifat Gram. Hasil pengamatan kelima isolat bakteri menunjukkan bahwa kelima isolat memiliki bentuk sel *short bacil* (batang pendek). Isolat bakteri pelarut fosfat yang memiliki sifat Gram negatif yaitu JE1, JE2, JE3, dan JE4. Sedangkan isolat JE5 memiliki sifat Gram positif. Sesuai dengan penelitian Nuraisya *et al.*, (2020) bahwa bakteri pelarut fosfat pada tanah didominasi bakteri Gram negatif. Struktur dinding sel bakteri Gram positif berbeda dengan bakteri Gram negatif. Panjaitan *et al.*, (2020) menyebutkan struktur dinding sel bakteri Gram positif mengandung peptidoglikan yang tebal dan struktur dinding sel

bakteri Gram negatif mengandung lipid yang tebal. Bakteri Gram positif memiliki afinitas lebih tinggi terhadap kristal violet dan mampu membentuk kompleks kristal violet-lugol karena sel bakteri mengalami dehidrasi saat ditambahkan pelarut, menyebabkan pori-pori sel menciut dan daya serap dinding sel menurun. Kompleks kristal violet-lugol tidak dapat keluar dari sel, sehingga sel bakteri menjadi ungu. Penggunaan pelarut membuat lapisan lipid bakteri Gram negatif mudah larut dan pori-pori sel membesar sehingga daya larut kristal violet-lugol meningkat. Sel bakteri kehilangan pewarna utama dan menyerap safranin sehingga menjadi merah (Amin *et al.*, 2023).

Uji pewarnaan spora pada isolat bakteri pelarut fosfat menunjukkan bahwa kelima isolat bakteri tidak membentuk spora. Pewarnaan spora dilakukan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam membentuk spora. Menurut Purwaningsih & Wulandari (2021), spora merupakan bentuk pertahanan bakteri dari kondisi lingkungan yang ekstrem atau kurang menguntungkan seperti kekurangan nutrisi, komposisi mineral tinggi, pH tinggi, suhu tinggi, dan kepadatan sel yang tinggi. Spora bakteri yang terwarnai cat *malachite green* dengan kuat mengikat cat warna tersebut. Ketika ditutup kembali dengan cat safranin, spora bakteri akan mempertahankan warna hijau dan sel vegetatif akan berwarna merah. Tidak terbentuknya spora menandakan bahwa nutrisi pada media dan kondisi lingkungan sudah cukup untuk mendukung pertumbuhan bakteri.

Dari uji fermentasi karbohidrat pada isolat bakteri pelarut fosfat menunjukkan bahwa kelima isolat bakteri bereaksi positif terhadap glukosa karena warna media berubah dari ungu menjadi kuning. Namun, kelima isolat bakteri menunjukkan hasil negatif terhadap sukrosa dan laktosa karena warna media tidak berubah dan tidak terbentuk gelembung gas dalam tabung Durham. Pada isolat JE1, JE2, dan JE3 terjadi perubahan warna media menjadi kuning secara menyeluruh, namun gelembung gas dalam tabung Durham hanya terbentuk pada isolat JE3. Pada isolat JE4 dan JE5 warna media berubah menjadi kuning namun tidak menyeluruh dan tidak membentuk gelembung gas dalam tabung Durham. Perubahan warna media menjadi kuning secara menyeluruh yang disertai dengan terbentuknya gelembung gas dalam tabung Durham menjadi indikasi bahwa proses fermentasi glukosa terjadi secara sempurna. Sedangkan perubahan warna media yang tidak menyeluruh dan tidak disertai dengan terbentuknya gelembung gas dalam tabung Durham menjadi indikasi bahwa proses fermentasi glukosa tidak terjadi secara sempurna (Antriana, 2014).

Warna media berubah menjadi kuning disebabkan selama waktu inkubasi, bakteri pelarut fosfat mampu memfermentasi karbohidrat dengan memproduksi asam organik (asam laktat, asam asetat, asam formiat, dan asam suksinat) dan membentuk gelembung gas (karbondioksida dan hidrogen). Asam organik menyebabkan penurunan pH media, sehingga media yang ditambahkan indikator *brom cressol purple* (bcp) berubah dari ungu menjadi kuning (Kurniawat *et al.*, 2013). Terbentuknya gelembung gas menjadi indikasi bahwa bakteri berespirasi dengan menghasilkan karbondioksida serta hidrogen (Anggraini *et al.*, 2019). Hasil uji fermentasi karbohidrat pada isolat JE3 menandakan bahwa isolat memiliki kemampuan paling optimal dalam memfermentasi glukosa.

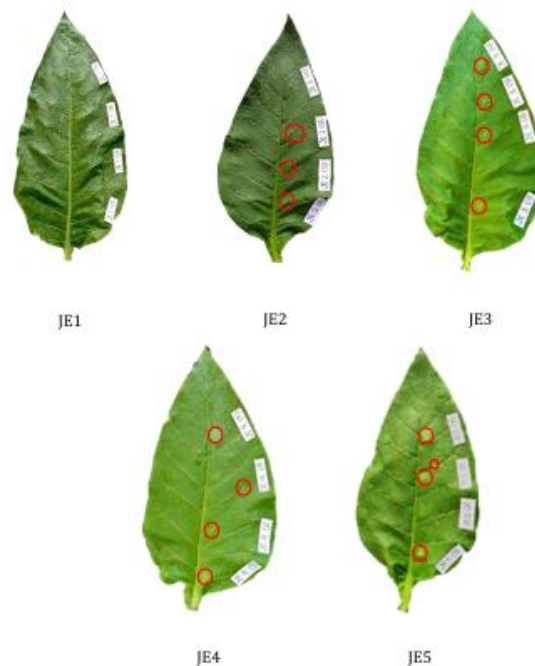
Tujuan dilakukan uji katalase yaitu untuk mengidentifikasi bakteri yang mampu menghasilkan enzim katalase untuk memecah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi oksigen (O_2) dan air (H_2O). Hasil uji katalase pada kelima isolat bakteri menunjukkan reaksi positif yang ditandai dengan gelembung-gelembung gas setelah isolat ditetesi larutan hidrogen peroksida. Sejalan dengan hasil penelitian Maatoke *et al.*, (2024), bakteri pelarut fosfat menghasilkan gelembung-gelembung gas saat dilakukan uji katalase. Metabolisme aerob sel bakteri menghasilkan produk beracun dan toksik berupa hidrogen peroksida yang menyebabkan kerusakan intraseluler sel seperti kerusakan lipid, DNA, dan protein. Upaya yang dilakukan sel bakteri untuk menghilangkan hidrogen peroksida dengan memproduksi enzim katalase untuk memecahnya (Sianipar *et al.*, 2020).

Uji motilitas bertujuan untuk mengetahui pergerakan sel bakteri di dalam media tumbuh. Motilitas merupakan pergerakan bakteri menggunakan flagella sebagai alat gerak dengan bentuk seperti benang yang memanjang dari membran plasma dan dinding sel. Bakteri yang tidak motil tidak memiliki flagella (Panjaitan *et al.*, 2020). Uji motilitas kelima isolat bakteri menunjukkan hasil negatif karena isolat bakteri bersifat tidak motil. Isolat bakteri yang tumbuh tidak menyebar pada media uji atau hanya berada di daerah sekitar tusukan saja.

Hasil uji patogenitas isolat bakteri terhadap daun tembakau yaitu isolat JE1 menunjukkan hasil negatif, sedangkan isolat JE2, JE3, JE4, dan JE5 menunjukkan hasil positif. Isolat JE1 menunjukkan hasil negatif yang berarti isolat tersebut tidak bersifat patogen karena hasil injeksi isolat tidak menyebabkan perubahan pada daun tembakau. Isolat JE2, JE3, JE4, dan JE5 menunjukkan hasil positif yang berarti keempat isolat tersebut bersifat patogen karena hasil injeksi dari keempat isolat menyebabkan daun tembakau menjadi sedikit menguning dan muncul bercak kecokelatan sebagai gejala nekrosis.

Tanaman tembakau dijadikan indikator untuk mengetahui tingkat patogenitas suatu bakteri karena respon tanaman tembakau terhadap bakteri patogen di dalam jaringan tanaman berlangsung sangat cepat. Sejalan dengan penelitian Herdiyantoro *et al.*, (2022), respon tanaman tembakau terhadap bakteri patogen yaitu berupa gejala nekrosis atau kematian sel-sel jaringan tanaman di sekitar daerah injeksi karena bakteri patogen terisolasi dari jaringan yang hidup. Gejala nekrosis ditandai dengan berubahnya warna daun tembakau menjadi kekuningan dan muncul bercak kecokelatan di daerah injeksi, lalu daun mengering sebelum gugur. Respon ini dilakukan tanaman tembakau untuk menghambat bakteri patogen agar tidak tumbuh ke seluruh jaringan tanaman.

Berdasarkan karakterisasi fisiologi dan uji patogenitas daun tembakau, dapat diketahui bahwa kelima isolat bakteri pelarut fosfat memiliki karakteristik yang hampir seragam. Isolat JE1, JE2, JE3, dan JE4 memiliki bentuk sel *short bacil* dengan sifat Gram negatif. Isolat JE5 memiliki bentuk sel *short bacil* dengan sifat Gram positif. Kelima isolat tidak membentuk spora, mampu memfermentasi glukosa namun tidak mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa, mampu menghasilkan enzim katalase, dan tidak motil. Isolat JE3 memiliki kemampuan paling baik dalam memfermentasi glukosa. Berdasarkan uji patogenitas, hanya isolat JE1 yang tidak bersifat patogen terhadap daun tembakau karena hasil uji isolat tersebut tidak menunjukkan gejala nekrosis.



Gambar 5. Hasil Uji Patogenitas Kelima Isolat pada Daun Tembakau yaitu JE1 Tidak Bersifat Patogen, sedangkan JE2, JE3, JE4, dan JE5 Bersifat Patogen.

Bakteri pelarut fosfat dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor tanaman. Aplikasi bakteri pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dapat mengurangi kebutuhan pupuk kimia, mendukung praktik pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta dapat memperbaiki kesehatan tanah dengan meningkatkan aktivitas mikrobiologis, struktur tanah, dan retensi air, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih sehat dan produktif. Aplikasi bakteri pelarut fosfat yaitu dengan mencampurkannya ke dalam media tanam atau pupuk organik, dan dilakukan saat penanaman atau secara berkala selama fase pertumbuhan tanaman. Metode inokulasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan fosfat dalam tanah, tetapi juga berkontribusi pada kesehatan tanah dengan meningkatkan aktivitas mikrobiologis. Hal ini membantu petani mengelola nutrisi tanaman dengan lebih efisien dan meningkatkan hasil panen, serta membantu tanaman beradaptasi terhadap lingkungan. Penelitian (Lovitna *et al.*, 2021) menunjukkan tanaman jagung yang diberi pupuk hayati berbasis bakteri pelarut fosfat cenderung memiliki pertumbuhan dan hasil panen yang lebih baik.

SIMPULAN

Kelima isolat bakteri pelarut fosfat hasil isolasi memiliki kemampuan pelarutan fosfat yang tinggi. Kelima isolat tersebut yaitu JE1 dengan nilai IKF 3,65; JE2 dengan nilai IKF 3,63; JE3 dengan nilai IKF 3,13; JE4 dengan nilai IKF 3,08; dan JE5 dengan nilai IKF 2,94. Karakteristik kelima koloni bakteri pelarut fosfat yaitu memiliki bentuk koloni *irregular* dengan tepi *undulate*; warna koloni didominasi putih dengan elevasi *umbonate*, *raised*, dan *flat*. Sebagian besar isolat bakteri pelarut fosfat memiliki bentuk sel *short bacil* dengan sifat Gram negatif, tidak membentuk spora, mampu memfermentasi glukosa, menghasilkan enzim katalase, dan tidak motil. Uji patogenitas menunjukkan hanya isolat JE1 yang tidak bersifat patogen terhadap daun tembakau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoteleb, A. & Gonzalez-Mendoza, D. (2020). Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing *Bacillus* spp. from *Tamarix ramosissima* Rhizosphere and Their Effect on Growth of *Phaseolus vulgaris* Under Salinity Stress. *Geomicrobiology Journal*, 37(10), 1-8.
- Amin, S.S., Ghozali, T.Z., & Efendi, M.R.S. (2023). Identifikasi Bakteri dari Telapak Tangan dengan Pewarnaan Gram. *Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 1(1), 30-35.
- Andriani, R. & Rahayu, M.S. (2023). Pertumbuhan dan Produksi Pisang Cavendish Dataran Tinggi di Blitar, Jawa Timur. *Buletin Agrohorti*, 11(3), 323-330.
- Anggraini, I., Ferniah, R.S., & Kusdiyantini, E. (2019). Isolasi Khamir dari Batang Tanaman Tebu dan Identifikasinya Berdasarkan Sekuens Internal Transcribed Spacer. *Jurnal Bioteknologi Biosains Indonesia*, 6(1), 39-52.

Putri, J.D., Sumardi, Farisi, S., & Agustrina, R. *Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Pisang Cavendish (Musa acuminata L.).*

- Antriana, N. (2014). Isolasi Bakteri Asal Saluran Pencernaan Rayap Pekerja (*Macrotermes* spp.). *Saintifika*, 16(1), 18-28.
- Asrul & Aryantha, I.N.P. (2020). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Rhizosfer Kelapa Sawit (*Eleis guineensis*). *Jurnal Penelitian Pertanian Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh*, 19(1), 30-39.
- Badan Pusat Statistik (2020). Produksi Tanaman Buah-Buahan. Diunduh di <https://www.bps.go.id/indicator/55/62/1/produksi-tanaman-buah-buahan.html> tanggal 9 Oktober 2023.
- Cahyawati, N., Arifin, B., & Indriani, Y. (2020). Analisis Nilai Tambah Keripik Pisang Kepok dan Sistem Pemasaran Pisang Kepok (*Musa paradisiaca*) di Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 8(1), 101-107.
- Hanif, A. & Susanti, R. (2017). Analisis Senyawa Antifungal Bakteri Endofit Asal Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Agritech*, 1(1), 23-29.
- Herdiyantoro, D., Setiawati, M.R., & Simarmata, T. (2022). Reaksi Hipersensitif Daun Tembakau oleh Isolat Bakteri Pelarut Kalium pada Praformulasi Pupuk Hayati. *Soilrens*, 20(2), 72-77.
- Ilham, Darmayasa, I.B.G., Nurjaya, I.G.M.O., & Kawuri, R. (2014). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat Potensial pada Tanah Konvensional dan Tanah Organik. *Jurnal Simbiosis*, 2(1), 173-183.
- Karpagam, T. & Nagalakshmi, P.K. (2014). Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Microbes from Agricultural. *International Journal of Current Microbiology and applied Sciences*, 3(3), 601-614.
- Kurnianingsih, R., Rosidah, S., Ayu, D.N., Prasedya, E.S., & Astuti, S.P. (2021). Identification of Morphological Characters and Time of Mitotic *Musa paradisiaca* cv. Haji. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3), 1096-1105.
- Larasati, E.D., Rukmi, M.G.I., Kusdiyantini, E., & Ginting, R.C.B. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma*, 20(1), 1-8.
- Lovitna, G., Nuraini, Y., & Istiqomah, N. (2021). Pengaruh Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat dan Pupuk Anorganik Fosfat Terhadap Populasi Bakteri Pelarut Fosfat, P Tersedia, dan Hasil Tanaman Jagung pada Alfisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 437-449.
- Maatoke, C.D., Dewani, Z., & Suciati, F. (2024). Karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Mikrob Pelarut Fosfat dan Mikrob Penambat N₂ (*Azotobacter*) dari Rhizosfer Tanaman Padi dan Tanah Hutan Cifor Dramaga Bogor. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 11(1), 113-121.
- Mardiansah, D. & Trimulyono, G. (2021). Isolasi, Karakterisasi, dan Uji potensi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Jati dan Sengon di Pegunungan Kapur, Daerah Selatan Kabupaten Tulungagung. *LenteraBio*, 10 (2), 188-198.
- Mukamto, Ulfah, S., Mahalina, W., Syaqui, A., Istiqfaroh, L., & Trimulyono, G. (2015). Isolasi dan Karakterisasi *Bacillus* sp. Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Leguminosae. *Sains dan Matematika*, 3(2), 62-68.
- Nisa, Y.K., Dawud, M.Y., & Djohar, N. (2022). Strategi Pengembangan Usaha Pisang Cavendish pada UD Istana Banana Di Desa Pilanggede Kecamatan Balen Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian*, 9(2), 141-149.
- Nuraisya, Dungan, Y.S.P., & Hasanah, U. (2020). Bakteri Pelarut Fosfat Indigen Rhizosfer Kopi (*Coffea* sp.) dan Paitan (*Tithonia diversifolia*): Kemampuan Melarutkan Fosfat dalam Media Pikovskaya Cair. *Agrotekbis*, 8(3), 483-491.
- Nuryanti, S., Fitriani, & Pratiwi, A.R. (2021). Karakterisasi Isolat Bakteri Penghasil Selulosa dari Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, 13(1), 71-79.
- Oksana, Irfan, M., Fianiray, A.R., & Zam, S.I. (2020). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Ultisol di Kecamatan Rumbai, Pekanbaru. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 22-25.
- Panjaitan, F.J., Bachtiar, T., Arsyad, I., & Lele, O.K. (2020). Isolasi dan Karakteristik Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari Rhizosfer Tanaman Jagung Fase Vegetatif dan Fase Generatif. *Jurnal Agroplasma*, 7 (2), 53-60.
- Panjaitan, F.J., Bachtiar, T., Arsyad, I., Lele, O.K. & Indriyani, W. (2020). Karakterisasi Mikroskopis dan Uji Biokimia Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari Rhizosfer Tanaman Jagung Fase Vegetatif. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Lingkungan*, 1(1), 9-17.
- Purwaningsih, D. & Wulandari, D. (2017). Uji Aktivitas Antibakteri Hasil Fermentasi Bakteri Endofit Umbi Talas (*Colocasia esculenta* L.) Terhadap Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Sains Kesehatan*, 3(5), 750-759.
- Rahmayuni, E., Ismiani, S., Muslimah, D.H., Wilujeng, E.D.I., & Rizqulloh, M.N. (2018). Karakterisasi dan Viabilitas Isolat Bakteri Pelarut Fosfat dalam Bahan Pembawa Kompos dan Zeolit. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, 3(1), 31-38.

- Rosita, R., Aprianda, E., Hazra, F., & Eris, D.D. (2023). Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Three Types of Rhizosphere and Their Potency to Increase Growth of Corn (*Zea mays*). *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*, 10(1), 30-38.
- Sianipar, G.W.S., Sartini, & Riyanto. (2020). Isolasi dan Karakteristik Bakteri Endofit pada Akar Pepaya (*Carica papaya* L). *Jurnal Ilmiah Biologi UMA*, 2(2), 83-92.
- Sudewi, S., A. Ala, B. Patandjengi, & M. Farid. (2020). Isolation of Phosphate Solubilizing Bacteria from The Rhizosphere of Local Aromatic Rice in Bada Valley Central Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 575(012017), 1-9.
- Syarwani, Aisyah, S., Hadija, & Nirawati. (2022). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Rhizosfer Tanaman Aren (*Arenga pinnata* (Wurb) Merr) di Desa Bonto Somba Kabupaten Maros. *Jurnal Eboni*, 4(2), 63-70.
- Utami, S., Lidar, S., & Rizal, M. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri dan Jamur Pelarut Fosfat pada Berbagai Lokasi. *Jurnal Agrotela*, 1(1), 33-42.
- Wibowo, R.H., Sembiring, S.R., Sipriyadi, Darwis, W., Supriyati, R., Hidayah, T., & Yudha, S.P. (2022). Kemampuan Bakteri Endofit Pelarut Fosfat dari Tumbuhan Akar Kuning (*Arcangelisia flava* (L.) Merr) Asal Pulau Enggano, Provinsi Bengkulu. *Jurnal Biologi*, 15(2), 171-181.