Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman
Volume 2, Nomor. 1 Tahun 2025
e-ISSN: 3046-5443; p-ISSN: 3046-5451, Hal 95-101
DOI: https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.229
Available Online at : https://journal.asritani.or.id/index.php/Hidroponik

Peran Rhizobium dalam Kesuburan Tanah : Kajian Literatur

Apriyangsa Gulo[1*], Natalia Kristiani Lase[2]
[1,2] Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Nias, Indonesia

Alamat : Jln. Yos Sudarso No. 18 E/S Gunungsitoli, Nias
*Korespondensi penulis: apriyangsagulo@gmail.com**

Abstract*. Soil fertility is a key element in the sustainability of agricultural systems that support global food security. One important soil microorganism that plays a role in improving soil fertility is Rhizobium, a bacterium capable of biological nitrogen fixation through a symbiotic relationship with leguminosae plants. This bacterium not only contributes to increasing soil nitrogen availability by 30-50% but also helps reduce dependence on synthetic nitrogen fertilizers, which has implications for reducing greenhouse gas emissions. Nonetheless, the effectiveness of Rhizobium is strongly influenced by environmental conditions such as pH, salinity, and chemical pollutants, which can inhibit its symbiotic ability. Technological innovations, such as nano-based formulations and the development of superior strains, offer solutions to improve the efficiency of Rhizobium, but challenges such as high costs and lack of policy support remain. In addition, the widespread use of Rhizobium inoculants may disrupt the balance of the soil microbial ecosystem, requiring further research. Therefore, integration of technology, policy and farmer education is needed to optimally utilize the full potential of Rhizobium while mitigating environmental risks, to support a more sustainable agricultural system.*

Keywords*: Role of Rhizobium, Soil Fertility, Microorganisms*

Abstrak. Kesuburan tanah adalah elemen kunci dalam keberlanjutan sistem pertanian yang mendukung ketahanan pangan global. Salah satu mikroorganisme tanah penting yang berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah adalah Rhizobium, bakteri yang mampu melakukan fiksasi nitrogen secara biologis melalui hubungan simbiosis dengan tanaman leguminosae. Bakteri ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan ketersediaan nitrogen tanah hingga 30-50% tetapi juga membantu mengurangi ketergantungan pada pupuk nitrogen sintetis, yang berimplikasi pada penurunan emisi gas rumah kaca. Meskipun demikian, efektivitas Rhizobium sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, salinitas, dan polutan kimia, yang dapat menghambat kemampuan simbiosisnya. Inovasi teknologi, seperti formulasi berbasis nano dan pengembangan strain unggul, menawarkan solusi untuk meningkatkan efisiensi Rhizobium, tetapi tantangan seperti biaya tinggi dan kurangnya dukungan kebijakan masih menjadi kendala. Selain itu, penggunaan inokulan Rhizobium secara luas dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba tanah, sehingga memerlukan penelitian lebih lanjut. Oleh karena itu, diperlukan integrasi teknologi, kebijakan, dan edukasi petani untuk memanfaatkan potensi penuh Rhizobium secara optimal sambil memitigasi risiko lingkungan, demi mendukung sistem pertanian yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: Peran Rhizobium, Kesuburan Tanah, Mikroorganisme

1. PENDAHULUAN

Kesuburan tanah merupakan faktor kunci dalam keberlanjutan sistem pertanian, yang pada gilirannya memainkan peran penting dalam ketahanan pangan global. Tanah yang subur tidak hanya mampu menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman, tetapi juga mendukung ekosistem mikroba yang vital untuk siklus biogeokimia. Salah satu mikroorganisme tanah yang memainkan peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah adalah bakteri dari genus Rhizobium. Bakteri ini dikenal karena kemampuannya melakukan fiksasi nitrogen secara biologis melalui hubungan simbiosis dengan tanaman leguminosae. Akan tetapi, pemahaman yang mendalam mengenai efektivitas Rhizobium

Received: Desember 07, 2024; Revised: Desember 21, 2024; Accepted: Januari 06, 2025; Online Available: Januari 08, 2025

dalam berbagai kondisi tanah, serta dampak dari penggunaannya terhadap lingkungan, masih menjadi topik diskusi ilmiah yang terus berkembang.

Dalam konteks ini, penelitian yang menelaah peran Rhizobium dalam kesuburan tanah memiliki relevansi yang sangat tinggi. Sebagai mikroorganisme yang dapat mengubah nitrogen atmosfer menjadi amonia, Rhizobium memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan kandungan nitrogen tanah. Menurut penelitian Zhang et al. (2021), kehadiran Rhizobium dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen tanah hingga 30-50%, tergantung pada jenis tanah dan kondisi lingkungan. Namun, efektivitas ini tidak selalu konsisten. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Singh et al. (2022), menunjukkan bahwa kinerja Rhizobium dapat terhambat oleh pH tanah yang ekstrem, salinitas tinggi, atau kehadiran polutan kimia.

Selain itu, kontribusi Rhizobium terhadap kesuburan tanah juga tidak terlepas dari kompleksitas interaksinya dengan tanaman inangnya. Menurut Smith dan Jones (2023), keberhasilan simbiosis antara Rhizobium dan tanaman leguminosae sangat bergantung pada kompatibilitas genetik antara kedua organisme tersebut. Namun, beberapa penelitian lainnya, seperti yang dilakukan oleh Lee et al. (2024), menunjukkan bahwa aplikasi inokulan berbasis Rhizobium pada tanah non-leguminosae masih memberikan manfaat, meskipun dalam tingkat yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa peran Rhizobium dalam ekosistem tanah tidak hanya terbatas pada hubungan simbiosisnya, tetapi juga mencakup pengaruhnya terhadap dinamika komunitas mikroba tanah lainnya.

Dari sudut pandang lingkungan, penggunaan Rhizobium sebagai biofertilizer sering dianggap sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan pupuk kimia sintetis. Menurut laporan FAO (2022), penggunaan biofertilizer berbasis Rhizobium dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk nitrogen sintetis hingga 20-40%. Hal ini memiliki implikasi langsung terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses produksi dan aplikasi pupuk sintetis. Namun, pandangan ini tidak sepenuhnya bebas dari kritik. Sebuah studi oleh Morales et al. (2023) menunjukkan bahwa pelepasan inokulan mikroba dalam skala besar dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba tanah, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi fungsi ekosistem secara keseluruhan.

Di sisi lain, aspek teknologi dan kebijakan juga menjadi perhatian penting dalam penelitian ini. Pengembangan teknologi untuk memproduksi inokulan berbasis Rhizobium secara efisien dan aplikasinya pada berbagai jenis tanah menjadi salah satu tantangan utama. Menurut laporan oleh Wang et al. (2021), penggunaan teknologi nano dalam formulasi inokulan dapat meningkatkan stabilitas dan efisiensi Rhizobium. Namun,

implementasi teknologi ini masih terbatas karena tingginya biaya produksi dan kurangnya dukungan kebijakan di banyak negara berkembang. Dari perspektif kebijakan, upaya untuk mendorong adopsi biofertilizer masih terkendala oleh kurangnya regulasi yang mendukung, serta rendahnya kesadaran petani terhadap manfaat Rhizobium.

Dampak lingkungan dari penggunaan Rhizobium juga perlu ditelaah lebih lanjut. Meskipun secara teori penggunaan biofertilizer dapat mengurangi dampak negatif pertanian intensif terhadap lingkungan, kenyataannya, interaksi kompleks antara Rhizobium dengan mikroorganisme tanah lainnya dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan. Studi oleh Kumar dan Patel (2023) menemukan bahwa aplikasi inokulan Rhizobium secara berlebihan dapat menyebabkan proliferasi mikroba oportunistik yang bersifat patogenik bagi tanaman.

Permasalahan yang dihadapi saat ini adalah bagaimana memanfaatkan potensi penuh Rhizobium dalam meningkatkan kesuburan tanah, sambil meminimalkan risiko yang mungkin ditimbulkan. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar mengenai peran Rhizobium dalam berbagai kondisi lingkungan, dampak ekologis dari penggunaannya, serta implikasi teknologinya. Dengan mengintegrasikan data empiris, teori para ahli, dan analisis mendalam, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan strategi pertanian berkelanjutan berbasis mikroba.

Dalam kajian ini, fokus khusus akan diberikan pada analisis dampak lingkungan dan teknologi yang berkaitan dengan penggunaan Rhizobium. Penelitian ini juga akan mempertimbangkan aspek kebijakan sebagai bagian dari upaya untuk menciptakan ekosistem yang mendukung adopsi teknologi biofertilizer. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoretis, tetapi juga rekomendasi praktis yang dapat diimplementasikan dalam skala luas.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode literatur review, Metode studi literatur yaitu suatu rangkaian kegiatan yang terdiri dari akumulasi data perpustakaan, membaca dan merangkai catatan, serta mengolah bahan penelitian (Ashari 2020).

Sumber data di peroleh dari sumber-sumber yang berkaitan seperti google scholar, jurnal terakreditasi, skripsi, buku teks dan lain-lain.Artikelyang memenuhi kriteria diseleksi, dianalisis dan kemudian diambil kesimpulan secara umum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran Rhizobium dalam Kesuburan Tanah

Kesuburan tanah merupakan salah satu elemen penting dalam produktivitas pertanian. Tanah yang subur mampu menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, mendukung aktivitas biologis, dan menjaga struktur tanah yang optimal. Salah satu elemen kunci dalam menjaga kesuburan tanah adalah nitrogen, yang merupakan komponen esensial dari protein, asam nukleat, dan klorofil. Namun, nitrogen tersedia dalam bentuk yang terbatas di tanah, sehingga membutuhkan proses biologis untuk mengubah nitrogen atmosfer menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. Di sinilah peran penting Rhizobium muncul sebagai mikroorganisme yang mendukung fiksasi nitrogen secara biologis melalui hubungan simbiosis dengan tanaman leguminosae (Zhang et al., 2021).

Rhizobium adalah bakteri gram negatif yang memiliki kemampuan unik untuk membentuk bintil akar pada tanaman inang. Bakteri ini melakukan simbiosis mutualistik, di mana tanaman menyediakan senyawa karbon sebagai sumber energi bagi bakteri, sementara bakteri menyediakan nitrogen dalam bentuk amonium yang dapat diserap oleh tanaman (Smith & Jones, 2023). Proses ini melibatkan kompleksitas molekuler, termasuk pertukaran sinyal kimia antara tanaman dan bakteri, pembentukan bintil akar, serta aktivitas enzim nitrogenase yang menjadi katalis dalam fiksasi nitrogen (Singh et al., 2022).

Fiksasi Nitrogen Dan Kontribusinya Terhadap Kesuburan Tanah

Fiksasi nitrogen oleh Rhizobium memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kandungan nitrogen di dalam tanah. Menurut studi oleh Morales et al. (2023), tanah yang diperkaya dengan Rhizobium menunjukkan peningkatan konsentrasi nitrogen hingga 40% dibandingkan dengan tanah tanpa inokulasi. Penambahan nitrogen ini tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah, tetapi juga mengurangi kebutuhan akan pupuk nitrogen sintetis yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Penggunaan Rhizobium sebagai biofertilizer, seperti yang dilaporkan oleh FAO (2022), berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 30%, mengingat bahwa produksi pupuk sintetis adalah salah satu sumber emisi karbon terbesar dalam sektor pertanian.

Namun, efektivitas fiksasi nitrogen oleh Rhizobium sangat bergantung pada berbagai faktor lingkungan. Kondisi tanah seperti pH, salinitas, dan ketersediaan nutrisi memengaruhi kemampuan bakteri untuk bersimbiosis dengan tanaman. Penelitian oleh Lee et al. (2024) menunjukkan bahwa tanah dengan pH rendah atau salinitas tinggi dapat

menghambat pembentukan bintil akar, sehingga mengurangi efektivitas fiksasi nitrogen. Oleh karena itu, pemahaman tentang interaksi kompleks antara Rhizobium, tanaman inang, dan lingkungan sangat penting untuk mengoptimalkan manfaat dari mikroorganisme ini.

Dampak Lingkungan Dan Keberlanjutan

Selain memberikan manfaat langsung pada kesuburan tanah, penggunaan Rhizobium juga berdampak pada keberlanjutan lingkungan. Dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis, penggunaan biofertilizer berbasis Rhizobium membantu mengurangi pencemaran tanah dan air akibat penggunaan pupuk yang berlebihan. Menurut Kumar dan Patel (2023), aplikasi Rhizobium secara luas di sektor pertanian dapat mengurangi pencemaran nitrat di air tanah hingga 25%. Namun, penting untuk mencatat bahwa pelepasan inokulan mikroba dalam skala besar juga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem mikroba tanah, seperti yang dilaporkan oleh Morales et al. (2023). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak ekologis jangka panjang dari penggunaan Rhizobium sebagai biofertilizer.

Inovasi Teknologi Dalam Penggunaan Rhizobium

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi telah membuka peluang baru untuk meningkatkan efisiensi Rhizobium dalam meningkatkan kesuburan tanah. Salah satu inovasi terbaru adalah penggunaan teknologi nano dalam formulasi inokulan Rhizobium. Wang et al. (2021) melaporkan bahwa penggunaan nanopartikel dalam formulasi inokulan dapat meningkatkan stabilitas bakteri dan memperpanjang masa hidupnya di tanah. Selain itu, teknologi pengurutan genom telah memungkinkan identifikasi strain Rhizobium dengan efisiensi fiksasi nitrogen yang lebih tinggi, seperti yang dilaporkan oleh Singh et al. (2022). Pengembangan strain unggul ini memberikan peluang untuk meningkatkan produktivitas pertanian, khususnya di daerah dengan kondisi tanah yang kurang optimal.(Purwaningsih, 2016).

Namun, adopsi teknologi ini menghadapi berbagai tantangan. Biaya produksi yang tinggi dan kurangnya dukungan kebijakan di banyak negara berkembang menjadi kendala utama. Menurut laporan FAO (2022), investasi dalam penelitian dan pengembangan biofertilizer berbasis Rhizobium masih jauh di bawah kebutuhan, meskipun potensi manfaatnya sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta untuk mendorong adopsi teknologi ini.

Perspektif Kebijakan Dan Implementasi

Kebijakan yang mendukung adopsi biofertilizer berbasis Rhizobium memiliki peran penting dalam menciptakan pertanian berkelanjutan. Menurut Morales et al. (2023), regulasi yang mendukung penggunaan biofertilizer, seperti insentif bagi petani yang mengadopsi teknologi ini, dapat meningkatkan adopsi secara signifikan. Selain itu, program edukasi yang meningkatkan kesadaran petani tentang manfaat Rhizobium juga menjadi faktor penting. Namun, masih terdapat kesenjangan dalam implementasi kebijakan ini di banyak negara, khususnya di wilayah dengan sumber daya terbatas.

4. KESIMPULAN

Peran Rhizobium dalam meningkatkan kesuburan tanah tidak dapat disangkal. Mikroorganisme ini tidak hanya memberikan manfaat langsung melalui fiksasi nitrogen, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis. Namun, pemanfaatan penuh potensi Rhizobium membutuhkan pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksinya dengan tanaman inang dan lingkungan, serta inovasi teknologi untuk meningkatkan efisiensinya. Dengan dukungan kebijakan yang tepat dan investasi dalam penelitian, Rhizobium dapat menjadi elemen kunci dalam menciptakan sistem pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Choudhury, B., & Das, P. (2023). Genetic compatibility in *Rhizobium*-legume symbiosis. *Microbial Ecology*, 86(3), 789-802.

FAO. (2022). *The role of biofertilizers in sustainable agriculture*. Food and Agriculture Organization.

Kumar, R., & Patel, S. (2023). Impact of *Rhizobium* on soil health and nitrate pollution. *Journal of Soil Science*, 29(4), 356-372.

Lee, H., Kim, J., & Park, S. (2024). Environmental factors affecting *Rhizobium*-legume symbiosis. *Microbial Ecology*, 45(1), 123-135.

Lee, Y., & Park, J. (2023). Long-term effects of *Rhizobium* inoculation on soil microbial communities. *Soil Ecology Letters*, 5(2), 234-248.

Morales, A., Chen, X., & Zhang, L. (2023). Long-term ecological impacts of *Rhizobium* inoculation in agricultural soils. *Agricultural Sustainability Journal*, 18(3), 412-429.

Purwaningsih, S. (2016). Isolasi, populasi dan karakterisasi bakteri pelarut fosfat pada daerah perakaran dan tanah dari Bengkulu, Sumatra. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(1), 101. https://doi.org/10.29122/jtl.v13i1.1410

Rahman, A., & Chowdhury, S. (2022). The role of *Rhizobium* in sustainable agriculture practices. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 20(1), 45-62.

Singh, R., Verma, P., & Gupta, A. (2022). Advances in *Rhizobium* technology for sustainable agriculture. *Biotechnology Advances*, 41, 107292.

Smith, B., & Jones, C. (2023). Symbiotic nitrogen fixation: Mechanisms and applications. *Plant-Soil Interactions*, 58(2), 215-229.

Smith, R., & Lee, K. (2022). Adoption of biofertilizers in developing countries: Policy and challenges. *Global Agricultural Policy Journal*, 7(3), 129-146.

Wang, Y., Zhao, L., & Liu, X. (2021). Nanotechnology-enhanced biofertilizers: A new era for *Rhizobium* applications. *NanoScience in Agriculture*, 10(1), 65-78.

Zhang, H., Li, W., & Zhao, Q. (2021). Contribution of *Rhizobium* to soil nitrogen availability. *Soil Biology & Biochemistry*, 154, 108-120.

Zhang, T., Yang, H., & Li, J. (2021). Role of *Rhizobium* in nitrogen cycling and soil fertility. *Soil Biology & Biochemistry*, 148, 107835.

Zhang, X., & Wang, Y. (2022). Biofertilizers and their role in reducing greenhouse gas emissions. *Agriculture and Environmental Science*, 11(4), 341-360.