



KAJIAN LITERATUR: JAMUR MIKORIZA SEBAGAI MITRA MIKROORGANISME YANG MENINGKATKAN SERAPAN NUTRISI TANAMAN

Ardianus Berkat Saleh Waruwu¹⁾, Putri Khide Talenta Mendrofa²⁾ Natalia Kristiani Lase³⁾

¹⁾ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias Gunungsitoli, Indonesia
Email: ardinuswaruwu42@gmail.com

²⁾ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias Gunungsitoli, Indonesia
Email: putrihidetalentamendrofa@gmail.com

³⁾ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias Gunungsitoli, Indonesia
Email: natalialase16@gmail.com

Abstract

The current reliance on chemical fertilizers has caused many problems in agricultural practices, such as the decline in soil quality and crop resistance to environmental stress. Farmers are encouraged to use chemical fertilizers, due to the lack of efficiency of nutrient absorption in plants which results in a lack of productivity of agricultural products. This research aims to review in depth the role of Mycorrhizal fungi in increasing the efficiency of nutrient uptake by plants. The research method used is the literature review method to explore more deeply the role of mycorrhizal fungi in increasing the efficiency of plant nutrient uptake. The results stated that mycorrhizal fungi have great potential as microorganism partners in increasing plant nutrient uptake. With its ability to expand the root absorption area, and enhance plant growth, improve soil structure and reduce pollution, mycorrhiza can contribute significantly to agricultural sustainability.

Keywords: Mycorrhiza; Nutrient Uptake; Sustainable Agriculture; Nitrogen; Microorganisms.

Abstrak

Ketergantungan penggunaan pupuk kimia saat ini telah menimbulkan banyak masalah dalam praktik pertanian, seperti penurunan kualitas tanah hingga ketahanan tanaman terhadap stress lingkungan. Para petani terdorong menggunakan pupuk kimia, akibat kurangnya efisiensi daya serap nutrisi pada tanaman yang mengakibatkan kurangnya produktivitas hasil pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk bertujuan untuk meninjau secara mendalam peran jamur Mikoriza dalam meningkatkan efisiensi serapan nutrisi oleh tanaman. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kajian Pustaka (literature review) untuk menggali lebih dalam peran jamur mikoriza dalam meningkatkan efisiensi serapan nutrisi tanaman. Hasil penelitian menyatakan bahwa jamur mikoriza memiliki potensi besar sebagai mitra mikroorganisme dalam meningkatkan serapan nutrisi tanaman. Dengan kemampuannya dalam memperluas daerah penyerapan akar, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman, memperbaiki struktur tanah dan mengurangi pencemaran, mikoriza dapat berkontribusi secara signifikan terhadap keberlanjutan pertanian.

Kata Kunci: Mikoriza; Serapan Nutrisi; Pertanian Berkelanjutan; Nitrogen; Mikroorganisme.



PENDAHULUAN

Metode pertanian modern saat ini, kerap sekali menghadapi banyak tantangan akibat penggunaan pupuk kimia yang intensif. Penggunaan pupuk kimia secara terus menerus memang memberikan banyak kemudahan bagi para petani terutama dalam menyediakan nutrisi yang cukup bagi tanaman. Bahkan penggunaannya pun memudahkan para petani dalam mencapai hasil produksi yang tinggi dalam waktu singkat dan proses yang mudah. Namun, bagaimana dengan kondisi tanah, mikroorganisme, air hingga lingkungan apabila penggunaan bahan kimia dalam jumlah banyak terus menerus dilakukan. Beberapa contoh dampak negatif penggunaan pupuk kimia, seperti pencemaran air dan pencemaran tanah (Nadila., 2023). selain itu tanah akan lebih mudah padat atau kering dan kehilangan porositasnya (Widowati et al., 2021). Bahan kimia yang dikandung juga akan merusak dan membunuh mikroorganisme tanah yang memiliki peran penting dalam dekomposisi bahan organik serta mengurangi kesuburan tanah.

Penurunan kualitas tanah juga membawa konsekuensi serius, terutama terhadap keterbatasan tanaman dalam menyerap nutrisi esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu meningkatkan kesuburan tanah secara alami dan berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap input kimia sintesis. Salah satu pendekatan inovatif yang dapat kita lakukan adalah pemanfaatan mikroorganisme tanah yaitu jamur Mikoriza, sebagai solusi terbaik. Menurut data lebih dari 40% lahan kering mengalami penurunan kualitas akibat praktik pertanian yang tidak berkelanjutan. (JASMINE, 2014). Untuk mengatasi masalah ini, adopsi teknologi berbasis mikroorganisme, seperti penggunaan pupuk hayati menjadi solusi yang menjanjikan. Di Indonesia, Tingkat adopsi teknologi pertanian terpadu, termasuk penggunaan pupuk hayati tergolong tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa 70% petani telah mengadopsi teknologi pertanian terpadu dalam budidaya padi organik. (Romaui et al., 2014).

Mikoriza pertama kali dikemukakan oleh seorang botaniawan dari Jerman bernama Frank tepat pada tanggal 17 April 1855. Para ahli menyatakan bahwa tanggal 17 april adalah sejarah awal dikenalnya jamur Mikoriza (Tuhuteru et al., 2023). Frank menemukan jamur Mikoriza pada akar tanaman hutan yaitu Pinus. (Rao., 2007).

Jamur mikoriza, sebagai salah satu mikroorganisme tanah yang bersimbiosis dengan akar tanaman, telah terbukti memiliki peran penting dalam meningkatkan ketersediaan dan serapan nutrisi, terutama Fosfor, yang sering kali terbatas di tanah (Smith, 2008). selain itu dari hubungan yang terbentuk antara mikoriza dan akar tanaman, jamur memperoleh karbohidrat dari tanaman, sementara tanaman akan memperoleh penyerapan air dan nutrisi yang terjaga.

Ada 2 jenis utama jamur Mikoriza yaitu ektomikoriza dan endomikoriza. Ektomikoriza membentuk mantel disekitar akar dan hifa jamur tidak menembus akar, sedangkan endomikoriza, menembus dinding sel akar dan membentuk struktur khusus didalamnya. kedua jenis ini

memberikan keuntungan dengan teknik pertumbuhan yang berbeda terhadap hubungan simbiosis pada tanaman.

Tujuan Penelitian

Artikel ini, bertujuan untuk meninjau secara mendalam peran jamur Mikoriza dalam meningkatkan efisiensi serapan nutrisi oleh tanaman. Dengan memperluas jaringan hifa yang terkoneksi dengan akar tanaman, mikoriza membantu tanaman memperoleh unsur hara penting seperti Fosfor (P), Nitrogen (N) dan Kalium (K), yang sulit diakses langsung oleh akar tanaman. Selain itu, artikel ini juga akan menyoroti potensi penerapan mikoriza dalam pertanian berkelanjutan. Mikoriza dengan kemampuannya memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen, dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, memberikan solusi yang ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas pertanian tanpa merusak ekosistem.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Jamur Mikoriza dan Perannya dalam Pertanian

Jamur mikoriza merupakan kelompok fungi yang memiliki hubungan simbiotik dengan akar tanaman. Simbiosis ini melibatkan pertukaran nutrisi antara tanaman dan jamur, yang mempengaruhi berbagai aspek pertumbuhan tanaman, seperti ketersediaan air, pengambilan unsur hara, dan ketahanan terhadap stres (Smith & Read, 2008; Gerdemann & Nicolson, 1963). Jenis mikoriza yang paling umum adalah arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara seperti fosfor, nitrogen, dan kalium oleh tanaman (Marschner & Dell, 1994).

Menurut Aroca et al. (2012), mikoriza juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan salinitas dengan meningkatkan kemampuan akar dalam menyerap air. Lebih lanjut, penelitian oleh Brundrett (2004) mengungkapkan bahwa jamur mikoriza tidak hanya berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara, tetapi juga berkontribusi dalam pengaturan mikroflora tanah, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesehatan tanah dan tanaman.

2. Pengaruh Mikoriza terhadap Kesehatan Tanah

Salah satu manfaat penting dari mikoriza adalah kemampuannya dalam memperbaiki struktur tanah. Finlay dan Söderström (1992) mencatat bahwa jamur mikoriza dapat meningkatkan agregasi tanah dan stabilitas struktur tanah, yang berdampak positif terhadap aerasi dan drainase. Hal ini penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mencegah erosi tanah. Selain itu, mikoriza berperan dalam menjaga keseimbangan mikroorganisme tanah, yang dapat mengurangi risiko penyakit tanaman (Hart & Nilsen, 2003).

3. Penggunaan Mikoriza dalam Pertanian Berkelanjutan

Penggunaan mikoriza dalam pertanian berkelanjutan semakin mendapat perhatian, terutama dalam konteks pengurangan penggunaan pupuk kimia. Jamur mikoriza dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dengan meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh



tanaman. Siqueira et al. (1998) menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza dapat menggantikan sebagian besar kebutuhan pupuk fosfat, yang pada akhirnya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat penggunaan pupuk kimia.

Selain itu, penelitian oleh Vázquez dan González-Guerrero (2018) mengungkapkan bahwa mikoriza juga dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan stres abiotik, seperti kekeringan atau salinitas, yang semakin relevan di era perubahan iklim. Penerapan mikoriza dalam sistem pertanian organik dan konservasi tanah telah terbukti meningkatkan hasil pertanian tanpa merusak kualitas lingkungan (Hernández & Gómez, 2020).

4. Pengaruh Mikoriza terhadap Pertumbuhan Tanaman
Penelitian oleh Abidin et al. (2017) menunjukkan bahwa pemberian mikoriza pada tanaman jagung dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Mikoriza memperbaiki struktur akar dan meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap unsur hara yang esensial untuk pertumbuhan, seperti fosfor, nitrogen, dan kalium. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Berta et al. (1995) yang menyatakan bahwa mikoriza meningkatkan hasil tanaman pada berbagai komoditas pertanian, termasuk padi dan jagung.

Studi oleh Sakti et al. (2020) juga menemukan bahwa aplikasi mikoriza dapat mempercepat pertumbuhan tanaman tomat, baik secara tunggal maupun dalam kombinasi dengan mikroba tanah lainnya. Selain itu, Liu et al. (2019) melaporkan bahwa mikoriza meningkatkan penyerapan fosfor oleh tanaman dalam kondisi tanah yang kekurangan unsur tersebut, menunjukkan peran mikoriza dalam meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk fosfat.

5. Aplikasi Mikoriza dalam Sistem Pertanian
Aplikasi mikoriza dalam sistem pertanian dapat dilakukan dengan berbagai cara, baik melalui inokulasi langsung ke tanah atau melalui penanaman tanaman yang telah diinokulasi dengan mikoriza. Nouri et al. (2014) mengemukakan bahwa inokulasi mikoriza dapat dilakukan pada berbagai jenis tanaman, baik tanaman hortikultura maupun tanaman pangan, untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara dan memperbaiki ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.

Pada sisi lain, perkembangan teknologi yang mendukung aplikasi mikoriza, seperti pembuatan pupuk mikoriza yang mudah digunakan dan terjangkau, telah mempermudah petani dalam mengimplementasikan teknologi ini dalam pertanian mereka (Widowati et al., 2021). Teknologi ini menjadi solusi untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian dengan meminimalisir penggunaan pupuk kimia yang berlebihan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kajian Pustaka (literature review) untuk menggali lebih dalam peran jamur mikoriza dalam meningkatkan efisiensi serapan nutrisi tanaman. Melalui pendekatan ini, penelitian akan mengintegrasikan temuan-temuan dari berbagai studi terdahulu yang lebih relevan, baik yang berfokus pada mekanisme jerka mikoriza didalam tanah maupun dampaknya terhadap tanaman. Dengan menganalisis hasil-hasil penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk memberikan Gambaran yang lebih jelas dan komprehensif mengenai interaksi mikoriza dengan akar tanaman, serta bagaimana jamur ini mendukung penyerapan nutrisi seperti Fosfor, Nitrogen dan unsur mikro lainnya yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, kajian ini juga akan mengkaji aplikasi praktis mikoriza dalam system pertanian, khususnya dalam konteks pertanian berkelanjutan. Kami berharap temuan dari kajian pustaka ini akan membantu memperkuat argumentasi bahwa mikoriza dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, memperbaiki kualitas tanah, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stress lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jamur Mikoriza memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Melalui jaringan hifa yang ekstensif, mikoriza mampu memperluas area penyerapan akar sehingga hal ini memungkinkan tanaman mampu mengakses nutrisi yang sebelumnya sulit dijangkauanya. Hifa ini menghasilkan senyawa seperti glomalin, sejenis glikoprotein yang berperan dalam pembentukan dan stabilitasi agregat tanah. Agregat tanah yang stabil mampu meningkatkan porositas, aerasi dan kapasitas retensi air, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik (Hapsani & Basri, 2018).

Kemampuan Mikoriza tidak hanya sampai disitu, jamu ini membantu tanaman mengatasi salinitas tanah dan meningkatkan penyerapan ion yang bermanfaat dan mengurangi akumulasi ion beracun. Sehingga tanaman lebih toleran terhadap kondisi lingkungan yang menantang.

Berikut beberapa perbandingan dari penelitian terdahulu.

Penelitian	Relevansi terhadap peningkatan penyerapan nutrisi tanaman
(Abidin et al., 2017)	Jamur mikoriza arbuscular memiliki peran penting dalam ekosistem pertanian, terutama pada tanah dengan kesuburan rendah. Hubungannya dengan akar tanaman pada tanah dengan kesuburan rendah. Hubungannya dengan akar tanaman membentuk jaringan hifa yang mampu memperluas area serapan nutrisi. Nutrisi utama seperti Fosfor, Nitrogen dan Kaliumz bersama dengan unsur mikro seperti seng, kobalt, dan sulfur dapat terserap lebih efisien. Mikoriza juga memperbaiki struktur tanah melalui pembentuka agregat dan mendorong aktivitas mikroba tanah yang mendukung kesehatan



	akar, sekaligus melindungi tanaman dari serangan patogen.
(Sakti et al., 2020)	Jamur Mikoriza merupakan mikroorganisme tanah yang banyak ditemukan di daerah perakaran tanaman (rizosfer). Mikoriza berperan penting dalam meningkatkan serapan hara, baik makro seperti Nitrogen (N) dan fosfor (P) maupun mikro seperti seng (Zn). Mikoriza bekerja melalui jaringan hifa yang membantu akar tanaman dalam memperluas area penyerapan nutrisi. Selain itu, jamur mikoriza dapat meningkatkan biomassa tanaman hingga 2 kali lipat dibandingkan kontrol.
(Rumeon et al., 2023)	Jamur mikoriza berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman melalui peningkatan kemampuan penyerapan nutrisi, khususnya Fosfor (P), Nitrogen (N) dan Kalium (K). Mikoriza hidup bersimbiosis dengan akar tanaman dan memperluas jangkauan penyerapan unsur hara dari tanah yang biasanya sulit dijangkau. Terutama pada kondisi tanah dengan ketersediaan nutrisi yang rendah. Dalam penelitian pada semai tanaman samama (<i>Neolamarckia macrophylla</i>), jenis tanah bermikoriza seperti entisol menunjukkan tingkat infeksi akar tertinggi (67,78%) dan menghasilkan pertumbuhan tanaman terbaik dibandingkan dengan jenis tanah lain, seperti inceptisol dan utisol. Efek ini disebabkan oleh kemampuan mikoriza dalam meningkatkan penyerapan fosfor, yang merupakan unsur penting untuk metabolisme tanaman, pembelahan sel dan pertumbuhan akar.
(Melania et al., 2023)	Mikoriza berfungsi sebagai bifertilizer yang meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mikoriza, khususnya <i>Gigaspora</i> sp. Dengan dosis kompos 10 ton ha ⁻¹ , memberikan pengaruh signifikan terhadap berat rerata per buah per tanaman. Interaksi antara jenis mikoriza dan dosis kompos berpengaruh nyata pada berat basah keseluruhan tanaman, menunjukkan bahwa mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan hasil tanaman. Penelitian ini juga menegaskan bahwa kombinasi mikoriza dan kompos dapat memperbaiki sifat fisik tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi.
(Widyastuti, 2017)	Penelitian menunjukkan bahwa penambahan pupuk mikoriza secara signifikan meningkatkan akumulasi pb pada akar dan batang tanaman bayam. Akar tanaman yang diberi mikoriza mampu mengakumulasi pb sebanyak 103,57 ppm, sedangkan tanpa mikoriza hanya

	sekitar 4,01 ppm, menunjukkan bahwa mikoriza meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap logam berat.
(Tuhuteru et al., 2023)	Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi mikoriza secara signifikan meningkatkan kemampuan tanaman kedelai dalam menyerap unsur hara, terutama fosfor dan nitrogen. Tanaman yang diberikan perlakuan mikoriza menunjukkan peningkatan kadar nutrisi dalam jaringan tanaman dibandingkan dengan yang tidak menggunakan mikoriza.

Jamur mikoriza merupakan salah satu mikroorganisme yang memang sudah lama dikenal dan cukup memiliki peran penting dalam meningkatkan serapan nutrisi tanaman. Melalui simbiosis mutualisme dengan akar tanaman, mikoriza dapat memperluas area penyerapan berkat hifa yang mampu menjangkau tanah lebih jauh. Dari beberapa penelitian terdahulu yang sudah direview dan dikaji, membuktikan bahwa tanaman mampu mengakses lebih banyak unsur hara yang sangat penting untuk pertumbuhan apabila adanya keberadaan jamur Mikoriza. Bahkan banyak penelitian memberikan data perlakuan mikoriza memiliki kadar nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak menggunakan perlakuan mikoriza

Selain meningkatkan penyerapan nutrisi, mikoriza juga berkontribusi pada pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Dalam beberapa studi, tanaman yang mendapatkan perlakuan mikoriza menunjukkan peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun yang muncul dan biomasnya. Peningkatan ini juga berkorelasi dengan peningkatan efisiensi penyerapan nutrisi, yang menunjukkan bahwa mikoriza tidak hanya berfungsi sebagai penghubung untuk penyerapan hara, tetapi juga mendukung kesehatan dan produktivitas tanaman. (Chaudhary., 2020)

Mekanisme kerja dari mikoriza dalam peningkatan penyerapan memberikan dampak yang signifikan terhadap perbaikan struktur tanah. Hifa mikoriza membantu dalam mengikat partikel tanah, yang meningkatkan aerasi dan retensi air. Hal ini sangat penting, terutama di lahan kering atau tanah yang kurang subur dimana ketersediaan air dan nutrisi sering kali menjadi kendala bagi pertumbuhan tanaman. Dengan peningkatan kondisi fisik tanah, mikoriza menciptakan lingkungan yang lebih baik bagi akar tanaman untuk berkembang dan menyerap nutrisi. (Harris.,2009).

Selain itu, mikoriza juga memiliki kemampuan untuk mengurangi dampak pencemaran logam berat di tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikoriza dapat mengakumulasi logam berat, sehingga mengurangi toxic bagi tanaman. Ini menunjukkan bahwa mikoriza tidak hanya berperan dalam meningkatkan serapan nutrisi, tetapi juga dalam menjaga kesehatan tanah dan tanaman di lingkungan yang terkontaminasi. Dengan demikian, mikoriza dapat berfungsi sebagai agen fitoremediasi yang membantu dalam rehabilitasi tanah yang tercemar.



KESIMPULAN

Jamur mikoriza, adalah agen biologis penting yang meningkatkan kapasitas tanaman untuk menyerap nutrisi. Melalui jaringan hifa dan hubungan simbiosis mutualistik dengan akar tanaman, mikoriza meningkatkan jangkauan sistem perakaran dan memfasilitasi penyerapan unsur hara penting seperti Kalium (K), Nitrogen (N) dan Fosfor (P), serta unsur hara mikro lainnya yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman.

Dengan meningkatkan agregasi partikel tanah dan kapasitas penyimpanan air, mikoriza berkontribusi pada struktur tanah yang lebih baik selain meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara. Melalui mekanisme peningkatan ketahanan fisiologis dan pasokan nutrisi yang lebih stabil, mikoriza membantu tanaman mengatasi berbagai situasi stress lingkungan, termasuk kekeringan, salinitas dan serangan patogen tanah.

Dari keseluruhan kajian yang telah dilakukan, membuktikan bahwa jamur mikoriza adalah mitra mikroorganisme dalam meningkatkan penyerapan nutrisi didalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, A. J., & Smith, S. E. (2015). The role of mycorrhizal fungi in plant nutrition. *Fungal Ecology*, 12(3), 50-64. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.04.003>.

Aroca, R., et al. (2012). Mycorrhizal symbiosis and plant water relations. In: *Mycorrhizal Fungi: Soil Biology* (pp. 255-278). Springer.

Abidin, M., Darwanto, S., & Andayani, R. D. (2017). PENGARUH DOSIS PUPUK ORGANIK PETROGANIK DAN MIKORIZA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG MANIS (*Zea Mays Saccharata*) VARIETAS TALENTA. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 2(2), 47-54.

Berta, G., et al. (1995). Mycorrhizae in agriculture: The effect on the growth and nutrient uptake of crops.

Field Crops Research, 44(2-3), 157-170.

[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(95\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(95)00024-1).

Brundrett, M. C. (2004). Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79(3), 281-317.

<https://doi.org/10.1017/S1464793103006262>.

Chaudhary, V. B., et al. (2020). Mycorrhizal fungi as drivers of plant nutrient acquisition and ecosystem functioning. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 261-283.

Departemen Biologi FMIPA UI. (n.d.). Upaya Mengurangi Penggunaan Pupuk Kimia dengan Depot Pupuk Cair oleh Departemen Biologi FMIPA UI.

Finlay, R. D., & Söderström, B. (1992). Fungal-plant interactions in the mycorrhizosphere. *Ecology of Mycorrhizae*, 75(1), 141-150.

[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90247-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90247-X).

Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet-sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244.

[https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-8](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-8).

Harris, J. A. (2009). The role of mycorrhizae in the function and development of the soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 315-324.

Hart, M., & Nilsen, E. T. (2003). Plant-microbe interactions in the mycorrhizosphere: A case study. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(9), 1213-1222.

[https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00110-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00110-4).



- Hapsani, A., & Basri, H. (2018). Kajian Peranan Mikoriza Dalam Bidang Pertanian. *Agrica Ekstensi*, 12(2), 74–78.
- Hernández, A., & Gómez, M. (2020). Mycorrhizal fungi in agroecosystems: Potential for improving crop productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 142, 107708.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107708>
- Jansa, J., et al. (2003). Mycorrhizal fungi: A tool for improving plant nutrition. *Plant Soil*, 254(1), 65–70.
<https://doi.org/10.1023/A:1024138625614>.
- JASMINE, K. (2014). 濟無No Title No Title No Title. Penambahan Natrium Benzoat Dan Kalium Sorbat (Antiinversi) Dan Kecepatan Pengadukan Sebagai Upaya Penghambatan Reaksi Inversi Pada Nira Tebu, 2(2), 1–12.
<https://doi.org/10.3766/hibrida.v1i2.3753>.
- Liang, Y., et al. (2015). Mycorrhizal fungi: An important component of plant–soil interactions. *Environmental and Experimental Botany*, 118, 10–20.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.003>
- Liu, J., & Zeng, L. (2019). Mycorrhizal fungi as tools for improving nutrient uptake in crops. *Agricultural Sciences*, 10(3), 180–189.
<https://doi.org/10.4236/as.2019.103015>.
- Liu, Z., et al. (2020). Enhancing plant phosphorus uptake with mycorrhizal fungi under phosphate-deprived conditions. *Plant and Soil*, 448(1), 103–115.
<https://doi.org/10.1007/s11104-020-04561-z>.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake by mycorrhizal fungi and its role in plant nutrition. *Mycorrhiza*, 4(3), 129–141.
<https://doi.org/10.1007/BF00207352>.
- Melania, P., Rahmaddiansyah, & Sofyan. (2023). Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(2), 47–54.
- Mertani. (n.d.). Mengatasi Masalah Pencemaran Akibat Pupuk: Langkah Menuju Pertanian Ramah Lingkungan.
- Nouri, E., et al. (2014). The role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant stress resistance: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(3), 667–679.
<https://doi.org/10.1007/s13593-014-0252-2>.
- Rao, N. S. S. (2007). Mikroorganisme Tanah dan Perumbuhan Tanaman. Penerbit Universitas Indonesia.
- Romauli, M., Fauzia, L., & Roem, M. (2014). Tingkat Adopsi Petani Terhadap Teknologi Pertanian Terpadu Usahatani Padi Organik. *Journal on Social Economic of Agriculture and Agribusiness*, 3(1), 1–9.
- Rumeon, I., Matinahoru, J. M., & Hadijah, M. H. (2023). PENGARUH JENIS TANAH BERMIKORIZA TERHADAP PERTUMBUHAN SEMAI SAMAMA (*Neolamarckia macrophylla* (ROXB.) BOSSER) DI PERSEMAIAN. *Makila*, 17(2), 163–176.
<https://doi.org/10.30598/makila.v17i2.10708>.



- Sakti, I. Y., Aiyen, T., & Ramal, Y. (2020). Respon Pertumbuhan Tomat (*Lycopersicum Esculentum* Mill). Yang Di Beri Mikroba Tanah secara Tunggal dan Kombinasi. *Jurnal Agrotekbis*, 8(2), 332–338.
- Siqueira, J. O., et al. (1998). The role of mycorrhizal fungi in the enhancement of nutrient uptake in crops. In: *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface* (pp. 207-227). CRC Press.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press.
- Toljander, J. F., et al. (2006). Mycorrhizal fungi and the plant–soil interface. In: *Mycorrhizal Ecology* (pp. 1-25). Springer.
- Tuhuteru, S., Rumbiak, R. E. Y., & Inrianti. (2023). Mikoriza: Solusi Budidaya Cabai Rawit Di Lahan Kering.
- Vázquez, M. M., & González-Guerrero, M. (2018). Mycorrhizal fungi and their impact on plant nutrient uptake: A review. *Plant Science*, 266, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.10.012>.
- Widowati, L. R., Hartatik, W., Setyorini, D., & Yani Trisnawati. (2021). Pupuk Organik Dibuatnya Mudah, Hasil Tanam Melimpah. Pusat Perpustakaan Dan Penyebaran Teknologi Pertanian, 56.
- Widyastuti, A. (2017). AKUMULASI LOGAM TIMBAL (Pb) PADA TANAMAN BAYAM CABUT (*Amarantus tricolor* L.) DENGAN PENAMBAHAN PUPUK MIKORIZA. 16(2), 444–455.
- Zhang, Y., et al. (2022). Mycorrhizal fungi in enhancing soil fertility and plant growth: A review. *Soil and Plant Nutrition*, 44(3), 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.soilplant.2022.03.001>.