

Isolation and Identification of Endophytic Bacteria Producing IAA and Phosphate Solubilizers from Mangrove Roots in the Bagek Kembar Sekotong Area and In Vitro Testing on the Germination of *Vigna radiata* L.

Ilma Nur Havizah¹, Lalu Zulkifli^{1,2*}, Dewa Ayu Citra Rasmi¹, Prapti Sedijani¹

¹Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

²Program Studi Magister Pendidikan IPA, Pascasarjana Universitas Mataram, Indonesia

Article History

Received : October 16th, 2025

Revised : November 23th, 2025

Accepted : December 17th, 2025

*Corresponding Author:

Lalu Zulkifli

Program Studi Pendidikan
Biologi, Fakultas Keguruan dan
Ilmu Pendidikan, Universitas
Mataram, Nusa Tenggara Barat,
Indonesia;

Email: lalu_zulkifli@unram.ac.id

Abstract: Mangroves are a potential source of plant growth-promoting bacteria (PGPB) due to their unique habitat. Exploring potential endophytes as biofertilizers to reduce dependence on chemical fertilizers. This study aims to determine the effect of IAA-producing endophytic bacteria and phosphate solubilizers from mangrove roots on the germination of mung beans (*Vigna radiata* L.). The bacteria were isolated from mangrove roots in the Bagek Kembar Mangrove Ecosystem Area, Sekotong, West Lombok. The study began with the isolation of endophytic bacteria, followed by characterization, including morphological identification, cell morphology (via Gram staining), and physiological properties (biochemical testing). The potential of endophytic bacteria to produce IAA was tested qualitatively (using colorimetry) and quantitatively (using a spectrophotometer at a wavelength of 530 nm). Additionally, the ability of endophytic bacteria to solubilize phosphate was tested both qualitatively (using a screening method) and quantitatively (using a spectrophotometer at a wavelength of 880 nm). To test the effect of endophytic bacteria on soybean germination, green soybean seeds were grown on modified Murphy medium for 5 days, with the observed parameters being plant height, root length, fresh weight, and dry weight. The results of the green soybean germination observations were analyzed using One-Way ANOVA. Based on the research results, 11 endophytic bacterial isolates were found to be capable of producing IAA in the range of 16.88 to 30.28 ppm. Meanwhile, in terms of phosphate solubility, based on the screening results, 6 out of 11 isolates were able to solubilize phosphate with an average dissolved phosphate concentration of 17.63 ppm on the 4th day of incubation. The results of the analysis of the effect of IAA-producing bacteria and phosphate solubilizers on the germination of green beans showed a significant effect on plant height, root length, fresh weight, and dry weight of green bean plants.

Keywords: Endophytic bacteria; IAA; Phosphate; *Vigna radiata* L.; germination.

Pendahuluan

Pemenuhan kebutuhan pangan secara berkelanjutan merupakan tantangan utama dalam sektor pertanian modern, terutama di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor seperti perubahan iklim, peningkatan kebutuhan pangan akibat pertumbuhan penduduk, degradasi lahan, serta keterbatasan teknologi dan infrastruktur pertanian (Hammada, 2024). Pada situasi ini,

produksi pertanian masih bergantung pada penggunaan pupuk kimia dalam skala besar. Namun, penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dan berkelanjutan dapat menyebabkan berbagai dampak terhadap lingkungan. Selain dampak negatif untuk lingkungan, penggunaan pupuk kimia berlebihan juga berdampak negatif terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Baez-Rogelio, 2017; Woźniak et al., 2019). Saat ini, salah satu

pendekatan yang mulai banyak dikembangkan sebagai upaya untuk meminimalisir penggunaan pupuk kimia yaitu dengan memanfaatkan agens hayati seperti mikroorganisme endofit yang mampu mendukung pertumbuhan tanaman secara alami dan ramah lingkungan (Surono, 2017; Mamat & Sukarman, 2020).

Bakteri endofit merupakan mikroorganisme yang hidup didalam jaringan tanaman tanpa membahayakan atau merugikan tanaman, melainkan membentuk hubungan symbiosis yang menguntungkan bagi tanaman inangnya (Christina, 2013; Suryani & Ayun, 2022). Didalam jaringan tanaman, beberapa bakteri endofit memiliki peran terhadap tanaman sebagai plant growth-promoting bacteria (PGPB) yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman. Sama halnya dengan PGPB, bakteri endofit mempunyai mekanisme menghasilkan senyawa pertumbuhan berupa 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC), sintesis hormon IAA, produksi siderophore, aktivitas fosfat, produksi asam ammonia dan produksi antibiotik (Aswani, 2019; Maulidia et al., 2024).

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan, eksplorasi terhadap potensi bakteri endofit sebagai pupuk hayati yang ramah lingkungan menjadi topik yang semakin banyak diminati (Ahmed et al., 2024). Salah satu tumbuhan yang dapat dijadikan sumber untuk mengisolasi bakteri endofit potensial yaitu tumbuhan yang hidup dihabitat yang ekstrem seperti mangrove. Ekosistem mangrove merupakan lingkungan yang sangat unik dan kompleks, dengan kondisi ekstrem seperti kadar garam tinggi, fluktuasi oksigen rendah, dan variasi pH yang menuntut mikroorganisme didalamnya untuk memiliki adaptasi khusus (Yarashima et al., 2024). Kawasan Ekowisata Mangrove Bagek Kembar Sekotong, Lombok Barat merupakan salah satu lokasi dengan keanekaragaman hayati tinggi, khususnya vegetasi mangrove (Farista & Virgota, 2021).

Adapun untuk mengetahui pengaruh isolat bakteri endofit yang diperoleh, dilakukan uji efektivitas terhadap tanaman kacang hijau menggunakan metode *in vitro*. Uji ini merupakan langkah penting untuk menilai potensi aplikatif bakteri endofit sebagai *plant growth-promoting bacteria* (PGPB), sekaligus memberikan gambaran awal kemampuannya dalam

mendukung pertumbuhan tanaman (Ikrom; et al., 2014).

Berdasarkan uraian diatas, pentingnya dilakukan penelitian mengenai isolasi bakteri endofit dari akar mangrove yang berpotensi sebagai penghasil IAA dan melarutkan fosfat. Adapun untuk mengetahui sejauh mana peran bakteri endofit terhadap pertumbuhan tanaman, maka dilakukan pengujian menggunakan kacang hijau (*Vigna radiata* L.) sebagai indikator. Penggunaan pupuk hayati yang bersumber dari bakteri endofit akar mangrove, diharapkan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dan berkelanjutan. Serta, membantu tanaman dalam menghadapi tekanan lingkungan atau stress lingkungan. Oleh karena itu, dengan pemanfaatan pupuk hayati diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, memperbaiki kualitas hasil panen, menekan serangan hama dan penyakit, mencukupi kebutuhan unsur hara, serta mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari-Juni 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Mataram.

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif eksploratif berbasis eksperimental. Penelitian ini mendeksripsikan tentang eksplorasi hasil isolasi dan identifikasi bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat dari akar mangrove yang berada di Kawasan Ekowisata Mangrove Bagek Kembar Sekotong Lombok Barat serta pengaruhnya terhadap perkecambahan kacang Hijau (*Vigna radiata* L.).

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu ziplog bag, box ice, pisau, gunting, cangkul, cawan petri, gelas ukur, erlenmeyer, gelas beker, tabung reaksi, rak tabung reaksi, jarum ose, mikropipet, *blue tip*, *yellow tip*, kaca objek, kaca penutup, mikroskop, kompor, *hot plate*, *coloni*

center, laminar air flow, vortex, inkubator, autoklaf, spektrofotometer, penggaris, korek api, api bunsen, neraca analitik, alat tulis, alat dokumentasi, batang pengaduk, sendok, *shaker*, oven.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu akar mangrove, aquades, isolate bakteri, media Nutrient Agar (NA), media Nutrient Broth (NB), media Nutrient Agar Slant (NAS), NaCl, media Pikovskaya, media Murphy, media TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*), media Simon Sitrat, glukosa, laktosa, maltose, sukrosa, mannitol, *penol red*, alkohol 96%, alkohol 70%, *Mc Farland* (0,5%), Natrium Hipoklorit (NaOCl), cat gram (larutan kristal violet, iodine, alcohol/acetone, safranin), L-triftofane, safranin, reagen Salkowski, Hidrogen Peroksida (H_2O_2), lateks, tisu, kapas, kertas label, aluminium foil, plastic wrap, kertas saring, cakram disk, sabun, biji kacang hijau.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel

Sampel dikumpulkan secara langsung di lokasi penelitian yaitu di Kawasan Ekosistem Mangrove Bagek Kembar Sekotong (Gambar 1 (Peta)). Dimana, sampel yang diambil yaitu bagian akar mangrove dalam kondisi sehat. Sampel diambil pada 3 titik di area blok alami yang menunjukkan pertumbuhan optimal dan seragam. Sampel yang sudah diambil kemudian dimasukkan kedalam ziploc bag dan diletakkan kedalam box ice. Selanjutnya sampel yang telah diambil dibawa ke Laboratorium Biologi dan Mikrobiologi untuk diteliti lebih lanjut.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel akar mangrove

Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit

Isolasi mikroba endofit dilakukan menggunakan akar mangrove yang dipotong 1 cm, dibersihkan dengan air mengalir, lalu disterilisasi berturut-turut dengan alkohol 70%, akuades, NaOCl, dan bilasan akuades (masing-masing 2 menit), kemudian dikering anginkan dalam *laminar air flow*. Sterilitas sampel dicek dengan inkubasi pada media NA, dan jika masih terdapat mikroba, maka dilakukan sterilisasi kembali dengan prosedur yang sama seperti sebelumnya kemudian di isolasi dengan metode *pour plate*. Akar steril dihaluskan dengan menggunakan lumpang alu dengan ditambahkan 3 ml akuades steril, dimasukkan ke larutan garam fisiologis, *divortex*, lalu diencerkan bertingkat (10^{-1} hingga 10^{-6}). Sebanyak 100 μ l dari pengenceran 10^{-3} – 10^{-6} diinokulasikan pada media NA, diinkubasi pada 32°C selama 48 jam. Koloni yang belum terpisah dimurnikan kembali dengan *pour plate* hingga diperoleh koloni tunggal. Karakterisasi koloni dilakukan melalui pengamatan morfologi (bentuk, margin, elevasi, warna), identifikasi morfologi sel dengan pewarnaan Gram, serta uji fisiologis meliputi uji motilitas, katalase, mannitol, Simon sitrat, TSIA, dan fermentasi gula (glukosa, maltosa, laktosa, sukrosa).

Uji Potensi Bakteri Endofit Sebagai Penghasil IAA

Uji isolat bakteri penghasil IAA dilakukan dengan memasukkan 1 lup ose isolat bakteri kedalam erlenmeyer yang berisi media NB+Triftofane cair. Dalam labu Erlenmeyer, kemudian diinkubasi dengan menggunakan *shaker* dengan kecepatan 200 rpm selama 3-5 hari pada suhu ruang hingga bakteri tumbuh pada media. Setelah itu, isolat disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 10.000 rpm. Selanjutnya 1 ml supernatant yang diperoleh ditambahkan 2 ml reagen Salkowski dimasukkan kedalam tabung durham, kemudian inkubasi supernatant tersebut pada tempat gelap selama 30 menit lalu amati perubahan warna yang terjadi. Isolat yang mampu menghasilkan IAA ditandai dengan perubahan warna menjadi warna merah muda atau merah. Kemudian untuk mengukur konsentrasi IAA yang dihasilkan dilakukan dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 530 nm.

Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat

Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat Secara Kualitatif

Uji potensi bakteri pelarut fosfat secara kualitatif dilakukan dengan mengambil 1 lup ose isolat bakteri. Selanjutnya isolate bakteri diinokulasikan dengan menggunakan metode titik pada cawan petri yang berisi media pikovskaya padat, kemudian inkubasi selama 8 hari pada suhu 35 °C. Adapun hasil positif ditandai dengan terbentuknya zona bening disekitar isolat. Indeks pelarutan fosfat dihitung menggunakan rumus indeks kelarutan fosfat (Sharon et al., 2016).

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

Kemudian, untuk kategori indeks kelarutan fosfat (IKF) menggunakan kategori menurut Silva dan Vidor (2000):

Tabel 1. Kategori IKF (Indeks Kelarutan Fosfat)

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

Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat Secara Kuantitatif

Uji potensi bakteri pelarut fosfat secara kuantitatif dilakukan dengan menumbuhkan suspensi bakteri setara standar Mc. Farland (1 lup ose isolat dalam 5 ml larutan garam fisiologis) dan diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm. Sebanyak 1 ml suspensi tersebut dimasukkan ke dalam 15 ml media Pikovskaya cair, lalu diinkubasi pada *shaker* dengan kecepatan 200 rpm selama 8 hari. Kultur diambil pada hari ke-2, 4, 6, dan 8, masing-masing diambil 1 ml lalu disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. Supernatan sebanyak 250 µl direaksikan dengan 700 µl reagen fosfat (Molibdat Askorbat) dalam tabung durham, kemudian diinkubasi di tempat gelap selama 30 menit. Fosfat terlarut diukur secara kuantitatif dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm, dan konsentrasi kelarutan fosfat dihitung berdasarkan kurva standar fosfat.

Uji Pengaruh Bakteri Endofit Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat Terhadap Perkecambahan Kacang Hijau

Biji kacang hijau diseleksi dengan perendaman awal, kemudian disterilisasi berturut-turut menggunakan larutan NaOCl, alkohol 70%, dan aquades steril selama 5 menit (masing-masing perlakuan). Isolat bakteri terpilih (Isolat IAA tertinggi, Fosfat Tinggi dan penghasil IAA dan Fosfat Tinggi) yang telah dikultur 24 jam pada media NB disentrifugasi 5000 rpm selama 15 menit, lalu pellet yang diperoleh disuspensikan dengan 25 ml aquades steril untuk merendam biji kacang hijau selama ±1 jam. Terdapat empat perlakuan, yaitu perendaman dengan air destilasi steril (kontrol), suspensi bakteri penghasil IAA tertinggi, suspensi bakteri pelarut fosfat tertinggi, dan suspensi bakteri penghasil IAA sekaligus pelarut fosfat tinggi. Setelah perendaman, biji dikultur pada media Murphy selama 5 hari, kemudian pertumbuhan diamati melalui pengukuran tinggi tanaman, panjang akar, berat basah, dan berat kering yang diperoleh setelah pengeringan dalam oven 50°C selama 48 jam.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Endofit Akar Mangrove

Hasil dari isolasi bakteri endofit akar mangrove, didapatkan 11 isolat murni dengan berbagai karakteristik berbeda. Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi koloni, sebagian besar isolate memiliki bentuk koloni circular, kecuali pada isolate dengan kode AM 2 dan AM5 yang memiliki bentuk koloni irregular. Adapun margin koloni bervariasi dari entire, undulate, lobate, hingga curled. Elevasi koloni umumnya raised, dengan beberapa isolat menunjukkan elevasi flat seperti pada isolate RM4 dan AM2, serta umbonate seperti pada isolate AM1, AM2, dan AM4. Tekstur koloni berdasarkan hasil pengamatan juga bervariasi, mulai dari berlendir, tidak berlendir, dan halus. Secara keseluruhan isolate menghasilkan pigmen (warna) putih, namun terdapat satu isolate dengan kode AM3 yang memiliki warna putih susu. Kemudian, hasil karakterisasi morfologi sel melalui pewarnaan gram (Gambar 2) didapatkan hasil bahwa semua isolate bakteri endofit berbentuk basil dengan

sifat gram positif dan negatif. Secara keseluruhan, data karakteristik morfologi koloni dan morfologi sel dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Morfologi Koloni dan Morfologi Sel bakteri Endofit Akar Mangrove

Kode isolat	Morfologi Koloni				Morfologi Sel		
	Bentuk	Margin	Elevasi	Tekstur	Pigmen (warna)	Bentuk Sel	Sifat Gram
RM1	Circular	Curled	Raised	Berlendir	Putih	Basil	+
RM2	Circular	Entire	Raised	Tidak berlendir	Putih	Basil	+
RM3	Circular	Entire	Raised	Berlendir	Putih	Basil	+
RM4	Circular	Undulate	Flat	Berlendir	Putih	Basil	+
RM6	Circular	Lobate	Raised	Halus	Putih	Basil	+
RM8	Circular	Entire	Raised	Tidak berlendir	Putih	Basil	-
AM1	Circular	Entire	Umbonate	Halus	Putih	Basil	+
AM2	Irregular	Undulate	Flat	Halus	Putih	Basil	+
AM3	Circular	Entire	Umbonate	Halus	Putih	Basil	+
AM4	Circular	Undulate	Umbonate	Halus	Putih susu	Basil	+
AM5	Irregular	Lobate	Raised	Halus	Putih	Basil	+



Gambar 2. Morfologi sel dan pewarnaan gram isolate bakteri endofit akar mangrove (a) isolate RM8 yaitu bakteri gram negatif dengan bentuk sel basil; (b) isolate AM2 yaitu bakteri gram positif dengan bentuk sel basil; (c) isolate AM3 yaitu bakteri gram positif dengan bentuk sel basil.

Identifikasi sifat fisiologis bakteri endofit dilakukan melalui serangkaian uji biokimia, meliputi uji motilitas, katalase, fermentasi mannitol, simon citrate, TSIA (*Triple*

Sugar Iron Agar), serta uji beberapa jenis gula (glukosa, laktosa, sukrosa, maltose). Hasil uji biokimia (Tabel 3) ini menunjukkan adanya keragaman karakter fisiologis antar isolate.

Tabel 3. Sifat fisiologis isolate bakteri endofit akar mangrove melalui uji biokimia

Kode Isolat	Motilitas	Katalase	Mannitol	SC	TSIA	Uji Gula-Gula			
						Glukosa	Laktosa	Sukrosa	maltosa
RM1	-	+	+	+	A/A	+	-	+	+
RM2	-	+	+	+	K/A	+	-	+	+
RM3	-	+	+	+	A/A	+	-	+	+
RM4	-	+	+	+	A/A	+	-	+	+
RM6	+	-	-	+	K/A	-	-	-	-
RM8	-	+	-	-	A/A	-	-	-	-
AM1	+	+	-	+	K/A	+	-	-	+
AM2	-	-	-	+	K/A	-	-	-	-

Kode Isolat	Motilitas	Katalase	Mannitol	SC	TSIA	Uji Gula-Gula			
						Glukosa	Laktosa	Sukrosa	maltosa
AM3	-	-	-	-	K/A	+	-	+	-
AM4	-	-	-	-	K/A	+	-	+	+
AM5	-	+	-	+	K/A	-	-	-	+

Keterangan: A/A: kemiringan asam/pangkalan asam; K/A: kemiringan basa/pangkalan asam

Uji Potensi Bakteri Endofit Sebagai Penghasil IAA

Hasil uji Potensi Bakteri Endofit Sebagai Penghasil IAA Secara Kualitatif

Berdasarkan hasil uji potensi bakteri endofit dari akar mangrove sebagai penghasil IAA secara kualitatif pada 11 isolat bakteri endofit yang diuji, terdapat perubahan warna yang terjadi pada ke 11 isolat tersebut. Hasil uji ini dapat dilihat pada gambar 3.



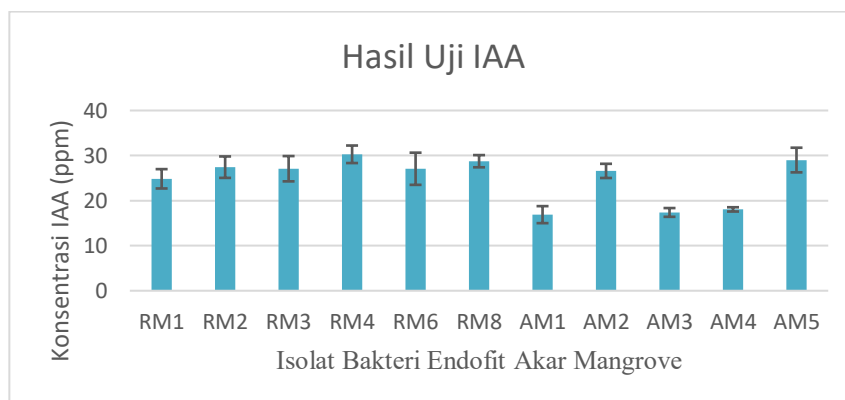
Gambar 3. Perubahan warna supernatant isolate bakteri endofit setelah direaksikan dengan reagen Salkowsky.

Perubahan warna yang terjadi merupakan hasil reaksi antara senyawa IAA yang diproduksi oleh bakteri dengan reagen Salkowski yang mengandung asam sulfat dan FeCl_3 , menghasilkan senyawa kompleks

$[\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{IA})_4]$ (Sukmadewi et al., 2015). Isolat yang memiliki warna pekat yaitu isolat dengan kode RM4, RM8, dan AM5, sedangkan isolat dengan warna terpudar yaitu AM1. Kovaves, (2009) menyatakan bahwa semakin pekat warna merah muda yang terbentuk menunjukkan bahwa konsentrasi IAA yang diproduksi oleh bakteri semakin tinggi.

Hasil uji Potensi Bakteri Endofit Sebagai Penghasil IAA Secara Kuantitatif

Pengujian kuantitatif kemampuan bakteri endofit akar mangrove dalam menghasilkan IAA dilakukan menggunakan metode spektrofotometri sebagai lanjutan dari uji kualitatif. Metode spektrofotometri dilakukan dengan pengukuran absorbansi yang dilakukan untuk menentukan konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh masing-masing isolat. Metode ini diperkenalkan oleh Gordon & Weber (1951) yang menyatakan bahwa prosedur ragen salkowski yang optimal dengan memperkirakan IAA yang digunakan dalam aktualitas 1:2 (1 ml sampel direaksikan dengan 2 ml reagen salkowski) yang menghasilkan warna merah muda, yang kemudian absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 530 nm (Fierros et al., 2024).



Gambar 4. Konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh bakteri endofit akar mangrove secara kuantitatif

Berdasarkan hasil pengukuran absorbansi yang dilakukan setelah diinkubasi

selama tiga hari atau ± 72 jam menunjukkan, ke 11 isolat bakteri endofit yang diuji menunjukkan

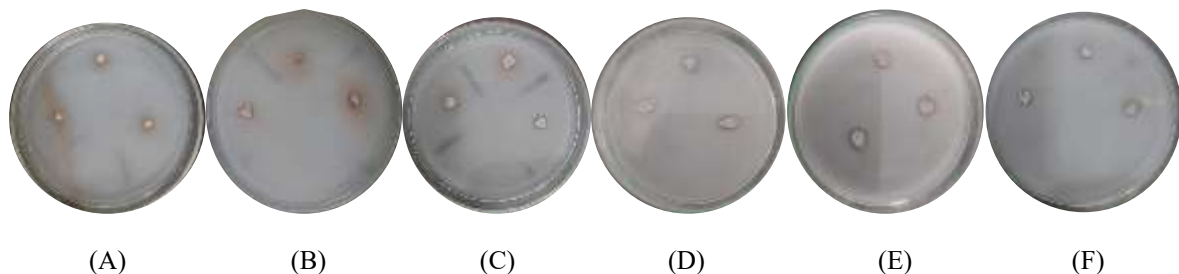
kemampuan menghasilkan IAA dengan kisaran antara 16.88 hingga 30.28 ppm (Gambar 4). Kisaran produksi IAA yang cukup bervariasi menunjukkan adanya perbedaan kemampuan biosintetik antar isolat, yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan strain, regulasi genetik, dan kondisi metabolisme internal masing-masing isolat (Ozidal et al., 2016). Selain itu, hasil pengukuran konsentrasi IAA yang dihasilkan, salah satunya juga dipengaruhi oleh waktu inkubasi. Waktu inkubasi merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi produksi IAA oleh bakteri endofit. Selama masa inkubasi, bakteri mengalami fase pertumbuhan aktif dan mulai memproduksi metabolit sekunder, termasuk hormon IAA. Pernyataan tersebut sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nofiyanti & Rahayu (2023) yang menyatakan bahwa masa inkubasi 3 hari sebagai waktu optimal produksi IAA oleh bakteri

endofit. Selain itu, Ozidal et al (2016) juga menyatakan produksi IAA maksimum diperoleh pada fase pertumbuhan stasioner pada 72 jam. Isolat RM4 tercatat sebagai penghasil IAA tertinggi dengan konsentrasi sebesar 30,28 ppm.

Uji Aktivitas Pelarutan Fosfat

Hasil uji Aktivitas Pelarutan Fosfat Secara Kualitatif

Uji potensi bakteri endofit dalam melarutkan fosfat secara kualitatif dilakukan pada media pikovskaya padat dengan metode *screening* selama 8 hari. Berdasarkan hasil uji potensi bakteri endofit dalam melarutkan fosfat secara kualitatif, didapatkan 6 isolat bakteri endofit yang memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat, yaitu isolate dengan kode RM1, RM2, RM6, RM8, AM4, dan AM5 (Gambar 5).



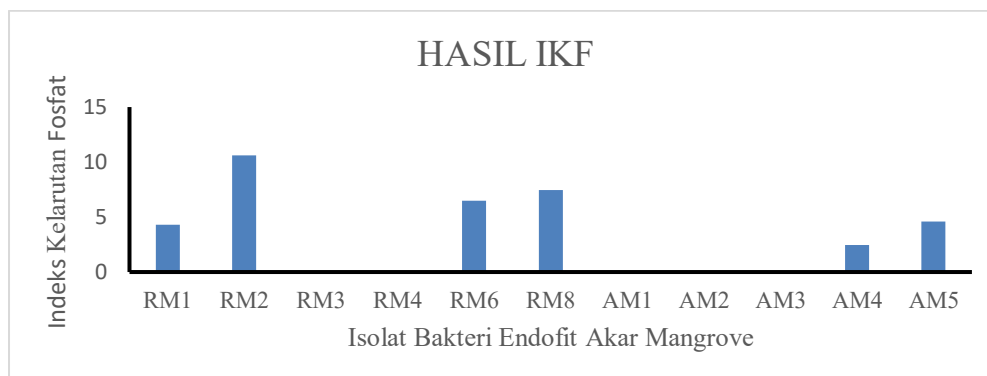
Gambar 5. Aktivitas pelarutan fosfat oleh bakteri endofit akar mangrove secara kualitatif (a) isolate RM1 (b) isolate RM2 (c) isolate RM6 (d) isolate RM8 (e) isolate AM4 (f) isolate AM5.

Zona bening yang terbentuk pada medium Pikovskaya karena hasil dari pelarutan trikalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) yang terdapat dalam media. Keberadaan zona bening tersebut menjadi indikator awal bahwa mikroorganisme yang diuji mampu melarutkan senyawa fosfat (Atekan et al., 2014; Sugianto et al., 2018). Kemampuan ke 6 isolat bakteri endofit dalam melarutkan fosfat bervariasi, dengan indeks kelarutan fosfat (IKF) antara 2,44 hingga 10,59 (Gambar 6). Adapun isolat yang menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat tertinggi yaitu isolat dengan kode RM2 dengan nilai IKF sebesar 10,59. Santosa (2007) menyatakan semakin luas dan semakin jernih pembentukan daerah bening, secara kualitatif menunjukkan semakin tinggi kelarutan fosfat dalam media. Menurut Hesham & Hashem (2011), kemampuan pelarutan fosfat oleh bakteri

sangat dipengaruhi oleh aktivitas enzimatik dan kemampuan mereka dalam menghasilkan senyawa asam organik seperti asam glukonat, asam sitrat, dan asam laktat.

Kemudian, 5 isolat lainnya yaitu RM3, RM4, AM1, AM2, dan AM3 tidak menunjukkan adanya zona pelarutan, yang mengindikasikan tidak adanya aktivitas signifikan dalam melarutkan fosfat pada media Pikovskaya padat. Ketidadaan zona bening dapat disebabkan oleh ketidakmampuan isolat dalam menghasilkan senyawa pelarut, atau aktivitas pelarutan yang sangat rendah sehingga tidak terdeteksi secara visual. Menurut Marwan et al (2011) dalam Lestari et al (2023) menyatakan bahwa tidak semua bakteri endofit atau rizosfer memiliki aktivitas pelarutan fosfat, karena dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jenis tanaman,

habitat, tipe jaringan, eksudat akar, lingkungan, struktur tanah bahan organik di dalam tanah.

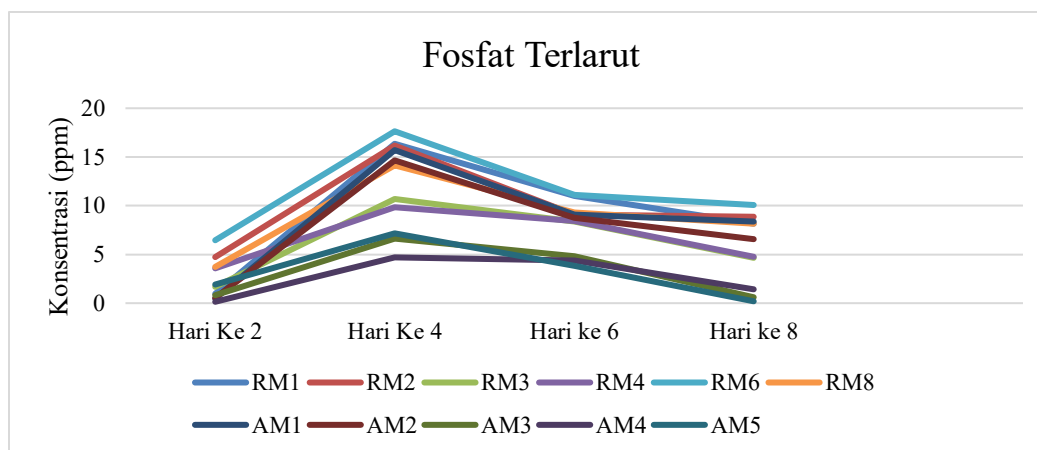


Gambar 6. Indeks kelarutan fosfat yang dihasilkan oleh isolate bakteri endofit akar mangrove

Untuk memastikan dan mengukur berapa banyak fosfat yang benar-benar dilarutkan oleh bakteri endofit, diperlukan uji lanjutan secara kuantitatif. Uji kuantitatif ini dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometer. Metode ini bukan hanya untuk mendeteksi keberadaan, tetapi juga untuk menentukan konsentrasi spesifik fosfat yang terlarut di medium cair (Nurmalawati et al., 2021).

Hasil uji Aktivitas Pelarutan Fosfat Secara Kuantitatif

Analisis kuantitatif terhadap kemampuan bakteri endofit dalam melarutkan fosfat dilakukan dengan mengukur nilai absorbansi fosfat terlarut menggunakan spektrofotometer dengan serapan panjang gelombang 880 nm. Hasil perhitungan fosfat terlarut oleh bakteri endofit akar mangrove bervariasi antar setiap pengukuran. Data hasil pengukuran fosfat terlarut dapat dilihat pada (Gambar 7).



Gambar 7. Kemampuan pelarutan fosfat oleh bakteri endofit akar mangrove secara kuantitatif

Berdasarkan hasil yang diperoleh, terjadi variasi yang cukup signifikan antar isolat maupun antar waktu inkubasi. Seshachala et al (2012); Sonia et al (2022) menyatakan bahwa variabilitas aktivitas pelarutan fosfat bakteri sangat dipengaruhi oleh faktor internal bakteri seperti metabolisme asam organik dan enzim, serta faktor eksternal seperti pH media dan waktu

inkubasi. Secara umum, hampir seluruh isolat bakteri edofit menunjukkan peningkatan konsentrasi fosfat terlarut yang signifikan pada hari ke-4, kemudian menurun secara bertahap pada hari ke-6 dan hari ke-8. Aktivitas pelarutan fosfat yang menunjukkan puncaknya pada inkubasi hari ke-4 ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nautiyal (1999), yang

menyebutkan bahwa aktivitas mikroba pelarut fosfat paling aktif pada fase pertumbuhan awal saat produksi senyawa organik berada pada tingkat optimal. Adapun isolat yang menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat tertinggi yaitu isolat dengan kode RM6 dengan konsentrasi fosfat terlarut sebesar 17,63 ppm pada inkubasi hari ke-4. Sebaliknya, beberapa isolat seperti AM3, AM4, dan AM5 menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat yang sangat rendah dengan konsentrasi akhir di bawah 5 ppm, bahkan mendekati nol pada inkubasi hari ke-8. Rodriguez & Fraga, (1999) menyatakan bahwa pada inkubasi hari ke-6 dan ke-8 berkurangnya aktivitas metabolik bakteri akibat memasuki fase stasioner atau bahkan fase kematian. penurunan konsentrasi fosfat terlarut pada fase stasioner atau kematian mikroba disebabkan oleh berkurangnya aktivitas metabolik akibat menurunnya ketersediaan nutrient (Illmer & Schinner, 1995).

Uji Pengaruh Bakteri Endofit Penghasil IAA dan Pelarut Fosfat Terhadap Perkecambahan Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Secara In Vitro

Tabel 4. Pengaruh bakteri endofit penghasil IAA dan Pelarut fosfat terhadap perkecambahan kacang hijau berdasarkan Uji *One Way Anova*

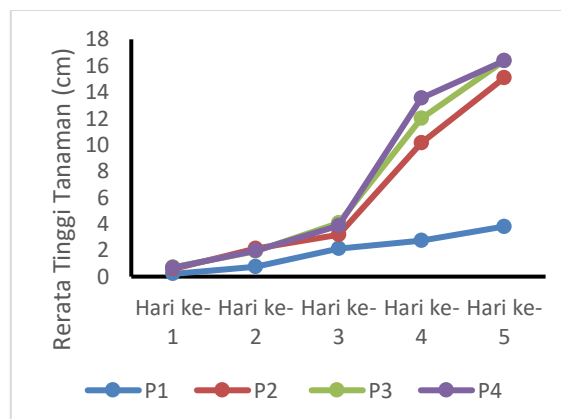
Perlakuan	tinggi tanaman (cm)	panjang akar (cm)	berat basah (gr)	berat kering (gr)
P1	3.8a	5a	0.03a	0.01a
P2	15.06b	10.4b	0.43b	0.04b
P3	16.36b	9.83b	0.52b	0.02ab
P4	15.76b	10.36b	0.44b	0.04b

Keterangan: Berdasarkan Uji *One Way Anova* taraf 5%: Nilai yang diikuti huruf a berbeda nyata terhadap perkecambahan kacang hijau; Nilai yang diikuti huruf b tidak berbeda nyata terhadap perkecambahan kacang hijau; Nilai yang diikuti huruf ab tidak berbeda nyata dengan semua isolat lain.

Berdasarkan hasil uji *One Way Anova* pada taraf signifikansi 5% pada (Tabel 4), bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, berat basah dan berat kering tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang

diamati secara in vitro. Dengan nilai p (sig) pada parameter tinggi tanaman yaitu ($<0,001$) $< 0,05$. Nilai p (sig) pada parameter panjang akar tanaman yaitu ($<0,001$) $< 0,05$. Nilai p (sig) pada parameter berat basah tanaman yaitu ($<0,001$) < 0.05 . dan Nilai p (sig) pada parameter berat kering tanaman yaitu ($0,011$) $< 0,05$.

1. Tinggi Tanaman



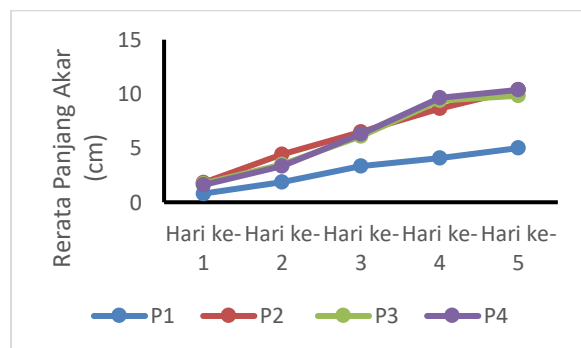
Gambar 8. Grafik pengaruh pemberian isolate bakteri endofit penghasil IAA tinggi, fosfat tinggi, dan penghasil IAA dan Fosfat tinggi terhadap tinggi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada taraf signifikansi 5% dengan nilai p (sig $< 0,001$) $< 0,05$. Perlakuan P2 (isolat RM4), P3 (isolat RM6), dan P4 (isolat RM8) menghasilkan rata-rata tinggi tanaman yang lebih besar dibandingkan kontrol (P1). Perlakuan P2 dengan rata-rata 15,07 cm, perlakuan P3 16,37 cm, perlakuan P4 16,37 cm, dan perlakuan P1 3,8 cm, adapun perlakuan dengan rata-rata tertinggi yaitu pada P3 (fosfat tertinggi) dan P4 (IAA dan fosfat tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan bakteri endofit tersebut mampu memacu pertumbuhan vegetatif, khususnya pemanjangan batang, yang berkaitan dengan peran IAA dalam merangsang pembelahan dan pemanjangan sel. Menurut Fathonah & Sugiyarto (2009), IAA sebagai hormon auksin dapat mengaktifkan enzim dinding sel sehingga meningkatkan kelenturan dan mempercepat pemanjangan sel.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Zulfah & Susilawati (2021) yang melaporkan bahwa inokulasi bakteri endofit

penghasil IAA pada tanaman dapat memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, dan berat basah pada tanaman padi; berpengaruh terhadap pertambahan akar lateral kacang hijau; meningkatkan tinggi, jumlah cabang primer, produksi berba basah dan kering, serta produksi sodium andrographolide. Peningkatan pertumbuhan tanaman tidak hanya disebabkan oleh produksi IAA, tetapi juga peran bakteri pelarut fosfat yang meningkatkan ketersediaan fosfor dalam media tanam. Fosfor merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam pembentukan energi (ATP) dan perkembangan jaringan meristem, sehingga secara tidak langsung berkontribusi pada pertumbuhan tinggi tanaman (Havlin et al., 2017). Selain itu, hasil penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Silitonga et al. (2013) pada tanaman kedelai yang diberi perlakuan bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat, dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya pengaruh pengaplikasian bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat terhadap pertumbuhan tanaman kacang kedelai. Hal menunjukkan bahwa kombinasi kemampuan menghasilkan IAA dan melarutkan fosfat merupakan faktor sinergis yang efektif dalam memacu pertumbuhan tinggi tanaman.

2. Panjang Akar

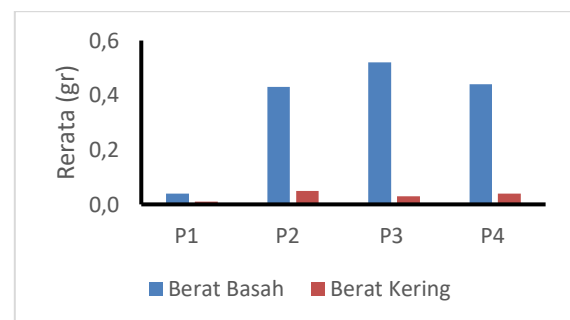


Gambar 9. Grafik pengaruh pemberian isolate bakteri endofit penghasil IAA tinggi, fosfat tinggi, dan penghasil IAA dan Fosfat tinggi terhadap panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Berdasarkan hasil analisis panjang akar tanaman menunjukkan bahwa bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap panjang akar tanaman kacang hijau dengan nilai

p ($\text{sig} < 0,001$) $< 0,05$. Perlakuan dengan isolat P2, P3 dan P4 memiliki panjang akar lebih besar dibandingkan dengan P1 (kontrol). Dengan rata-rata panjang akar yaitu P2 (10,40 cm), P3 (9,83 cm), P4 (10,37 cm), dan P1 (5 cm), adapun perlakuan dengan rata-rata tertinggi yaitu pada P2 (IAA tinggi). Auksin yang dihasilkan oleh bakteri endofit berperan penting dalam pembentukan akar lateral dan pemanjangan akar primer. Menurut Pamungkas & Puspitasari. (2018), auksin mempengaruhi pembelahan sel pada meristem akar serta diferensiasi jaringan, yang akhirnya meningkatkan pertumbuhan panjang akar. Penelitian yang dilakukan oleh Zuhra & Lisnawita (2017) melaporkan bahwa isolat bakteri endofit dari akar jagung sebagai penghasil IAA mampu meningkatkan panjang akar secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri endofit penghasil IAA berperan penting sebagai biofertilizer yang dapat merangsang pertumbuhan akar tanaman melalui mekanisme hormonal auksin. Peningkatan panjang akar memungkinkan tanaman untuk lebih efektif menyerap air dan nutrisi dari tanah, yang nantinya berkontribusi pada pertumbuhan tanaman yang lebih baik secara keseluruhan.

3. Berat Basah dan Berat Kering



Gambar 10. Grafik pengaruh pemberian isolate bakteri endofit penghasil IAA tinggi, fosfat tinggi, dan penghasil IAA dan Fosfat tinggi terhadap berat basah dan berat kering tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa pemberian bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat berpengaruh signifikan terhadap berat basah dan berat kering tanaman kacang hijau, dengan nilai p (sig) $< 0,001$ untuk berat basah dan $0,011$ untuk berat kering. Berat basah mengindikasikan kondisi biomassa tanaman yang masih mengandung air, sedangkan berat

kering menggambarkan total bahan kering hasil fotosintesis. Peningkatan berat basah dan kering pada perlakuan dengan bakteri menunjukkan bahwa bakteri endofit mampu meningkatkan akumulasi biomassa tanaman. Penelitian oleh Fathonah & Sugiyarto (2009) dengan pemberian IAA 100 ppm dapat meningkatkan berat basah dan kering tanaman, dimana pemberian bakteri yang mampu menghasilkan IAA dapat mempercepat pertumbuhan organ tanaman, sehingga total biomassa meningkat.

Kesimpulan

Hasil penelitian isolasi bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat dari akar mangrove di Kawasan Ekosistem Mangrove Bagek Kembar Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, didapatkan 11 isolat bakteri endofit, dimana ke 11 isolat tersebut mampu menghasilkan IAA, kemudian 6 dari 11 isolat bakteri endofit mampu melarutkan fosfat. Isolat dengan produksi IAA tertinggi yaitu, isolate dengan kode RM4 dengan konsentrasi sebesar 30.28 ppm. Isolate RM6 menunjukkan aktivitas pelarutan fosfat tertinggi dengan rata-rata konsentrasi fosfat terlarut sebesar 17.63 ppm pada waktu inkubasi hari ke-4. Pemberian inokulan bakteri endofit penghasil IAA dan pelarut fosfat berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, panjang akar, berat basah dan berat kering tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Rektor Universitas Mataram yang mendukung penelitian ini melalui dana hibah penelitian DIPA BLU-PNBP Universitas Mataram anggaran 2025 kepada LZ dengan No. Kontrak: 3041/UN18.L1/PP/2025. Penulis juga menyampaikan terima kasih atas kerjasama dan dukungan teknis kepada ketua dan asisten Lab. di laboratorium Biologi dan Mikrobiologi, FKIP, Universitas Mataram.

Referensi

Ahmed, T., Rahman, M., Rokanuzzaman, R., Ghosh, S., Rahman, A., Hasan, M., & Haque, M. (2024). Utilization of Endophytic Bacteria for Liquid

Biofertilizer Production with a Newly Designed Prototype Fermentor for Plant Improvment. *Plant Trends*, 2(4), 92. <https://doi.org/10.5455/pt.2024.08>

Aswani, R., Jishma, P., & Radhakrishnan, E. K. (2019). Endophytic Bacteria from the Medicinal Plants and Their Potential Applications. *Microbial Endophytes: Prospects For Sustainable Agriculture*. 15–36.

Atekan, N. Y., Handayanto, E., & Syekhfani. (2014). The Potential of Phosphate Solubilizing Bacteria Isolated from Sugarcane Wastes for Solubilizing Phosphate. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(4), 175–182. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2014.014.175>

Baez-Rogelio, A., Morales-García, Y. E., Quintero-Hernández, V., & Muñoz-Rojas, J. (2017). Next Generation of Microbial Inoculants for Agriculture and Bioremediation. *Microb. Biotechnol.*, 10, 19–21.

Christina, A., Christapher, V., & Bhore, S. J. (2013). Endophytic Bacteria as a Source of Novel Antibiotics: An Overview. *Pharmacognosy Reviews*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4103/0973-7847.112833>

Farista, B., & Virgota, A. (2021). Serapan Karbon Hutan Mangrove di Bagek Kembar Kecamatan Sekotong Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 9(1), 170. <https://doi.org/10.33394/bjib.v9i1.3777>

Fathonah, D., & Sugiyarto. (2019). Effect of IAA and GA3 Toward the Growing and Saponin Content of Purwaceng (*Pimpinella alpina*). *Nusantara Bioscience*, 1(1). <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n010103>

Fierros, G. B., Tuesta-Popolizio, D. A., Lorenzo-Santiago, M. A., Rodriguez-Campos, J., & Contreras-Ramos, S. M. (2024). Comparative Study Between Salkowski Reagent and Chromatographic Method for Auxins Quantification from Bacterial Production. *Frontiers in Plant Science*, 15.

- <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1378079>
- Gordon, S. A., & Weber, R. P. (1951). *Colorimetric Estimation of Indoleacetic Acid. Plant Physiol.* 192–195.
- Hammada, M. A. S. (2024). Tantangan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia: Suatu Tinjauan Lingkungan Hidup. *Jurnal Ekologi Masyarakat Dan Sains*, 5. <https://doi.org/10.55448/ems>
- Havlin, J. L., Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (2017). *Soil Fertility and Fertilizers an Intoduction to Nutrient Management*. Pearson India Education Services Pvt. www.pearson.co.in,
- Hesham, A. E.-L., & Hashem, M. (2011). Molecular genetic Identification of Yeast Strains Isolated from Egyptian Soils for Solubilization of Inorganic Phosphates and Growth Promotion of Corn Plants. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(1), 55–61. <https://doi.org/10.4014/jmb.1006.06045>
- Ikrom., Denok, A. T. R., Reni, W. A., Bintang, P. B., Rafika, T. N., & Wasito. (2014). Studi In Vitro Ekstrak Etanol Daun Kamboja (*Plumeria alba*) sebagai Anti Aeromonas hydrophila. *Jurnal Sain Veteriner*, 32(1).
- Illmer, B. E., & Schinner, E. (1995). *Phosphate solubilizing Microorganisms Under Non-Sterile Conditions*.
- Kovacs, K. (2009). *Applications of Mossbauer Spectroscopy in Plant Physiology*.
- Lestari, D. E. B., Manalu, K., & Amelia Nasution, R. (2023). Potensi Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Bangun-bangun (*Couleur amboinicus* Lour) sebagai Pelarut Fosfat. *LenteraBio*, 12, 423–429. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lentera/bio/index423>
- Mamat, H. S., & Sukarman. (2020). Manfaat Inovasi Teknologi Sumberdaya Lahan Pertanian Dalam Mendukung Pembangunan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 115. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.115-132>
- Marwan, H., Sinaga, M. S., Giyanto, & Nawangsih, A. A. (2011). Isolasi dan Seleksi Bakteri Endofit untuk Pengendalian Penyakit Darah pada Tanaman Pisang. *HPT Tropica*, 11((2)), 113-121.
- Maulidia, V., Jalil, M., Junita, D., Fitria Lizmah, S., Chairuddin, & Agustinur. (2024). Pengaruh Beberapa Spesies Bakteri Endofit Terhadap Viabilitas Dan Vigor Benih Tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 8(1), 7–16. <https://doi.org/10.31289/agr.v8i1.9536>
- Nautiyal, C. S. (1999). An Efficient Microbiological Growth Medium for Screening Phosphate Solubilizing Microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, 170((1)), 265–270.
- Nofiyanti, S. S., & Rahayu, S. Y. (2023). Isolasi Bakteri Endofit Akar Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L.) sebagai Penghasil Hormon Indole-3-Acetic Acid (IAA). *LenteraBio*, 12(2), 162–171. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lentera/bio/index162>
- Nurmalawati, S., Banon, C., & Devirizanty. (2021). Validasi dan Verifikasi Metode Uji Fosfat Dengan Spektrofotometer UVI-VIS di Laboratorium Kimia. In *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Sains dan Teknologi* (Vol. 1, Issue 2). www.fmipa.ac.id
- Özdal, M., Gur Özdal, Ö., Sezen, A., & Algur, Ö. F. (2016). Biosynthesis Of Indole-3-Acetic Acid by *Bacillus cereus* Immobilized Cells. *Cumhuriyet Science Journal*, 37(3), 212. <https://doi.org/10.17776/csj.34085>
- Pamungkas, S. S. T., & Puspitasari, R. (2018). Pemanfaatan Bawang Merah (*Allium cepa* L.) Sebagai Zat Pengatur Tumbuh Alami Terhadap Pertumbuhan Bud Chip Tebu Pada Berbagai Tingkat Waktu Rendaman. *Biofarm: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 14(2).
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion. *Biotechnology Advances*, 17(4–5), 319–339.
- Santosa. (2007). *Mikroba Pelarut Fosfat. Metode Analisis Biologi Tanah*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.

- Saraswati Fertilizer. (2016). *Pupuk NPK, Fungsi dan Jenisnya*.
https://saraswatifertilizer.com/pupuk-npk-fungsi-jenisnya/?utm_source
- Seshachala, U., & Tallapragada, P. (2012). Phosphate Solubilizer from the Rhizosphere of *Piper Nigrum* L. in Karnataka, India. *Chilean Journal of Agricultural*, 72((3)), 397–403.
- Sharon, J. A., Hathwaik, L. T., Glenn, G. M., Imam, S. H., & Lee, C. C. (2016). Isolation of Efficient Phosphate Solubilizing Bacteria Capable of Enhancing Tomato Plant Growth. In *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* (Vol. 16, Issue 2).
- Silitonga, D. M., Priyani, N., & Nurwahyuni, D. I. (2013). Isolasi dan Uji Potensi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat dan Bakteri Penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) Terhadap Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max* L.) Pada Tanah Kuning.
- 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>
- Sugianto, S. K., Shovitri, M., & Hidayat, A. (2018). Potensi Rhizobakteri Sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2).
- Sukmadewi, D. K. T., Suharjono, & Antonius, S. (2015). Uji Potensi Bakteri Penghasil Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) dari Tanah Rhizosfer Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.). In *Jurnal Biotropika*, (Vol. 3, Issue 2).
- Suryani, S., & A'yun, Q. (2022). Isolasi Bakteri Endofit dari Mangrove *Sonneratia alba* Asal Pondok 2 Pantai Harapan Jaya Muara Gembong, Bekasi. In *Universitas Islam As-Syafi'iyah, Jl. Raya Jatiwaringin No* (Vol. 1, Issue 2). <https://uia.e-journal.id/biosains/about>
- Woźniak, M., Gałazka, A., Tyśkiewicz, R., & Jaroszuk-ścisiel, J. (2019). Endophytic Bacteria Potentially Promote Plant Growth by Synthesizing Different Metabolites and Their Phenotypic/Physiological Profiles in the Biolog Gen III Microplate™ Test. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(21).
<https://doi.org/10.3390/ijms20215283>
- Yarashima, S., Rasyidah, & Mayasari, U. (2024). Eksplorasi Bakteri Kandidat Probiotik Pada Sedimen Hutan Mangrove Pandan, Tapanuli Tengah. *Jurnal Biologi*, 1(4).
<https://doi.org/10.47134/biology.v1i4.3119>
- Zuhra, R., Hasanuddin, & Lisnawita. (2017). Efektivitas Bakteri Endofit Sebagai Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai (*Capsicum annum*, L.). *Jurnal Pertanian Tropik*, 4(1), 65–74.
- Zulfah, N., & Susilawati, I. O. (2021). Review Article: Endophytic Bacteria as Indole Acetic Acid (IAA) Producer and Biocontrol Agents in Plants. *BIOMA*, 16(2), 2021.
[https://doi.org/10.21009/Bioma16\(2\).3](https://doi.org/10.21009/Bioma16(2).3)