

Kajian Literatur : Penggunaan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Mengurangi Pemakaian Pupuk Anorganik pada Tanaman Pertanian

Literature Review: Use of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Increase Growth and Reduce usage of Inorganik Fertilizers in Agricultural Crops

MIFTAHUL JANNAH^{1*}, RABIATUL JANNAH^{2**}, FAHRUNSYAH^{3***}

^(1,2,3)Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman Jl. Pasir Belengkong, Kampus Gunung Kelua, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia.

E-Mail : rabiatul.jannah@faperta.unmul.ac.id

Manuscript received: 04-03-2022 Revision accepted: 19-05-2022

Abstract. Fulfillment of nutrient needs can be done through inorganic fertilization that can meet plant nutrient needs in a relatively short time, but can leave chemical residues that cause compaction of the soil. Provision of Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as biological fertilizer is an alternative to fertilization that can fertilize and nourish the soil, and reduce environmental pollution due to excessive use of inorganic fertilizers. This study aims to discuss the PGPR mechanism in supporting plant growth and reducing the use of inorganic fertilizers and the types of PGPR involved in each mechanism. This literature review was conducted in April-July 2021 using secondary data (indirect data collection) through library research, namely collecting information from scientific sources such as scientific journals, theses, scientific publications, regulations related to research topics, expert opinion, as well as various experimental studies. The results of this study indicate that PGPR is able to increase plant growth through its mechanism that can fix nitrogen, dissolve phosphate, and be able to produce the hormone indole acetic acid. Reducing the amount of use of organic fertilizers with the use of PGPR through a nitrogen fixation mechanism of 25-50%, through the dissolution of bound phosphate by 50% and through the mechanism of producing AIA by 50%. Types of PGPR involved in nitrogen fixation mechanisms include Azotobacter, Azospirillum, Rhizobium, Bradhyrhizobium, Mesorhizobium, Sinorhizobium, Frankia and Bacillus. Types of PGPR that play a role with the phosphate dissolution mechanism include Pseudomonas, Azotobacter, Flavobacterium, Micrococcus and Staphylococcus. Types of PGPR using AIA-producing mechanisms are Azotobacter, Pseudomonas, Bacillus and Azospirillum.

Keywords: PGPR, biofertilizer, nitrogen fixation, phosphate solubilization, hormone AIA

Abstrak. Pemenuhan kebutuhan hara dapat dilakukan melalui pemupukan anorganik yang dapat memenuhi kebutuhan hara tanaman dalam waktu yang relatif singkat, tetapi dapat meninggalkan residu kimia yang menyebabkan pematatan pada tanah. Pemberian *Plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) sebagai pupuk hayati merupakan salah satu alternatif pemupukan yang dapat menyuburkan dan menyehatkan tanah, serta mengurangi pencemaran lingkungan akibat pemakaian penggunaan pupuk anorganik yang berlebih. Kajian ini bertujuan untuk membahas mengenai mekanisme PGPR dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan pengurangan penggunaan pupuk anorganik serta jenis-jenis PGPR yang terlibat pada masing-masing mekanisme. Kajian literatur ini dilakukan pada bulan April-Juli 2021 menggunakan data sekunder (pengumpulan data secara tidak langsung) melalui studi pustaka, yaitu mengumpulkan informasi dari sumber-sumber ilmiah seperti jurnal ilmiah, skripsi, publikasi ilmiah, peraturan-peraturan yang berkaitan dengan topik penelitian, pendapat ahli, maupun berbagai studi eksperimental. Hasil kajian ini menunjukkan bahwa PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanismenya yang dapat memfiksasi nitrogen, melarutkan fosfat, dan mampu menghasilkan hormon asam indol asetat. Pengurangan jumlah penggunaan pupuk organik dengan penggunaan PGPR melalui mekanisme fiksasi nitrogen sebanyak 25-50%, melalui pelarutan fosfat terikat sebanyak 50 % dan melalui mekanisme penghasil AIA sebanyak 50%. Jenis PGPR yang terlibat dalam melalui mekanisme fiksasi nitrogen antara lain *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bradhyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Frankia* dan *Bacillus*. Jenis PGPR yang berperan dengan mekanisme pelarutan fosfat antara lain *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* dan

Staphylococcus. Jenis PGPR menggunakan mekanisme penghasil AIA adalah *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Azospirillum*.

Kata kunci: PGPR, pupuk hayati, fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, hormon AIA

PENDAHULUAN

Pemupukan dilakukan untuk meningkatkan hasil pertanian agar bisa memenuhi kebutuhan hara tanaman dan menambah kesuburan tanah. Salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan menggunakan pupuk anorganik. Penggunaan pupuk anorganik dianggap lebih praktis dalam penggunaannya karena mudah diaplikasikan dan hasilnya cenderung cepat terlihat, namun pemakaian pupuk anorganik secara berlebihan dapat mengakibatkan degradasi lahan. Pupuk hayati (*biofertilizer*) dapat digunakan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik. Pemakaian pupuk hayati dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi pemupukan (Varvel & Wilhelm, 2008). Pupuk hayati adalah pupuk yang berasal dari inokulan berbahan aktif mikroorganisme yang memiliki fungsi untuk menambah hara tertentu atau memfasilitasi tersedianya hara tanah bagi tanaman (Marom et al., 2017). Pupuk hayati dilakukan dengan menambahkan mikroorganisme ke dalam tanah untuk meningkatkan pengambilan hara oleh tanaman dari dalam tanah dan udara.

Mikroorganisme yang digunakan adalah mikroorganisme yang memberi keuntungan dan mampu hidup bersama dengan tanaman inangnya. Kedua pihak sama-sama mendapat keuntungan, tanaman inang memperoleh tambahan unsur hara yang diperlukan dan mikroorganisme memperoleh bahan organik untuk pertumbuhan dan aktivitasnya. Pemberian bakteri pemacu tumbuh sebagai pupuk hayati merupakan salah satu proses yang dapat menyuburkan dan menyehatkan tanah, serta mengurangi pencemaran lingkungan akibat pemakaian pupuk anorganik yang berlebih.

Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) merupakan bakteri yang hidup di sekitar daerah perakaran (rizosfer). Bakteri ini memiliki kemampuan untuk mengkolonisasi akar dan berperan penting dalam pertumbuhan tanaman (Ashrafuzzaman et al., 2009). Penggunaan PGPR sebagai pupuk hayati merupakan usaha pada bidang bioteknologi untuk meningkatkan produktivitas pertanian. PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman karena bersifat merangsang pertumbuhan (biostimulan) dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh, dapat memfasilitasi tersedianya unsur hara esensial, serta sebagai pengendali patogen tanah (bioprotektan) (Marom et al., 2017).

Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengetahui mekanisme PGPR dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, jenis-jenis mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok PGPR, dan peran PGPR dalam mengurangi pemakaian pupuk anorganik.

BAHAN DAN METODE

Waktu

Kajian literatur ini dilaksanakan pada bulan April-Juli 2021.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder (pengumpulan data secara tidak langsung) melalui studi pustaka, yaitu mengumpulkan informasi dari sumber-sumber ilmiah seperti jurnal ilmiah, skripsi, publikasi ilmiah, peraturan-peraturan yang berkaitan dengan topik penelitian, pendapat ahli, maupun berbagai studi eksperimental. Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan berbagai data-basis seperti *ScienceDirect*, *Pub-Med*, dan *Google Scholar*.

Tahapan Kajian Literatur

Tahapan yang digunakan pada kajian literatur ini adalah:

- 1) Pengorganisasian, yaitu menemukan literatur-literatur yang relevan dan kemudian mengorganisasi literatur-literatur tersebut dengan maksud untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun tahap dalam mengorganisasi literatur adalah mencari ide, tujuan umum, dan simpulan dari literatur dengan membaca abstrak, beberapa paragraf pendahuluan, dan kesimpulannya, serta mengelompokkan literatur berdasarkan kategori-kategori tertentu.
- 2) Identifikasi, yaitu meninjau dan mengkaji hasil literatur-literatur tersebut dengan maksud menemukan bagian yang dianggap paling penting dan berguna, kemudian menganalisa lebih lanjut hasil tersebut untuk mencapai tujuan

penelitian.

- 3) Sintesa, yaitu menyatukan hasil organisasi dan identifikasi literatur agar menjadi satu kesatuan yang padu, dengan mencari keterkaitan antar literatur sehingga menghasilkan suatu interpretasi hasil yang berguna untuk mencapai sasaran akhir tujuan penelitian yang berfokus pada pengaruh dari penggunaan PGPR terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman.

HASIL DAN DISKUSI

Hasil Kajian Literatur

Pada kajian literatur ini, setelah melalui tahapan Kajian Literatur berupa pengorganisasian, identifikasi dan sintesa terdapat 30 jurnal terpilih. Berdasarkan hasil kajian tersebut dapat digolongkan mekanisme PGPR dalam upaya mengurangi pemupukan anorganik, yaitu melalui :

1. Pemfiksasian nitrogen
2. Pelarutan fosfat
3. Penghasil hormon asam indol asetat (AIA)

Diskusi

PGPR Sebagai Pemfiksasi Nitrogen

Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO), penggunaan pupuk N anorganik di dunia mencapai 13×10^7 ton per tahun (Tarigan, 2013), 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 (Shailendra Singh, 2015). Pemberian PGPR yang dapat memfiksasi N merupakan salah satu cara untuk mengurangi pemakaian pupuk anorganik. Aplikasi pupuk NPK sebanyak 75% dari dosis yang dikombinasikan dengan pupuk hayati yang mengandung PGPR *Azotobacter* sp. dan *Azospirillum* sp. pada tanaman bawang merah berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, berat brangkasan, berat basah umbi dan berat kering umbi bawang merah. Serapan N juga meningkat pada tanaman yang diaplikasikan pupuk hayati dibandingkan dengan tanaman yang hanya memakai pupuk NPK 100%. Peningkatan ini terjadi karena peran dari kedua bakteri tersebut yang mampu memfiksasi N dari udara dan pupuk sehingga mampu menyuplai kebutuhan hara N pada tanaman. Pemberian pupuk hayati yang mengandung PGPR mampu mengurangi pemakaian pupuk NPK sebanyak 25% dari dosis pemupukan (Hendarto et al., 2021). Penelitian mengenai *Azotobacter* dan *Azospirillum* yang dilakukan oleh (Widiyawati et al., 2014) pada tanaman padi sawah mempunyai pengaruh yang baik terhadap peningkatan tinggi tanaman, bobot kering akar, jumlah gabah isi per malai, kehijauan daun, serta serapan dan kandungan N pada tanaman. Konsorsium dari *Azotobacter* dan *Azospirillum* juga mampu mengurangi penggunaan pupuk N anorganik sebanyak 25% dari dosis rekomendasinya yakni 100 kg N ha^{-1} . Penelitian yang dilakukan oleh (Hindersah et al., 2018) menunjukkan bahwa Inokulasi bakteri *Azotobacter* yang disertai dengan penurunan dosis pemupukan NPK anorganik pada tanaman kacang panjang memiliki hasil yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol yang memakai dosis pemupukan NPK rekomendasi, sehingga inokulasi bakteri *Azotobacter* pada tanaman kacang panjang dapat mengurangi pemakaian pupuk NPK anorganik sebanyak 50% tanpa mengurangi hasilnya. Kemampuan bakteri *Azotobacter* dalam mengurangi pemakaian pupuk NPK anorganik ini dikarenakan sifat dari PGPR yang mampu memfiksasi N di udara.

PGPR mampu mengikat N bebas karena adanya enzim nitrogenase yang mereduksi N_2 di udara menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (Dighe et al., 2010). 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. *Rhizobium* adalah bakteri simbiotik yang mampu menyediakan hara bagi tanaman dengan bersimbiosis dan mengkolonisasi akar tanaman legum. Apabila bersimbiosis dengan tanaman legum, kelompok bakteri ini akan menginfeksi akar tanaman dan membentuk bintil akar. *Rhizobium* hanya dapat memfiksasi N bebas bila berada di dalam bintil akar dari tanaman legum. Peranan *Rhizobium* terhadap pertumbuhan tanaman khususnya berkaitan dengan ketersediaan N bagi tanaman inangnya (Sari & Prayudyaningsih, 2015). Selain *Rhizobium* terdapat bakteri simbiotik lain yang mampu memfiksasi N yakni *Bradryrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, dan *Frankia* (Shailendra Singh, 2015)

Potensi isolat bakteri PGPR sebagai pemfiksasi N bagi tanaman ditemukan pada rizosfer lahan pertanian jagung dan padi. Penelitian ini berhasil memperoleh 20 isolat bakteri pemfiksasi N setelah dilakukan uji ekskresi amonium. Pada rizosfer tanaman padi terdapat 16 isolat bakteri dan 4 isolat lainnya berasal dari rizosfer tanaman jagung. Keragaman bakteri yang hidup pada rizosfer tanaman padi lebih banyak daripada bakteri yang ada pada rizosfer tanaman jagung (Hartono & Jumadi, 2014). Keragaman bakteri ini ditentukan oleh faktor lingkungan, faktor fisik dan kimia tanah (Marista et al., 2013). Pada daerah pertanian bawang merah, ditemukan 28 isolat yang mampu memfiksasi N yang berasal dari berbagai genus, yaitu *Azospirillum*, *Azotobacter*, dan *Rhizobium* (Amalia et al., 2020).

Bakteri yang diisolasi dari tanah rizosfer perkebunan kelapa sawit menunjukkan hasil bahwa terdapat 13 isolat bakteri yang mampu memfiksasi N, dari 13 isolat yang diuji kemampuannya, terdapat satu isolat yang paling baik dalam memfiksasi N, isolat bakteri ini kemudian diidentifikasi jenisnya dan ditemukan bahwa isolat ini berasal dari jenis *Bacillus aerius* strain 24K (Asrul & Pugeg Aryantha, 2021). Penelitian mengenai bakteri PGPR yang diisolasi dari rizosfer tanah persawahan menunjukkan bahwa terdapat bakteri non-simbiotik yang mampu memfiksasi N, bakteri ini adalah *Azotobacter* sp. (Ristiati, 2015). Penelitian lain yang dilakukan pada lahan sawah menemukan bakteri *Azotobacter chroococum* dan *Azospirillum irakense* yang mampu memfiksasi N (Nana Danapriatna, 2016).

Tanaman yang diinokulasikan dengan PGPR pemfiksasi N dapat membuat kadar N tersedia semakin meningkat sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh (Hindersah et al., 2017) membuktikan bahwa inokulasi ganda bakteri *Azotobacter* dan *Bradhyrhizobium japonicum* dengan kombinasi sulfur (30 kg ha^{-1}) dapat meningkatkan pengambilan N dari tanah dan pupuk sehingga serapan N tanaman meningkat. Penelitian lain juga membuktikan bahwa tanaman kedelai yang ditanam pada pot dan diinokulasikan dengan bakteri *Azotobacter chroococum* dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman, bobot kering akar dan serapan N pada umur 21 hari setelah tanam (HST). Peningkatan serapan N berasal dari pemberian *Azotobacter chroococum* yang berhasil mengkolonisasi rizosfer dan *Bradhyrhizobium* yang berada pada bintil akar kedelai (Hindersah et al., 2017). Kolonisasi akar oleh bakteri menguntungkan adalah titik awal penting untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Kepadatan bakteri di rizosfer memperlihatkan kemampuan dari bakteri tersebut untuk mengkolonisasi rizosfer tanaman. Bakteri yang diperlukan harus berasal dari isolat-isolat yang unggul sebagai bahan inokulasi, karena keberhasilan bakteri tergantung kepada kemampuan isolat yang diintroduksi untuk bertahan hidup dan memperbanyak diri sehingga dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman (Widiyawati et al., 2014).

PGPR Sebagai Pelarut Fosfat

Pupuk anorganik diberikan karena ketersediaan P dalam tanah sangat rendah, yaitu kurang dari 0,01% dari total P (S. M. Lestari et al., 2019), tetapi pemberian dosis pupuk yang tinggi tidak sejalan dengan ketersediaan P dalam tanah karena sebagian P dalam bentuk yang tidak terlarut sehingga menyebabkan penggunaan pupuk P menjadi tidak efisien (Puspitawati et al., 2014). Aplikasi pupuk hayati yang mengandung bakteri *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. yang dikombinasikan dengan pupuk NPK pada tanaman cabai rawit berpengaruh nyata terhadap jumlah daun, luas daun, jumlah cabang, jumlah buah, bobot basah dan bobot kering tanaman. Pada penelitian ini, perlakuan kombinasi antara pupuk hayati dan pupuk NPK sebanyak 50% pada tanaman cabai rawit memberikan hasil yang lebih baik daripada tanaman yang hanya menggunakan pupuk NPK 100%, hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi bakteri dari kelompok PGPR mampu mengefisieni penggunaan pupuk sehingga dapat mengurangi dosis pupuk anorganik hingga 50% (Roidah, 2013).

Penelitian yang dilakukan oleh (Puspitawati et al., 2014), menemukan bahwa aplikasi PGPR yang mampu melarutkan fosfat pada tanaman padi sawah yang memakai isolat bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang dikombinasikan dengan 50% dosis rekomendasi pupuk P anorganik pada sistem budidaya SRI (*system of rice intensification*) memiliki hasil yang tidak berbeda nyata dengan tanaman padi yang dipupuk 100% pupuk P anorganik pada parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, jumlah gabah isi per rumpun, dan bobot gabah isi. Serapan hara P lebih tinggi daripada tanaman yang hanya dipupuk oleh 100% pupuk anorganik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bakteri pelarut fosfat dapat mensubstitusi dosis pemupukan P anorganik sampai dengan 50% karena kemampuannya dalam meningkatkan serapan hara P pada tanaman. Penelitian mengenai serapan hara P pada jaringan tanaman menunjukkan bahwa aplikasi bakteri *Pseudomonas fluorescens* dengan kombinasi pupuk *rock phosphate* (50% dari dosis rekomendasi pupuk P) pada tanaman tomat memperlihatkan hasil yang berbeda nyata pada kandungan P jaringan, kandungan klorofil, berat kering dan berat buah tanaman tomat dibandingkan dengan tanaman yang hanya dipupuk 100% dengan pupuk *rock phosphate*. Hasil ini mengindikasikan bahwa penambahan bakteri pelarut fosfat *Pseudomonas fluorescens* dapat meningkatkan ketersediaan fosfat dan serapan hara P pada jaringan tanaman sehingga dapat mengefisieni penggunaan pupuk (S. M. Lestari et al., 2019).

PGPR diketahui mampu melarutkan fosfat dengan mekanisme pembentukan khelat dan produksi asam-asam organik seperti asam format, asetat, propionat, laktat, glikolat, fumarat dan suksinat (Suliasih et al., 2010). Menurut

hasil penelitian (Sugianto et al., 2019), pada rizosfer tanaman tebu terdapat 4 isolat bakteri yang diuji secara kualitatif berpotensi sebagai agen PGPR yang dapat melarutkan fosfat, isolat ini ditumbuhkan pada media pikovskaya dan menunjukkan bahwa bakteri tersebut mampu melarutkan fosfat, hal ini ditandai dengan terbentuknya zona bening di sekitar koloni pada media pikovskaya. Terbentuknya zona bening pada media pikovskaya mengindikasikan bahwa bakteri tersebut mampu melarutkan fosfat (Fitriatin et al., 2020). Isolasi bakteri pelarut fosfat yang berasal dari tanah masam dan diinokulasikan pada bibit tanaman jagung mampu meningkatkan panjang akar bibit jagung 67,7-74,5% dibandingkan dengan kontrol. Penelitian ini menunjukkan bahwa isolat bakteri tersebut berpotensi sebagai agen *biofertilizer* karena kemampuannya dalam menyediakan fosfat dan meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung pada tanah masam (Fitriatin et al., 2020).

Penelitian lain yang dilakukan pada tanah masam bekas areal perkebunan karet juga terdapat 4 isolat bakteri potensial yang mampu melarutkan fosfat pada uji kualitatif dengan menggunakan media pikovskaya. Bakteri ini berasal dari genus *Pseudomonas* (Asril & Lisafitri, 2020). Bakteri *Pseudomonas* telah banyak dilaporkan sebagai bakteri yang memiliki konsentrasi pelarutan fosfat tertinggi di rizosfer (Reyes et al., 2007). (Mohamed et al., 2018) melaporkan bahwa terdapat bakteri *Bacillus subtilis* dan *Serratia marcescens* yang diisolasi dari rizosfer tanaman tomat yang mampu melarutkan fosfat dan berpotensi sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman.

Isolasi PGPR yang mampu melarutkan fosfat yang dilakukan oleh (Marista et al., 2013) pada tiga jenis tanah rizosfer (tanah aluvial, gambut, dan podsolik merah kuning) yang ditanami dengan tanaman pisang nifah di kota Singkawang, ditemukan isolat yang berpotensi melarutkan fosfat. Pada tanah aluvial yang memiliki pH 6,03 dengan rata-rata kepadatan bakteri $7,9 \times 10^8$ cfu gr⁻¹ tanah, ditemukan 4 genus bakteri pelarut fosfat yaitu *Azotobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium* dan *Micrococcus*. Tanah gambut memiliki pH 4,91 dengan rata-rata kepadatan bakteri sebesar $7,3 \times 10^8$ cfu gr⁻¹ tanah, terdapat 5 genus bakteri yaitu *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Staphylococcus*. Tanah podsolik merah kuning dengan pH 5,15 yang memiliki rata-rata kepadatan bakteri sebesar $7,1 \times 10^8$ cfu gr⁻¹ tanah, terdapat 6 genus yaitu *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, dan *Paracoccus*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan pH tanah pada setiap lokasi dapat menghasilkan jenis bakteri yang berbeda. Menurut (Wijanarko & Taufiq, 2004), menyatakan bahwa perbedaan jenis bakteri tanah dipengaruhi oleh faktor kimia tanah, fisik tanah dan kondisi lingkungannya.

Pemberian inokulan PGPR yang mampu melarutkan fosfat pada tanaman tomat memperlihatkan hasil yang baik pada pertumbuhan tinggi tanaman dan berat buah tomat yang dihasilkan. Tinggi tanaman tomat yang diinokulasikan bakteri pelarut fosfat mendapatkan hasil tertinggi dibandingkan dengan kontrol dan 3 perlakuan lainnya yang memakai pupuk kompos, pupuk kotoran ayam dan sekam, dan pupuk NPK. Hasil ini menunjukkan bahwa rizobakteri pelarut fosfat mampu menstimulasi hara lebih cepat bagi pertumbuhan tanaman tomat. Pada buah tomat, bakteri tersebut juga mampu menghasilkan berat buah tomat yang tertinggi dengan persentase kenaikan mencapai 88,2% terhadap kontrol atau kenaikan sebesar 47,9% jika dibandingkan dengan tanaman yang diberi pupuk NPK. Pemberian bakteri PGPR pelarut fosfat mendorong ketersediaan unsur hara yang lebih cepat dibandingkan dengan pemberian pupuk anorganik sehingga meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Suliasih et al., 2010). Inokulasi isolat PGPR *Flavobacterium johnsoniae* pada tanaman kedelai memiliki pengaruh yang signifikan dibandingkan dengan tanaman yang tanpa perlakuan PGPR. Inokulasi PGPR mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah daun dan kandungan klorofil serta dapat meningkatkan berat biji kedelai. Peningkatan tersebut terjadi karena isolat PGPR tersebut mampu beradaptasi dengan lingkungan perakaran kedelai dan bersimbiosis dengan akar kedelai secara baik sehingga dapat membantu menyediakan kebutuhan fosfat tanaman.

PGPR Sebagai Penghasil Hormon Asam Indol Asetat (AIA)

Asam indol asetat (AIA) merupakan salah satu hormon pertumbuhan tanaman yang merupakan kelompok auksin dan berperan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman (Istiqomah et al., 2017). Hormon AIA berperan dalam mengendalikan banyak proses fisiologis penting termasuk pembesaran dan pembelahan sel, deferensiasi jaringan, respon terhadap cahaya dan gravitasi (Tarigan, 2013), merangsang perkecambahan benih, meningkatkan laju pembentukan xilem dan perkembangan akar, berperan dalam biosintesis berbagai metabolit, mengontrol proses pertumbuhan vegetatif, dan resisten terhadap kondisi stress (Spaepen & Vanderleyden, 2011). Tanaman memiliki keterbatasan mensintesis hormon AIA untuk mendukung pertumbuhan yang optimal (P. Lestari et al., 2015). Tanaman memerlukan hormon pemacu pertumbuhan yang berasal dari luar seperti penambahan mikroorganisme yang mampu mensintesis hormon AIA. Hormon AIA yang diproduksi oleh non tumbuhan diistilahkan dengan AIA eksogen (Berg & Smalla, 2009).

Penelitian yang menginokulasi bakteri *Azotobacter chroococcum* pada tanaman kacang tanah dengan kombinasi pupuk NPK sebanyak 150 kg ha⁻¹ menunjukkan hasil yang baik pada peningkatan tinggi tanaman pada minggu ketiga setelah tanam, peningkatan juga terjadi pada bobot akar tanaman yang memiliki hasil lebih tinggi

dibandingkan dengan perlakuan yang diberi pupuk NPK sebanyak 300 kg ha⁻¹ (dosis rekomendasi). Penggunaan bakteri memiliki kemampuan yang setara dengan pemupukan anorganik. Kombinasi bakteri *Azotobacter chroococcum* dan pupuk NPK 50% memiliki hasil yang tidak berbeda nyata pada bobot kering tajuk dengan perlakuan yang memakai 100% pupuk NPK. Penelitian ini menunjukkan bahwa *Azotobacter chroococcum* mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman karena kemampuannya dalam menghasilkan hormon AIA (Ikhsani et al., 2018).

Penelitian (Widiastuti & Suharyanto, 2010) yang menguji beberapa isolat bakteri *Azotobacter* sp. dengan kombinasi pupuk NPK 50% dari dosis anjuran pada pertumbuhan tanaman sorgum menunjukkan hasil bahwa terdapat 8 isolat bakteri *Azotobacter* sp. yang mampu menghasilkan bobot basah akar lebih tinggi dibandingkan dengan bobot basah tanaman yang dipupuk dengan pupuk NPK 100% dari dosis anjuran, hal ini disebabkan karena kemampuan bakteri *Azotobacter* sp. dalam memproduksi hormon asam indol asetat (AIA). Hormon AIA diketahui dapat menghasilkan lebih banyak akar lateral, rambut akar dan cabang rambut akar (P. Lestari et al., 2016). Penelitian ini sesuai dengan penelitian (Tarigan, 2013) yang melaporkan bahwa terdapat 6 isolat *Azotobacter* dengan pengujian kualitatif yang mampu menghasilkan hormon AIA.

Isolasi bakteri penghasil AIA yang berasal dari rizosfer tanaman jagung dengan ditemukan 4 isolat, dan pada rizosfer yang ditanami tanaman kacang tanah terdapat 6 isolat bakteri yang mampu menghasilkan hormon AIA. Kadar fitohormon yang dihasilkan dari tanaman jagung sebesar 53,61 ppm dan pada tanaman kacang tanah sebesar 67,30 ppm. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan akar tanaman kacang tanah yang membentuk nodul akar dan menghasilkan triptofan yang selanjutnya diubah menjadi AIA oleh bakteri tersebut. Kepadatan bakteri penghasil AIA pada rizosfer tanaman jagung sebesar 26,37 x 10⁶ cfu gr⁻¹ tanah, sedangkan pada rizosfer tanaman kacang tanah mencapai 30,44 x 10⁶ cfu gr⁻¹ tanah. Perbedaan kepadatan populasi ini dipengaruhi oleh pH tanah, karena pada umumnya bakteri cenderung menyukai tanah yang memiliki pH netral. Tanah rizosfer kacang tanah memiliki pH 5,70 yang lebih tinggi dari rizosfer jagung yaitu 5,60 (Agustian et al., 2010). Selain dipengaruhi oleh pH, tingginya total populasi bakteri pada rizosfer juga berkaitan dengan unsur hara seperti Ca, Mg, K, N, P dan kandungan bahan organik tanah. (Stio, 2021) menyatakan bahwa populasi mikroorganisme yang meningkat menggambarkan adanya suplai makanan atau energi yang cukup dan kondisi ekologi lain yang mendukung seperti transformasi N atau P serta kandungan unsur hara makro dan mikro seperti Ca, Mg dan K.

Bakteri penghasil hormon AIA juga ditemukan pada tanah rizosfer yang ditanami kedelai. (Tarigan, 2013) melaporkan bahwa terdapat 5 isolat bakteri yang mampu menghasilkan hormon AIA, dengan konsentrasi hormon AIA paling tinggi yang didapatkan sebesar 33,30 ppm dan yang terendah sebesar 15,00 ppm. Variasi konsentrasi hormon AIA yang dihasilkan oleh isolat bakteri diduga karena perbedaan kemampuan kecepatan bakteri dalam mensintesis triptofan menjadi AIA.

Penelitian yang dilakukan oleh (Huda et al., 2014) pada area pertanian semi organik yang ditanami jagung, terdapat bakteri penghasil AIA yang diisolasi dari tanah rizosfer jagung. Isolat tersebut mampu menghasilkan hormon AIA sebesar 20,10 ppm dengan masa inkubasi selama 2 hari. Kemampuan isolat bakteri tersebut dalam menghasilkan AIA termasuk dalam katagori tinggi. Menurut (Widiyawati et al., 2014) bakteri masuk dalam katagori lemah dalam menghasilkan AIA apabila AIA yang dihasilkan kurang 10 ppm. Bakteri yang mampu menghasilkan AIA antara 10-20 ppm dikategorikan sedang dan bakteri masuk dalam katagori tinggi kemampuannya dalam menghasilkan AIA apabila yang dihasilkan lebih dari 20 ppm. Hasil identifikasi molekuler menunjukkan bahwa isolat tersebut adalah *Bacillus safensis* strain A-2. (Kothari et al., 2013) menyebutkan bahwa *Bacillus safensis* merupakan jenis bakteri yang kuat dalam menghasilkan hormon tanaman dan merupakan jenis PGPR yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman setelah mengkolonisasi akar.

Penelitian (Diarta et al., 2016) yang menguji kemampuan isolat bakteri *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens* masing-masing mampu menghasilkan konsentrasi AIA sebesar 1,09 ppm dan 0,93 ppm. Kemampuan bakteri ini termasuk lemah dalam menghasilkan hormon AIA. Menurut (Kothari et al., 2013), kemampuan bakteri dalam menghasilkan AIA berbeda-beda, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jalur atau mekanisme dalam menghasilkan AIA. Meskipun kemampuan dalam melarutkan AIA rendah, kedua isolat ini ketika diinokulasikan pada tanaman tomat mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot akar serta panjang akar tanaman tomat dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberi oleh bakteri tersebut, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi AIA yang diproduksi oleh bakteri tersebut berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman tomat (Istiqomah et al., 2017).

Pseudomonas fragi dan *Bacillus amyloliquefaciens* juga dilaporkan mampu memproduksi hormon AIA. *Pseudomonas fragi* menghasilkan hormon AIA sebesar 14,77 ppm dan berpengaruh terhadap berat kering tanaman, panjang akar, berat kering akar dan hasil buah pada tanaman tomat. Pada *Bacillus amyloliquefaciens* menghasilkan hormon AIA sebesar 15,37 dan mampu meningkatkan panjang akar, berat kering akar, dan hasil buah tomat (Riyanti et al., 2019). Pada penelitian yang menguji isolat bakteri *Azospirillum* spp. pada bibit tanaman jagung mampu meningkatkan tinggi tanaman dan panjang akar tanaman dan menghasilkan hormon AIA sebanyak 2,04 ppm (Simanungkalit et al., 2006).

Inokulasi konsorsium bakteri lebih meningkatkan pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan jenis tunggal, karena kombinasi isolat bakteri dapat mengaktifkan dan meningkatkan kinerja bakteri lain yang diaplikasikan bersamaan (Widiyawati et al., 2014). Bakteri yang dikonsorsiumkan mempunyai hubungan sinergi yang baik dalam fiksasi N dan pelarutan fosfat, sehingga mampu meningkatkan ketersediaan hara atau memproduksi fitohormon pemacu tumbuh tanaman yang meningkatkan pertumbuhan serta produktivitas tanaman (Amalia et al., 2020). Inokulasi konsorsium *Azospirillum brasilense* dan *Enterobacter hormaechei* pada tanaman padi yang ditanam di rumah kaca mampu meningkatkan tinggi tanaman, bobot biomassa, dan berat malai dibandingkan dengan tanaman yang dipupuk oleh pupuk NPK. Peningkatan tinggi pada tanaman yang diinokulasikan bakteri tersebut disebabkan karena adanya pengaruh stimulasi mikroorganisme yang menginduksi zat pengatur tumbuh. Peningkatan biomassa tanaman yang dihasilkan dari inokulasi *Azospirillum brasilense* dan *Enterobacter hormaechei* menunjukkan perkembangan akar yang lebih baik (Hindersah et al., 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui mekanismenya yang dapat memfiksasi N, melarutkan P terikat, dan mampu menghasilkan hormon pertumbuhan asam indol asetat.
2. Pengurangan jumlah penggunaan pupuk organik dengan penggunaan PGPR melalui mekanisme fiksasi nitrogen sebanyak 25-50%, melalui pelarutan fosfat terikat sebanyak 50 % dan melalui mekanisme penghasil AIA sebanyak 50%.
3. Jenis PGPR yang terlibat dalam melalui mekanisme fiksasi nitrogen antara lain *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bradhyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Frankia* dan *Bacillus*.
4. Jenis PGPR yang berperan dengan mekanisme pelarutan fosfat antara lain *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* dan *Staphylococcus*.
5. Jenis PGPR menggunakan mekanisme penghasil AIA adalah *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Azospirillum*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. H. Mulyadi, M.Sc., dan Ibu Nurul Puspita Palupi, S.P., M.Si., yang telah membantu, membimbing, memberi masukan serta dukungan kepada penulis dalam pelaksanaan hingga selesainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, A., Nuriyani, N., Maira, L., & Emalinda, O. (2010). Rhizobakteria Penghasil Fitohormon Iaa Pada Rhizosfir Tumbuhan Semak Karamunting, Tironia, Dan Tanaman Pangan. *Jurnal Solum*, 7(1), 49. <https://doi.org/10.25077/js.7.1.49-60.2010>
- Amalia, D. A. L., Oedjijono, O., & Purwanto, P. (2020). Eksplorasi Bakteri Diazotrof dari Rizosfer Tanaman Bawah Merah (*Allium ascalonicum* L.) di Brebes, Jawa Tengah. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(3), 464. <https://doi.org/10.20884/1.bioe.2020.2.3.3480>
- Ashrafuzzaman, M., Hossen, F. A., M. Razi Ismail, Hoque, M. A., Islam, M. Z., Shahidullah, 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., & Lisafitri, Y. (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. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i1.3743>
- Asrul, A., & Pugeg Aryantha, I. N. (2021). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Penambat Nitrogen Untuk Pembuatan Biofertilizer. *VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 15(1), 16–23. <https://doi.org/10.35457/viabel.v15i1.1386>
- Berg, G., & Smalla, K. (2009). Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities

- in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 68(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2009.00654.x>
- Diarta, I. made, Javandira, C., & Widnyana, I. K. (2016). *Antagonistik Bakteri Pseudomonas spp dan Bacillus spp terhadap Jamur Fusarium oxysporum penyebab Penyakit Layu Tanaman Tomat*. 05(01).
- Dighe, N. S., Shukla, D., Kalkotwar, R. S., Laware, R. B., Bhawar, S. B., & Gaikwad, R. W. (2010). Nitrogenase Enzyme : A Review *Pelagia Research Library Nitrogenase Enzyme : A Review. Pelagia Research Library, January 2010*.
- Fitriati, B. N., Fauziah, D., Fitriani, F. N., Ningtyas, D. N., Suryatmana, P., Hindersah, R., Setiawati, M. R., & Simarmata, T. (2020). Biochemical activity and bioassay on maize seedling of selected indigenous phosphate-solubilizing bacteria isolated from the acid soil ecosystem. *Open Agriculture*, 5(1), 300–304. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0036>
- 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. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat>
- Hendarto, K., Widagdo, S., Ramadiana, S., & Meliana, F. S. (2021). Pengaruh Pemberian Dosis Pupuk NPK dan Jenis Pupuk Hayati terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Agrotropika*, 20(2), 110. <https://doi.org/10.23960/ja.v20i2.5086>
- Hindersah, R., Kalay, M., Talahaturuson, A., & Lakburlawal, Y. (2018). Nitrogen Fixing Bacteria *Azotobacter* As Biofertilizer and Biocontrol in Long Bean. *Agric*, 30(1), 25–32. <https://doi.org/10.24246/agric.2018.v30.i1.p25-32>
- Hindersah, R., Rostini, N., Harsono, A., & Nuryani, D. (2017). Peningkatan Populasi, Pertumbuhan dan Serapan Nitrogen Tanaman Kedelai dengan Pemberian *Azotobacter* Penghasil Ekspolisakarida. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 45(1), 30–35. <https://doi.org/10.24831/jai.v45i1.13801>
- Huda, K., Budiharjo, A., & Raharjo, B. (2014). BIOPROSPEKSI RHIZOBAKTERI PENGHASIL IAA (Indole Acetic Acid) DARI TANAMAN JAGUNG (*Zea mays* L.) DI AREA PERTANIAN SEMI ORGANIK DESA BATUR KEC. GETASAN KAB. SEMARANG. *Jurnal Biologi*, 3(3), 42–52.
- Ikhani, D., Hindersah, R., & Herdiyantoro, D. (2018). Pertumbuhan Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogea* L. Merril) Setelah Aplikasi *Azotobacter chroococcum* Dan Pupuk NPK. *Agrologia*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.30598/a.v7i1.351>
- 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. <https://doi.org/10.33366/bs.v17i1.580>
- Kothari, V. V., Kothari, R. K., Kothari, C. R., Bhatt, V. D., Nathani, N. M., Koringa, P. G., Joshi, C. G., & Vyas, B. R. M. (2013). Genome sequence of salt-tolerant *Bacillus safensis* strain VK, isolated from saline desert area of Gujarat, India. *Genome Announcements*, 1(5). <https://doi.org/10.1128/genomeA.e00671-13>
- Lestari, P., Suryadi, Y., Susilowati, D. N., Priyatno, T. P., & Samudra, I. M. (2015). Karakterisasi Bakteri Penghasil Asam Indol Asetat dan Pengaruhnya Terhadap Vigor Benih Padi. *Berita Biologi*, 14(1), 19–28.
- Lestari, P., Susilowati, D. N., & Riyanti, E. I. (2016). Pengaruh Hormon Asam Indol Asetat yang Dihasilkan *Azospirillum* sp. terhadap Perkembangan Akar Padi. *Jurnal AgroBiogen*, 3(2), 66. <https://doi.org/10.21082/jbio.v3n2.2007.p66-72>
- Lestari, S. M., Soedradjad, R., Soeparjono, S., & Setiawati, T. C. (2019). APLIKASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DAN ROCK PHOSPHATE TERHADAP KARAKTERISTIK FISILOGI TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* L.). *Jurnal Bioindustri*, 2(1), 319–333. <https://doi.org/10.31326/jbio.v2i1.178>
- Marista, E., Khotimah, S., & Linda, R. (2013). Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca* var . nipah) di Kota Singkawang. *Protobiont*, 2(2), 93–101.
- 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. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v1i2.43>
- Mohamed, E. A. H., Farag, A. G., & Youssef, S. A. (2018). Phosphate Solubilization by *Bacillus subtilis*; and *Serratia marcescens*; Isolated from Tomato Plant Rhizosphere. *Journal of Environmental Protection*, 09(03), 266–277. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.93018>
- Nana Danapriatna, N. (2016). Penjaringan *Azotobacter* Sp Dan *Azospirillum* Sp Dari Ekosistem Lahan Sawah Sebagai Sumber Isolat Pupuk Hayati Penambat Nitrogen. *Jurnal Agrotek Indonesia*, 1(2). <https://doi.org/10.33661/jai.v1i2.342>
- Puspitawati, M. D., Sugiyanta, & Anas, I. (2014). Pemanfaatan Mikrob Pelarut Fosfat untuk Mengurangi Dosis Pupuk P Anorganik pada Padi Sawah. *Indonesian Journal of Agronomy*, 41(3), 188–195.
- Reyes, I., Valery, A., & Valduz, Z. (2007). First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization, May*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5765-6>
- Ristiati, N. P. (2015). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penambat Nitrogen Non Simbiosis dari Dalam Tanah. *Proceedings Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA V*, 5, 230–235.
- Riyanti, E. I., Susilowati, D. N., Mulya, K., & Listanto, E. (2019). Growth Improvement of Tomato With the Application of Bacterial Isolates Producing Indole Acetic Acid (Iaa) and Phosphate Solubilizer. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 20(1), 35. <https://doi.org/10.21082/ijas.v20n1.2019.p35-42>
- Roidah, I. S. (2013). Manfaat Penggunaan Pupuk Organik untuk Kesuburan Tanah. *Jurnal Bonorowo*.
- Sari, R., & Prayudyarningsih, R. (2015). Rhizobium: Pemanfaatannya Sebagai Bakteri Penambat Nitrogen. *Info Teknis EBONI*, 12(1), 51–64.
- Shailendra Singh, G. G. (2015). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Development of Sustainable Agriculture. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, 07(02). <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188>

- Simanungkalit, R., Saraswati, R., Hartuti, R. ., & Husen, E. (2006). *Bakteri Penambat Nitrogen, dalam: Simanungkalit, RDM., Suriadikarta, D.A., Saraeswati, R., Styorini, D., Hartatik, W (eds) Pupuk Organik dan Pupuk Hayati.*
- Spaepen, S., & Vanderleyden, J. (2011). Auxin and plant-microbe interactions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 3(4), 1–13. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438>
- Stio, A. (2021). KAJIAN KARAKTERISTIK SIFAT FISIKA DAN KIMIA TANAH PADA BEBERAPA VEGETASI DI KECAMATAN NAMANTERAN KABUPATEN KARO. *Hubungan Timbal Balik Antara Vegetasi Alami Dan Tanah Sangat Dekat Sehingga Keragaman Tipe Vegetasi Juga Menunjukkan Secara Langsung Dan Tidak Langsung Pada Keragaman Sifat Fisika Dan Kimia Tanah. Adanya Pengaruh Beberapa Vegetasi Yang Tumbuh Di Suatu Lah*, 1(3), 82–91.
- Sugianto, S. K., Shovitri, M., & Hidayat, H. (2019). Potensi Rhizobakteri Sebagai Pelarut Fosfat. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 7–10. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37241>
- Suliasih, Widawati, S., & Muharam, A. (2010). Aplikasi Pupuk Organik Dan Bakteri Pelarut Fosfat Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tomat Dan Aktivitas Mikroba Tanah. *Jurnal Hortikultura*, 20(3), 241–246.
- Tarigan, J. E. (2013). Seleksi Bakteri Penambat Nitrogen Dan Penghasil Hormon Iaa (Indole Acetic Acid) Dari Rizosfer Tanah Perkebunan Kedelai (*Glycine Max L.*). *Saintia Biologi*, 1(2), 42–48.
- Varvel, G. E., & Wilhelm, W. W. (2008). Soil carbon levels in irrigated western corn belt rotations. *Agronomy Journal*, 100(4), 1180–1184. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0383>
- Widiastuti, H., & Suharyanto, dan. (2010). Karakterisasi dan Seleksi Beberapa Isolat Azotobacter sp. untuk Meningkatkan Perkecambah Benih dan Pertumbuhan Tanaman. *Buletin Plasma Nutfah*, 16(2), 160–167.
- Widiyawati, I., Junaedi, A., & Rahayu Widyastuti, dan. (2014). Peran Bakteri Penambat Nitrogen untuk Mengurangi Dosis Pupuk Nitrogen Anorganik pada Padi Sawah The Role of Nitrogen-Fixing Bacteria to Reduce the Rate of Inorganic Nitrogen Fertilizer on Lowland Rice. *J. Agron. Indonesia*, 42(2), 96–102. <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jurnalagronomi/article/download/8424/pdf/>
- Wijanarko, A., & Taufiq, A. (2004). Pengelolaan Kesuburan Lahan Kering Masam Untuk Tanaman Kedelai. *Buletin Palawija*, 0(7–8), 39–50. <https://doi.org/10.21082/bulpalawija.v0n7-8.2004.p39-50>

