

Research Article



Keanekaragaman dan Potensi Pelarutan Fosfat Bakteri Rizobakteri yang Berasosiasi dengan Tanaman Jewawut (*Setaria italica* L.)
(Diversity and Phosphate-Solubilizing Potential of Rhizosphere Bacteria Associated with Foxtail Millet (*Setaria italica* L.))

Samrawati^{1*}, Nurmuliayanti Muis², Sainab³

^{1*} Mahasiswa Prodi Pendidikan Biologi, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia

^{2,3} Prodi Pendidikan Biologi, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received : June 10, 2025

Revision in revised from : July 2, 2025;

Accepted : September 3, 2025;

Available Online : September 30, 2025.

KEYWORDS :

Bacteria;

Foxtail millet;

Isolation;

Phosphate-solubilizing;

Screening.

ABSTRACT

Foxtail millet (*Setaria italica* L.) is a cereal crop that can adapt to marginal environments; however, its growth is often limited by low phosphorus availability in the soil. Phosphate-solubilizing bacteria (PSB) in the rhizosphere play an important role in increasing phosphorus availability and promoting plant growth. This study aimed to isolate and screen phosphate-solubilizing bacteria associated with the rhizosphere of foxtail millet and evaluate their potential as plant growth-promoting rhizobacteria. Soil samples were collected from the rhizosphere and subjected to serial dilution followed by bacterial isolation on Nutrient Agar medium. Screening of phosphate-solubilizing activity was conducted using Pikovskaya medium by observing the formation of clear zones around bacterial colonies and calculating the solubilization index. Morphological characterization and Gram staining were also performed. The results showed that several isolates were capable of solubilizing phosphate with moderate solubilization indices. The colonies generally exhibited circular shapes, entire to undulate margins, convex elevation, and milky white coloration. Gram staining indicated the presence of both Gram-positive and Gram-negative bacteria. These findings suggest that rhizosphere bacteria associated with foxtail millet have potential as plant growth-promoting rhizobacteria.



Copyright (c) year @author(s).

1. PENDAHULUAN

Jewawut (*Setaria italica* L.) merupakan tanaman sereal yang termasuk dalam famili Poaceae dan dikenal secara internasional sebagai *foxtail millet*. Tanaman ini merupakan salah satu sumber pangan penting di dunia dan menempati urutan

keenam sebagai komoditas biji-bijian yang paling banyak dikonsumsi, dengan sekitar sepertiga populasi dunia memanfaatkannya sebagai sumber pangan. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan gizi jewawut yang relatif tinggi dan sebanding dengan sereal lain seperti padi (Hidayati dan Syarif,

*Corresponding Author

e-mail address : samrawati1608@gmail.com

Published by Center for Ecology, Conservation and Ethnobiology Studies

2020). Di Indonesia, salah satu wilayah yang memiliki potensi produksi jewawut adalah Provinsi Sulawesi Barat. Produktivitas tanaman jewawut dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi tanah, varietas tanaman, iklim, serta teknik budidaya yang diterapkan oleh petani (Pasally, 2022).

Salah satu wilayah di Sulawesi Barat yang dikenal sebagai sentra produksi jewawut adalah Desa Galung Lego yang terletak di wilayah pesisir Kecamatan Balanipa, Kabupaten Polewali Mandar (Polman). Produksi jewawut di daerah ini dapat mencapai sekitar 2-3 ton per hektar. Namun demikian, dalam beberapa tahun terakhir terjadi penurunan produktivitas yang cukup signifikan, salah satunya disebabkan oleh kurangnya pengetahuan petani mengenai teknik pemupukan yang efektif (Arhim et al., 2023). Penurunan produksi jewawut di wilayah tersebut dilaporkan dapat mencapai sekitar 0,8-1,4 ton per hektar. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan penulis dengan petani jewawut di Desa Galung Lego, diketahui bahwa sebagian besar petani masih mengandalkan pupuk sintetis atau pupuk kimia secara terus-menerus dan belum memanfaatkan pupuk organik maupun pupuk hayati (biofertilizer).

Penggunaan pupuk kimia secara intensif dan berkelanjutan dapat memberikan dampak negatif terhadap kualitas tanah. Penggunaan jangka panjang pupuk sintetis dapat menyebabkan penurunan kandungan bahan organik tanah, meningkatnya kerentanan tanah terhadap erosi, menurunnya permeabilitas tanah, serta berkurangnya populasi mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam menjaga kesuburan tanah (Rosalina et al., 2021). Kondisi tersebut pada akhirnya dapat menghambat ketersediaan dan penyerapan unsur hara esensial yang dibutuhkan oleh tanaman.

Salah satu unsur hara makro esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman adalah fosfor (P). Di dalam tanah, fosfor umumnya tersedia dalam bentuk fosfat (PO_4^{3-}) yang berperan dalam berbagai

proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, respirasi, transfer energi, pembelahan sel, serta penyimpanan energi (Condron dan Turner, 2017). Namun demikian, ketersediaan fosfor di dalam tanah seringkali terbatas karena sebagian besar fosfat berada dalam bentuk yang tidak larut dan tidak dapat langsung diserap oleh tanaman. Kondisi ini semakin diperparah oleh penggunaan pupuk sintetis secara terus-menerus yang dapat menyebabkan perubahan sifat kimia tanah, seperti peningkatan keasaman tanah. Pada tanah yang bersifat asam, fosfat cenderung terikat dengan ion logam seperti Ca, Al, dan Fe sehingga membentuk senyawa yang sukar larut seperti kalsium fosfat, aluminium fosfat, dan besi fosfat (Kartikawati et al., 2017; Syaiful et al., 2025). Akibatnya, meskipun kandungan fosfor di dalam tanah relatif tinggi, unsur tersebut tidak dapat dimanfaatkan secara optimal oleh tanaman.

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah adalah melalui pemanfaatan mikroorganisme tanah yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat. Mikroorganisme tersebut banyak ditemukan di wilayah rhizosfer, yaitu zona tanah yang berada di sekitar sistem perakaran tanaman dan memiliki aktivitas biologis yang sangat tinggi. Wilayah rhizosfer merupakan habitat yang kaya akan nutrisi karena akar tanaman melepaskan berbagai senyawa organik seperti gula, asam amino, dan asam organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi (Gassing, 2021). Oleh karena itu, rhizosfer menjadi tempat yang sangat penting bagi interaksi antara tanaman dan mikroorganisme tanah.

Mikroorganisme rhizosfer memiliki peranan penting dalam berbagai proses ekologi tanah, termasuk dalam siklus nutrisi dan peningkatan kesuburan tanah (Salman, 2023). Salah satu kelompok mikroorganisme yang berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan fosfor adalah bakteri pelarut fosfat (BPF). Bakteri ini memiliki kemampuan

untuk mengubah fosfat yang tidak larut menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman melalui berbagai mekanisme biokimia, seperti produksi asam organik dan enzim fosfatase (Susilowati et al., 2022). Asam-asam organik yang dihasilkan, seperti asam sitrat, asam asetat, asam formiat, dan asam suksinat, dapat melarutkan senyawa fosfat yang terikat dengan ion logam seperti Ca, Al, dan Fe sehingga fosfor menjadi tersedia bagi tanaman.

Beberapa genus bakteri diketahui memiliki kemampuan tinggi dalam melarutkan fosfat, di antaranya *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp., dan *Chromobacterium* sp.. Mikroorganisme tersebut sering dimanfaatkan sebagai komponen utama dalam pupuk hayati karena kemampuannya dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara serta merangsang pertumbuhan tanaman (Murrobi, 2022). Selain berperan dalam pelarutan fosfat, beberapa bakteri rhizosfer juga diketahui mampu menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman seperti Indole Acetic Acid (IAA) dan Giberelin A3 (GA3), yang dapat merangsang pertumbuhan akar serta meningkatkan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Kalay et al., 2020).

Meskipun berbagai penelitian mengenai bakteri pelarut fosfat telah dilakukan pada beberapa tanaman budidaya, kajian mengenai keanekaragaman dan potensi bakteri pelarut fosfat yang berasal dari rhizosfer tanaman jawawut masih sangat terbatas, khususnya di wilayah Sulawesi Barat dan Kabupaten Polewali Mandar. Padahal, eksplorasi mikroorganisme lokal yang berasosiasi dengan tanaman budidaya sangat penting untuk menemukan kandidat mikroba yang berpotensi dikembangkan sebagai pupuk hayati yang sesuai dengan kondisi agroekosistem setempat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi bakteri rhizosfer yang terdapat pada tanaman jawawut di Desa Galung Lego, Kabupaten

Polewali Mandar. Penelitian ini difokuskan pada proses isolasi dan skrining bakteri pelarut fosfat menggunakan media Pikovskaya untuk mengetahui potensi bakteri dalam melarutkan fosfat. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji kemampuan beberapa isolat bakteri dalam menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman seperti IAA dan GA3 yang berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman

2. BAHAN DAN METODE

Study Area and Sample Collection

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juni 2025. Sampel tanah rhizosfer diambil dari lahan pertanian tanaman jawawut (*Setaria italica* L.) yang terletak di Desa Galung Lego, Kecamatan Balanipa, Kabupaten Polewali Mandar, Sulawesi Barat. Sampel yang dikumpulkan berupa tanah yang berada di sekitar sistem perakaran tanaman (rhizosfer).

Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode purposive sampling dengan mempertimbangkan kondisi tanaman dan lokasi pertumbuhan tanaman jawawut di lahan pertanian. Sampel tanah rhizosfer dimasukkan ke dalam kantong plastik klip steril dan kemudian dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut.

Seluruh proses isolasi dan analisis mikrobiologi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Unit Penunjang Akademik (UPA) Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat, Majene, Sulawesi Barat.

Isolation of Rhizosphere Bacteria

Isolasi bakteri rhizosfer dilakukan menggunakan metode pengenceran bertingkat (serial dilution). Sampel tanah rhizosfer dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquadest steril dan dihomogenkan menggunakan

vortex sehingga diperoleh pengenceran 10^{-1} .

Selanjutnya dilakukan pengenceran berurutan hingga 10^{-8} dengan memindahkan 1 ml suspensi ke tabung reaksi berikutnya yang berisi 9 ml aquadest steril. Dari tiga tingkat pengenceran terakhir (10^{-6} , 10^{-7} , dan 10^{-8}), sebanyak 0,05 ml suspensi bakteri diinokulasikan pada media Nutrient Agar (NA) menggunakan metode spread plate kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30–37°C (Putrajaya et al., 2019).

Koloni bakteri yang tumbuh kemudian dihitung menggunakan colony counter (Mirnawati et al., 2021). Koloni dengan karakteristik berbeda kemudian dipilih dan dimurnikan untuk tahap pengujian selanjutnya.

Preparation of Culture Media

Media yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Nutrient Agar (NA), Nutrient Broth (NB), dan media Pikovskaya.

Media Nutrient Agar (NA) dibuat dengan melarutkan 16,8 gram serbuk NA dalam 600 ml air suling, kemudian dipanaskan hingga homogen dan disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah dingin, media dituangkan secara aseptik ke dalam cawan petri sebanyak 20 ml (Adriantama et al., 2021).

Media Pikovskaya dibuat dengan melarutkan 18,8 gram bubuk media dalam 600 ml air suling, kemudian dipanaskan hingga larut dan disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah proses sterilisasi selesai, media dituangkan ke dalam cawan petri secara aseptik di dalam laminar air flow (Afrianti, 2017).

Media Nutrient Broth (NB) dibuat dengan melarutkan 1,3 gram serbuk NB

dalam 100 ml air suling dan dipanaskan hingga homogen. Media kemudian disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Purwanto & Saputro, 2022).

Screening of Phosphate-Solubilizing Bacteria

Kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat diuji menggunakan media Pikovskaya agar. Isolat bakteri diinokulasikan pada permukaan media menggunakan metode gores dan kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C.

Isolat yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri. Diameter koloni dan diameter zona bening kemudian diukur menggunakan penggaris untuk menentukan Indeks Pelarutan Fosfat (IPF) (Adriantama et al., 2021).

Morphological Characterization of Bacterial Colonies

Isolat bakteri yang menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat kemudian diremajakan pada media Nutrient Agar (NA) menggunakan metode gores kuadran dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30–37°C (Hengkengbala et al., 2021).

Karakter morfologi koloni diamati berdasarkan bentuk koloni, warna koloni, margin koloni, dan elevasi koloni sesuai dengan karakteristik morfologi bakteri (Rini et al., 2020). Deskripsi morfologi koloni bakteri mengacu pada klasifikasi yang disampaikan oleh Nurdin dan Hidayah (2023).

Gram Staining

Isolat bakteri selanjutnya dianalisis menggunakan metode pewarnaan Gram

untuk menentukan sifat Gram bakteri. Prosedur pewarnaan dilakukan menggunakan kristal violet, lugol, alkohol, dan safranin, kemudian preparat diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 1000× menggunakan minyak imersi (Agustina et al., 2022).

Perbedaan karakteristik antara bakteri Gram positif dan Gram negatif mengacu pada deskripsi yang dijelaskan oleh Salsabila (2023).

Determination of IAA Production

Kemampuan isolat bakteri dalam memproduksi hormon Indole Acetic Acid (IAA) diuji dengan menumbuhkan isolat bakteri pada media Nutrient Broth (NB) yang ditambahkan triptofan 200 ppm sebagai prekursor. Kultur kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang dalam kondisi gelap.

Setelah inkubasi, kultur disentrifugasi untuk memperoleh supernatan. Sebanyak 1 ml supernatan dicampur dengan 4 ml pereaksi Salkowski, kemudian diinkubasi selama 30 menit dalam kondisi gelap. Perubahan warna menunjukkan adanya produksi IAA yang kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 535 nm.

Determination of GA₃ Production

Kemampuan produksi giberelin (GA₃) oleh isolat bakteri diuji dengan menumbuhkan isolat pada media Nutrient Broth (NB) selama 7 hari pada suhu ruang. Kultur kemudian disentrifugasi pada 8000 rpm selama 10 menit.

Sebanyak 5 ml supernatan dicampurkan dengan 5 ml larutan HCl 30% dan diinkubasi selama 75 menit pada suhu 28°C. Absorbansi larutan

kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 254 nm (Hikmahwati dan Fitrianti, 2023).

Data Analysis

Data penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan keanekaragaman dan potensi bakteri pelarut fosfat yang diperoleh dari rhizosfer tanaman jewawut.

Indeks pelarutan fosfat dihitung menggunakan rumus berikut:

Rumus diameter zona bening menurut Gholami et al. (2019):

a. Diameter zona bening = Diameter total – Diameter koloni

Rumus Indeks Pelarutan Fosfat menurut Sonia dan Setiawati (2022):

b. IPF = (Diameter koloni + Diameter zona bening) / Diameter koloni

Data hasil penelitian kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan deskripsi ilmiah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi dan skrining bakteri rhizosfer pelarut fosfat

Isolasi bakteri dilakukan pada rhizosfer tanaman jewawut (*Setaria italica* L.) dari lahan perkebunan masyarakat di Desa Galung Lego, bagian pesisir Kecamatan Balanipa, Kabupaten Polewali Mandar (Polman), Sulawesi Barat. Pengambilan sampel berupa akar tanaman jewawut disertai rhizosfer pada tanaman muda berusia sekitar 2-4 minggu setelah tanam dan tanaman jewawut yang lebih tua. Aspek kedua yang dilihat adalah letak tanaman misalnya variabilitas terhadap lingkungan seperti cahaya matahari, suhu, serta akses ke sumber daya.

Sampel yang diperoleh kemudian diberikan kode yaitu JMPR (jewawut muda pinggir rhizosfer), JMTR (jewawut muda tengah rhizosfer), dan JTR (jewawut tua rhizosfer).

Perhitungan koloni dan jumlah isolat

Hasil isolasi sampel bakteri menggunakan metode pengenceran bertingkat diperoleh 204 isolat dari tiga pengenceran terakhir yang tumbuh pada media *Nutrient Agar* (NA). Jumlah isolat yang tumbuh pada media NA dan hasil perhitungan CFU (*Colony Forming Units*) berdasar kode isolat masing-masing dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Jumlah Populasi Bakteri Rhizosfer Tanaman Jewawut.

No	Kode Isolat	Jumlah isolat masing-masing pengenceran			Jumlah total isolat
		10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	
1.	JMPR	122	68	14	204
2.	JMTR	0	0	0	0
3.	JTR	0	0	0	0

Keterangan:

- JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer),
- JMTR (Jewawut Muda Tengah Rhizosfer),
- JTR (Jewawut Tua Rhizosfer).

Tabel 2 Hasil Perhitungan CFU (*Colony Forming Units*) bakteri

No	Kode Isolat	Jumlah Koloni (CFU/ml)		
		10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
1	JMPR	$2,44 \times 10^9$	$1,36 \times 10^{10}$	-
2	JMTR	0	0	0
3	JTR	0	0	0

Keterangan:

- JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer),
- JMTR (Jewawut Muda Tengah Rhizosfer),
- JTR (Jewawut Tua Rhizosfer).

Tabel 1 menunjukkan hanya satu kode isolat yang mampu tumbuh pada media NA yaitu JMPR sedangkan dari

isolat dengan kode JMTR dan JTR tidak ada koloni bakteri yang mampu tumbuh pada media tersebut. Pengenceran 10^{-6} merupakan pengenceran dengan populasi bakteri tertinggi dibandingkan kedua pengenceran lain yakni sebanyak 122 isolat bakteri. Selanjutnya pada pengenceran 10^{-7} isolat yang tumbuh lebih sedikit yaitu 68 isolat bakteri. Kemudian pada pengenceran 10^{-8} isolat yang tumbuh hanya sebanyak 14 isolat karena merupakan tingkat pengenceran terakhir dengan konsentrasi bakteri yang paling rendah. Sebanyak 204 isolat bakteri yang tumbuh kemudian diseleksi untuk dilanjutkan pada tahap uji pelarutan fosfat agar. Pemilihan didasarkan pada isolat bakteri yang tumbuh dengan baik dengan struktur morfologi yang terlihat jelas agar memudahkan pada saat identifikasi karakter morfologi pada bakteri yang dinilai mampu melarutkan fosfat serta terkait dengan pertimbangan keterbatasan waktu dan sumber daya. Isolat yang terpilih sebanyak 30 isolat, kemudian diberikan kode yaitu JMPR1-JMPR30. Pendekatan serupa juga digunakan oleh Sharma et al. (2019), yang melakukan pemilihan isolat berdasarkan sifat morfologi makroskopis sebelum dilakukan uji pelarutan fosfat.

Tabel 2 menunjukkan populasi mikroba setelah dilakukan perhitungan CFU. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa populasi mikroba tertinggi ada pada pengenceran 10^{-6} lalu 10^{-7} , sedangkan untuk 10^{-8} tidak dilakukan perhitungan CFU karena bakteri yang tumbuh dari pengenceran tersebut kurang dari 30 CFU. Nurdin dan Hidayah (2023), menjelaskan bahwa 30-300 CFU merupakan angka yang dianggap valid secara statistik untuk dilakukan perhitungan rumus CFU. Isolat bakteri

yang tumbuh pada media NA dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Isolat Bakteri pada Media NA

Uji pelarutan fosfat

Uji pelarutan fosfat terhadap 30 isolat bakteri terpilih yang ditumbuhkan pada media Pikovskaya, mengacu pada terbentuk atau tidaknya zona bening dari isolat bakteri pada media tersebut. Hasil yang diperoleh bahwa terdapat 5 isolat yang mampu melarutkan fosfat diantaranya JMPR 2, JMPR 8, JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17. Indeks pelarutan fosfat (IPF) dari kelima isolat bakteri tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Indeks pelarut Fosfat (IPF) Isolat Bakteri

No	Kode isolat	Diameter koloni (mm)	Diameter zona bening (mm)	Indeks Pelarutan Fosfat (IPF) (mm)
1.	JMPR 2	3,8	7,8	3,05
2.	JMPR 8	3,3	6,8	3,06
3.	JMPR 11	5,0	7,5	2,5
4.	JMPR 16	6,3	9,5	2,51
5.	JMPR 17	5,5	10	2,81

Keterangan:
JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer)

Berdasarkan tabel diketahui bahwa kemampuan pelarutan fosfat setiap berbeda-beda dilihat dari perbedaan IPF yang dimiliki mulai dari 2,5 mm sampai dengan 3,06 mm. IPF tertinggi adalah

isolat bakteri dengan kode JMPR 8 yaitu 3,06 mm dan JMPR 2 yang nilainya hampir mirip yaitu 3,05 mm sehingga perbedaannya hanya 0,01 mm, sedangkan IPF terendah adalah isolat bakteri dengan kode JMPR 11 yaitu 2,5 mm. Zona bening yang muncul pada isolat bakteri dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Zona Bening pada Isolat Bakteri

Identifikasi karakter morfologi

Isolat bakteri yang diketahui mampu melarutkan fosfat yaitu JMPR 2, JMPR 8, JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17 kemudian diamati karakteristik morfologinya. Adapun hasil karakterisasi morfologi kelima isolat tersebut dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Identifikasi Karakter Morfologi

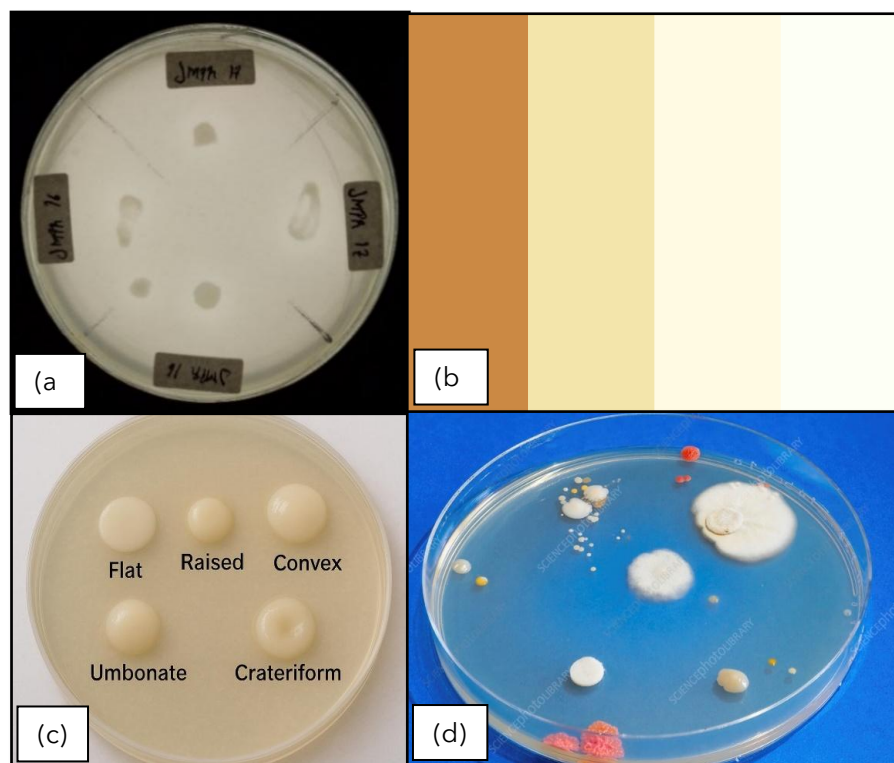
No	Kode isolat	Bentuk	Elevasi	Tepi	Warna
1	JMPR 2	Circular	Convex	Undulate	Putih susu
2	JMPR 8	Circular	Convex	Entire	Putih susu
3	JMPR 11	Circular	Convex	Entire	Putih susu
4	JMPR 16	Punctiform	Convex	Entire	Putih susu
5	JMPR 17	Circular	Convex	Undulate	Putih susu

Keterangan:
JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer).

Hasil karakterisasi morfologi 5 isolat koloni bakteri yang diketahui mampu

melarutkan fosfat yaitu dominan berbentuk circular dan ada pula yang punctiform, elevasi convex, dengan tepi entire dan undulate, serta berwarna putih susu. Gambar morfologi makroskopis

isolat bakteri yang mampu melarutkan fosfat dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4,5, dan 6 berikut.



Gambar 3. Karakteristik morfologi koloni bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman jewawut (*Setaria italica* L.): (a) isolasi koloni bakteri pada media agar; (b) palet warna koloni putih susu; (c) variasi elevasi koloni bakteri; (d) morfologi koloni bakteri pada media agar.

Pewarnaan Gram

Isolat bakteri yang telah diamati karakteristik morfologinya selanjutnya dilakukan pewarnaan Gram. Hasil pewarnaan Gram pada kelima koloni bakteri dapat dilihat pada Tabel 5 berikut;

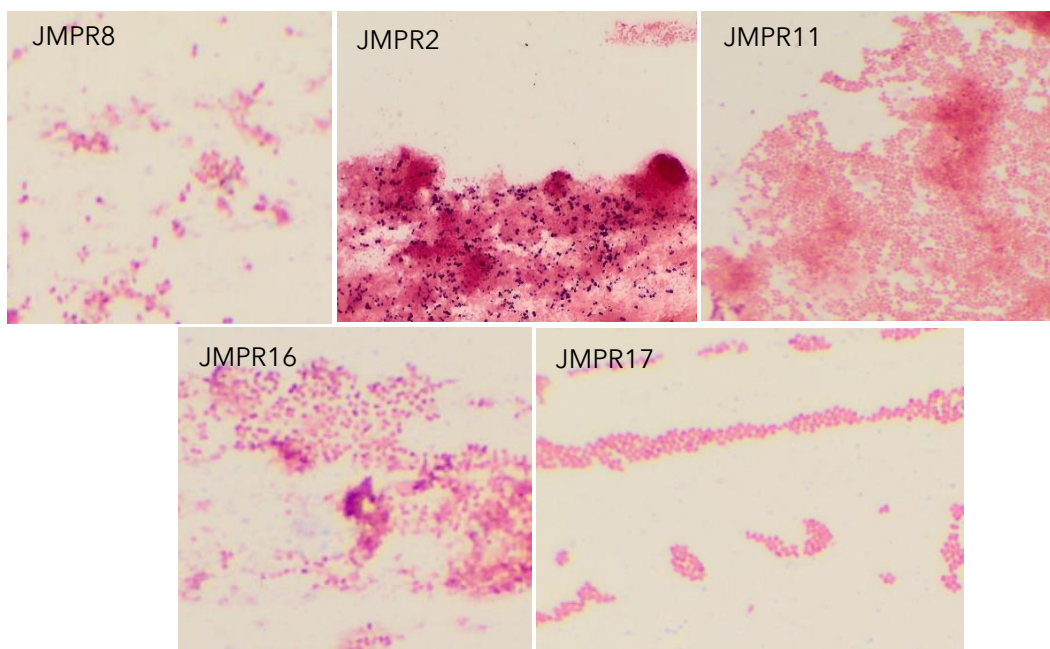
Tabel 5 Pewarnaan Gram Bakteri Rizhosfer

No	Kode Isolat	Bentuk Sel	Warna	Gram +/-
1	JMPR 2	Coccus	Merah Muda	-
2	JMPR 8	Coccus	Ungu	+
3	JMPR 11	Coccus	Merah Muda	-
4	JMPR 16	Coccus	Merah Muda	-
5	JMPR 17	Coccus	Merah Muda	-

Keterangan:

JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer).

Hasil pewarnaan Gram yang diperoleh berdasarkan Tabel 5 di atas adalah kelima isolat terpilih memiliki bentuk sel coccus dengan warna bakteri terdiri atas dua yaitu warna pink atau merah muda sebanyak 4 isolat diantaranya JMPR 2, JMPR 11, JMPR 16 dan JMPR 17, sedangkan pada satu isolat koloni yang lain berwarna ungu yaitu JMPR 8. Sehingga dapat diketahui bahwa dari kelima isolat bakteri 4 diantaranya adalah bakteri Gram negatif dan 1 isolat bakteri Gram positif. Gambar bakteri Gram dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Hasil Uji Pewarnaan Gram Bakteri Pelarut Fosfat

Uji kemampuan produksi IAA

Uji kemampuan IAA dilakukan terhadap 3 isolat terpilih yaitu JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17. Alasan pemilihan ketiga isolat tersebut karena pertimbangan bahwa tingginya kemampuan melarutkan fosfat tidak selalu sejalan dengan kemampuan produksi fitohormon. Sebagaimana contoh pada penelitian Güler (2025), yang menemukan bahwa beberapa isolat *Bacillus* hanya unggul dalam produksi IAA atau kemampuan pelarutan fosfat bukan keduanya sekaligus. Selain itu, penelitian pada *Pseudomonas* menunjukkan polimorfisme atau variasi kemampuan P-solubilizing (pelarutan fosfat) dan produksi hormon antar isolat. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada isolat yang kemampuan pelarutan fosfatnya lebih rendah diantara kelima isolat yaitu JMPR 11, JMPR 16, dan JMPR 17 untuk melihat kemungkinan adanya potensi produksi IAA dan GA3 yang signifikan pada kelompok ini. Sedangkan JMPR 8 dan JMPR 2 mewakili isolat

dengan kemampuan pelarutan fosfat yang paling tinggi.

Hasil uji kemampuan produksi IAA pada ketiga isolat bakteri tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Kemampuan Bakteri Rhizosfer Memproduksi IAA.

No	Kode Isolat	Nilai Absorbansi	Konsentrasi IAA (ppm)
1	JMPR 11	0.325	165.81
2	JMPR 16	0.755	466.378
3	JMPR 17	1.016	627.811

Keterangan:

JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer)

Berdasarkan data pada Tabel 4.6, terlihat bahwa ketiga isolat bakteri menunjukkan variasi dalam kemampuan menghasilkan IAA. Isolat JMPR 17 tercatat sebagai penghasil IAA tertinggi dengan konsentrasi mencapai 627,811 ppm. Disusul oleh isolat JMPR 16 yang menghasilkan 466,378 ppm. Sementara itu, isolat JMPR 11 menunjukkan produksi IAA paling rendah, yaitu sebesar 165,81 ppm.

Uji kemampuan produksi GA3

Sampel yang telah dilakukan uji IAA selanjutnya diuji kemampuan produksi GA3. Hasil uji kemampuan produksi GA3 pada ketiga isolat bakteri tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Kemampuan Bakteri Rhizosfer Memproduksi GA3

No	Kode Isolat	Nilai Absorbansi	Konsentrasi GA3 (ppm)
1	JMPR 11	3.868	95.78
2	JMPR 16	3.818	94.55
3	JMPR 17	3.741	92.65

Keterangan:

JMPR (Jewawut Muda Pinggir Rhizosfer).

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa ketiga isolat bakteri mempunyai kemampuan produksi GA3 yang bervariasi, dimana konsentrasi GA3 tertinggi dihasilkan oleh isolat JMPR 11 yaitu sebesar 95.78 ppm lalu JMPR 16 sebesar 94.55 ppm dan konsentrasi GA3 terendah yaitu JMPR 17 sebesar 92.65 ppm

Pembahasan

Sampel pada penelitian ini berupa bakteri rhizosfer yang diisolasi dari akar tanaman jewawut yang kemudian diuji kemampuannya dalam melarutkan fosfat serta memproduksi hormon pertumbuhan IAA dan GA₃. Sampel akar dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan lokasi dan usia tanaman jewawut pada lahan pertanian.

a. Isolasi bakteri pada media Nutrient Agar (NA)

Bakteri rhizosfer yang diisolasi dari akar tanaman jewawut kemudian ditumbuhkan pada media Nutrient Agar (NA). Berdasarkan Tabel 4.1, hanya isolat dengan kode JMPR yang mampu tumbuh pada media tersebut,

sedangkan isolat JMPT dan JTR tidak menunjukkan pertumbuhan koloni. Pada isolat JMPR, jumlah koloni bakteri berbeda pada setiap tingkat pengenceran. Pengenceran 10⁻⁶ menunjukkan populasi tertinggi yaitu 122 koloni, diikuti pengenceran 10⁻⁷ sebanyak 68 koloni dan pengenceran 10⁻⁸ sebanyak 14 koloni.

Penurunan jumlah koloni pada setiap tingkat pengenceran merupakan prinsip dari pengenceran bertingkat yang bertujuan menurunkan konsentrasi mikroorganisme secara sistematis sehingga populasi mikroba berkurang secara eksponensial (Yan et al., 2015). Penelitian Yan et al. (2015) menunjukkan bahwa pengenceran bertingkat pada suspensi tanah dapat menurunkan keragaman komunitas mikroba dan mempermudah penghitungan koloni sehingga analisis mikrobiologi menjadi lebih akurat.

Perhitungan jumlah koloni dilakukan menggunakan metode Colony Forming Unit (CFU). Nilai CFU yang layak dihitung berada pada kisaran 30-300 koloni. Pada penelitian ini, pengenceran 10⁻⁶ dan 10⁻⁷ memenuhi kisaran tersebut, sedangkan pengenceran 10⁻⁸ tidak dihitung karena jumlah koloni kurang dari 30. Jumlah koloni yang terlalu sedikit dapat disebabkan oleh kesalahan pengambilan sampel atau interpretasi hasil, sedangkan koloni yang terlalu padat dapat menghambat pertumbuhan sel akibat kompetisi ruang dan nutrisi (Nurdin dan Hidayah, 2023).

Pertumbuhan bakteri yang cukup tinggi pada isolat JMPR diduga karena sampel diambil dari daerah perakaran yang kaya bahan organik. Zona perakaran merupakan habitat yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme karena eksudat akar

menyediakan nutrisi bagi bakteri tanah (Wulandari et al., 2019).

Tidak ditemukannya koloni bakteri pada isolat JMPT dan JTR dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan tanah. Salah satu faktor penting adalah pH tanah, di mana mikroorganisme umumnya tumbuh optimal pada pH netral atau sedikit basa karena ketersediaan unsur hara berada pada kondisi optimal (Priyono, 2018). Selain itu, suhu juga memengaruhi aktivitas mikroba. Mikroorganisme tanah umumnya termasuk kelompok mesofilik yang memiliki suhu optimum sekitar 37°C (Priyono, 2018). Faktor lain yang turut memengaruhi adalah kelembaban tanah, karena air berperan sebagai pelarut nutrisi dan media transport bagi mikroorganisme. Kelembaban tanah yang ideal untuk aktivitas mikroba berkisar antara 20-60%, sehingga kondisi di luar kisaran tersebut dapat menyebabkan penurunan atau kematian mikroorganisme akibat dehidrasi sel (Priyono, 2018).

b. Uji pelarutan fosfat

Isolat bakteri yang tumbuh pada media NA kemudian diuji kemampuannya dalam melarutkan fosfat menggunakan media Pikovskaya. Media ini merupakan media selektif yang mengandung trikalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) sebagai sumber fosfat tidak larut (Sugianto et al., 2019).

Kemampuan pelarutan fosfat ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri. Zona bening tersebut terbentuk akibat pelarutan senyawa trikalsium fosfat sehingga fosfor dilepaskan dari ikatan mineralnya (Fallo et al., 2022).

Nilai Indeks Pelarutan Fosfat (IPF) pada penelitian ini menunjukkan bahwa

seluruh isolat memiliki kategori sedang, yaitu JMPR 2 (3,05), JMPR 8 (3,06), JMPR 16 (2,50), JMPR 17 (2,50), dan JMPR 18 (2,8). Menurut Sonia dan Setiawati (2022), IPF dikategorikan rendah (<2), sedang (2-4), dan tinggi (>4).

Kemampuan mikroorganisme dalam melarutkan fosfat umumnya terjadi melalui produksi asam organik seperti asam sitrat, asam glutamat, asam laktat, dan asam suksinat. Senyawa tersebut dapat mengkelat unsur logam seperti aluminium dan besi sehingga fosfor menjadi lebih tersedia bagi tanaman (Purba et al., 2015). Selain itu, mikroorganisme juga dapat menghasilkan enzim fosfatase yang berperan dalam proses mineralisasi fosfat organik menjadi bentuk anorganik (Sonia dan Setiawati, 2022).

c. Morfologi bakteri pelarut fosfat

Pengamatan morfologi koloni bakteri pelarut fosfat menunjukkan bahwa isolat memiliki bentuk dominan circular, elevasi complex, tepi entire hingga undulate, serta berwarna putih susu. Karakteristik ini sejalan dengan penelitian Aryaldi et al. (2021) yang melaporkan bahwa sebagian besar isolat bakteri rhizosfer memiliki morfologi koloni berbentuk circular dengan warna putih susu dan tepi entire atau undulate.

Ciri morfologi tersebut juga sesuai dengan karakteristik bakteri pelarut fosfat yang umumnya memiliki bentuk koloni circular, tepian entire, elevasi convex, serta warna putih atau krem (Sukmawati et al., 2022). Penelitian lain juga melaporkan bahwa isolat bakteri rhizosfer umumnya memiliki koloni sirkular dengan permukaan mengilap dan tepi halus atau bergelombang, yang banyak ditemukan pada kelompok plant

growth-promoting rhizobacteria (PGPR) (Verma et al., 2019).

Temuan serupa juga dilaporkan oleh Mishra et al. (2020) pada isolat bakteri rhizosfer tanaman gandum yang memiliki koloni sirkular berwarna putih susu dan mampu melarutkan fosfat pada media Pikovskaya. Secara ekologis, bakteri rhizosfer merupakan mikroorganisme yang hidup di sekitar perakaran tanaman dan memanfaatkan eksudat akar sebagai sumber nutrisi (Gouda et al., 2018).

Berdasarkan lokasi pengambilan sampel dari tanah di sekitar akar serta kesamaan morfologi koloni dengan penelitian sebelumnya, isolat dalam penelitian ini diduga merupakan bakteri rhizosfer. Hal ini juga diperkuat oleh perbedaan karakteristik dengan bakteri endofit yang umumnya diisolasi dari jaringan tanaman setelah proses sterilisasi permukaan dan memiliki koloni yang lebih kecil serta transparan (Kandel et al., 2017; Compant et al., 2021).

d. Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram dilakukan untuk mengetahui karakteristik dinding sel bakteri, yaitu apakah termasuk Gram positif atau Gram negatif. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sebagian besar isolat bakteri pelarut fosfat termasuk dalam kelompok Gram negatif. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wani et al. (2015) yang melaporkan bahwa bakteri *Pseudomonas* sp. (Gram negatif) memiliki kemampuan tinggi dalam melarutkan fosfat.

Namun demikian, isolat dengan kemampuan pelarutan fosfat tertinggi yaitu JMPR 8 termasuk dalam kelompok Gram positif. Penelitian Fatimah et al. (2023) juga melaporkan bahwa sebagian

besar isolat bakteri pelarut fosfat yang ditemukan di tanah mangrove termasuk Gram positif, dengan isolat potensial *Lysinibacillus fusiformis*. Hal ini menunjukkan bahwa baik bakteri Gram positif maupun Gram negatif dapat berperan sebagai pelarut fosfat (Kalayu, 2019).

Perbedaan warna pada hasil pewarnaan Gram disebabkan oleh struktur dinding sel bakteri. Bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan tebal yang mampu mempertahankan pewarna kristal violet sehingga berwarna ungu. Sebaliknya, bakteri Gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan tipis dan lapisan luar lipopolisakarida sehingga pewarna utama mudah terlepas saat proses dekolorisasi dan selanjutnya menyerap pewarna safranin sehingga tampak berwarna merah muda (Baloc et al., 2023).

e. Uji produksi IAA

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga isolat bakteri mampu memproduksi hormon IAA, dengan konsentrasi tertinggi dihasilkan oleh isolat JMPR 17 sebesar 627,811 ppm. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Puspita et al. (2018) yang melaporkan produksi IAA sebesar 386 ppm oleh *Bacillus* sp., serta penelitian Rini et al. (2020) yang memperoleh produksi IAA sebesar 191,75 ppm pada bakteri rhizosfer tanaman akasia.

IAA merupakan hormon pertumbuhan yang berperan dalam pemanjangan dan pembelahan sel tanaman. Namun, konsentrasi IAA yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan karena memicu produksi hormon lain seperti etilen yang bersifat antagonis terhadap IAA (Wahidah dan Hasrul, 2017). Pada penelitian ini,

konsentrasi IAA yang dihasilkan isolat JMPR 11 (0,16581 g/l), JMPR 16 (0,466378 g/l), dan JMPR 17 (0,627811 g/l) masih berada di bawah batas optimum 0,9 g/l sehingga berpotensi memberikan efek positif terhadap pertumbuhan tanaman.

Perbedaan kemampuan produksi IAA antar isolat dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme serta fase pertumbuhan bakteri. Produksi IAA umumnya meningkat pada fase stasioner dan menurun ketika nutrisi media mulai terbatas atau kondisi lingkungan menjadi lebih asam (Ningrum et al., 2017). Hormon IAA berperan penting dalam merangsang pertumbuhan akar, pemanjangan sel, pembelahan sel, serta meningkatkan aktivitas enzim yang mendukung perkembangan tanaman.

f. Uji produksi GA_3

Pengujian produksi hormon giberelin GA_3 menunjukkan bahwa ketiga isolat bakteri mampu menghasilkan hormon tersebut. Konsentrasi tertinggi dihasilkan oleh isolat JMPR 11 sebesar 95,78 ppm. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Sudewi et al. (2021) yang melaporkan produksi GA_3 tertinggi hanya sebesar 3,276 ppm pada bakteri rhizosfer tanaman padi aromatik.

Menurut Andianingsih et al. (2021), konsentrasi GA_3 yang optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman berada pada kisaran 100 ppm. Konsentrasi GA_3 yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 95,78 ppm (JMPR 11), 94,55 ppm (JMPR 16), dan 92,65 ppm (JMPR 17), sehingga mendekati nilai optimum tersebut dan dapat dikategorikan cukup tinggi.

Kemampuan produksi GA_3 oleh bakteri dipengaruhi oleh perbedaan

spesies, karakteristik biokimia, serta kondisi lingkungan seperti pH, suhu, jenis media, lama inkubasi, dan pencahayaan. Kondisi optimum produksi GA_3 umumnya terjadi pada suhu sekitar 30°C, pH netral, dan lingkungan gelap (Sudewi et al., 2021).

Hormon GA_3 merupakan salah satu fitohormon yang dihasilkan oleh mikroorganisme PGPR dan berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, seperti merangsang pemanjangan sel, meningkatkan pertumbuhan akar dan rambut akar, mempercepat perkecambahan benih, merangsang pembungaan, serta mempercepat pematangan buah (Sudewi et al., 2021)

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengisolasi bakteri rhizosfer dari akar tanaman jawawut (*Setaria italica* L.) yang berpotensi sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. Hasil isolasi menunjukkan bahwa hanya isolat berkode JMPR yang mampu tumbuh pada media Nutrient Agar (NA), dengan jumlah koloni tertinggi pada pengenceran 10^{-6} . Uji pelarutan fosfat pada media Pikovskaya menunjukkan bahwa beberapa isolat bakteri mampu melarutkan fosfat dengan nilai Indeks Pelarutan Fosfat (IPF) kategori sedang. Karakteristik morfologi koloni bakteri pelarut fosfat yang diperoleh umumnya berbentuk circular, memiliki tepi entire hingga undulate, elevasi convex atau complex, serta berwarna putih susu. Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa isolat bakteri pelarut fosfat terdiri dari bakteri Gram positif dan Gram negatif. Selain kemampuan melarutkan fosfat, isolat bakteri juga menunjukkan kemampuan menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman. Isolat JMPR 17 menghasilkan hormon IAA tertinggi sebesar 627,811 ppm, sedangkan produksi hormon GA_3 tertinggi

dihasilkan oleh isolat JMPR 11 sebesar 95,78 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bakteri rhizosfer tanaman jewawut memiliki potensi sebagai agen plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme pelarutan fosfat dan produksi hormon pertumbuhan

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adriantama, S., Suriyanti, S., & Nontji, M. (2021). Isolasi dan identifikasi morfologi serta uji pelarutan fosfat terhadap bakteri rhizosfer tanaman kedelai (*Glycine max* L.). *AgrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 24-32. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v2i1.140>
- Afriani, L. (2025). Understanding the design of research and development methods in the field of education. *IJESS International Journal of Education and Social Science*, 6(1), 1-5. <https://doi.org/10.56371/ijess.v6i1.333>
- Afrianti, N. (2017). Uji kemampuan beberapa isolat jamur rhizosfer tanaman nanas sebagai antagonis jamur *Phytophthora* sp. dan pelarut fosfat (Skripsi). Universitas Jember. <http://digilib.unila.ac.id/29647/>
- Agustina, N., Asih, E. N. N., & Kartika, A. G. D. (2022). Jenis gram dan morfologi koloni bakteri air baku garam. *Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.29303/jikls.v2i1.44>
- Aisyah, S., Hadija, S., & Nirawati, N. (2022). Isolasi dan identifikasi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman aren (*Arenga pinnata* (Wurb) Merr.). *Jurnal Eboni*, 4(2), 64-70. <https://doi.org/10.46918/eboni.v4i2.1496>
- Aliah, A., Fitria, F., Sari, M., & Zubaidah, Z. (2024). Pentingnya sumber belajar dalam pendidikan di sekolah. *Jurnal Pendidikan Kita*, 1(1), 42-50. <http://ojs.umb-bungo.ac.id/index.php/pddKita/article/view/1419>
- Andianingsih, N., Rosmala, A., & Mubarak, S. (2021). Pengaruh pemberian hormon auksin dan giberelin terhadap pertumbuhan tomat (*Solanum lycopersicum* L.) var. Aichi First. *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 3(1), 48-56. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v3i1.531>
- Apsal, H. P. (2018). Eksplorasi mikroorganisme di lahan rawa pasang surut pada empat tipe luapan (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. https://repository.unsri.ac.id/12468/2/RAMA_54211_05071381320055_0021046202_0018095802_01_frontend_ref.pdf
- Arhim, M., Alim, N., Fitri, F., Halik, R. A. F., & Arifin, A. (2023). Peran penyuluh pertanian terhadap peningkatan produksi jewawut di Desa Lambanan Kecamatan Balanipa Kabupaten Polewali Mandar Provinsi Sulawesi Barat. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 11(3), 285-297. <https://doi.org/10.30605/perbal.v11i3.2497>
- Aryaldi, R., Saida, S., & Nontji, M. (2021). Identifikasi morfologi dan uji pelarut fosfat bakteri rhizosfer

- tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L.). *AgrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v2i1.137>
- Astriani, M., & Murtiyaningsih, H. (2018). Pengukuran indole-3-acetic acid (IAA) pada *Bacillus* sp. dengan penambahan L-tryptofan. *Bioeduscience*, 2(2), 116-121. <https://doi.org/10.29405/j.bes/22116-1212233>
- Azrai, M. (2021). Teknologi budidaya tanaman jewawut. Absolute Media.
- Baloc, I. S., Ishaq, L. F., Tae, A. S. A., & Serangmo, D. (2023). Eksplorasi bakteri pelarut fosfat indigen pada ekosistem kebun dan pantai di Kabupaten Kupang. *Jurnal Agrisa*, 12(2), 106-124. <https://doi.org/10.35508/agrisa.v12i2.14246>
- Compant, S., Cambon, M. C., Vacher, C., Mitter, B., Samad, A., & Sessitsch, A. (2021). The plant endosphere world: Bacterial life within plants. *Environmental Microbiology*, 23(4), 1812-1829. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15240>
- Condon, L. M., & Turner, B. L. (2017). The chemistry and dynamics of soil organic phosphorus. *Soil Biology and Biochemistry*, 113, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.05.015>
- Demando, G., Hamisah, B., & Marseli, Z. (2019). Potensi tanaman jewawut sebagai sumber karbohidrat terbarukan dan bioaktivitasnya sebagai anti hipertensi. *Jurnal Khazanah Intelektual*, 3(1), 355-370. <https://doi.org/10.37250/newkiki.v3i1.33>
- Fallo, G., Pardosi, L., & Boluk, A. Y. (2022). Seleksi bakteri pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman cabai rawit (*Capsicum annum* L.) di Kabupaten Timor Tengah Utara. *Jurnal Biosense*, 5(1), 24-33. <https://doi.org/10.36526/biosense.v5i01.1878>
- Fatimah, F., Aula, N., Salsabila, S., Ramly, Z. A., Rose, S. Y., Surtiningsih, T., & Nurhariyati, T. (2023). Exploration of phosphate-solubilizing bacteria from mangrove soil of Lamongan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(2), 1272-1278.
- Gassing, S. (2021). Identifikasi dan karakterisasi mikroba rhizosfer padatanaman padi (*Oryza sativa* L.) di Kecamatan Kajang Kabupaten Bulukumba (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/9555/>
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S., & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Gholami, A., Shamsavani, S., Nezarat, S., & Rohani, M. (2019). Screening and characterization of phosphate-solubilizing bacteria isolated from rhizosphere soils. *Journal of Applied Microbiology*, 127(3), 872-884. <https://doi.org/10.1111/jam.14355>
- Güler, M. (2025). Isolation and characterization of *Bacillus* spp. producing indole-3-acetic acid (iaa)

- and solubilizing inorganic phosphate from the rhizosphere of medicinal sage (*salvia officinalis*). Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 12(3), 716-726. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1620479>
- Hengkengbala, S. I., Lintang, R. A., Mangindaan, R. E., Ginting, E. L., & Tumembouw, S. (2021). Karakteristik morfologi dan aktivitas enzim protease bakteri simbiosis nudibranch. Jurnal Pesisir dan Laut Tropis, 9(3), 83-94. <https://doi.org/10.35800/jplt.9.3.2021.36672>
- Hidayati, N., & Syarif, F. (2020). Pertumbuhan dan produksi tanaman jewawut [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.] pada perlakuan dosis radiasi dengan pengurangan frekuensi penyiraman untuk seleksi toleran kekeringan. Jurnal Biologi Indonesia, 15(2), 52-61. <https://doi.org/10.47349/jbi/15022019/177>
- Hikmahwati, H., & Fitrianti, F. (2023). The Phytohormones (iaa and ga3) produced by rhizosphere mushrooms in shallot (*Allium ascolonicum* L.). As a biostimulant. Jurnal Pertanian, 14(1), 7-14. <https://doi.org/10.30997/jp.v14i1.8300>
- Kalay, A. M., Hindersah, R., Ngabalin, I. A., & Jamlean, M. (2020). Pemanfaatan pupuk hayati dan bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*). Agric, 32(2), 129-138. <https://doi.org/10.24246/agric.2020.v32.i2.p129-138>
- Kalayu, G. (2019). Phosphate solubilizing microorganisms: Promising approach as biofertilizers. International Journal of Agronomy, 2019, 4917256. <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>
- Kandel, S. L., Joubert, P. M., & Doty, S. L. (2017). Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. Microorganisms, 5(4), 77. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5040077>
- Kartikawati, A., Trisilawati, O., & Darwati, I. (2017). Pemanfaatan pupuk hayati (biofertilizer) pada tanaman rempah dan obat. Jurnal Prespektif, 16(1), 33-43. <https://www.academia.edu/download/102505373/pdfOJSPerspektif.pdf>
- Mirawati, M., Mu'min, N., & Zahra, U. (2021). Uji antiseptik ekstrak kulit jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*. Al-Kimia, 9(2), 135-140. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v9i2.23261>
- Mishra, J., Fatima, T., & Arora, N. K. (2020). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: A review. Environmental Sustainability, 3, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00107-z>
- Murrobi, A. (2022). *Isolasi dan karakterisasi bakteri di pupuk cair nutrisi* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau). <https://repository.uinsuska.ac.id/62009/>

- Ningrum, W. A., Wicaksono, K. P., & Tyasmoro, S. Y. (2017). Pengaruh plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) dan pupuk kandang kelinci terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*) (Doctoral dissertation, Brawijaya University). <https://www.academia.edu/download/98116674/295409849.pdf>
- Nurdin, G. M., & Hidayah, N. (2023). Mikrobiologi dasar: Teori dan Praktik. Agma.
- Pasally, S. (2022). Isolasi protein jewawut (*Setaria italica* L) dengan metode kjeldahl. INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi, 1(3), 244-251. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i3.426>
- Priyono, W. (18 Februari 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi, aktivitas, dan populasi mikroorganisme tanah. Tips Petani. <https://tipspetani.com/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-distribusi-aktivitas-dan-populasi-mikroorganisme-tanah/>
- Purba, M. A., Fauzi, F., & Sari, K. (2015). Pengaruh pemberian fosfat alam dan bahan organik pada tanah sulfat masam potensial terhadap P-tersedia tanah dan produksi padi (*Oryza sativa* L.). Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara, 3(3), 938-948. <https://www.neliti.com/publication/s/105094/pengaruh-pemberian-fosfat-alam-dan-bahan-organik-pada-tanah-sulfat-masam-potensi>
- Purwanto, A., & Saputro, I. R. C. D. (2022). Uji aktivitas antibakteri ekstrak etanol daun jambu biji (*Psidium Guahava* L.) terhadap *Escherichia Coli* dengan Metode Difusi Silinder. JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, 5(6), 1900-1905. <https://doi.org/10.54371/jiip.v5i6.659>
- Puspita, F., Saputra, S. I., & Merini, J. (2018). Uji beberapa konsentrasi bakteri *Bacillus* sp. endofit untuk meningkatkan pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). Jurnal Agronomi Indonesia, 46(3), 322-327. <https://doi.org/10.24831/jai.v46i3.16342>
- Putrajaya, F., Hasanah, N., & Kurlya, A. (2019). Daya hambat ekstrak etanol daun suruhan (*Peperomia pellucida* L.) terhadap pertumbuhan bakteri penyebab jerawat (*Propionibacterium acnes*) dengan metode sumur agar. Edu Masda Journal, 3(2), 123-140. <https://doi.org/10.52118/edumasda.v3i2.34>
- Rini, I. A., Oktaviani, I., Asril, M., Agustin, R., & Frima, F. K. (2020). Isolasi dan karakterisasi bakteri penghasil IAA (Indole Acetic Acid) dari rhizosfer tanaman akasia (*Acacia mangium*). Agro Bali: Agricultural Journal, 3(2), 210-219. <https://doi.org/10.37637/ab.v3i2.619>
- Rosalina, F., Sukmawati, S., & Febriadi, I. (2021). Sosialisasi pemanfaatan limbah organik sebagai upaya pengurangan ketergantungan pupuk kimia kepada kelompok tani di Kelurahan Majener. DedikasiMU: Journal of Community Service, 3(4), 1190-1198. <https://doi.org/10.30587/dedikasi.mu.v3i4.3258>
- Salman, A. H. (2023). Isolasi dan karakterisasi bakteri rhizosfer tanaman eboni (*Diospyros celebica*

- Bakh.) yang berpotensi menghasilkan fitohormon IAA dan GA3 (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/26132/>
- Salsabila, S. (2023). Identifikasi bakteri dari telapak tangan dengan pewarnaan Gram. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan (JKIL)*, 1(1), 30-35. <https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/CHEMVIRO/article/view/563>
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2019). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springer Environmental Sustainability*, 2(3), 215-244. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00036-8>
- Sonia, A. V., & Setiawati, T. C. (2022). Aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap peningkatan ketersediaan fosfat pada tanah masam. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1), 44-53. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v15i1.13449>
- Sudewi, S., Patandjengi, B., Saleh, A. R., Yani, A., & Ratnawati, R. (2021). Eksplorasi rizobakteri penghasil giberelin dari padi lokal aromatik Sulawesi Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan*, 2, 310-316.
- Sugianto, S. K., Shovitri, M., & Hidayat, H. (2019). Potensi rhizobakteri sebagai pelarut fosfat. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), 71-74. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37241>
- Sukmawati, S., Ponisri, P., Rosalina, F., Farida, A., Satria, B., Syafaati, A. D., & Nuryanto, N. (2022). Skrining bakteri metanotrof, pelarut fosfat dan *Nitrobacter* pada lahan pertanian Kota Sorong. *Journal Galung Tropika*, 11(3), 304-316. <https://doi.org/10.31850/jgt.v11i3.1049>
- Susilowati, L. E., Mahrup, M., Arifin, Z., & Sukartono, S. (2022). Pemanfaatan pupuk hayati-fosfat untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.) di Entisol: Utilization of Biofertilizer-Phosphate to Increase Growth of maize (*Zea mays* L.) in Entisol. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*, 8(1), 25-37. <https://doi.org/10.29303/jstl.v8i1.313>
- Syaiful, M.F., Amrullah, S. H., Amrullah, D., Anggraeni, R., Nurman, & Rosmah. (2025). Analysis of total coliform bacteria in domestic wastewater of Makassar City using the most probable number (MPN) method. *Indonesian Journal of Ecology and Conservation*, 2(2). <https://doi.org/10.31605/ijec.v2i2.47.60>
- Verma, A., Jaiswal, D. K., & Kaushik, R. (2019). Characterization of phosphate-solubilizing rhizobacteria and their effect on growth of wheat seedlings. *Journal of Applied Microbiology*, 126(5), 1521-1533. <https://doi.org/10.1111/jam.14244>
- Wahidah, B. F., & Hasrul, H. (2017). Pengaruh pemberian zat pengatur tumbuh indole acetic acid (IAA) terhadap pertumbuhan tanaman

- pisang sayang (*Musa paradisiaca* L. var. sayang) secara in vitro. Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi, 11(1), 27-41. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v11i1.7408>
- Wani, F. S., Ali, T., & Baba, Z. A. (2015). Isolation, characterization and screening of phosphate solubilizing bacteria. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9(3), 2533-2539.
- Wulandari, N., Irfan, M., & Saragih, R. (2019). Isolasi dan karakterisasi plant growth promoting rhizobacteria dari rhizosfer kebun karet rakyat. *Dinamika Pertanian*, 35(3), 57-64. [https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35\(3\).4565](https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35(3).4565)
- Yan, Y., Kuramae, E. E., Klinkhamer, P. G., & Van Veen, J. A. (2015). Revisiting the dilution procedure used to manipulate microbial biodiversity in terrestrial systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(13), 4246-4252. <https://doi.org/10.1128/AEM.00958-15>