

The Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Sustainable Agriculture

Peran *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam Pertanian Berkelanjutan

Rahmatul Huda Asra¹, Linda Advinda^{1*}, Azwir Anhar¹, Irdawati¹

¹Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, West Sumatera, Indonesia

*Correspondence author: linda_advinda@fmipa.unp.ac.id

Abstract

The majority of farmers currently use chemical fertilizers and pesticides in farming. However, continuous use of these materials can cause negative impacts such as environmental pollution, health risks, nutrient cycle imbalances, and reduced crop yields. To overcome this problem, research has been conducted that focuses on the use of microorganisms found in the soil layer surrounding plant roots, called the rhizosphere. These microorganisms such as bacteria, fungi and protozoa form a group known as Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). PGPR can increase plant growth through various mechanisms such as nitrogen fixation, phosphorus dissolution, production of cyanide acid compounds (HCN), and Indole Acetic Acid (IAA) compounds. This research aims to collect and analyze articles related to the role of PGPR in sustainable agriculture. The method used is a literature review by collecting sources from Google Scholar and other internet databases. The results of the articles collected were on topics related to PGPR, including mechanisms of nitrogen fixation and phosphorus solubilization, as well as their role in producing IAA and siderophores. Apart from that, the research also discusses the role of PGPR as a biocontrol agent that can control plant pathogens, and the antagonistic activity of PGPR against pathogens.

Key words: *PGPR, Nitrogen, IAA, Siderophores, Phosphate, pathogens*

Abstrak

Mayoritas petani saat ini menggunakan pupuk kimia dan pestisida dalam bercocok tanam. Namun, penggunaan bahan-bahan tersebut secara terus-menerus dapat menyebabkan dampak negatif seperti polusi lingkungan, risiko kesehatan, ketidakseimbangan siklus hara, dan penurunan hasil tanaman. Untuk mengatasi masalah ini, telah dilakukan penelitian yang berfokus pada penggunaan mikroorganisme yang ditemukan di lapisan tanah yang mengelilingi akar tanaman, yang disebut rizosfir. Mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan protozoa ini membentuk kelompok yang dikenal sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfor, produksi senyawa asam sianida (HCN), dan senyawa *Indole Acetic Acid* (IAA). Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan dan menganalisis artikel-artikel terkait peran PGPR dalam pertanian berkelanjutan. Metode yang digunakan adalah literatur review dengan mengumpulkan sumber dari Google Scholar dan database internet lainnya. Hasil dari artikel-artikel yang dikumpulkan didapatkan topik-topik seputar PGPR, termasuk mekanisme fiksasi nitrogen dan pelarutan fosfor, serta peran dalam menghasilkan IAA dan siderofor. Selain itu, penelitian juga membahas peran PGPR sebagai agen biokontrol yang dapat mengendalikan patogen tanaman, dan aktivitas antagonis PGPR terhadap patogen.

Kata kunci: *PGPR, Nitrogen, IAA, Siderofor, Fosfat, patogen*

Pendahuluan

Penggunaan pupuk kimia dan pestisida secara terus menerus dapat menyebabkan akumulasi residu yang merusak tanah (Kasno, 2010). Sebagai alternatif, mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman dapat digunakan sebagai pengganti pupuk kimia dan pestisida (Sivasakthi dkk., 2013). Rizosfir adalah area tanah di sekitar akar tanaman yang dipengaruhi oleh mikroba tanah dan eksudasi perakaran tanaman. Tanaman menarik mikroba yang bermanfaat dengan cara mengeluarkan eksudat akar. Eksudat tersebut merupakan sumber nutrisi bagi mikroba tanah (Ghosh dkk., 2013).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) adalah bakteri yang hidup di sekitar rizosfir. Bakteri ini mampu mengkolonisasi akar tanaman dan berperan penting dalam pertumbuhan tanaman (Ashrafuzzaman dkk., 2009). Beberapa contoh bakteri PGPR yaitu *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan *Pseudomonas* (Situngkir dkk., 2021). Asosiasi bakteri dengan tanaman tidak hanya memacu pertumbuhan tanaman, tetapi juga terlibat dalam toleransi terhadap stres biotik dan abiotik (Koza dkk., 2022).

Pseudomonas fluoresen merupakan kelompok PGPR yang terdapat di rizosfir, dan dapat memacu pertumbuhan tanaman karena kemampuannya menghasilkan hormon tumbuh *Indole Acetic Acid* (IAA). Disamping itu kelompok bakteri dapat menghasilkan senyawa antimikroba seperti siderofor dan asam sianida sehingga berpotensi sebagai biokontrol (Advinda, 2020).

Bahan dan Metode

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian menggunakan metode literatur review. Literatur review merupakan salah satu metode dalam penelitian yang sistematis, eksplisit dan reproduibel untuk melakukan identifikasi, evaluasi dan sintesis terhadap hasil karya penelitian dan pemikiran yang sudah dihasilkan oleh para peneliti dan praktisi (Okoli & Schabram, 2010)

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari identifikasi, skrining, kelayakan, dan keterimaan. Pada tahapan identifikasi, dilakukan penelusuran sumber dari Google Scholar dan database internet lainnya. Pada tahapan skrining, dilakukan penyaringan artikel seperti yang terduplikasi, kemudian dilakukan proses penilaian kelayakannya dengan mengambil informasi dari judul dan abstrak pada setiap artikel yang relevan dengan judul penelitian literatur review ini. Tahapan terakhir yaitu keterimaan dengan menentukan artikel yang memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan dan layak digunakan dengan cara membaca keseluruhan isi pada artikel tersebut. (Liberati dkk., 2009).

Hasil dan Pembahasan

1. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) atau rizobakteri pemacu pertumbuhan tanaman adalah kelompok bakteri yang secara aktif mengkolonisasi rizosfir. PGPR mampu memberikan pengaruh positif pada tanaman selama inokulasi, sehingga menunjukkan persaingan yang baik pada komunitas rizosfir yang ada. Umumnya sekitar 2-5% bakteri rizosfir merupakan PGPR (Antoun & Prevost, 2005).

PGPR adalah suatu cara yang potensial untuk pertanian berkelanjutan, dan menjadi trend di masa akan datang. *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Derxia*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum*, *Klebsiella*, *Ochrobactrum*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Serratia*, *Stenotrophomonas*, dan *Zoogloea* termasuk ke dalam kelompok PGPR (Babalola, 2010). Sebagian besar berasal dari kelompok Gram-negatif dengan jumlah strain paling banyak dari genus *Pseudomonas* (Ayesha dkk., 2023).

PGPR merupakan komunitas bakteri yang aktif mengkolonisasi akar tanaman untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil, dan kesuburan tanah. Hal ini terlihat bahwa penerapan PGPR berpengaruh nyata terhadap berat kering akar selada (Gusti dkk., 2012). Menurut Figueiredo dkk., (2015), keuntungan

penggunaan PGPR adalah peningkatan kandungan mineral dan fiksasi nitrogen, peningkatan toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan, manfaatnya sebagai agen biokontrol, pupuk hayati, perlindungan tanaman dari fitopatogen, dan peningkatan produksi *Indole 3-Acetic Acid*.

2. PGPR sebagai pemfiksasi nitrogen

Nitrogen adalah elemen penting untuk semua bentuk kehidupan dan merupakan nutrisi paling penting untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Meskipun nitrogen menempati 78% atmosfer, namun nitrogen tetap tidak tersedia bagi tanaman. Tidak ada satu tanamanpun yang mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer menjadi amonia sehingga dapat digunakan langsung untuk pertumbuhan. Dengan demikian nitrogen di atmosfer diubah menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman melalui fiksasi nitrogen biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme pengikat nitrogen menggunakan sistem enzim kompleks yang dikenal sebagai nitrogenase (Gaby & Buckley, 2012).

PGPR digunakan dalam pertanian berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, karena kemampuannya memfiksasi nitrogen. Dalam pertanian konvensional, penambahan pupuk N anorganik sering dilakukan untuk memenuhi kebutuhan N pada tanaman karena tanaman tidak mampu memfiksasi unsur N di udara secara langsung dan mengubahnya menjadi tersedia untuk pertumbuhan tanaman (Gupta dkk., 2015). Pemberian PGPR yang dapat memfiksasi N merupakan salah satu cara untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik. Tanaman memerlukan kelompok-kelompok PGPR yang mempunyai kemampuan untuk membantu proses pengambilan N bebas agar dapat memenuhi kebutuhan unsur hara N pada tanaman, baik yang bersimbiosis secara langsung dengan tanaman maupun yang non-simbiotik (Zahran, 2001).

Rhizobium adalah jenis bakteri simbiotik yang berkoloni di akar tanaman legum dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Bakteri ini hanya mampu memfiksasi nitrogen bebas di dalam bintil akar tanaman legum (Sari & Prayudyaningsih, 2015). Di sisi lain, ada bakteri Azotobacter, Azospirillum, dan Pseudomonas yang termasuk dalam kategori bakteri penambat nitrogen non-simbiotik. Bakteri-bakteri ini dapat hidup di berbagai kondisi tanah, termasuk tanah subur, marginal, salin, dan asam, dan memiliki kemampuan untuk memfiksasi nitrogen (Figueiredo dkk., 2010). Hasil penelitian Hartono & Jumadi (2014) menemukan 16 isolat PGPR yang berasal dari rizosfir tanaman padi dan 4 isolat lainnya dari rizosfir tanaman jagung berpotensi sebagai pemfiksasi nitrogen bagi tanaman.

3. PGPR sebagai penghasil *Indole Acetic Acid* (IAA)

Indole Acetic Acid (IAA) merupakan hormon yang memiliki peran krusial selama pembentukan dan pertumbuhan bagian vegetatif pada tanaman. Hormon ini bertanggung jawab dalam proses pemanjangan dan pembelahan sel, diferensiasi, tropisme, dominasi apikal, absisi, dan pembungaan (Zhao dkk., 2001). Mikroorganisme yang hidup di sekitar akar tanaman, memanfaatkan senyawa kimia yang dikeluarkan oleh tanaman (eksudat) untuk melakukan sintesis dan pelepasan auksin sebagai metabolit sekunder (Ljung, 2013).

IAA dihasilkan dari metabolisme L-triptofan oleh beberapa mikroorganisme, diantaranya PGPR. Selain membentuk IAA, rizobakteri ini juga dapat memproduksi *Indole Butyric Acid* (IBA) dengan konsentrasi yang bervariasi. Penambahan triptofan juga telah terbukti memberikan efek stimulasi pada pertumbuhan akar dan pemanjangan pucuk kacang hijau (Shahab dkk., 2009). Jalur biosintetik IAA sangat bergantung pada komponen asam amino yang dilepaskan, khususnya triptofan, sebagai prekursor dalam proses sintesis IAA (Spaepen dkk., 2007).

Tanaman memiliki keterbatasan mensintesis IAA untuk mendukung pertumbuhan yang optimal. Oleh karena itu diperlukan tambahan IAA dari luar yang bisa diberikan melalui pupuk maupun simbiosis mikroorganisme, diantaranya melalui bantuan bakteri endofit (Lestari dkk., 2015). Menurut Khianngam dkk., (2023), IAA yang diproduksi oleh bukan tumbuhan disebut dengan IAA eksogen. Spaepen & Vanderleyden (2011) menyatakan, selain mengatur fungsi fisiologis tanaman dan beradaptasi dengan stres eksternal dan hubungan mikroba-mikroba, IAA yang dihasilkan oleh mikroorganisme sering kali dapat berpartisipasi sebagai molekul pemberi sinyal dalam interaksi antara mikroorganisme dan tanaman, mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta menyebabkan perubahan fisiologis dan patologis tanaman.

Kelompok rizobakteri pseudomonad fluoresen LAHP₂ dapat menghasilkan IAA dengan konsentrasi 15,06 ppm (Advinda, 2020), dan pseudomonad fluoresen Pf36 konsentrasi 9,86 ppm (Ardiana & Advinda, 2022). Pseudomonad fluoresen isolat P24 dapat mensintesis IAA sebesar 28,51 µg mL⁻¹, dan pemanfaatannya dapat meningkatkan produksi benih dan buah cabai (Sutariati dkk., 2006). Ismail dkk., (2021) mengemukakan *Bacillus thuringiensis* PB2 dan *Brevibacillus agri* PB5 yang diisolasi dari perakaran *Phaseolus vulgaris* L. dapat menghasilkan IAA dengan konsentrasi masing-masing 181,66 µg mL⁻¹ dan 164,66 µg mL⁻¹. Hasil penelitian Anhar dkk., (2011) memperlihatkan pseudomonad fluoresen Mi.1 dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman padi pada 5 hari setelah tanam. Sedangkan pseudomonad fluoresen Cas3 memberikan pengaruh terbaik terhadap tinggi tanaman padi 7 hari setelah tanam.

4. PGPR sebagai penghasil siderofor

Siderofor adalah senyawa organik antimikroba yang memiliki afinitas tinggi terhadap besi, larut dalam air, dan mudah menyebar. Sifat-sifat tersebut memungkinkannya berperan dalam mengendalikan penyakit pada tanaman. Senyawa siderofor juga dapat membantu rizobakteri pseudomonad fluoresen dalam melarutkan fosfat yang dibutuhkan oleh tanaman. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik dan tanaman tersebut lebih tahan terhadap penyakit (Habazar & Yaharwandi, 2006).

Penelitian telah menunjukkan bahwa kemampuan bakteri penghasil siderofor dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen *Ralstonia solanacearum* dapat diukur berdasarkan diameter zona hambat di sekitar koloni bakteri. Semakin besar diameter zona hambat yang terbentuk, semakin besar pula kemampuan isolat bakteri penghasil siderofor dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen *R. solanacearum* (Parida, 2012).

Selain itu, produksi siderofor oleh rizobakteri pseudomonad fluoresen dapat dipengaruhi oleh jenis media pertumbuhannya. Pseudomonad fluoresen isolat PfCas3 yang ditumbuhkan pada medium glukosa dapat menghasilkan siderofor lebih banyak dibandingkan dengan medium fruktosa (Advinda dkk., 2019). Pigmen fluoresen yang dihasilkan oleh pseudomonad dapat menjadi penanda untuk adanya siderofor yang dihasilkan bakteri ini. Fifendy & Advinda (2007) berhasil mengisolasi 10 isolat yang mencirikan bakteri pseudomonad fluoresen dari daerah perakaran beberapa jenis tanaman. Karakter fisiologis setiap isolat memperlihatkan perbedaan kualitas pigmen fluoresen yang dihasilkan.

5. PGPR sebagai pelarut fosfat

Kekurangan unsur hara fosfor (P) adalah salah satu faktor utama yang membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman. Umumnya, ketersediaan fosfat di dalam tanah sangat terbatas, hanya sekitar 0,01% dari total fosfor. Hal ini terjadi karena fosfat pada tanah asam membentuk ikatan dengan Al dan Fe, sedangkan pada tanah alkali akan berikatan dengan Ca. Akibatnya, fosfat sulit larut dan tidak dapat diambil oleh tanaman (Ginting dkk., 2006).

Penggunaan *Pseudomonas fluorescens* dalam pertanian sangat luas, sehingga bakteri ini memiliki potensi sebagai PGPR yang dapat dikembangkan sebagai biofertilizer dan bioinokulan untuk tanaman (Noori, 2012). Pseudomonad fluoresen isolat PfPj1 menunjukkan kemampuan yang sangat baik dalam melarutkan fosfat, diindikasikan oleh zona bening yang terbentuk sebesar 1,38 cm di sekitar koloni bakteri tersebut (Advinda dkk., 2022).

Penelitian oleh Asril & Yuni (2020) juga menyatakan bahwa dari sepuluh isolat bakteri yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat, isolat-isolat dari genus *Pseudomonas* memiliki indeks pelarutan yang lebih tinggi daripada dua isolat dari genus *Aeromonas*. Dalam penelitian tersebut, beberapa isolat *Pseudomonas*, yaitu GSP 13, GSP 01, GSP 06, dan GSP 15, menonjol karena memiliki indeks pelarutan fosfat yang cukup tinggi pada media pikovskaya selama 7 hari inkubasi, masing-masing dengan nilai indeks secara berurutan yaitu 0,639, 0,619, 0,513, dan 0,473.

6. Aktivitas antagonis PGPR terhadap patogen

Salah satu bakteri antagonis yang sering dimanfaatkan sebagai agen hayati dalam mengendalikan patogen tanaman, baik jamur maupun bakteri adalah rizobakteri *P. fluorescens*. *P. fluorescens* P60 terbukti

mampu menghambat pembentukan mikrosklerotium baru dari jamur *Verticillium dahliae* pada tanaman *Arabidopsis thaliana* (Soesanto, 2001). Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Advinda dkk., (2007), 7 isolat pseudomonad fluoresen yang diisolasi dari rizosfir pisang, berhasil menekan perkembangan penyakit *Blood Disease Bacteria* (BDB) pada pisang kultivar barangan.

Hasil penelitian Chrisnawati dkk., (2017) memperlihatkan pseudomonad fluoresen PfT8, PfN19, dan PfK55 efektif dalam mengendalikan penyakit layu Fusarium pada tanaman tomat. Ketiga isolat tersebut dapat menunda munculnya gejala penyakit layu Fusarium dari 4,13 hari setelah inokulasi (hsi) menjadi 6,75 - 7,30 hsi, serta menekan intensitas penyakit dari 40,24% menjadi 14,30-16,88%.

Efektivitas rizobakteri *P. fluorescens* dalam mengendalikan patogen dipengaruhi oleh kemampuannya dalam menghasilkan senyawa antibiosis, menginduksi ketahanan tanaman, bersaing dengan patogen, dan mengkolonisasi akar tanaman dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, faktor-faktor lingkungan dan penyebaran bakteri di dalam tanah juga turut mempengaruhi keberhasilan proses tersebut (Janisewichz dkk., 2000).

Daftar Pustaka

- Advinda, L. 2020. Pseudomonad Fluoresen Agens Biokontrol *Blood Disease Bacteria* (BDB) Tanaman Pisang. *Monograf*. Yogyakarta: Deepublish.
- Advinda, L., Pratama, I., Fifendy, M., & Anhar, A. 2019. The Addition Of Various Carbon Sources On Growing Media To Increase The Siderophore Level Of Fluorescent Pseudomonad Bacteria. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1317, No. 1, p. 012078). IOP Publishing.
- Advinda, L., Putri, D. H., Anhar, A., & Irdawati, I. 2022. Identification and Characterization of Fluorescent Pseudomonas Producing Active Compounds Controlling Plant Pathogens. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(4): 795-804.
- Advinda, L., Trimurti, H., Auzar, S., & Mansyurdin, D. P. 2007. Seleksi Isolat Pseudomonad Fluoresen Dalam Menginduksi Ketahanan Bibit Pisang Terhadap Penyakit Darah. *Jurnal Sainstek*, 10(1).
- Ahemad, M., & Kibret, M. 2014. Mechanism and application of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University-Science*. 26, 1-20.
- Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M. S. 2005. Indoleacet Ic Acid Product Ion by The Indigenous Isolates of Azotobacter and Fluorescent Pseudomonad in The Presence and Absence of Tryptophan. *Turk. J. Biol.* 29: 29-34.
- Antoun, H., & Prevost, D. 2005. Ecology of plant Growth promoting rhizobacteria. In Shidiqqi, Z.A (Ed.), *PGPR: biocontrol and biofertilization*, 1-38.
- Anhar, A., Doni, F., & Advinda, L. 2011. Respons Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Terhadap Introduksi Pseudomonad Fluoresen. *Eksakta*, 1(1) : 1-11.
- Anhar, A., Hariati, D., dan Advinda, L. 2018. Respon Hasil Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) Terhadap Pemberian Pupuk Organik Cair. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi* (pp. 829-834).
- Ardiana, M., & Advinda, L. 2022. Kemampuan Pseudomonad Fluoresen dalam Menghasilkan *Indole Acetic Acid* (IAA). *Serambi Biologi*, 7(1): 59-64.
- Ashrafuzzaman, M., Hossen, F. A., M. Razi Ismail, Hoque, M. A., Islam, M. Z., AsShahidullah, S. M., & Meon, S. 2009. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*, 8(7): 1247-1252.
- Asril, M., & Yuni, L. 2020. Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat Genus Pseudomonas dari Tanah Masam Bekas Areal Perkebunan Karet di Kawasan Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1): 40-48.
- Ayesha, C., Advinda, L., Violita, V., & Handayani, D. 2023. Potential Of Pseudomonas fluorescens As Plant Growth Promoting Bacteria. *Jurnal Serambi Biologi*, 8(1): 98-103.
- Babalola, O. O. 2010. Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology letters*, 32: 1559-1570.
- Chrisnawati, S., Marlen, L., & Nasrun. 2017. Evaluasi antagonis Pseudomonas fluorescens dalam Mengendalikan Penyakit Layu Fusarium pada Tomat. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 3(2): 273-277.
- Dorjey, S., Dolkar, D., & Sharma, R. 2017. Plant growth promoting rhizobacteria Pseudomonas: a review. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6(7): 1335-1344.

- Fifendy, M., & Advinda, L. 2007. Isolasi dan Karakterisasi Agens Biokontrol *Pseudomonas* Berfluoresensi dari Rhizosfir Tanaman. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Padang.
- Figueredo, M., Seldin, L., Araujo, F., & Mariano, R. 2010. Plant Growth Promoting Rhizobacteria : Fundamentals and Applications. *Microbiology Monographs*, (18): 21-43.
- Gaby, J. C., & Buckley, D. H. 2012. A comprehensive evaluation of PCR primers to amplify the *nifH* gene of nitrogenase. *PLoS ONE*, 7(7): e42149.
- Ghosh, P. K., Saha, P., Mayilraj, S., & Maiti, T. K. 2013. Role of IAA metabolizing enzymes on production of IAA in root, nodule of *Cajanus cajan* and its PGP *Rhizobium* sp. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2(3): 234-239.
- Ginting, R. C., Badia, R., Saraswati., & Husen, E. 2006. *Mikroorganisme Pelarut Fosfat*. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Perta.
- Gupta, G., Parihar, S. S., Ahirwar, N. K., Snehi, S. K., & Singh, V. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, 7(2): 096-102.
- Gusti, I. N., Khalimi, K., Dewa, I. N. Ketut., & Dani, S. 2012. Aplikasi Rhizobacteri *Pantoea agglomerans* untuk Meningkatkan Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung. (*Zea mays* L.) Varietas hibrida BISI-2. *Agrotrop*, 2(1): 1-9.
- Habazar, T., & Yaherwandi. 2006. *Pengendalian Hayati Hama dan Penyakit Tumbuhan*. Padang : Andalas University Press.
- Hartono., & Jumadi, O. 2014. Seleksi dan Karakterisasi Bakteri Penambat Nitrogen Non Simbiotik Pengekskresi Amonium Pada Tanah Pertanaman Jagung (*Zea mays* L.) dan Padi (*Oryza sativa* L.) Asal Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan, Indonesia. *Jurnal Sainsmat*, 3(2): 143-153.
- Ismail, M. A., Amin, M. A., Eid, A. M., Hassan, S. E. D., Mahgoub, H. A., Lashin, I., Abdelwahab, A. T., Azab, E., Gobouri, A. A., Elkelish, A., & Fouda, A. 2021. Comparative Study between exogenously applied plant growth hormones versus metabolites of microbial endophytes as plant growth-promoting for *Phaseolus vulgaris* L. *Cells*, 10(5): 1059.
- Istiqomah, I., Aini, L. Q., & Abadi, A. L. 2017. Kemampuan *Bacillus Subtilis* Dan *Pseudomonas fluorescens* dalam Melarutkan Fosfat dan Memproduksi Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tomat. *Buana Sains*, 17(1): 75-84.
- Janisiewicz, W. J., Tworkoski, T. J., & Sharer, C. 2000. Characterizing the mechanism of biological control of postharvest disease on fruit with a simple method to study competition for nutrients. *Phytopathology*, 90: 1196-1200.
- Kasno, A. 2010. Nutrient Balance at Integrated Nutrient Management on Lowland Rice Which Is Dominated By 1:1 Clay Mineral for High Potential Rice Yields. *Jurnal Tanah Tropika*, 15(2): 119-126.
- Khianggam, S., Meetum, P., Chiangmai, P. N., & Tanasupawat, S. 2023. Identification and Optimisation of Indole-3-Acetic Acid Production of Endophytic Bacteria and Their Effects on Plant Growth. *Tropical life sciences research*, 34(1): 219-239.
- Koza, N. A., Adedayo, A. A., Babalola, O. O., & Kappo, A. P. 2022. Microorganisms in plant growth and development: Roles in abiotic stress tolerance and secondary metabolites secretion. *Microorganisms*, 10(8): 1528.
- Lestari, P., Suryadi, Y., Susilowati, D. N., Priyatno, T. P., & Samudra, I. M. 2015. Karakterisasi bakteri penghasil asam indolasetat dan pengaruhnya terhadap vigor benih padi. *Berita Biologi*, 14(1): 19-28.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. 2009. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Italian journal of public health*, 6(4): 354-391.
- Ljung, K. 2013. Auxin metabolism and homeostasis during plant development. *Development*, 140(5): 943-950.
- Marom, N., Rizal, F., & Bintoro, M. 2017. Uji Efektivitas Saat Pemberian dan Konsentrasi PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) terhadap Produksi dan Mutu Benih Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 1(2): 174-184.

- Munees, A., & Mulugeta, K. 2014. Mechanism and applications of plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of King Saud University-Science*, 26(1): 1-20.
- Mustika, A. Y. 2009. Efektivitas matriconditioning plus agens hayati dalam pengendalian patogen terbawa benih, peningkatan vigor dan hasil padi. *Thesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Noori, M. S. S., & Saud, H. M. 2012. Potential plant growth-promoting activity of *Pseudomonas* sp. isolated from paddy soil in Malaysia as biocontrol agent. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 3(2): 1-4.
- Okoli, C., & Schabram, K. 2010. A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. 2010. *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 10(26).
- Parida, I. 2012. Seleksi dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Siderofor sebagai Agens Antagonis *Ralstonia solanacearum* pada Tomat. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ramamoorthy, V., Raguchander, T., & Samiyappan, R. 2002. Enhancing Resistance of Tomato and Hot Pepper, 108(5): 429.
- Saharan, B. S., & Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*, 21: 1-30.
- Sari, R., & Prayudyaningsih, R. 2015. Rhizobium: Pemanfaatannya Sebagai Bakteri Penambat Nitrogen. *Info Teknis EBONI*, 12(1): 51-64.
- Sarkar, B., Kumar, C., Pasari, S., & Goswami, B. 2022. Review On *Pseudomonas fluorescens*: A Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Journal of Positive School Psychology*, 2701-2709.
- Shahab, S., Ahmed, N., & Khan, N. S. 2009. Indole acetic acid production and enhanced plant growth protion by indigenous PSBs. *African Journal of Agricultural Research*, 4(11): 1312-1316.
- Situngkir, N. C., Sudana, I. M., & Singarsa, I. D. P. 2021. Pengaruh Jenis Bakteri PGPR dalam Beberapa Jenis Media Pembawa untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Ketahanan Tanaman Padi Beras Merah Lokal Jatiluwih terhadap Penyakit. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(2): 233-243.
- Sivasakthi, S., Usharani, G., & Saranraj, P. 2014. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR)-*Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African journal of agricultural research*, 9(16): 1265-1277.
- Soesanto, L. 2001. *Pseudomonas fluorescens* P60 sebagai agensia hayati jamur *Verticillium dahlia* Kleb. *Jurnal Penelitian Pertanian (Agrin)*, 5(10): 33-40.
- Soesanto, L., Mugiastuti, E., & Rahayuniati, R. F. 2010. Kajian Mekanisme Antagonis *Pseudomonas fluorescens* P60 terhadap *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* pada tanaman tomat in vivo. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 10(2): 108-115.
- Spaepen, S., & Vanderleyden, J. 2011. Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 3(4): a001438.
- Spaepen, S., Vanderleyden J., & Remans R. 2007. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS Microbiol Rev*, 31(4): 425-448.
- Supriadi. 2006. Analisis Risiko Agens Hayati Untuk Pengendalian Patogen Pada Tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian. Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik*. 25(3): 75-80.
- Sutariati, G. A. K. 2006. Perlakuan Benih Dengan Agens Biokontrol Untuk Pengendalian Penyakit Antraknosa, Peningkatan Hasil dan Mutu Benih Cabai. *Disertasi*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Teale, W. D., Paponov, I. A., & Palme, K. 2006. Auxin in action: signalling, transport and the control of plant growth and development. *Nature reviews Molecular cell biology*, 7(11): 847-859.
- Wattimena, G.A. 2007. *Bioteknologi Tanaman*. PAU Bioteknologi IPB. Bogor.
- Zahran, H. H. 2001. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *Journal of biotechnology*, 91(2-3): 143-153.
- Zhao, Y., Christensen, S. K., Fankhauser, C., Cashman, J. R., & Cohen J. D. 2001. A Role for Flavin Monooxygenase-like Enzymes in Auxin Biosynthesis. *Science*, 291(5502): 306-309.