

The Effect of IAA-Producing and Phosphate-Solubilizing Bacteria Isolated from *Zea mays* Rhizosfera on the Germination of *Vigna sinensis* L (Wulung Var.)

Neti Kumala Sari¹, Lalu Zulkifli^{*1,2}, Dewa Ayu Citra Rasmi¹, Prapti Sedijani¹

¹Biology Education Study Program, Faculty of Teacher and Training Education, University of Mataram, West Nusa Tenggara, Indonesia

²Master of Science Education Study Program, Postgraduate Programme, University of Mataram, West Nusa Tenggara, Indonesia

Article History

Received : April 02th, 2025

Revised : May 05th, 2025

Accepted : June 06th, 2025

*Corresponding Author:

Lalu Zulkifli,

Biology Education Study Program, Faculty of Teacher and Training Education, University of Mataram, Indonesia

Email:

lalu_zulkifli@unram.ac.id

Abstract: PGPR are beneficial bacteria that play a role in increasing plant growth and productivity through hormone synthesis and provision of dissolved nutrients that are readily absorbed by plant roots. This study aims to determine the effect of IAA-producing and phosphate-solubilizing bacteria from corn plants (*Zea mays* L.) on the germination of legume plants (*Vigna sinensis* L.) in vitro. Rhizosphere bacteria from corn plants were isolated from Tetebatu Village, Sikur District, East Lombok Regency. IAA production and phosphate solubilization tests were carried out qualitatively and quantitatively. Qualitative phosphate solubilization was carried out by measuring the clear zone formed on Pikovskaya solid media and quantitatively using a spectrophotometer method with a wavelength of 690 nm. The test of the effect of bacteria on the germination of Wulung variety long bean plants planted on modified Murphy media with parameters of plant height, root length, fresh weight and dry weight of plants for 5 days was then analyzed using One Way Anova. The results showed that 7 isolates were able to produce IAA and dissolve phosphate and 3 other isolates were only able to dissolve phosphate. The highest IAA production (29.17 ppm) was produced by isolate RJ5 on the 5th day of incubation. The highest phosphate solubilization (18.46 ppm) was produced by isolate RJ1 on the 8th day of incubation. The results of the analysis showed that the effect of IAA-producing bacteria and phosphate-solubilizing bacteria on the germination of long bean plants was significantly different for plant height parameters, but not significantly different for root length, fresh weight and dry weight of plants. It can be concluded that bacteria isolated from the rhizosphere of corn (*Zea mays*) with the codes RJ1 and RJ5 are able to increase plant growth so that they have the potential as biofertilizer candidates that can be developed in the future.

Keywords: IAA, phosphate, PGPR, Rhizobacteria, *Zea mays* (L.).

Pendahuluan

Pertanian merupakan bidang yang paling berkontribusi terhadap peningkatan jumlah polutan kimia melalui penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik secara berlebihan. Kegiatan tersebut dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan resiko terhadap kesehatan manusia (Vejan *et al.*, 2016). Kerusakan lingkungan menyebabkan ketidakseimbangan

unsur hara di dalam tanah, struktur tanah menjadi rusak dan mikroba di dalam tanah menjadi sedikit sehingga hilangnya potensi hasil bagi tanaman (Murnita & Taher, 2021). Sedangkan dampak terhadap kesehatan menyebabkan rusaknya organ tubuh, mutasi gen dan gangguan susunan saraf pusat (Soenandar & Tjachjono, 2012). Kesadaran lingkungan yang sehat dan perkembangan bioteknologi telah mendorong pengembangan produk alternatif yang ramah

lingkungan, yaitu pupuk hayati (Lestari *et al.*, 2015). Pupuk hayati merupakan pupuk yang terbuat dari mikroba sebagai kandungan utamanya yang memiliki peran penting dalam meningkatkan hasil dan kualitas produksi tanaman. Selain itu, pupuk hayati berperan sebagai pembenah tanah dan meningkatkan jumlah bakteri yang bermanfaat bagi tanaman (Hazra & Santosa, 2021). Bakteri pada rhizosfer tanaman tertentu dapat diisolasi dan diolah menjadi pupuk hayati (Rini *et al.*, 2020). Mikroorganisme dalam pupuk hayati terdiri dari berbagai spesies seperti mikoriza, jamur dan bakteri yang hidup bersimbiosis dengan tanaman dan hidup bebas di lingkungan (Kartikawati *et al.*, 2017).

Mikroba menguntungkan yang berada pada rhizosfer tanaman dikenal sebagai PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). Bakteri ini dapat meningkatkan kemampuan akar untuk menyerap nutrisi tanah dan mensintesis hormon tanaman secara alami. PGPR dapat menghasilkan IAA yang merupakan kemampuan terpenting bakteri rhizosfer untuk merangsang dan mendukung pertumbuhan tanaman (Mohite, 2013). Bakteri rhizosfer juga mampu melarutkan fosfat (Rini *et al.*, 2020) yang berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara (Rianditya & Hartatik, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Silitonga *et al.*, (2013) menunjukkan bahwa PGPR yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat dan menghasilkan IAA mampu mendorong pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produktivitas tanaman kedelai dibandingkan dengan tanaman kontrol yang tidak ditambahkan bakteri tanah.

Salah satu tanaman budidaya yang memiliki tingkat adaptasi tinggi terhadap kondisi stres lingkungan adalah tanaman jagung. Tanaman jagung merupakan tanaman yang dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, berbagai lingkungan fisik, lahan kering, sawah, lebak dan lahan pasang surut (Zubachtirodin *et al.*, 2007). Berdasarkan pemaparan diatas, penelitian terkait isolasi bakteri penghasil IAA dan pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman jagung (*Zea mays* L.) sangat penting dilakukan. Untuk mengetahui pengaruh bakteri rhizosfer terhadap tanaman maka dilakukan uji terhadap tanaman kacang panjang (*Vigna sinensis* L.). Dengan demikian, pemanfaatan pupuk hayati dari rhizosfer tanaman jagung dapat memberikan solusi dalam

mengatasi berbagai permasalahan akibat penggunaan pupuk dan pestisida kimia serta stress lingkungan. Sehingga diharapkan melalui aplikasi pupuk hayati dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, kualitas produksi tanaman, bebas hama penyakit, kebutuhan hara terpenuhi, dan pertanian yang berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2023 di Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Mataram.

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif eksploratif berbasis eksperimental. Dalam penelitian ini dilakukan isolasi bakteri penghasil IAA dan pelarut fosfat dari rhizosfer tanaman jagung (*Zea mays* L.) serta melakukan pengujian pengaruh bakteri penghasil IAA dan pelarut fosfat terhadap perkecambahan tanaman kacang panjang (*Vigna sinensis* L.) secara in vitro.

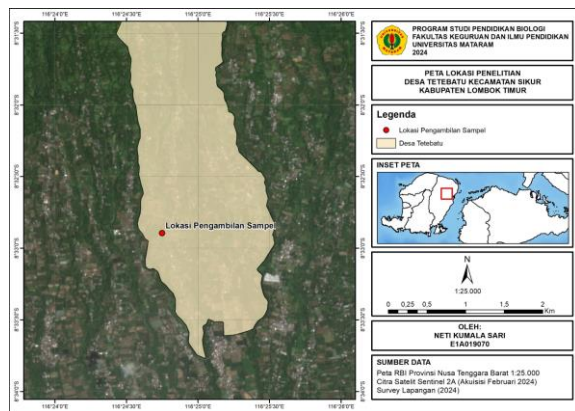
Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tabung reaksi, cawan petri, mikropipet, *blue tip*, *yellow tip*, batang pengaduk, gelas ukur, labu erlenmeyer, gelas beaker, jarum ose, kaca objek, *hot plate*, mikroskop, *vortex*, *laminar air flow*, inkubator, alat sentrifugasi, *shaker*, autoklaf, kompor, bunsen, rak tabung reaksi, timbangan analitik, alat dokumentasi, alat tulis, spektrofotometer, dan plastik kresek. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, 1 gram tanah yang diambil dari rhizosfer tanaman jagung, aquades, garam fisiologis, media Nutrient Agar (NA), media Nutrient Broth (NB), media Pikovskaya, triptofan, *Mc Farland* (0,5 %), alkohol 70%, alkohol 96%, larutan lugol, larutan safranin, larutan kristal violet, tissue, sabun, isolat bakteri, NaCl, glukosa, laktose, maltosa, *phenol red*, media *Sulfide Indol Motility* (SIM), media *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA) media *Simmone Citrat* (SC), biji kacang panjang, media Murphy modifikasi.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di Desa Tetebatu yang terletak di Kecamatan Sikur, Kabupaten Lombok Timur (Gambar 1). Secara geografis, Desa Tetebatu merupakan desa yang memiliki curah hujan sebesar 1580 mm³ (BPS, 2021), sehingga termasuk daerah beriklim kering karena intensitas hujan <2000 mm/tahun (Mulyani, *et al.*, 2014).



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel rhizosfer tanaman jagung.

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil akar pada 5 (lima) titik tanaman jagung yang memiliki pertumbuhan baik dan seragam. Kedalaman pengambilan sampel 5-10 cm. Akar tanaman kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik steril dan dibawa ke laboratorium untuk diteliti.

Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Rhizosfer

Isolasi bakteri tanaman jagung dilakukan dengan menimbang 1 gr sampel tanah yang menempel pada perakaran (rhizosfer) tanaman jagung lalu dituangkan pada labu Erlenmeyer yang berisi 25 ml aquades steril kemudian sampel tersebut dihomogenkan menggunakan *shaker* selama 1 jam. Selanjutnya menyiapkan 6 tabung reaksi yang masing-masing berisi 9 ml garam fisiologis untuk melakukan pengenceran bertingkat 10⁻¹-10⁻⁶. Mengambil sebanyak 1 ml sampel tanah yang telah homogen menggunakan mikropipet steril kedalam tabung reaksi pertama untuk pengenceran 10⁻¹.

¹. Mengambil 1 ml sampel dari tabung pertama 10⁻¹ kemudian memasukkan kedalam tabung kedua untuk pengenceran 10⁻². Mengulang prosedur pengambilan sampel hingga pengenceran 10⁻⁶. Menghomogenkan setiap pengenceran secara bergantian menggunakan *vortex*. Pembiakan bakteri dilakukan dengan mengambil 200 µl hasil dari pengenceran tiga terakhir yaitu 10⁻⁴, 10⁻⁵ dan 10⁻⁶ kemudian dibiakkan pada media NA (*Nutrient Agar*) menggunakan metode *pour plate* selama 24 jam didalam inkubator pada suhu 32°. Bakteri yang memiliki pertumbuhan yang tumpang tindih dimurnikan menggunakan metode *pour plate*. Karakterisasi dilakukan dengan mengidentifikasi morfologi koloni, morfologi sel, dan sifat fisiologi. Identifikasi morfologi koloni dilakukan dengan melihat bentuk, warna, margin, dan elevasi koloni bakteri. Identifikasi bentuk sel dilakukan melalui pewarnaan Gram. Karakterisasi sifat fisiologi dilakukan melalui uji biokimia yang terdiri dari uji TSIA, simmon citrate, SIM, dan fermentasi karbohidrat (glukosa, laktose dan maltose) (Zulkifli, *et al.*, 2020).

Uji Bakteri Penghasil IAA

Uji aktivitas produksi IAA dilakukan dengan memasukkan 1 ose isolat bakteri murni kedalam 9 ml garam fisiologis dan dihomogenkan menggunakan *vortex*. Kemudian dilakukan suspensi menggunakan standar Mc Farland (0,5%). Menginkubasi hasil suspensi sebanyak 500 µl kedalam media *Nutrient Broth* (NB) + Triptofan. Bakteri diinkubasi selama 5 hari pada suhu ruang menggunakan *shaker*. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke-1, ke-3, dan ke-5. Sebanyak 5 ml sampel diambil untuk disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 5000 rpm. Mengambil 0,5 ml supernatan yang diperoleh dan direaksikan dengan 1 ml reagen Salkowski (1:2) (Khan & Doty, 2009). Menginkubasi supernatan pada ruangan gelap selama 30 menit kemudian diamati perubahan warna yang terjadi. Perubahan warna sampel menjadi merah muda setelah inkubasi mengindikasikan isolat mampu menghasilkan IAA. Kemudian dilanjutkan dengan uji secara kuantitatif menggunakan

spektrofotometer pada panjang gelombang 530 nm untuk mengetahui konsentrasi produksi IAA bakteri (Ardiana & Advinda, 2022). Konsentrasi IAA dihitung setelah dibandingkan dengan kurva standar IAA.

Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat

Uji Pelarutan Fosfat Secara Kualitatif

Uji bakteri pelarut fosfat secara kualitatif dilakukan dengan mengambil sebanyak satu ose isolat bakteri murni kemudian dilarutkan kedalam 9 ml garam fisiologis dan dihomogenkan menggunakan *vortex* kemudian disuspensi dengan larutan *Mc Farland* (0,5%). Selanjutnya isolat bakteri diinkubasi pada media NB (*Nutrient Broth*) pada suhu ruang menggunakan *shaker* selama 24 jam. Isolat bakteri yang telah tumbuh pada media NB diambil sebanyak 10 µl untuk diinokulasikan pada media Pikovskaya padat selama 8 hari di dalam inkubator pada suhu 32°C. Selanjutnya dilakukan skrining dan perhitungan terbentuknya zona bening (*halo zone*) di sekitar koloni (Alfiansyah, *et al.*, 2023). Jika terbentuk zona bening maka diukur dan dihitung indeks kelarutan fosfat (IKF) yang terbentuk menggunakan rumus menurut Sharon *et al.*, (2016) sebagai berikut.

$$IKF = \frac{\text{Diameter koloni} + \text{Zona bening}}{\text{Diameter koloni}}$$

Adapun kategori/kriteria indeks kelarutan fosfat (IKF) mengacu pada kriteria menurut Silva & Vidor (2000) sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria IKF (Indeks Kelarutan Fosfat)

Nilai IKF	Kriteria
≤ 1,59	Rendah
1,6 – 2,14	Sedang
2,15 – 2,59	Tinggi
2,6 – 3	Sangat Tinggi

Uji Pelarutan Fosfat Secara Kuantitatif

Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat secara kuantitatif dilakukan dengan membuat suspensi standar *Mc Farland* (0,5%). Sebanyak 500 µl diinokulasikan pada media pikovskaya cair lalu diinkubasi di atas *shaker* selama 8 hari. Kultur bakteri diambil pada hari ke 2, 4, 6, dan 8 dengan kecepatan sentrifugasi 5000 rpm selama 15

menit. Supernatant hasil sentrifugasi diambil sebanyak 1,25 ml dan direaksikan dengan reagen fosfat sebanyak 0,2 ml selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan uji spektrofotometri dengan serapan panjang gelombang 690 nm (Irawan & Zulaika, 2016). Pembuatan kurva standar dilakukan dengan melarutkan monopotassium fosfat sebanyak 0,1 gr (100 ppm) sebagai stok awal dan dibuat pengenceran untuk mendapatkan konsentrasi 0 ppm, 2 ppm, 4 ppm, dan 6 ppm. Diambil 1,25 ml dari setiap konsentrasi larutan standar kemudian ditambahkan reagen fosfat 0,2 ml dan diinkubasi selama 30 menit kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan serapan panjang gelombang 690 nm.

Uji Pengaruh Bakteri Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat Terhadap Perkecambahan Tanaman Kacang Panjang

Bakteri yang diuji adalah bakteri yang memiliki konsentrasi IAA tertinggi dan pelarutan fosfat tertinggi. Kacang panjang yang digunakan adalah varietas wulung. Penyortiran sampel biji kacang panjang dilakukan dengan memilih biji dengan ukuran yang sama. Biji kacang panjang disterilisasi menggunakan NaOCl 5 % selama 5 menit, alkohol 70 % selama 5 menit dan dicuci menggunakan aquades steril hingga bersih (Pratiwi, *et al.*, 2021). Isolat bakteri terpilih dibiakkan dalam media NB selama 24 jam kemudian kultur bakteri disentrifugasi dengan kecepatan 5000 rpm selama 15 menit. Sel bakteri diresuspensi dengan aquades steril hingga volumenya mencapai 25 ml yang digunakan untuk perlakuan terhadap perkecambahan kacang panjang.

Dibuat 3 (tiga) perlakuan uji yaitu: tanpa perlakuan/kontrol (P0), dengan penambahan bakteri fosfat tinggi dan IAA rendah (P1), dengan penambahan bakteri IAA tinggi (P2) dan bakteri fosfat rendah. Perendaman benih kacang panjang menggunakan sel bakteri dilakukan selama 1 jam pada perlakuan P1 dan P2. Biji kacang panjang yang telah direndam dengan sel bakteri kemudian ditumbuhkan pada tabung kultur yang berisi media Murphy modifikasi selama 5 hari. Pertumbuhan tanaman diamati hingga fase perkecambahan dan diukur pertumbuhannya dengan parameter: tinggi tanaman (cm), panjang akar (cm), berat basah tanaman (g), dan berat kering tanaman (g) (Alfiansyah, *et al.*, 2023).

Hasil dan Pembahasan

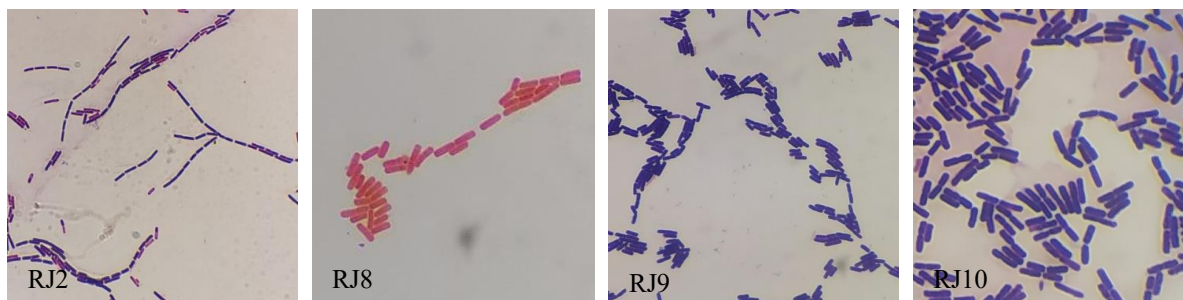
Hasil Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Rhizosfer Tanaman Jagung

Tabel 2. Morfologi Koloni dan Sel Bakteri Rhizosfer Tanaman Jagung

Kode Isolat	Morfologi Koloni				Morfologi Sel	
	Bentuk	Warna	Margin	Elevasi	Bentuk Sel	Sifat Gram
RJ1	Circular	Putih	Filamentous	Flat	Basil	+
RJ2	Filamentous	Putih	Filamentous	Flat	Basil	+
RJ3	Circular	Putih	Entire	Flat	Basil	+
RJ4	Irregular	Putih	Filamentous	Flat	Basil	+
RJ5	Circular	Cream	Convex	Flat	Basil	+
RJ6	Irregular	Cream	Lobate	Raised	Basil	+
RJ7	Circular	Putih	Filiform	Raised	Basil	-
RJ8	Irregular	Cream	Undulate	Flat	Basil	-
RJ9	Irregular	Putih	Undulate	Flat	Basil	+
RJ10	Circular	Cream	Serrate	Raised	Basil	+

Hasil isolasi bakteri rhizosfer tanaman jagung diperoleh 10 isolat bakteri dengan karakteristik yang beragam. Berdasarkan karakterisasi morfologi koloni, bentuk bakteri yang mendominasi adalah circular (bulat) dengan warna putih dan cream, margin

filamentous dan elevasi flat (rata). Karakterisasi morfologi sel melalui pewarnaan gram (Gambar 2) ditemukan hasil bahwa semua isolat bakteri berbentuk basil dengan sifat gram positif dan negatif. Data karakterisasi morfologi koloni dan sel dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Morfologi sel bakteri rhizosfer jagung: RJ2: Bentuk sel batang, gram positif; RJ8: Bentuk sel batang, gram negatif; RJ9: Bentuk sel batang, gram positif; RJ10: Bentuk sel batang, gram positif.

Uji biokimia untuk mengidentifikasi sifat fisiologi isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung

penghasil IAA dan pelarut fosfat dilakukan dengan beberapa uji yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat Fisiologi Bakteri Rhizosfer Tanaman Jagung Melalui Uji Biokimia

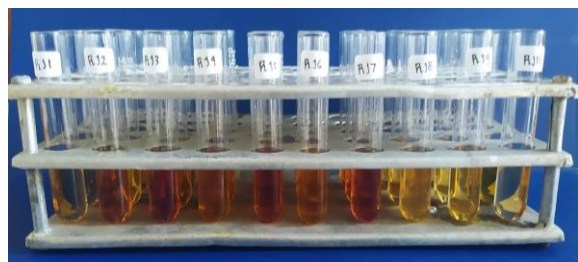
Kode Isolat	Uji Biokimia					
	SC	TSIA	SIM	Glukosa	Maltose	Laktose
RJ1	+	+	+	-	-	-
RJ2	-	+	+	+	+	-
RJ3	-	+	-	+	+	-
RJ4	-	+	-	-	-	-
RJ5	-	+	-	-	-	+
RJ6	-	+	-	-	-	-
RJ7	-	+	-	+	-	-
RJ8	-	+	+	+	+	-
RJ9	+	+	+	+	+	-
RJ10	-	+	+	+	+	-

Keterangan: SC: Simmon Citrat; TSIA: *Triple Sugar Iron Agar*; SIM: Sulfide Inodole Motility.

Uji Produksi IAA Bakteri Rhizosfer Tanaman Jagung

Hasil Uji IAA secara Kualitatif

Hasil pengamatan pada 10 isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung menunjukkan terjadi perubahan warna supernatant yang direaksikan dengan reagen Salkowsky (Gambar 3).

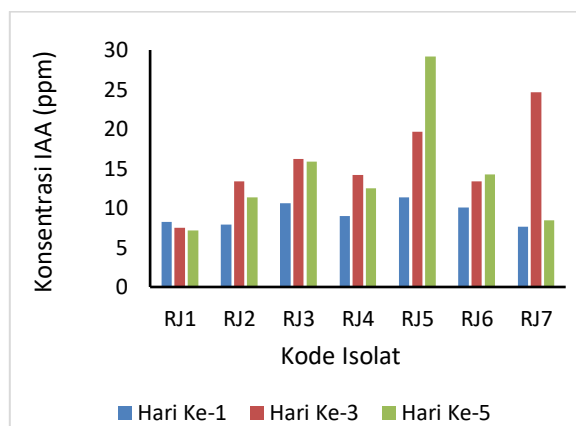


Gambar 3. Perubahan warna sampel yang dihasilkan isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung setelah direaksikan dengan Reagen Salkowsky. RJ5 merupakan isolat yang memiliki warna terpekat diantara semua isolat.

Perubahan warna mulai terjadi pada hari pertama yaitu dengan menunjukkan tingkat kepekatan yang rendah. Pada hari ketiga dan kelima masa inkubasi perubahan warna yang terjadi semakin pekat. Ditemukan pula supernatant isolat bakteri yang tidak mengalami perubahan warna menjadi merah muda sampai hari terakhir masa inkubasi. Perubahan warna terjadi pada isolat dengan kode RJ1, RJ2 RJ3, RJ4, RJ5, RJ6, dan RJ7. Sedangkan pada isolat RJ8, RJ9, dan RJ10 tidak mengalami perubahan warna. Isolat dengan kode RJ5 memiliki warna terpekat dibandingkan dengan isolat lainnya. Patil (2011) menyatakan bahwa semakin pekat warna menjadi merah muda maka kandungan IAA oleh bakteri semakin tinggi. Produksi hormon yang mengindikasikan adanya IAA dari tingkatan kepekatan warna merah yang terbentuk karena adanya cincin indol (Joule & Mills, 2000). Cincin indol terbentuk setelah supernatan isolat direaksikan dengan reagen Salkowski. Reagen salkowski merupakan pewarna yang berfungsi untuk menguji senyawa indol dan turunannya. Senyawa indol dan turunannya akan dioksidasi oleh Reagen Salkowski. Salah satu contoh senyawa yang memiliki gugus indol adalah IAA (*Indole Acetic Acid*) sehingga jika direaksikan dengan Salkowski akan menghasilkan warna merah muda (Joule & Mills, 2000).

Hasil Uji Produksi IAA Secara Kuantitatif

Berdasarkan hasil uji secara kuantitatif pada (Gambar 4) terlihat konsentrasi IAA yang dihasilkan masing-masing isolat berbeda pada setiap pengukuran. Pada hari pertama (24 jam) konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh isolat rhizosfer tanaman jagung cukup rendah yaitu berkisar antara 7,60-11,32 ppm. Hal ini disebabkan karena bakteri penghasil IAA masih dalam fase adaptasi. Sesuai dengan hasil penelitian Iswanti *et al.*, (2018) yang menunjukkan bahwa kandungan IAA yang dihasilkan oleh bakteri endofit ubi jalar pada masa inkubasi 24 jam masih rendah. Pada fase ini bakteri masih berada dalam fase adaptasi dengan kandungan enzim-enzim yang berperan dalam mengubah triptofan menjadi IAA masih rendah. Pada inkubasi hari kedua (72 jam) produksi IAA yang dihasilkan oleh bakteri rhizosfer tanaman jagung rata-rata menunjukkan terjadinya peningkatan konsentrasi. Terjadinya peningkatan produksi IAA pada hari ketiga dikarenakan bakteri berada dalam laju pertumbuhan yang optimum. Menurut Garbut (1997) pembelahan sel dalam kondisi pertumbuhan optimum mengalami peningkatan jumlah yang sangat besar dalam waktu yang singkat. Laju pertumbuhan selama fase logaritmik ini juga ditentukan oleh suhu pada waktu inkubasi, pH media kultur dan aktivitas air.



Gambar 4. Konsentrasi IAA yang dihasilkan bakteri rhizosfer tanaman jagung

Inkubasi hari kelima (120 jam) sebagian besar isolat mengalami penurunan produksi IAA. Isolat yang mengalami penurunan produksi IAA yaitu isolat RJ1, RJ2, RJ3, RJ4, dan RJ7. Lestari *et al.*, (2007) menyatakan bahwa, apabila

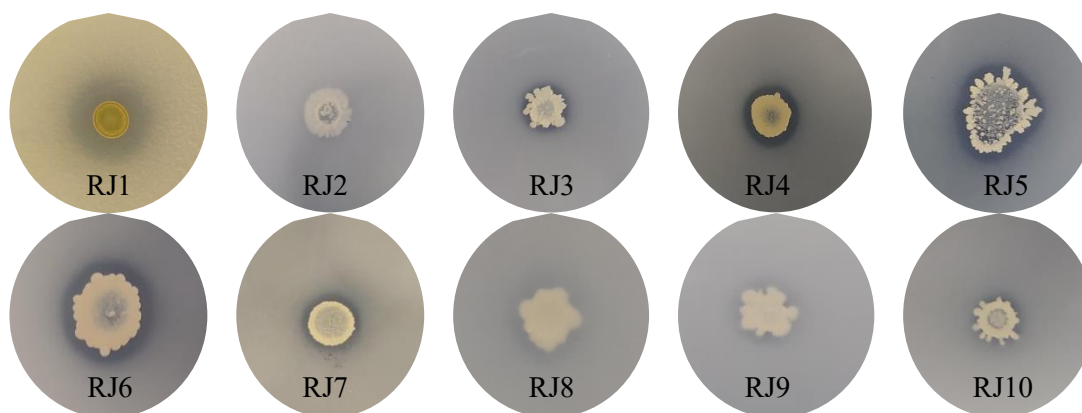
produksi IAA mengalami penurunan dan jumlah koloni meningkat, hal ini berarti, setelah periode kenaikan IAA beberapa nutrisi dalam medium mengalami penurunan. Artinya, bakteri masih mampu membelah diri, namun secara simultan, bakteri juga dapat mengkonsumsi IAA yang dihasilkannya karena medium pertumbuhannya sudah miskin nutrisi. Lay (1994), juga melaporkan bahwa bakteri dapat menggunakan nutrisi yang ada di dalam media dan menggunakan hormon yang dihasilkannya untuk dipakai kembali pada proses pertumbuhan. Pada masa inkubasi hari kelima ini juga ditemukan masih adanya aktivitas produksi IAA yang terus meningkat, yaitu pada isolat dengan kode RJ5 dan RJ6. Pada masa inkubasi hari kelima ini didapatkan hasil produksi IAA tertinggi yang dihasilkan oleh isolat RJ5 sebesar 29,17 ppm. Hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Ningsih, *et al.*, (2022) yaitu mendapatkan konsentrasi IAA sebesar 4 ppm dari isolasi bakteri pada perakaran tanaman jambu mete.

Uji Pelarutan Fosfat Bakteri Rizosfer Tanaman Jagung

Hasil Uji Pelarutan Fosfat Secara Kualitatif

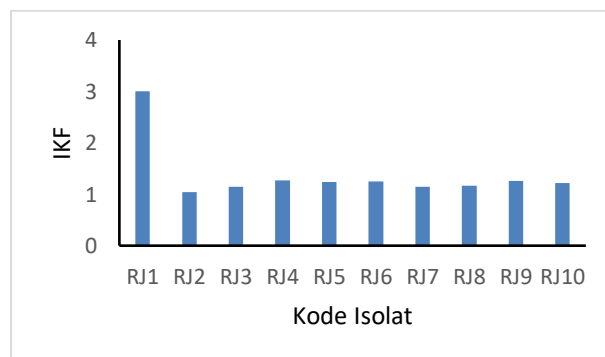
Berdasarkan hasil *screening* pelarutan fosfat pada media pikovskaya padat ditemukan hasil bahwa semua isolat rizosfer tanaman jagung mampu melarutkan fosfat dengan ditandai terbentuknya zona bening disekitar

koloni (Gambar 5). Setiap isolat rizosfer memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang berbeda. Hal ini terlihat dari ukuran zona bening yang terbentuk disekitar koloni. Isolat yang memiliki zona bening terbesar adalah isolat dengan kode RJ1. Nautiyal (1999) menyatakan bahwa tanda awal bakteri mampu melarutkan fosfat adalah dengan terbentuknya zona bening (*halozone*). Semakin lebar zona bening maka semakin besar kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat dalam media tumbuh. Selain itu, semakin bening/terang zona bening menunjukkan pelarutan fosfat semakin intens. Rahardjo *et al.*, (2007) juga menyatakan bahwa tanda terlepasnya fosfat terikat yaitu $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ yang terkandung dalam media Pikovskaya padat adalah dengan terbentuknya zona bening. Bakteri pelarut fosfat dapat membentuk zona bening dikarenakan dapat menghasilkan asam organik. Ginting *et al.*, (2006) menyatakan bahwa asam-asam organik tersebut memiliki bobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, α -ketoglutarat, asetat, formiat, propionat, glikolat, glutamat, glioksilat, dan malat. Asam organik menyebabkan terjadinya pelarutan fosfat tidak larut menjadi bentuk yang terlarut atau tersedia (Khairi & Parent, 2005). Asam organik tersebut berikatan dengan ion Ca dari $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ kemudian melepaskan H_2PO_4 yang menyebabkan terbentuknya zona bening (Widiawati & Suliasih, 2005 dalam Tarigan, 2023).



Gambar 5. Hasil uji kualitatif isolat bakteri pelarut fosfat dari rizosfer tanaman jagung pada media pikovskaya padat. RJ1 merupakan isolat yang memiliki zona bening terbesar.

Nilai indeks kelarutan fosfat (IKF) yang didapatkan berkisar antara 1,4-3 (Gambar 6). Isolat rhizosfer dengan kode RJ1 merupakan isolat yang memiliki nilai indeks kelarutan fosfat tertinggi, yaitu nilai 3 dengan kategori sangat tinggi dikarenakan isolat ini memiliki zona bening terbesar diantara semua isolat. Sedangkan nilai indeks kelarutan fosfat terendah terdapat pada isolat RJ2 yaitu 1,04 dengan kategori rendah karena zona bening yang terbentuk sangat kecil. Dengan demikian, semakin lebar zona bening yang terbentuk maka IKF semakin tinggi. Hasil penelitian ini lebih tinggi dari penelitian Alfiansyah *et al.*, (2023) yaitu isolat bakteri rhizosfer kaktus mampu melarutkan fosfat dengan nilai indeks kelarutan fosfat berkisar 1,00-2,00. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rizqiyah *et al.*, (2022) menunjukkan hasil yang lebih rendah dimana isolat bakteri endofit tanaman *G. sepium* mampu melarutkan fosfat dengan indeks kelarutan fosfat berkisar 1,5 - 4.



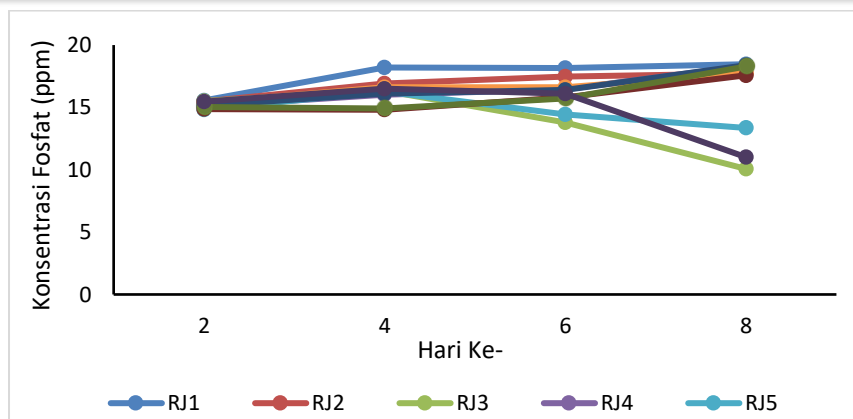
Gambar 6. Rata-rata IKF bakteri rhizosfer jagung.

Santosa & Pratiwi (2022) menyatakan bahwa pengujian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri pelarut fosfat yang telah diisolasi dalam melarutkan fosfat terutama pada media Pikovskaya. Nautiyal (1999) juga menyebutkan bahwa kemampuan mikroorganisme dalam melarutkan fosfat pada media pikovskaya padat secara kualitatif belum cukup untuk menggambarkan kemampuannya dalam pelarutan fosfat. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji lanjutan secara kuantitatif melalui spektrofotometri.

Hasil Uji Pelarutan Fosfat Secara Kuantitatif

Berdasarkan analisis spektrofotometer yang tertera pada (Gambar 7) ditemukan hasil bahwa konsentrasi pelarutan fosfat terlarut oleh setiap isolat bakteri memiliki hasil yang berbeda pada setiap pengukuran. Hal ini menurut Chen *et al.*, (2006); Mittal *et al.*, (2008) dipengaruhi oleh sifat genetik dari masing-masing mikroba dalam memproduksi asam organik yang berperan dalam menentukan potensi dalam melarutkan fosfat. Berdasarkan waktu inkubasi, konsentrasi fosfat terlarut mengalami peningkatan sampai hari terakhir waktu inkubasi, yaitu pada isolat dengan kode RJ1, RJ2, RJ4, RJ6, RJ7, RJ8, dan RJ9. Menurut Santosa (2007) terjadinya peningkatan pelarutan fosfat disebabkan karena adanya aktivitas pelarutan fosfat oleh isolat melalui sekresi asam organik. Fosfat terlarut dalam medium dimanfaatkan oleh isolat untuk metabolisme sel dan pembentukan energi sehingga isolat mampu tumbuh dan membelah dengan baik sehingga berakibat pada bertambahnya jumlah sel dan produksi asam organik yang menyebabkan konsentrasi fosfat terlarut menjadi semakin tinggi. Isolat yang memiliki kemampuan tertinggi dalam melarutkan fosfat adalah isolat dengan kode RJ1 yaitu sebesar 18,46 ppm pada inkubasi hari ke-8. Hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian yang dilakukan oleh Hartanto *et al.*, (2023) yaitu fosfat terlarut yang dihasilkan oleh bakteri rhizosfer dari tanaman lamtoro sebesar 14,81 ppm.

Terdapat juga isolat yang mengalami penurunan kemampuan dalam melarutkan fosfat yaitu isolat dengan kode RJ3, RJ5 dan RJ10. Hal ini disebabkan karena aktivitas bakteri pelarut fosfat semakin lama akan semakin menurun dikarenakan sumber energi semakin terbatas sehingga menyebabkan populasi bakteri menurun yang menyebabkan proses metabolisme sel mengalami penurunan (Sonia & Setiawati, 2022). Hasil yang sama juga ditemukan pada penelitian Hidayatulloh & Setiawati (2022) yang menunjukkan bahwa pelarutan fosfat mengalami penurunan konsentrasi pada hari ke-30 masa inkubasi yang disebabkan oleh aktivitas bakteri yang telah menurun.



Gambar 7. Konsentrasi fosfat terlarut oleh isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung.

Uji Pengaruh Bakteri Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat Terhadap Perkecambahan Tanaman Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.) Secara In Vitro

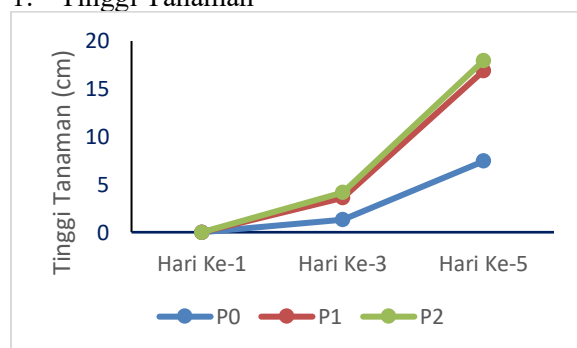
Tabel 4. Pengaruh Bakteri Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat pada Perkecambahan Kacang Panjang

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	Panjang Akar (cm)	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)
P0	7,43*	6,93a	0,70a	0,14a
P1	16,88*	9,13a	1,05a	0,20a
P2	17,95*	8,45a	0,95a	0,12a

Keterangan: Berdasarkan uji *One Way Anova* taraf 5%: Nilai dengan tanda * berbeda nyata terhadap perkecambahan kacang panjang; nilai dengan diikuti huruf a berbeda tidak nyata terhadap perkecambahan kacang panjang.

Berdasarkan hasil analisis Anova pada taraf 5% (Tabel 4) menunjukkan bahwa perlakuan berbeda nyata terhadap parameter tinggi tanaman, tetapi tidak berbeda nyata terhadap panjang akar, berat basah dan berat kering tanaman.

1. Tinggi Tanaman



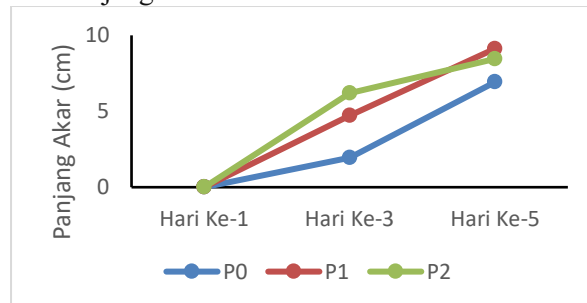
Gambar 8. Grafik rata-rata tinggi kacang panjang. (P0: Kontrol; P1: Isolat RJI; P2: Isolat RJ5).

Berdasarkan hasil analisis *One Way Anova* pada taraf 5% didapatkan hasil bahwa tinggi tanaman memiliki nilai p ($\text{sig } 0,003$) $< 0,05$ dimana hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan

memiliki pengaruh yang berbeda nyata terhadap tinggi tanaman. Hasil penelitian yang sama ditemukan pada penelitian Arianti *et al.*, (2024) bahwa pemberian inokulan bakteri rhizosfer pelarut fosfat dan penghasil IAA memberikan hasil yang signifikan pada tinggi tanaman kacang hijau. Perlakuan P0 (kontrol) memiliki nilai rata-rata sebesar 7,43 cm dimana hasil ini jauh berbeda dibandingkan dengan nilai rata-rata pada perlakuan P1 dan P2. P1 memiliki nilai rata-rata sebesar 16,88 cm sedangkan P2 memiliki nilai rata-rata sebesar 17,95 cm. Perlakuan yang memiliki rata-rata paling tinggi adalah P2 yang merupakan isolat (RJ5) terpilih dengan kandungan IAA tertinggi dan pelarutan fosfat rendah. Utami (2018) menjelaskan bahwa hormon auksin (IAA) memainkan peran penting dalam pertumbuhan tanaman terutama dalam pengaturan tinggi batang. IAA mempengaruhi tinggi batang melalui pemanjangan sel dengan merangsang pemanjangan sel pada bagian ujung batang yang memungkinkan batang tumbuh lebih tinggi. Selain itu (Wahidah & Nasrul, 2017) hormon IAA yang terletak pada tunas batang akan berkumpul di bawah permukaan batang

yang menyebabkan sel-sel jaringan di bawah permukaan batang tersebut akan tumbuh lebih cepat dari sel-sel jaringan di atas permukaan batang.

2. Panjang Akar

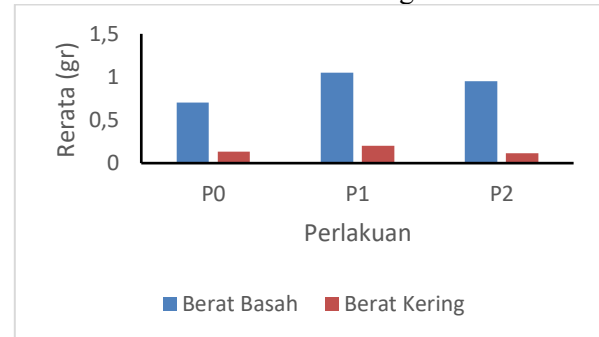


Gambar 9. Grafik rata-rata panjang akar tanaman kacang panjang. (P0: Kontrol; P1: Isolat RJI; P2: Isolat RJ5).

Parameter panjang akar memperoleh nilai p (sig 0,286) $> 0,05$ sehingga perlakuan tidak berbeda nyata. Nilai rata-rata pada P0 (kontrol) adalah 6,93 cm, P1 9,13 cm dan P2 8,45 cm. Perlakuan P1 memiliki nilai rata-rata panjang akar yang paling tinggi dibandingkan P0 dan P2. Hal ini disebabkan oleh tingginya fosfat terlarut yang dihasilkan dan kandungan IAA yang rendah. Sedangkan perlakuan P2 memiliki perakaran lateral lebih banyak dibandingkan perlakuan P0 dan P1. Hal ini dikarenakan P2 memiliki kandungan konsentrasi IAA yang sangat tinggi. Patten & Glick (2002) menyatakan bahwa apabila konsentrasi IAA rendah maka hormon ini hanya bisa merangsang pemanjangan akar utama dan bila kandungan atau konsentrasi IAA tinggi sebaliknya maka hormon ini bisa merangsang pembentukan akar lateral dan juga akar adventif. Pertumbuhan akar, baik akar lateral dan akar adventif sangat penting bagi tanaman yang masih muda untuk membantu penyerapan unsur hara. Nilai rata-rata kontrol lebih rendah dari P1 dan P2 akan tetapi pada hasil analisis menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada setiap perlakuan. Penyebab panjang akar tidak berbeda nyata dengan kontrol diduga karena akar memiliki keterbatasan ruang dan penyerapan nutrisi didalam media tumbuh tanaman. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Saridewi *et al.*, (2020) yang menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri endofit tidak berpengaruh nyata terhadap parameter panjang akar tanaman karena disebabkan tanaman

memiliki ruang dan nutrisi terbatas untuk dimanfaatkan. Selain itu, fosfat yang terkandung didalam media pertumbuhan belum diserap secara optimal oleh tanaman sehingga nilai rasio panjang akar menunjukkan hasil yang sama pada setiap perlakuan (Afriani, *et al.*, 2021)

3. Berat Basah dan Berat Kering



Gambar 10. Grafik berat basah dan berat kering tanaman kacang panjang. (P0: Kontrol; P1: Isolat RJI; P2: Isolat RJ5).

Berat basah memperoleh nilai p (sig 0,239) $> 0,05$ dan berat kering memperoleh nilai p (sig 0,087) $> 0,05$. Berat basah dan berat kering tidak berbeda nyata diduga karena panjang akar tanaman tidak berbeda nyata sehingga penyerapan nutrisi pada setiap tanaman hampir sama. Hal ini sesuai dengan pernyataan oleh Rosyida & Nugroho (2017) yang menyatakan bahwa inokulasi PGPR dapat mempengaruhi akar tanaman sehingga terjadi pengaruh terhadap peningkatan berat basah dan berat kering tanaman.

Kesimpulan

Hasil isolasi dari rhizosfer tanaman jagung diperoleh 10 isolat dengan karakteristik yang beragam. Terdapat 7 isolat yang menghasilkan IAA sekaligus melarutkan fosfat serta 3 lainnya hanya mampu melarutkan fosfat. Konsentrasi IAA tertinggi (29,17 ppm) dihasilkan oleh isolat kode RJ5 dan pelarutan fosfat tertinggi (18,46 ppm) dihasilkan oleh isolat kode RJ1. Hasil analisis pengaruh bakteri IAA dan pelarut fosfat terhadap perkecambahan kacang panjang menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, tetapi tidak berbeda nyata terhadap panjang akar, berat basah dan berat kering tanaman.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh dana hibah penelitian DIPA BLU-PNBP Universitas Mataram melalui anggaran 2024 kepada LZ dengan nomor kontrak: 2034/UN18.L1/PP/2024. Penulis menyampaikan terima kasih atas kerjasama dan dukungan teknis kepada ketua dan asisten Lab. di Laboratorium Biologi dan Mikrobiologi, FKIP, Universitas Mataram.

Referensi

- Afriani, M., Effendi A., Murniati & Yoseva S. (2021). Pengaruh Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dan Pupuk Fosfor terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) yang ditanaman secara SRI Modifikasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*. 19(2), 84-98. DOI: <https://doi.org/10.32528/agritrop.v19i2.5814>.
- Alfiansyah, M.F., Zulkifli L., & Rasmi D.A.C. (2023). The Effect of Phosphate-Solubilizing Bacteria and IAA Producers from Cactus Rhizosphere on the Germination of *Vigna sinensis* L. *Jurnal Biologi Tropis*. 23 (3), 607-618.
- Ardiana, M., & Advinda, L. (2022). The Ability of Fluorescent Pseudomonad to Produce Indole Acetic Acid (IAA) oleh Konsorsium Azotobacter. *Serambi Biologi*. 7(1), 59-64. <https://doi.org/10.24036/srmbi.v7i1.20>
- Arianti, S., Zulkifli, L., Mertha, I.G., & Rasmi, D.A.C. (2024). Influence of IAA-Producing Bacteria and Phosphate Solubilizers from The Rhizosphere of *Serbania grandiflora* (L.) Pers on The in vitro Germination of *Vigna radiata* (L.). *Jurnal Biologi Tropis*. 24 (1), 109 – 118. DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6460>
- BPS. (2021). *Kecamatan Sikur Dalam Angka 2021*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Lombok Timur. Selong. 2598-3547. Diakses melalui: [download.html\(bps.go.id\)](download.html(bps.go.id))
- Chen, Y.P., Rekha P.D., Arum A.B., Shen F.T., Lai W.A., & Young C.C. (2006). Phosphate Solubilizing Bacteria From Subtropical Sol And Their Tricalcium Phosphate Solubilizing Ability. *App. Soil Ecol.* 34, 33-41. DOI: [10.1016/j.apsoil.2005.12.002](http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.12.002)
- Garbutt J. (1997). *Essentials of Food Microbiology*. London: Arnold.
- Hartanto, P., Zulkifli L., Karnan, Sedijani, P., & Mahrus. (2023). Isolation and Identification of Phosphate Solubilizing Bacteria from The Rhizosphere of Dry Land Lamtoro Plants (*Leucaena leucocephala*) in North and South Lombok Regions. *Jurnal Biologi Tropis*. 23 (2), 252 – 262 DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v23i2.6127>
- Hazra, F. & D.A. Santosa (2021). Efektivitas Pupuk Hayati Cair pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa*) Serta Analisis Usaha Taninya. *J. Il. Tan. Lingk.* 24(2), 39-46. DOI: [10.29244/jitl.24.2.39-46](http://dx.doi.org/10.29244/jitl.24.2.39-46)
- Hidayatulloh, N. & Setiawati T.C. (2022). Uji Aktivitas Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap Kelarutan Fosfat pada Tanah Salin. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 9 (2), 201-212. doi: [10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.1](https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.2.1).
- Irawan, R. & Zulaika, E. (2016). Pelarutan Fosfat oleh Konsorsium Azotobacter. *Jurnal Sains dan Seni IT'S*. 5(2), 2337-3520. DOI: [10.12962/j23373520.v5i2.20716](https://doi.org/10.12962/j23373520.v5i2.20716)
- Iswanti, A., Asri M.T., & Lisdiana L. (2018). Potensi Isolat Bakteri Endofit Dari Akar Tanaman Ubi Jalar Sebagai Penghasil Hormon Indole Acetic Acid. *Lenterea Bio*. 7(2), 110-114. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/lenrterabio>
- Joule, J.A. & Mills, K. (2000). *Heterocyclic Chemistry*. Blackwell Science. Oxford. ISBN: 978-1-405-13300-5
- Kartikawati, A., Trisilawati O. & Darwati I. (2017). Pemanfaatan Pupuk Hayati (Biofertilizer) pada Tanaman Rempah dan Obat. *Perspektif*. 16 (1), 33-43. DOI: [10.21082/PSP.V16N1.2017.33-43](https://doi.org/10.21082/PSP.V16N1.2017.33-43).
- Khan Z & Doty SL. 2009. Characterization of bacterial endophytes of sweet potato

- plants. *Plant and soil*. 322(1-2): 197-207. DOI: [10.1007/s11104-009-9908-1](https://doi.org/10.1007/s11104-009-9908-1)
- Khari, L., & Parent, L.E. (2005). Phosphorous Transformation In Acid Light – Textured Soils Treated with Dry Swine Manure. *Canadian Journal of Soil Science* 85, 75 – 87. DOI: [10.4141/S03-049](https://doi.org/10.4141/S03-049).
- Lay, W.B. (1994). *Analisis Mikroba di Laboratorium*. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Lestari, P., Suryadi Y., Susilowati D. N., Priyatno T.P. & Samudra I.M. (2015). Karakterisasi Bakteri Penghasil Asam Indol Asetat dan Pengaruhnya Terhadap Vigor Benih Padi. *Berita Biologi*. 14(1), 19-28.
https://biologyjournal.brin.go.id/index.php/berita_biologi/article/view/1859
- Lestari, P., Dwi N.S. & Eny I.R. (2007). Pengaruh Hormon Asam Indol Asetat yang Dihasilkan *Azospirillum* sp. Terhadap Perkembangan Akar Padi. *Jurnal AgroBiogen*. 3(2), 66-72. DOI: [10.21082/jbio.v3n2.2007.p66-72](https://doi.org/10.21082/jbio.v3n2.2007.p66-72).
- Mittal V., Singh O., Nayyar H., Kaura J., & Tewari R. (2008). Stimulatory Effect of Phosphate-Solubilizing Fungal Strains (*Aspergillus Awamori* and *Penicillium Citrinum*) On The Yield Of Chickpea (*Cicer Arietinum* L. Cv.of Gpf2). *Soil Biol. Biochem.* 40, 718-727. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.10.008>
- Mulyani, A., Nursyamsi D. & Las I. (2014). Percepatan Pengembangan Pertanian Lahan Kering Iklim Kering di Nusa Tenggara. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 7(4), 187-198. DOI: [10.21082/pip.v7n4.2014.187-198](https://doi.org/10.21082/pip.v7n4.2014.187-198).
- Mohite, B. (2013). Isolation and characterization of indole acetic acid (IAA) producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13(3), 638-649.
<https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000051>
- Murnita & Taher Y.A. (2021). Dampak pupuk organik dan anorganik terhadap perubahan sifat kimia tanah dan produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L.). *Menara Ilmu*. 15(02), 67-76. DOI: <https://doi.org/10.31869/mi.v15i2.2314>.
- Nautiyal, S. C. (1999). An Efficient Microbiological Growth Medium for Screening Phosphate Solubilizing Microorganisms. *FEMS Lett.* 170 (1), 265 – 270. Doi: 10.1111/j.1574-6968.1999.tb13383.x.
- Ningsih, Y., Zulkifli L., & Mahrus (2022). Isolation of endophytic bacteria from cashew root and its ability as phosphate solubilizing and IAA-producing bacteria. *Jurnal Biologi Tropis*. 22 (3): 732 – 739 DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v22i3.3652>
- Patil, V. (2011). Production of indole acetic acid by *Azotobacter* sp. isolate and its effect on callus induction of *Dieffenbachia maculata* cv. Marianne. *Rec Res Sci Technol*. 3 (12), 14-16. https://www.researchgate.net/publication/258112925_Production_of_indole_acetic_acid_bioauxin_from_Azotobacter_sp_isolate_and_its_effect_on_callus_induction_of_Dieffenbachia_maculata_cv_Marianne#:~:text=Azotobacter%20sp%20yielded%20the%20highest,was%20produced%20by%20Azotobacter%20sp
- Pratiwi, D.R., Wening S., Nazri E., & Yenni Y. (2021). Penggunaan Alkohol dan Sodium Hipoklorit Sebagai Sterilan Tunggal untuk Sterilisasi Eksplan Kelapa Sawit. *J. Pen. Kelapa Sawit*, 2021, 29(1), 1-10. DOI: [10.22302/iopri.jur.jpks.v29i1.120](https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v29i1.120)
- Rahardjo, B., Supriyadi, A., & Agustina D.K. (2007). Pelarutan Fosfat Anorganik oleh Kultur Campuran Jamur Pelarut Fosfat Secara in Vitro. *Jurnal Sains dan Matematika*. 15(2), 45-54. <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/sma/article/view/3262>
- Rianditya, O.D. & Hartatik S. (2022). Pengaruh Pemberian Pupuk Fosfor Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tebu Var. Bululawang Hasil Mutasi. *Berkala Ilmiah Pertanian*. 5(1), 52-57. DOI: <https://doi.org/10.19184/bip.v5i1.29677>.
- 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.
DOI: <https://doi.org/10.37637/ab.v3i2.619>.
- Rizqiyah, N., Zulkifli L. & Ramdani A. (2022). Isolation of endophytic bacteria from the roots of *Gliricidia sepium* and their ability as IAA-producing bacteria and phosphate solubilizers. *Jurnal Biologi Tropis*. 22(3), 723-721.
DOI: <http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v22i3.3790>
- Rosyida & Nugroho A. S. (2017). Pengaruh Dosis Pupuk Majemuk NPK dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) terhadap Bobot Basah dan Kadar Klorofil Daun Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Bioma*. 6 (2), 42-56.
DOI: [10.26877/bioma.v6i2.1716](https://doi.org/10.26877/bioma.v6i2.1716)
- Santosa, E. (2007). Mikroba Pelarut Fosfat. *Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Bogor. Hal 55-68.
- Santosa, E. & Pratiwi E. (2022). Mikroba Pelarut Fosfat. Dalam E. Husen, Surono, E. Pratiwi & L.R. Widowati (Ed). *Metode Analisis Biologi Tanah* (hal. 79-90). Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Saridewi, L. P., Prihatiningsih N., & Djatmiko H. A. (2020). Karakterisasi Bokimia Bakteri Endofit Akar Terung Sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman dan Pengendali Penyakit Layu Bakteri in planta. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropis*. 1 (1), 1-8.
doi: <https://doi.org/10.19184/jptt.v1i1.15579>.
- Soenandar, M. & Tjachjono R.H. (2012). *Membuat Pestisida Organik*. Jakarta Selatan: PT. Agromedia Pustaka. ISBN 979-006-419-5.
- Sonia, A.V. & Setiawati T.C. (2022). Aktivitas Bakteri Pelarut Fosfat Terhadap Peningkatan Ketersediaan Fosfat pada Tanah Masam. *Agrivigor*. 15(1), 44-53.
DOI: [10.21107/agrovigor.v15i1.13449](https://doi.org/10.21107/agrovigor.v15i1.13449).
- Silitonga, D.M., Priyani N. & Nurwahyuni I. (2013). Isolasi dan Uji Potensi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat dan Penghasil Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) Terhadap Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max* L.) Pada Tanah Kuning. *Saintia Biologi*. 35-41.
<https://www.neliti.com/publications/221132/isolasi-dan-uji-potensi-isolat-bakteri-pelarut-fosfat-dan-bakteri-penghasil-horm>
- Silva, F.G.N., & Vidor C. (2000). Solubilização de Fosfato por Microrganismos na Presença de Fontes de Carbono. *Rev Bras Cienc Solo*. 24, 311-319.
DOI: [10.1590/S0100-06832000000200008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200008)
- Tarigan, R.A. (2023). Kajian Aktivitas Bakteri Pelarut Fosfat Pada Perbedaan Penggunaan Lahan. *BIOFARM*. 19(1), 160-163.
DOI: <http://dx.doi.org/10.31941/biofarm.v19i1.3026>
- Utami. (2018). *Pengaruh Hormon Tumbuh Terhadap Fisiologi Tanaman (Suatu Kajian Pustaka)*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Vejan, P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S. & Boyce A.N. (2016). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. *Molecules*. 21 (5), 1-17.
DOI: [10.3390/molecules21050573](https://doi.org/10.3390/molecules21050573). https://www.researchgate.net/publication/216385430_The_role_of_Plant_Growth_Promoting_Rhizobacteria_PGPR_in_sustainable_Agriculture_Agriculture
- Wahidah, B.F. & Hasrul (2017). Pengaruh Pemberian Zat Pengatur Tumbuh *Indole Acetic Acid* (IAA) Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pisang Sayang (*Musa paradisiaca* L. Var. Sayang) Secara In Vitro. *Jurnal Teknosains*. 11(1), 27-41.
<https://doi.org/10.24252/teknosains.v1i1.7408>. <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/article/view/7408/6064>
- Widawati, S., & Suliasih (2005). Populasi bakteri pelarut fosfat (BPF) di Cikini, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta kemampuannya melarutkan P terikat di

- media pikovskaya padat. *Jurnal Biodiversitas*. 7(2), 109-113.
- Zubachtirodin MS, Pabbage & Subandi (2007). *Wilayah Produksi dan Potensi Pengembangan Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Zulkifli, L., Sedijani P., Rasmi D.A.C. & Amrullah L.W.Z. (2020). Screening and Molecular Identification of Phosphate-Solubilizing Rhizobacteria from Mangrove Ecosystem of the Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*. 20 (3), 475-484.
DOI:<http://dx.doi.org/10.29303/jbt.v20i3.1730>