

Potential Of *Pseudomonas fluorescens* As Plant Growth Promoting Bacteria

Potensi *Pseudomonas fluorescens* Sebagai Bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman

Claudia Ayesha, Linda Advinda*, Violita, Dezi Handayani, Dwi Hilda Putri

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

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

Abstract

Plant growth promoting bacteria or Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) are soil bacteria found in the root area which function to increase plant growth. Most of them came from the Gram-negative group with the highest number of strains from the genus *Pseudomonas*. *Pseudomonas fluorescens* is able to produce IAA, siderophores and phosphate solubilizing compounds, fixes nitrogen and exhibits plant growth promoting activity. Therefore, this bacterium is very potential as a PGPR. This study aims to collect and analyze articles related to the potential of *Pseudomonas fluorescens* as a plant growth promoting bacterium. This type of research is research that uses internet sources from the Google Scholar database. The stages consist of identification, screening, eligibility and acceptance. Based on the articles collected, it was found that *Pseudomonas fluorescens* is one of the Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). PGPR affects plant health and soil fertility by offering an excellent combination of properties that are useful in promoting plant growth, namely producing IAA and siderophores, dissolving phosphate, fixing nitrogen and exhibiting plant growth promoting activity.

Key words: PGPR, *Pseudomonas fluorescens*, IAA, Siderophores, Phosphates, Nitrogen

Abstrak

Bakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan bakteri tanah yang terdapat pada daerah perakaran yang berfungsi meningkatkan pertumbuhan tanaman. Sebagian besar berasal dari kelompok Gram-negatif dengan jumlah strain paling banyak dari genus *Pseudomonas*. *Pseudomonas fluorescens* mampu menghasilkan IAA, siderofor dan senyawa pelarut fosfat, memfiksasi nitrogen serta memperlihatkan aktivitas pemacu pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu bakteri ini sangat berpotensi sebagai PGPR. Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan dan menganalisis artikel yang berhubungan dengan potensi *Pseudomonas fluorescens* sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. Jenis penelitian ini adalah penelitian yang menggunakan sumber internet dari database Google Scholar. Tahapannya terdiri atas identifikasi, skrining, kelayakan dan penerimaan. Berdasarkan artikel yang dikumpulkan didapatkan hasil bahwa *Pseudomonas fluorescens* merupakan salah satu *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). PGPR mempengaruhi kesehatan tanaman dan kesuburan tanah dengan menawarkan kombinasi sifat yang sangat baik yang berguna dalam promosi pertumbuhan tanaman, yaitu menghasilkan IAA dan siderofor, melarutkan fosfat, memfiksasi nitrogen serta memperlihatkan aktivitas pemacu pertumbuhan tanaman.

Kata kunci: PGPR, *Pseudomonas fluorescens*, IAA, Siderofor, Fosfat, Nitrogen

Pendahuluan

Bakteri pemacu pertumbuhan tanaman atau populer disebut *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan bakteri tanah yang terdapat pada daerah perakaran yang berfungsi meningkatkan pertumbuhan tanaman (Van Loon, 2007). PGPR mampu menghasilkan hormon tumbuh seperti auksin, giberelin dan sitokinin (Spaepen *dkk.*, 2009). Hormon tumbuh atau zat pengatur tumbuh (ZPT) merupakan senyawa yang sangat vital guna mengawali dan menginisiasi terjadinya pertumbuhan tanaman, serta berperan penting mulai dari pertumbuhan perakaran sampai pembentukan buah.

Bakteri yang tergolong dalam PGPR adalah bakteri *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* dan *Rhizobium* serta *Alcaligenes faecalis*, *Enterobacter cloacae*, *Acetobacter diazotrophicus* dan *Bradyrhizobium japonicum*, dan terbukti menghasilkan auksin yang membantu dalam merangsang pertumbuhan tanaman (Patten and Glick, 2002). Sebagian besar bakteri tersebut berasal dari kelompok Gram negatif dengan jumlah galur paling banyak dari genus *Pseudomonas* (Wahyudi, 2009). Salah satu spesies dari PGPR yang bermanfaat sebagai pemacu pertumbuhan adalah *Pseudomonas fluorescens*.

Bahan dan Metode

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian menggunakan metode literatur review. Literatur review merupakan salah satu metode dalam penelitian yang bertujuan mengidentifikasi, mengevaluasi serta menginterpretasikan hasil-hasil penelitian yang relevan dengan suatu topik penelitian tertentu, dan dilakukan dengan cara menelaah artikel ilmiah secara terstruktur (Kitchenham, 2004).

Prosedur Penelitian

Tahapan ini terdiri atas identifikasi, skrining, kelayakan dan keterimaan. Pada tahapan identifikasi, dilakukan penelusuran sumber-sumber artikel dari internet atau sumber dari literatur lain. Pada tahapan skrining, dilakukan penyaringan artikel seperti yang terduplikasi, kemudian dilakukan proses penilaian kelayakannya dengan mengambil informasi dari judul dan abstrak pada setiap artikel. Artikel yang diambil adalah artikel yang relevan dengan judul pada penelitian literatur review ini. Tahapan terakhir yaitu tahap keterimaan, dilakukan penentuan artikel yang memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan, dan layak digunakan dengan cara membaca keseluruhan isi pada artikel tersebut. (Liberati *dkk.*, 2009).

Hasil dan Pembahasan

Pseudomonas fluorescens sebagai PGPR

Pseudomonas fluorescens merupakan bakteri yang berasosiasi dan berinteraksi erat dengan akar tanaman. *P. fluorescens* mempengaruhi kesehatan tanaman dan kesuburan tanah dengan berbagai kombinasi sifat yang sangat baik yang berguna dalam pemacu pertumbuhan tanaman (Dorjey *dkk.*, 2017). Berdasarkan hasil penelitian Chrisnawati *dkk.*, (2017) bibit tomat yang diperlakukan dengan *P. fluorescens* PfT8, PfN19, dan PfK55 menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi yaitu 27,75 - 44,00 cm, dibandingkan dengan bibit tomat yang tidak diperlakukan dengan *P. fluorescens* (kontrol) yaitu 13,75 cm. Hal ini memperlihatkan adanya pengaruh *P. fluorescens* terhadap pertumbuhan tinggi tanaman.

Proses pemacu pertumbuhan tanaman dimulai dari keberhasilan *Pseudomonas fluorescens* dalam mengkolonisasi rizosfir (Bhatnagar dan Bhatnagar, 2005). Peningkatan pertumbuhan tanaman oleh *P. fluorescens* dapat terjadi melalui satu atau lebih mekanisme yang terkait dengan karakter fungsional bakteri dan kondisi di lingkungan rizosfir. Karakter fungsional *P. fluorescens* selain produksi fitohormon dan siderofor adalah mekanisme penambatan N secara nonsimbiotik dan pelarutan hara P (Rahni, 2012). Disamping itu, perlakuan benih dengan suspensi *P. fluorescens* memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan bibit cabai (Sutariati *dkk.*, 2006).

Ciri-ciri *P. fluorescens* adalah berbentuk batang atau kokus, aerob obligat, motil mempunyai flagel polar. *P. fluorescens* dapat menghasilkan pigmen pyoverdine atau fenazin pada medium King's B sehingga berpigment apabila terkena sinar ultra violet (Suada, 2017). Selain itu *P. fluorescens* bersifat oksidase positif, katalase positif, nonfermenter dan tumbuh dengan baik pada suhu 4°C atau di bawah 43°C (Suyono, 2011).

Hasil penelitian Deshwal dan Kumar (2013) memperlihatkan *P. fluorescens* mampu menghasilkan IAA, siderofor dan senyawa pelarut fosfat, serta memiliki aktivitas pemacu pertumbuhan tanaman. *P. fluorescens* dalam kombinasi dengan

pupuk berperan efektif merangsang pertumbuhan kacang tanah dan produksinya (Mehnaz *dkk.*, 2009). Disisi lain, hasil penelitian yang di lakukan Dewi *dkk.*, (2015) memperlihatkan *P. fluorescens* memiliki aktivitas sebagai pengurai protein karena menghasilkan enzim protease. Aktivitas tersebut memegang peranan penting sebagai pendukung Pupuk Organik Hayati.

INDOLE ACETIC ACID (IAA)

IAA adalah hormon auksin alami yang terdapat pada tanaman. IAA dapat mempengaruhi cepatnya pertumbuhan tanaman, meningkatkan proses elongasi sel, diferensiasi sel, dan perpanjangan batang (Advinda *dkk.*, 2018). Fungsi penting IAA yaitu sebagai molekul sinyal dalam perkembangan tanaman termasuk organogenesis, respons tropik, respons seluler, dan pembelahan (Sivasakthi *dkk.*, 2014). Selain dihasilkan tanaman, IAA juga dihasilkan oleh bakteri (Spaepan *dkk.*, 2009). Bakteri lebih cepat memproduksi IAA karena pertumbuhannya sangat cepat dibandingkan dengan pertumbuhan tanaman dalam menghasilkan hormon IAA (Asril, 2017).

P. fluorescens merupakan salah satu bakteri yang dapat menghasilkan IAA. Penelitian Anhar *dkk.*, (2011) membuktikan *P. fluorescens* mampu menghasilkan IAA sehingga meningkatkan pertumbuhan tanaman padi. Selain itu, penelitian Advinda (2020) menyatakan *P. fluorescens* isolat PfCas dapat menghasilkan IAA sebanyak 7,12 ppm dan PfCas₃ 9,60 ppm.

Produksi hormon IAA dipacu oleh adanya triptofan yang merupakan komponen asam amino pada protein, sehingga dapat dengan mudah digunakan oleh mikroorganisme. Apabila asam amino triptofan mengalami hidrolisis oleh enzim triptofamase maka akan menghasilkan indol dan asam piruvat (Prescott, 2002). Tanaman yang diinokulasi dengan PGPR penghasil IAA secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan kemampuannya menyerap N, P, K, Ca dan Mg (Farzana dan Radizah, 2005).

SIDEROFOR

Semua organisme hidup memerlukan besi sebagai elemen pertumbuhan, namun ketersediaan besi di tanah maupun permukaan tanaman sangatlah sedikit. Dalam mengatasi masalah ini, *P. fluorescens* mampu menghasilkan suatu senyawa yang disebut siderofor untuk memperoleh ion besi (Whipps, 2001). Siderofor adalah senyawa pengkelat besi dengan berat molekul rendah yang disekresikan secara ekstraseluler dalam kondisi terbatas. Fungsi utama dari siderofor adalah memasok zat besi ke sel-sel yang kekurangan zat besi (Miller, 2009). Siderofor yang dihasilkan *P. fluorescens* dapat melarutkan fosfor yang dibutuhkan tanaman, sehingga pertumbuhan tanaman lebih baik (Habazar dan Yaherwandi, 2006).

Produksi siderofor umumnya terjadi pada tanah-tanah bereaksi netral sampai basa, dimana kelarutan Fe^{3+} rendah sehingga terjadi kondisi kekurangan unsur besi bagi tanaman dan mikroba. Namun dalam beberapa kasus, pengkkelatan Fe^{3+} dari mineral Fe-P dapat pula terjadi sehingga dapat meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman. Kemampuan pengkkelatan Fe pada tanah-tanah dengan kandungan Fe-fosfat yang tinggi berimplikasi pada penyediaan hara P bagi tanaman (Husen *dkk.*, 2008).

Siderofor yang dihasilkan oleh berbagai bakteri memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap zat besi secara umum. *P. fluorescens* menghasilkan siderofor tipe hidrosamat dengan hasil maksimum dalam medium asam suksinat (SM) termodifikasi (Sivasakthi *dkk.*, 2014). Kemampuan *P. fluorescens* untuk tumbuh dan menghasilkan siderofor bergantung pada kandungan besi dan jenis sumber karbon yang ada dalam medium tumbuhnya (Djibaoui and Bensoltane, 2005). Selain itu, tingkat produksi siderofor tergantung pada kondisi kultur (Urszula, 2006)

Isolat *P. fluorescens* PfLAHp2 menghasilkan produksi siderofor tertinggi yaitu 0,936 dibanding isolat PfCas3 yang menghasilkan produksi siderofor 0,80 (Pratama *dkk.*, 2018). Produksi siderofor oleh bakteri ialah dengan membentuk kompleks Fe^{3+} yang dapat larut yang dapat diambil oleh mekanisme transpor aktif. Kebanyakan siderofor adalah jenis peptida non-ribosomal (Miethke and Marahel, 2007).

PELARUT FOSFAT

Fosfor merupakan unsur utama kedua yang dibutuhkan tanaman setelah nitrogen (Pradhan and Sukla, 2006). Fosfat dibutuhkan dalam fungsi fisiologis tanaman seperti energi, aktivitas enzim, regulasi osmotik, serapan unsur nitrogen, sintesis protein, dan asimilasi (Sutariati 2006). Selain itu, fosfat juga berperan dalam pembentukan sel pada jaringan akar, jaringan tunas yang sedang tumbuh, dan memperkuat jaringan pada batang sehingga tanaman tetap kokoh (Aleel, 2008).

Ketersediaan fosfat di dalam tanah pada umumnya jarang yang melebihi 0,01% dari total fosfor. Hal ini disebabkan fosfat pada tanah masam berikatan dengan Al dan Fe, sedangkan pada tanah alkali akan berikatan dengan Ca, sehingga fosfat sulit larut dan tidak tersedia bagi tanaman (Ginting *dkk.*, 2006). Upaya yang dapat dilakukan untuk

mencukupi ketersediaan fosfat bagi tanaman adalah dengan menggunakan bakteri yang mampu melarutkan fosfat (Gaur, 2022).

Bakteri pelarut fosfat mampu mensekresikan senyawa asam organik, seperti asam glukonat, asam malat, asam suksinat, asam laktat, asam format, dan asam sitrat yang membentuk kelat dengan kation seperti Al dan Fe (Advinda dkk., 2022). Asam-asam tersebut mempengaruhi pelarutan fosfat sehingga fosfor menjadi tersedia dan dapat diserap oleh akar tanaman (Vyas dan Gulati, 2009). Selain itu, *P. fluorescens* dapat menurunkan kadar pH tanah, dan mampu memecahkan ikatan pada beberapa bentuk senyawa fosfat sehingga ketersediaan fosfat pada tanah meningkat (Purwaningsih, 2003).

Hasil penelitian Betty dkk.,(2004) menegaskan pemberian bakteri pelarut fosfat mampu meningkatkan hasil panen tanaman padi gogo karena tingginya aktivitas dan konsentrasi fosfat yang dimilikinya. Salah satu bakteri yang dapat melarutkan fosfat ialah *P. fluorescens*. Bukti bahwa *P. fluorescens* dapat melarutkan fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) yaitu dengan terbentuknya zona bening pada media pikovskaya (Purwaningsih, 2012). *P. fluorescens* melarutkan fosfat dalam bentuk PO_4 menggunakan enzim fosfatase (George dkk. 2002). Fosfatase adalah suatu enzim yang dihasilkan pada saat ketersediaan fosfat rendah. Fosfatase dieksresikan oleh akar tanaman dan mikroorganisme (Joner dkk. 2000).

FIKSASI NITROGEN

Tanaman memiliki peran penting dalam memilih dan memperkaya jenis bakteri dengan komponen eksudat akarnya. Eksudat akar merupakan campuran dari senyawa gula kompleks, seperti glukosa, asam amino, asam organik, asam lemak, dan lainnya (Pinton dkk., 2007). Komunitas bakteri yang ada pada rizosfir berkembang tergantung sifat dan konsentrasi eksudat serta kemampuan bakteri untuk memanfaatkannya sebagai sumber energi (Sivasakthi dkk., 2014). *P. fluorescens* mendapatkan manfaat secara maksimal dari eksudat akar dengan kemampuannya menempel pada permukaan akar dan kemudian mengikat nitrogen (Ahrafuzzaman dkk., 2009).

Nitrogen (N) merupakan unsur penting bagi tanaman. Nitrogen termasuk salah satu komponen yang menyusun protein dan berperan dalam proses fotosintesis (Leghari dkk., 2016). Protein yang terbentuk digunakan untuk membentuk hormon pertumbuhan tanaman (Riska and Anhar, 2022). Anhar dkk., (2018), menyatakan nitrogen dapat memacu pertumbuhan tanaman terutama pada fase vegetatif.

Nitrogen di atmosfer sangat melimpah yaitu sekitar 78%, namun nitrogen tersebut sebagian besar tidak reaktif, sehingga tidak dapat diserap langsung oleh tanaman. Nitrogen hanya dapat diserap oleh tanaman dalam bentuk ion amonium (NH_4^+) atau ion nitrat (NO_3^-). Gas dinitrogen (N_2) dari atmosfer diubah menjadi amonia (NH_3), kemudian difiksasi di dalam tanah melalui proses fiksasi (Martinez-Dalmau dkk., 2021).

Fiksasi nitrogen secara biologis menggunakan *P. fluorescens* menjadi alternatif dalam mencukupi kebutuhan nitrogen bagi tanaman. Hal ini bergantung pada serangkaian proses dengan cara mengubah N_2 menjadi bentuk anorganik yang kemudian diserap tanaman. *P. fluorescens* menambat nitrogen di udara melalui non-simbiosis (*freeliving nitrogen-fixing bacteria*) (Simanungkalit dkk., 2004). Menurut Sapalina dkk., (2022), nutrisi yang diperlukan untuk bakteri penambat nitrogen non-simbiosis (seperti: P, Fe, Mo, dan V) harus diperoleh oleh diazotrof (mikroorganisme penambat N).

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kehadiran Allah SWT.yang telah memberi kesempatan penulis untuk menulis artikel ini. Terima kasih kepada semua pihak yang ikut berpartisipasi memberikan bantuan kepada penulis demi kelancaran penelitian dan penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- Advinda, L. (2020). Monograf Pseudomonad Fluoresen Agens Biokontrol *Blood Disease Bacteria* (BDB) Tanaman Pisang.Yogyakarta : Deepublish.
- Advinda, L., Fifendy, M., Anhar, A., Leilani, I. dan Liza Sahara A. (2018). Pertumbuhan Stek Horizontal Batang Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Yang Diintroduksi Dengan Pseudomonad Fluoresen.*Eksakta* Vol.19.No. 1.
- Advinda, L., Putri, D. H., Anhar, A., and 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.

- Ashrafuzzaman M, Hossen FA, Ismail MR, Hoque MA, Islam MZ, Shahidullah SM, Meon S (2009). Efficiency of plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *Afr. J. Biotechnol.* 8(7):1247-1252
- Aleel, K.G. (2008). Phosphate Accumulation in Plant: Signaling. *Plant Physiol.* 148:3-5
- Anhar, A., Febri, D., dan Linda, A. (2011). Respons pertumbuhan tanaman padi (*Oryza sativa* L.) terhadap introduksi pseudomonad fluoresen. *Eksakta*.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).
- Asril, Muhammad. (2017). uji potensi Bacillus sp dan Escherichia coli dalam menghasilkan indole acetic Acid (IAA) Tanpa Menggunakan Triptofan Pada Media Pertumbuhan. *Journal Of Science And Applicative Technologi.* 1 (2) : 82-86
- Betty, N.F.,Anni, Y. dan Oviyanti, M. (2004). Peranan Bakteri Pelarut Fosfat Penghasil Hormon Dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Tanaman Hasil Padi Gogo.Staf Pengajar Fakultas Pertanian UNPAD.
- Bhatnagar A. and Bhatnagar M. (2005) : Microbial Diversity in Desert Ecosystems. *Curr. Sci.* Vol.8(9). P : 91-100.
- Chrisnawati, Sudjijo, Marlen, L., dan Nasrun. (2017). Evaluasi antagonis *Pseudomonas fluorescens* dalam mengendalikan penyakit layu fusarium pada tomat. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon.* 3(2): 273–277.
- Deshwal, V.K dan Kumar, P. (2013). Plat Growth Promoting Activity of Pseudomonads in Rice Crop. *Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci* (2013) 2 (11) : 152-157.
- Djibaoui R, Bensoltane A (2005). Effect of iron and growth inhibitors on siderophore production by *Pseudomonas fluorescens*. *Afr. J. Biotechnol.* 4(7):692-702.
- Dewi, T. K., Arum, E. S., Imamuddin, H., & Antonius, S. (2015). Karakterisasi mikroba perakaran (PGPR) agen penting pendukung pupuk organik hayati. In *Prosiding Seminar Nasional Masy Biodiv Indonesia* (Vol. 1, No. 2, pp. 289-295).
- Dorjey, S., Dolkar, D., & Sharma, R. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria *Pseudomonas*: a review. *Int J Curr Microbiol App Sci*, 6(7), 1335-1344.
- Farzana Y, Radizah O (2005). Pengaruh inokulasi rizobakteri terhadap pertumbuhan kultivar ubi jalar. *Online J.Biol.Sains.* 1(3):176-179.
- Gaur, A.C., (2002). Microbial mineral phosphate solubilization- An overvie FirstNatl. Symp. On Mineral Phosphate Solubilizing (Eds. A.R. Alagawadi, P.U.Krishnaraj, M.S. Kuruvinashetti) UAS, Dharwad, pp 1-2 :14-16
- George, T.S., Gregori,P.J., Wood, M., Read, J., and Buresh, R.J. (2002). Phosphatase Activity and Organic Acid In The Rhizosphere Of Potential Agroforestry Speciesand Maize .*Soil. Biol. Biochem.* 34: 1487-1494.
- Ginting, R. C. Badia., R. Saraswati., dan E. Husen. (2006). Mikroorganisme Pelarut Fosfat. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Perta
- Habazar T & Yaharwandi.(2006). Pengendalian Hayati Hama dan Penyakit Tumbuhan. Padang: Andalas University Press.
- Husen, E., Saraswati, R., & Hastuti, R. D. (2008). Rizobakteri pemacu tumbuh tanaman. *Pupuk organik dan pupuk hayati*, 191.
- Jeon, J. S., Lee S. S., Kim H. Y., Ahn T. S., and Song H. G.. (2003). Plant Growth Promotion in Soil by Some Inoculated Microorganism. *Jurnal.Microbiol.* 41: 271-276.
- Joner, E.J., Aarle, I.M. and Vosatka, M. (2000). Phosphatase activity of extraradical arbuscular mycorrhiza hyphae: a review. *Plant and Soil* 226, 199-210.
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., Laghari, A. H., Bhabhan, G. M., Talpur, K. H., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., & Lashari, A. A. (2016). Role of Nitrogen for Plant Growth and Development : A review. *Advances InEnvironmental Biology*, 10(9), 209–218.
- Martinez-Dalmau, J., Berbel, J., & OrdonezFernandez, R. (2021). Nitrogen Fertilization. A Review of the Risks Associated with the Inefficiency of Its Use and Policy Responses. *Sustainability*, 13(5625), 1–15.
- Mehnaz S, Weselowski B, Aftab F, Zahid S, Lazarovits G, Iqbal J (2009). Isolasi, karakterisasi, dan efek *Pseudomonas* berpendar pada tebu yang diperbanyak secara mikro. *Kanada J. Mikrobiol.* 55(8):1007–1011.
- Miethke, M., & Marahiel, M. A. (2007). Siderophore-based iron acquisition and pathogen control. *Microbiology and molecular biology reviews*, 71(3), 413-451.
- Miller, Marvin J (2009). Siderophores (iron chelators) an siderophoredrug conjugates (new methods for microbially selective drug delivery). University of Notre Dame. Dame, 4/21/2008.
- Patten, C. L., and Glick, B. R. (2002). Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and environmental microbiology*, 68(8), 3795-3801.
- Pinton, R., Varanini, Z., & Nannipieri, P. (2007). The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface Second Edition. In Taylor & Francis Group(pp. 1–316).

- Pratama, I., Advinda, L., & Fifendy, M. (2018). Pengaruh Sumber Karbon terhadap Produksi Siderofor dari Bakteri PS*Pseudomonas* Fluoresen. *Bioscience*, 2(2), 50-57.
- Pradhan N, Sukla LB (2006). Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. *Afr. J. Biotechnol.* 5:850-854.
- Prescott, H. (2002). *Laboratory Exercise in Microbiology*. Tha-Graw Hil Company. New York.
- Purwaningsih, S. (2003). Isolasi, Populasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah dari Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, Sulawesi Utara, *Biologi*, Vol 3 No 1 . Hal 22-31.
- Putra, A.W., dan Advinda, L. (2022). Pengaruh *Pseudomonas* Fluoresen Penghasil *Indole Acetic Acid* (IAA) Terhadap Perkecambah Cabai Merah (*Capsicum annum* L.). *Serambi Biologi* .Vol.7 No.1 pp.1-6 2022.
- Rahni, N. M. (2012). Efek fitohormon PGPR terhadap pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*). *CEFARS: Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, 3(2), 27-35.
- Riska, R., and Anhar, A. (2022). The Effect of Eco enzyme Application method on the Growth of Mustard Plants (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Serambi Biologi*, 7(3), 275-282.
- Simanungkalit, R. D. M., Saraswati, R., Hastuti, R. D., & Husen, D. E. (2004). Bakteri Penambat Nitrogen. In Pupuk Organik dan Pupuk Hayati (pp. 113-140).
- Simanungkalit, R. D. M., Saraswati, R., Hastuti, R. D., & Husen, D. E. (2004). Bakteri Penambat Nitrogen. In Pupuk Organik dan Pupuk Hayati (pp. 113-140).
- 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.
- Spaepen S, Vanderleyden J, Okon Y. (2009). Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Adv Botl Res* 51: 283-320.
- Sutariati, G. A. K., Widodo, W., Sudarsono, S., & Ilyas, S. (2006). Pengaruh perlakuan rizo-bakteri pemacu pertumbuhan tanaman terhadap viabilitas benih serta pertumbuhan bibit tanaman cabai. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 34(1).
- Urszula J (2006). Synthesis of siderophores by soil bacteria of the genus *Pseudomonas* under various culture conditions. *Agricultura*, 5(2):33-44.
- Van Loon LC. (2007). Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *Eur J Plant Pathol* 119:243-254.
- Vyas, P., & Gulati, A. (2009). Produksi asam organik in vitro dan promosi pertumbuhan tanaman pada jagung di bawah lingkungan yang terkendali oleh *Pseudomonas fluorescens* pelarut fosfat. *Mikrobiologi BMC*, 9:174.
- Wahyudi, A.T. (2009). Rhizobacteria Pemacu Pertumbuhan Tanaman : Prospeknya sebagai Agen Biostimulator & Biokontrol. *Nano Indonesia*. <https://www.nuance.com/index.html>
- Whipps, JM (2001). Interaksi