

PERAN RHIZOBIUM DALAM MENINGKATKAN EFISIENSI SERAPAN NITROGEN PADA TANAMAN KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L.)

**Selvin Septiani Waruwu^{1)*}, Ridho Victory Nazara¹⁾,
Putra Hidayat Telaumbanua¹⁾, Natalia Kristiani Lase¹⁾**

¹⁾Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Indonesia

*e-mail korespondensi: waruwuselvin02@gmail.com

ABSTRAK

Rhizobium merupakan bakteri pengikat nitrogen yang mampu meningkatkan ketersediaan nitrogen di dalam tanah melalui hubungan simbiosis dengan akar tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi peran *Rhizobium* dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen pada tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.). Metode yang digunakan adalah studi pustaka (literature review), dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai sumber seperti buku, artikel jurnal, dan laporan penelitian terdahulu yang relevan. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanaman kacang hijau yang diinokulasi *Rhizobium* memiliki efisiensi pemanfaatan nitrogen yang lebih tinggi dibandingkan tanaman tanpa inokulasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa *Rhizobium* berkontribusi positif terhadap peningkatan ketersediaan nitrogen bagi tanaman. Artikel ini menekankan pentingnya pemanfaatan *Rhizobium* dalam sistem pertanian berkelanjutan, terutama untuk meningkatkan produktivitas tanaman pada lahan dengan keterbatasan unsur hara.

Kata kunci: *Rhizobium*, kacang hijau, efisiensi nitrogen, fiksasi nitrogen biologis, pertanian berkelanjutan

ABSTRACT

Rhizobium is a nitrogen-fixing bacteria that can increase the availability of nitrogen in the soil through a symbiotic relationship with plant roots. This study aims to explore the role of *Rhizobium* in increasing the efficiency of nitrogen utilization in green bean plants (*Vigna radiata* L.). The method used is a literature review, by collecting and analyzing various sources such as books, journal articles, and relevant previous research reports. The results of the analysis showed that green bean plants inoculated with *Rhizobium* had higher nitrogen utilization efficiency than plants without inoculation. This finding indicates that *Rhizobium* contributes positively to increasing nitrogen availability for plants. This article emphasizes the importance of utilizing *Rhizobium* in sustainable agricultural systems, especially to increase plant productivity on land with limited nutrients.

Keywords: *Rhizobium*, green beans, nitrogen efficiency, biological nitrogen fixation, sustainable agriculture

PENDAHULUAN

Tanaman kacang hijau merupakan tanaman sejenis palawija yang dikenal luas di daerah tropis, produksi kacang hijau yang dijadikan sebagai bahan olahan dan bahan pangan berprotein nabati tinggi dan berperan dalam menumbuhkan kembangkan industri kecil maupun menengah yang banyak dikonsumsi masyarakat karena tergolong tinggi penggunaannya dalam masyarakat, maka kacang hijau memiliki tingkat kebutuhan yang cukup tinggi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2020) menyebutkan bahwa produktivitas kacang pada tahun 2020 rata-rata produksi $12,72 \text{ kw} \cdot \text{ha}^{-1}$, produksi ton sebesar 25,00 dengan luas panen sebesar 278, 00 ha namun pada tahun 2022 mengalami penurunan dimana rata-rata produksi $10,83 \text{ kw} \cdot \text{ha}^{-1}$, produksi ton 230,00 dan dengan luas panen 136,00 ha.

Salah satu faktor pembatas dalam pertumbuhan tanaman adalah kekurangan nitrogen dan kondisi tanah yang tidak sesuai. Nitrogen merupakan salah satu unsur hara utama yang sangat dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan produktif. Ketersediaan nitrogen yang cukup di dalam tanah memainkan peran kunci, khususnya dalam fase pertumbuhan vegetatif, karena nitrogen berperan dalam pembentukan zat hijau daun (klorofil) yang penting untuk proses fotosintesis. Unsur ini sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, dan menjaga kelestarian ekosistem. Nitrogen juga terlibat dalam berbagai proses biogeokimia, seperti nitrifikasi, mineralisasi, dan fiksasi nitrogen secara biologis. Tanaman penutup tanah dari golongan legum mampu menyumbangkan nitrogen ke dalam tanah melalui simbiosis dengan bakteri pengikat nitrogen, sehingga dapat meningkat (Fikriawan et al., 2024)

Pertanian modern sering mengandalkan pupuk nitrogen sintetis untuk meningkatkan hasil tanaman. Meskipun pupuk ini dapat meningkatkan produksi pertanian secara signifikan, penggunaannya yang berlebihan dapat menyebabkan masalah, dengan adanya pertanian berkelanjutan yang telah diusulkan. Dimana penggunaan pupuk organik, rotasi tanaman, penggunaan penutup tanah, dan praktik konservasi lainnya yang dapat membantu mempertahankan kesehatan tanah dan mengurangi dampak negative pada lingkungan terutama bagi

kesehatan manusia dan dengan adanya Pendekatan pemakaian pupuk hayati dalam melakukan penghematan diantaranya meningkatkan efisiensi penggunaan N tersedia dalam tanah melalui penambatan nitrogen, baik secara langsung ataupun melalui interaksi antara tanaman legum dengan bakteri penambat nitrogen, baik yang diaplikasikan melalui tanah atau benih (seed coating) mampu meningkatkan efisiensi pemupukan nitrogen dan pemberian pupuk hayati non simbiosis berupa mikroba tanah lain yang berperan di dalam penyediaan unsur hara yakni mikroba pelarut fosfat (P) Sulfat (S), logam-logam (Fe, Cu, Mn, dan Al), dan kalium (K). Pemanfaatan nitrogen dalam pertanian berkelanjutan memiliki banyak keuntungan penting. Salah satunya adalah kemudahan diserap oleh tanaman serta dampak positifnya terhadap lingkungan dan petani. Hal ini baik bagi keberlanjutan sistem pertanian, seperti pemeliharaan keseimbangan ekosistem, peningkatan produktivitas dan kualitas tanaman, serta pengurangan biaya produksi. Unsur hara nitrogen dapat diperoleh melalui tanaman kacang hijau karena di dalam tanah terdapat Bakteri Rhizobium yang mampu memfiksasi nitrogen dari udara menjadi bintil akar tanaman kacang hijau. Pupuk hayati juga dapat menambah nutrisi melalui proses alami, seperti fiksasi nitrogen atmosfer, meningkatkan ketersediaan fosfor, dan memperbaiki pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian (Laksono, 2016) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk hayati pada tanaman kacang koro pedang dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksinya.

Bakteri Rhizobium memainkan peran penting dalam membentuk hubungan simbiotik dengan tanaman legum. Dalam hubungan ini, Rhizobium bersimbiosis dengan akar tanaman legum, seperti kacang tanah, kedelai, dan kacang hijau, untuk membantu mengikat nitrogen dari atmosfer. Bakteri ini masuk ke dalam akar tanaman dan membentuk struktur khusus berupa bintil akar yang mengandung bakteroid. Melalui proses ini, Rhizobium mampu menambat nitrogen bebas dari udara dan mengubahnya menjadi senyawa nitrogen yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk pertumbuhan.

Sebagai imbalan, tanaman legum menyediakan senyawa karbon berupa gula, karbohidrat, dan mineral sebagai sumber energi bagi bakteri. Hubungan mutualistik ini memberikan keuntungan bagi kedua pihak: tanaman memperoleh

nitrogen yang tersedia secara hayati, sedangkan bakteri mendapatkan nutrisi dari tanaman inangnya. Proses fiksasi nitrogen ini sangat penting dalam sistem pertanian berkelanjutan karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk nitrogen sintetis dan meningkatkan kesuburan tanah secara alami.

Keterlibatan *Rhizobium* dalam simbiosis dengan tanaman legum sangat penting dalam mendukung fungsi ekosistem tanah. *Rhizobium* merupakan bakteri tanah yang mampu bersimbiosis dengan tanaman polong-polongan. Hubungan simbiosis ini bersifat mutualistik, di mana *Rhizobium* membantu tanaman dalam proses fiksasi nitrogen dari atmosfer ke dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman. Proses ini memainkan peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah secara alami, tanpa perlu ketergantungan penuh pada pupuk nitrogen sintetis.

Rhizobium merupakan bakteri tanah yang membentuk hubungan simbiosis mutualistik dengan tanaman polong-polongan (legum). Dalam simbiosis ini, *Rhizobium* menginfeksi akar tanaman dan membentuk bintil-bintil akar yang mengandung bakteroid, yaitu bentuk bakteri yang aktif memfiksasi nitrogen. Melalui proses fiksasi nitrogen biologis, *Rhizobium* mengubah nitrogen atmosfer (N_2), yang tidak dapat langsung dimanfaatkan tanaman, menjadi senyawa nitrogen yang tersedia dan dapat diserap oleh tanaman. Proses ini melibatkan enzim nitrogenase yang mengikat nitrogen atmosfer dan mengkonversinya menjadi amonia. Peningkatan ketersediaan nitrogen melalui inokulasi *Rhizobium* tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga memengaruhi struktur komunitas mikroba di daerah perakaran. Asosiasi dengan berbagai populasi bakteri menguntungkan ini turut memperkuat efisiensi fiksasi nitrogen dan berkontribusi terhadap kesuburan tanah secara berkelanjutan (Meitasari & Wicaksono, 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode literature review untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi yang relevan mengenai peran *Rhizobium* dalam meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen pada tanaman kacang hijau (*Vigna*

radiata). Sumber literatur yang dikaji meliputi buku ilmiah, artikel jurnal, serta laporan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan.

Patimah (2022) melaporkan bahwa inokulasi *Rhizobium* dapat meningkatkan jumlah bintil akar pada kacang hijau, yang secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan fiksasi nitrogen. Sari et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan *Rhizobium* sebagai pupuk hayati mampu meningkatkan hasil panen hingga 20% dibandingkan dengan tanpa perlakuan inokulasi. Hasil yang sejalan juga ditunjukkan oleh Rahmawati (2020), yang mencatat bahwa *Rhizobium* tidak hanya memperbaiki kualitas tanah, tetapi juga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan.

Dengan mengintegrasikan temuan-temuan tersebut, studi ini menyajikan gambaran komprehensif mengenai manfaat penggunaan *Rhizobium* dalam budidaya kacang hijau, serta menegaskan pentingnya penerapan praktik pertanian berkelanjutan melalui pemanfaatan bakteri penambat nitrogen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas pemanfaatan nitrogen pada tanaman kacang hijau berkaitan dengan sejauh mana tanaman mampu menyerap dan memanfaatkan nitrogen untuk mendukung pertumbuhan dan meningkatkan hasil produksi. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti dosis nitrogen yang diberikan, jenis pupuk yang digunakan, serta metode budidaya yang diterapkan.

Riry et al. (2020) menyatakan bahwa penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen pada tanaman kacang hijau. Hal ini diperkuat oleh penelitian Erfina (2023), yang menunjukkan bahwa pupuk organik berbahan dasar kotoran kambing memiliki kandungan nitrogen lebih tinggi dibandingkan dengan pupuk kandang dari hewan lainnya. Aplikasi pupuk organik kotoran kambing terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Dibandingkan dengan pupuk kimia, pupuk organik cair dapat memberi

tanaman lebih banyak unsur hara daripada pupuk kimia. Pupuk organik mengandung unsur nitrogen yang bertanggung jawab untuk membentuk protein, asam amino, dan klorofil, serta unsur hara mikro yang berfungsi sebagai katalisator untuk proses sintesis.

Rhizobium dapat berperan dalam memfiksasi nitrogen atmosfer menjadi ammonia, yang dapat diubah menjadi asam amino yang diperlukan tanaman. Ini terjadi dalam bintil akar yang terbentuk pada akar tanaman legume. Selain itu, *Rhizobium* dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman dengan mengeluarkan fosfat dari kompleks tanah dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak menyenangkan (Pabela, 2019).

Tanaman kacang hijau memanfaatkan nitrogen melalui berbagai cara seperti, penggunaan pupuk nitrogen dengan kadar tertentu sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksi kacang hijau, bersimbiosis dengan bakteri pengikat nitrogen. Tanaman kacang hijau dapat membantu memperbaiki tanah dengan bekerja sama dengan bakteri pengikat nitrogen, bakteri yang memiliki kemampuan untuk mengikat nitrogen dari udara, sehingga dapat memenuhi kebutuhan tanaman akan hara nitrogen, penggunaan kompos *Azolla Pinata* yang mengandung unsur hara nitrogen digunakan sebagai katalisator fotosintesis untuk menghasilkan fotosintat, yang menentukan berapa lama fotosintesis berlangsung, serta pengaturan jarak tanam yang dapat mengoptimalkan penyinaran sinar matahari dalam proses fotosintesis.

Bakteri *Rhizobium* dapat mengikat nitrogen atmosfer (N_2) dan mengubahnya menjadi nitrogen yang dapat digunakan tanaman. Pemanfaatan nitrogen tanaman kacang hijau oleh *Rhizobium* dapat dicapai dengan berbagai cara, seperti inokulasi *Rhizobium*, simbiosis dengan tanaman legum, penggunaan strain *Rhizobium* yang tepat, dan pengaturan lingkungan yang ideal. *Rhizobium* dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman leguminosae seperti kedelai dan kacang hijau. Ini karena *Rhizobium* dapat menyediakan nitrogen yang dibutuhkan tanaman (Fransiska et al., 2023). Sebaliknya, penelitian menunjukkan bahwa intensifikasi pemupukan anorganik dapat mengurangi fiksasi nitrogen biologis *Rhizobium*. Ini menunjukkan betapa pentingnya

pengaturan yang baik untuk memanfaatkan fiksasi nitrogen bakteri.

Proses fiksasi nitrogen oleh *Rhizobium* melalui simbiosis dengan tanaman legum *Rhizobium* menginfeksi akar tanaman legum, seperti kacang hijau, melalui bintil akarnya. Dari tanaman inang, bakteri ini mendapatkan karbohidrat sebagai sumber energi, dan memberikan nitrogen yang ditambat dari atmosfer sebagai imbalan. Penggunaan ATP dan Proses Reduksi, Bakteri *Rhizobium* menggunakan ATP dan proses reduksi ekuivalen dari metabolisme primer untuk memfiksasi nitrogen. Nitrogenase mengkatalisis semua reaksi yang terjadi. Dalam reaksi ini, 8H^+ , N_2 , 8e^- , 16ATP , dan $16\text{H}_2\text{O}$ digunakan untuk menghasilkan 2NH_3 , H_2 , 16ADP , 16Pi , dan 16H^+ . Pembentukan Nodula, Strain efektif *Rhizobium* membentuk nodula akar dalam tanaman legum, yang berfungsi sebagai tempat fiksasi nitrogen. Nodula berkembang dengan baik dan berwarna merah muda karena pigmen yang ada di dalamnya. Selain itu, proses fiksasi nitrogen meningkatkan kandungan nitrogen dalam tanah. Ini dapat membantu pertumbuhan tanaman secara keseluruhan (Koryati et al., 2022).

Bakteri pelarut fosfat dapat membantu fiksasi nitrogen biologis lebih efisien daripada *Rhizobium* (Rahman et al., 2015) untuk meningkatkan produktivitas tanaman melalui simbiosis antara *Rhizobium* dan tanaman kacang hijau seperti *Phaseolus vulgaris*. Bakteri tanah bernama *Rhizobium* memiliki kemampuan untuk mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman, yang mengarah pada pembentukan bintil akar untuk fiksasi nitrogen. *Rhizobium etli*, salah satu jenis *Rhizobium*, memiliki kemampuan untuk bersimbiosis dengan *Phaseolus vulgaris*. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh (Taboada-Castro et al., 2024). menunjukkan bahwa *Rhizobium* berkolaborasi dengan akar kacang-kacangan, termasuk *Phaseolus vulgaris*, untuk membuat bintil yang memungkinkan fiksasi nitrogen. Praktik pertanian organik telah terbukti memberikan dampak positif terhadap hasil panen, kualitas tanaman, dan pengurangan penggunaan pupuk nitrogen sintetis. Penelitian menunjukkan bahwa kacang-kacangan, karena kemampuannya dalam mengikat nitrogen, dapat meningkatkan produktivitas secara berkelanjutan (Fitriani & Taryono, 2022). Selain itu, budidaya tanaman yang diadaptasi ke sistem organik dapat menghasilkan hasil yang tinggi, sehingga mendukung pertanian organik sebagai

alternatif yang layak dibandingkan metode konvensional. Praktik pertanian organik, seperti mengembalikan sisa tanaman ke dalam tanah dan memanfaatkan rotasi tanaman serbaguna, berkontribusi pada peningkatan bahan organik tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis.

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi kerja *Rhizobium* dalam meningkatkan pemanfaatan nitrogen oleh tanaman, seperti lingkungan dan manajemen tanaman. Hubungan simbiosis antara kacang-kacangan dan bakteri *Rhizobium* berkontribusi signifikan terhadap ketersediaan nitrogen, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk industri (Ramdana Sari* dan Retno Prayudyaningsih, 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi *Rhizobium* dalam fiksasi nitrogen meliputi jenis tanaman inang, kondisi lingkungan, dan keberadaan mikroorganisme menguntungkan lainnya seperti jamur mikoriza arbuskula. Ko-inokulasi dengan *Rhizobium* telah terbukti meningkatkan aktivitas nitrogenase dan efisiensi fiksasi nitrogen di atmosfer, sehingga menghasilkan efisiensi simbiosis yang lebih besar (Sitorus & Tyasmoro, 2021). Selain itu, masuknya bakteri pengikat nitrogen ke dalam tanah meningkatkan penyerapan unsur hara dan toleransi tanaman terhadap berbagai tekanan, sehingga semakin meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen.

Praktik pengelolaan seperti penggunaan inokulan mikroba yang mengandung *Rhizobium*, bersama dengan pemberian pupuk kandang dan unsur hara mikro, yang dapat secara signifikan meningkatkan fiksasi nitrogen dan pertumbuhan. Selain itu, efisiensi simbiosis strain *Rhizobium* dapat bervariasi, sehingga berdampak pada kandungan protein total dalam kacang-kacangan (Sari & Taryono, 2022). Hubungan simbiosis antara *Rhizobium* dan tanaman bersifat kompleks, melibatkan interaksi spesifik yang dapat mempengaruhi fiksasi nitrogen. (Ramdana & Prayudyaningsih, 2018).

Dalam menerapkan praktik yang melibatkan *Rhizobium* di bidang pertanian, ada beberapa aspek penting yang perlu dipertimbangkan. *Rhizobium*, bakteri pengikat nitrogen, berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman, khususnya pada tanaman polong-polongan. Penelitian menunjukkan bahwa inokulasi *Rhizobium* dapat meningkatkan produktivitas

tanaman secara signifikan dengan meningkatkan fiksasi nitrogen. (Meitasari & Wicaksono, 2017). Hal ini penting untuk praktik pertanian berkelanjutan karena dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, yang dapat berdampak buruk terhadap lingkungan (Sukomardojo et al., 2023). Selain itu, penerapan inokulan *Rhizobium* terbukti sangat bermanfaat di lingkungan yang menantang, seperti daerah perbukitan, dimana praktik pertanian tradisional mungkin tidak efektif. Selain itu, menggabungkan inokulasi *Rhizobium* dengan praktik pertanian berkelanjutan lainnya seperti mulsa, tumpangsari, dan rotasi tanaman dapat semakin meningkatkan manfaat bagi petani (Nasir et al., 2023)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nugraha & Islami (2021), dosis *Rhizobium* dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kacang tanah. Ini karena *Rhizobium* dapat memfiksasi nitrogen dari udara dan menyediakan unsur hara untuk tanaman, dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanaman kacang hijau. Ini menunjukkan bahwa *Rhizobium* dapat memfiksasi nitrogen dari udara, yang memberi tanaman unsur hara penting. Sementara itu, pupuk kandang kambing meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi inokulasi *Rhizobium* dan penggunaan pupuk kandang kambing sangat menguntungkan pertumbuhan tanaman, dengan peningkatan jumlah daun dan tanama, Juniati (2023) juga menunjukkan bahwa penyediaan kompos organik dari limbah pertanian dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen, yang sangat penting untuk pertumbuhan vegetatif tanaman.

Namun, hal ini bergantung pada varietas atau aksesori yang digunakan, tanaman kacang hijau dapat menunjukkan reaksi yang berbeda terhadap *rhizobium* dan mikoriza. Studi Izzudin et al. (2022) menunjukkan bahwa dua puluh aksesori kacang hijau yang diuji berbeda dalam respons terhadap inokulasi mikoriza. Oleh karena itu, ketika *rhizobium* dan mikoriza digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau, varietas atau aksesori yang tepat juga harus dipertimbangkan. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa varietas kacang hijau akan menanggapi perlakuan ini dengan cara yang berbeda, sehingga penting untuk mempertimbangkan karakteristik genetik setiap aksesori saat merencanakan penggunaan mikoriza dan *Rhizobium*. Meskipun

inokulasi mikoriza dapat membantu tanaman menyerap unsur hara, terutama fosfor, yang sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, efektivitas inokulasi bergantung pada interaksi antara mikoriza dan genotipe tanaman. Aksesori tertentu mungkin lebih baik dalam membentuk simbiosis dengan mikoriza, yang dapat menghasilkan keuntungan lebih besar dalam hal pertumbuhan dan hasil. Oleh karena itu, untuk mencapai hasil yang optimal dari penggunaan mikoriza dan Rhizobium untuk meningkatkan produktivitas kacang hijau, Petani dapat memilih aksesori kacang hijau yang paling sesuai dengan tujuan produksi dan kondisi lingkungan mereka dengan memahami variasi respons ini. Selain meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen Rhizobium, ini akan meningkatkan potensi pertumbuhan tanaman melalui dukungan mikoriza. Oleh karena itu, kombinasi pemilihan varietas yang tepat dan penggunaan inokulan biologis seperti Rhizobium dan mikoriza dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk meningkatkan hasil pertanian kacang hijau secara berkelanjutan.

Selain itu, kondisi lingkungan dapat memengaruhi kinerja mikoriza dan rhizobium. Studi Klau Klau (2020) menunjukkan bahwa di tanah entisol semi-arid, pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau yang ditumpangsarikan dengan jagung dapat ditingkatkan dengan kompos biochar. ketika menggunakan rhizobium dan mikoriza untuk tanaman kacang hijau, kondisi tanah juga harus diperhatikan. Di tengah tantangan global seperti perubahan iklim dan penurunan kualitas tanah, praktik pertanian berkelanjutan menjadi semakin penting. Dalam situasi seperti ini, penelitian dan pengembangan mengenai Rhizobium dapat menghasilkan solusi baru yang meningkatkan efisiensi produksi pangan dan menjaga keseimbangan ekosistem. Misalnya, petani dapat memilih varietas tanaman yang paling sesuai untuk kondisi tertentu, memaksimalkan manfaat dari inokulasi biologis.)

SIMPULAN

1. Kacang hijau (*Vigna radiata*), sebagai sumber protein nabati yang penting di wilayah tropis, memiliki peran strategis dalam ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat. Namun, produktivitasnya mengalami penurunan dari 12,72 kwintal/ha pada tahun 2020 menjadi 10,83 kwintal/ha pada tahun
-

2022, yang disebabkan oleh degradasi lahan dan keterbatasan unsur hara nitrogen di dalam tanah. Nitrogen merupakan unsur esensial yang mendukung proses fotosintesis dan metabolisme tanaman.

2. Rhizobium, sebagai bakteri penambat nitrogen, mampu bersimbiosis dengan tanaman kacang hijau untuk memfiksasi nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman. Inokulasi Rhizobium menjadi salah satu strategi pupuk hayati yang berkelanjutan karena mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen, memperbaiki hasil panen, dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik.
3. Meskipun potensinya besar, adopsi Rhizobium di tingkat petani masih terbatas akibat kurangnya pemahaman serta terbatasnya akses terhadap inokulan berkualitas. Oleh karena itu, dukungan terpadu dari pemerintah, lembaga penelitian, dan sektor swasta sangat diperlukan untuk mendorong pemanfaatan Rhizobium sebagai solusi inovatif dalam sistem pertanian berkelanjutan, khususnya dalam menghadapi tantangan degradasi tanah, perubahan iklim, dan upaya memperkuat ketahanan pangan nasional maupun global.

DAFTAR PUSTAKA

- Fikriawan, A. A., Saida, S., Haris, A., & Tjoneng, A. (2024). Analisis Status Hara Nitrogen Untuk Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Di Kecamatan Mare Kabupaten Bone. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 5(1), 76–80. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v5i1.499>
- Fitriani, R. S., & Taryono, T. (2022). Pengembangan Kacang Hijau Organik Sebagai Komoditas Pangan Indonesia. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 4(2), 7. <https://doi.org/10.22146/a.77008>
- Fransiska, N., Lestari, T. A., & Santi, R. (2023). Respon Pertumbuhan dan Hasil Kedelai dengan Aplikasi Pupuk Organik dan Rhizobium. *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 16–20. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.63714>
- Koryati, T., Fatimah, & Dolly, S. (2022). PERANAN Rhizobium Dalam Fiksasi N Tanaman Legum. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian*, 20(3), 8–17.
- Laksono, R. A. (2016). Respon Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Koro Pedang (*Canavalia ensiformis* L. (DC)) Akibat Takaran Jenis Pupuk Organik dan
-

- Pengapuran Di Lahan Marginal Terdegradasi. Jurnal Agrotek Indonesia, 1(1), 19–28. <https://doi.org/10.33661/jai.v1i1.250>
 - Meitasari, A. D., & Wicaksono, K. P. (2017). Inokulasi rhizobium dan perimbangan nitrogen pada tanaman kedelai (Glycine max (1) merrill) varietas Wilis inoculation of rhizobium and nitrogen equalization on soybean (Glycine max (L) Merrill) varieties Wilis. PLANTROPICA Journal of Agricultural Science, 2(1), 55–63.
 - Maryam Pabela. (2019). Pengaruh Inokulasi Rhizobium Dan Pupuk Fosfat Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kacang Tanah (Arachis hypogea L.)— Concept and Communication, null(23), 301–316. <https://doi.org/10.15797/concom.2019..23.009>
 - Nasir, M., Endang Tadjudin, Dwi Purnomo, Amran Jaenudin, & Maryuliyanna. (2023). Effect of Rhizobium Inoculation and Phosphate Fertilizer on The Growth of Soybean (Glycine max L) Grobogan Variety. Jurnal Sains Natural, 13(3), 161–167. <https://doi.org/10.31938/jsn.v13i3.462>
 - Rahman, R., Anshar, M., & Bahrudin. (2015). Aplikasi Bakteri Pelarut Fosfat, Bakteri Penambat Nitrogen dan Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai (Capsicum annum L.). E-J Agrotekbis, 3(3), 316–328.
 - Ramdana Sari* dan Retno Prayudyaningsih. (2018). Rhizobium : PEMANFAATANNYA SEBAGAI BAKTERI PENAMBAT NITROGEN Ramdana Sari * dan Retno Prayudyaningsih. 51–64.
 - Riry, J., Silahooy, C., Tanasale, V. L., & Makaruku, M. H. (2020). Pengaruh Dosis Pupuk NPK Phonska dan Pupuk Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (Vigna radiata L.). Jurnal Budidaya Pertanian, 16(2), 167–172. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2020.16.2.167>
 - Sari, T., & Taryono, T. (2022). Jumlah Bintil Fase Vegetatif Penentu Mutu dan Hasil Kacang Hijau (Vigna radiata L.) di Lahan Sawah Bekas Padi. Agrotechnology Innovation (Agrinova), 4(2), 1. <https://doi.org/10.22146/a.77006>
 - Sitorus, M. P., & Tyasmoro, S. Y. (2021). Pengaruh Pemberian Inokulan Rhizobium dan Dosis Pupuk N Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (Glycine max L.) The Effect of Giving Rhizobium Inoculant and N Fertilizer on Growth and Yeild of Soybean (Glycine max L.). Jurnal Produksi Tanaman, 9(3), 194–203.
 - Taboada-Castro, H., Hernández-Álvarez, A. J., Escorcía-Rodríguez, J. M., Freyre-González, J. A., Galán-Vásquez, E., & Encarnación-Guevara, S. (2024). Rhizobium etli CFN42 and Sinorhizobium meliloti 1021 bioinformatic transcriptional regulatory networks from culture and symbiosis. Frontiers in Bioinformatics, 4(August), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fbinf.2024.1419274>
-