



Respons Pertumbuhan dan Hasil Cabai (*Capsicum annuum* L.) terhadap Dosis NPK dan Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular

Desi Ratna Sari¹, M.Amri², Budi Santosa³

^{1,2}Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Prima Nusantara Bukittinggi, Indonesia

³ Program Studi Penyuluhan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Prima Nusantara Bukittinggi, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dechimounk88@gmail.com

Abstract: Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) are biological agents that play an important role in increasing the efficiency of nutrient uptake and plant tolerance to abiotic stress, especially in acidic soils such as ultisols. This study aims to analyze the growth and yield responses of chili (*Capsicum annuum* L.) to the combination of NPK fertilizer doses and AMF inoculation. The study was conducted in Sungai Talang, Gadut, Agam Regency, from June to October 2025 using a Factorial Completely Randomized Design with two factors, namely AMF inoculation (without AMF, *Glomus* sp., and *Rhizophagus* sp.) and NPK fertilizer doses (100%, 75%, 50%, and 25% of the recommendation). The results showed a significant interaction between AMF inoculation and NPK doses on plant height, dry weight, flowering time, and fruit yield per plant. *Glomus* sp. inoculation with a 50% NPK fertilizer dose resulted in the highest growth and yield, equivalent to the 100% NPK treatment without AMF. The integration of AMF with a 50% reduction in NPK dosage has been shown to maintain crop productivity. This strategy can serve as a basis for developing a sustainable agricultural system based on nutrient efficiency and soil microbial balance.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi; *Capsicum annuum*; Fertilizer Efficiency; NPK; Ultisol Soil.

Abstrak: Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) merupakan agen hayati yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi serapan hara dan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik, terutama pada tanah masam seperti ultisol. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons pertumbuhan dan hasil cabai (*Capsicum annuum* L.) terhadap kombinasi dosis pupuk NPK dan inokulasi FMA. Penelitian dilaksanakan di Sungai Talang, Gadut, Kabupaten Agam, dari Juni hingga Oktober 2025 menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor, yaitu inokulasi FMA (tanpa FMA, *Glomus* sp., dan *Rhizophagus* sp.) serta dosis pupuk NPK (100%, 75%, 50%, dan 25% dari rekomendasi). Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi signifikan antara inokulasi FMA dan dosis NPK terhadap tinggi tanaman, berat kering, waktu berbunga, dan hasil buah per tanaman. Inokulasi *Glomus* sp. dengan dosis pupuk NPK 50% menghasilkan pertumbuhan dan hasil tertinggi, setara dengan perlakuan NPK 100% tanpa FMA. Integrasi FMA dengan pengurangan dosis NPK hingga 50% terbukti mampu mempertahankan produktivitas tanaman. Strategi ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem pertanian berkelanjutan berbasis efisiensi hara dan keseimbangan mikrobiota tanah.

Kata kunci: *Capsicum annuum*; Efisiensi Pemupukan; Fungi Mikoriza Arbuskular; NPK; Tanah Ultisol

1. PENDAHULUAN

Cabai (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura utama di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang terus meningkat, baik untuk konsumsi domestik maupun industri olahan. Namun demikian, produktivitas cabai nasional masih berfluktuasi dan cenderung rendah akibat keterbatasan kesuburan tanah, terutama pada lahan ultisol yang luas penyebarannya mencapai ± 45 juta hektar di Indonesia (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 2024). Tanah ultisol umumnya memiliki pH masam, kandungan bahan organik rendah, kapasitas tukar kation rendah, dan ketersediaan unsur hara fosfor (P) yang sangat terbatas akibat terfiksasi oleh Al dan Fe (Khan et al., 2022; Qin et al., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan tanaman cabai sulit mencapai pertumbuhan dan hasil optimal tanpa intervensi teknologi pemupukan yang tepat. Pemupukan NPK secara intensif

memang mampu meningkatkan hasil jangka pendek, tetapi efisiensinya pada tanah masam umumnya rendah (<40%) akibat pencucian dan imobilisasi unsur hara (Wu et al., 2024). Selain itu, ketergantungan berlebihan pada pupuk kimia dapat menurunkan kualitas tanah dan mengganggu keseimbangan mikrobiota tanah (Sayed et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berkelanjutan melalui integrasi pupuk anorganik dengan agen hayati yang mampu meningkatkan efisiensi serapan hara tanaman.

Salah satu agen hayati potensial adalah Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA), kelompok jamur tanah yang membentuk asosiasi simbiotik dengan akar tanaman dan membantu memperluas daerah serapan akar melalui jaringan hifa eksternal (Felfoldi et al., 2022). FMA berperan penting dalam meningkatkan serapan fosfor, nitrogen, dan unsur mikro seperti Zn dan Cu, serta mampu memperbaiki struktur tanah dan menstabilkan agregat tanah (Franczuk et al., 2023; Yu et al., 2024). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa aplikasi FMA dapat mengurangi kebutuhan pupuk kimia hingga 50% tanpa menurunkan hasil tanaman, khususnya pada tanaman hortikultura seperti tomat, cabai, dan paprika (Subedi et al., 2023; Xiao et al., 2023).

Interaksi antara FMA dan pemupukan NPK tidak hanya bersifat aditif, tetapi juga sinergis, di mana ketersediaan hara makro pada tingkat moderat dapat meningkatkan kolonisasi mikoriza serta aktivitas enzim fosfatase dan nitrat reduktase (Qin et al., 2024; Wu et al., 2024). Aplikasi FMA jenis *Glomus* sp. dan *Rhizophagus* sp. terbukti efektif meningkatkan hasil tanaman serta kandungan klorofil dan aktivitas fotosintesis, bahkan pada kondisi stres tanah masam (Sayed et al., 2024; Franczuk et al., 2023).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons pertumbuhan dan hasil cabai (*Capsicum annuum* L.) terhadap kombinasi dosis pupuk NPK dan inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA), karena mikoriza diketahui mampu meningkatkan serapan hara terutama fosfor dan nitrogen sehingga berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman hortikultura (Smith & Read, 2008). Kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai efisiensi penggunaan pupuk kimia melalui pemanfaatan mikoriza, mengingat simbiosis mikoriza–tanaman berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pemupukan dan memperbaiki kondisi tanah marginal (Brundrett, 2009), serta menjadi dasar pengembangan teknologi pemupukan berkelanjutan di lahan ultisol yang umumnya memiliki kesuburan rendah, kejenuhan basa rendah, dan ketersediaan fosfor terbatas (Hardjowigeno, 2015).

2. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di lahan pertanian masyarakat di Jorong Sungai Talang, Nagari Gadut, Kecamatan Tilatang Kamang, Kabupaten Agam, Sumatera Barat, dari Juni hingga Oktober 2025. Lokasi penelitian berada pada ketinggian ± 780 meter di atas permukaan laut dengan suhu rata-rata harian 23–28°C dan curah hujan bulanan sekitar 290–320 mm. Berdasarkan hasil analisis tanah di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas (2025), tanah di lokasi penelitian tergolong Ultisol (Podsolik Merah Kuning) dengan karakteristik: pH (H₂O) 4,6; N-total 0,21%; P tersedia 26,3 ppm; K 0,29 cmol(+)/kg; dan kandungan bahan organik 2,35%.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi benih cabai varietas kuhay, inokulum Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) jenis *Glomus sp.* dan *Rhizophagus sp.*, pupuk NPK (15:15:15), pupuk kandang matang, serta pestisida nabati berbahan dasar neem untuk pengendalian hama ringan. Alat yang digunakan meliputi polibag ukuran 40 × 40 cm, alat ukur tinggi tanaman (meteran), timbangan analitik, oven pengering, serta alat tulis dan perangkat dokumentasi.

Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan dua faktor dan tiga ulangan.

- 1) Faktor pertama (F1): Inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA)
 - a. M₀ = Tanpa FMA
 - b. M₁ = *Glomus sp.*
 - c. M₂ = *Rhizophagus sp.*
- 2) Faktor kedua (F2): Dosis pupuk NPK (berdasarkan rekomendasi Balitsa, 2024)
 - a. N₁ = 100% dosis rekomendasi (200 kg NPK/ha)
 - b. N₂ = 75% dosis rekomendasi
 - c. N₃ = 50% dosis rekomendasi
 - d. N₄ = 25% dosis rekomendasi

Total terdapat 12 kombinasi perlakuan, masing-masing diulang tiga kali, sehingga diperoleh 36 satuan percobaan.

Prosedur Penelitian

Persiapan Media dan Penanaman

Tanah ultisol diayak dan dicampur dengan pupuk kandang sapi (perbandingan 2:1, v/v), kemudian dimasukkan ke dalam polibag sebanyak 10 kg per unit percobaan. Inokulum FMA diaplikasikan sebanyak 15 g per polibag (mengandung ± 50 spora) pada zona perakaran bibit cabai saat pindah tanam. Bibit cabai umur 21 hari (berdaun 4–5 helai) ditanam satu tanaman per polibag.

Pemeliharaan Tanaman

Penyiraman dilakukan dua kali sehari (pagi dan sore) sesuai kebutuhan kelembaban tanah. Penyiangan dilakukan manual setiap dua minggu. Pemupukan NPK dilakukan sesuai perlakuan dalam dua tahap: 50% saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam (HST) dan 50% sisanya pada 30 HST. Pengendalian hama dilakukan secara mekanis dan menggunakan pestisida nabati.

Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati meliputi:

- 1) Tinggi tanaman (cm) — diukur dari pangkal batang hingga titik tumbuh pada umur 2, 4, 6, dan 8 minggu setelah tanam.
- 2) Berat kering tanaman (g) — diperoleh dengan mengeringkan sampel tanaman pada suhu 70°C selama 48 jam.
- 3) Umur berbunga (hari setelah tanam) — dihitung sejak tanam hingga muncul bunga pertama.
- 4) Jumlah buah per tanaman (buah) — dihitung kumulatif dari panen pertama hingga akhir.
- 5) Berat buah per tanaman (g) — bobot total buah segar per tanaman selama periode panen.
- 6) Persentase kolonisasi akar oleh FMA (%) — diamati pada akar yang diwarnai dengan larutan trypan blue, menurut metode Phillips & Hayman (1970).

Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Apabila terdapat pengaruh nyata atau interaksi antara perlakuan, dilakukan uji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk membandingkan rerata perlakuan. Analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26.0 dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman (cm)

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa terdapat interaksi signifikan ($p < 0,05$) antara inokulasi FMA dan dosis pupuk NPK terhadap tinggi tanaman cabai pada semua umur pengamatan. Tinggi tanaman tertinggi diperoleh pada kombinasi perlakuan inokulasi *Glomus* sp. dengan dosis NPK 50%, yaitu 65,2 cm, tidak berbeda nyata dengan perlakuan NPK 100% tanpa FMA (63,8 cm) (Tabel 1).

Tabel 1. Rata-rata tinggi tanaman cabai (cm) pada berbagai kombinasi perlakuan FMA dan dosis pupuk NPK.

Perlakuan	100% NPK	75% NPK	50% NPK	25% NPK
Tanpa FMA	63.8 ^a	58.2 ^b	52.6 ^c	43.4 ^d
FMA <i>Glomus</i> sp.	66.1 ^a	67.8 ^a	65.2 ^a	58.7 ^b
FMA <i>Rhizophagus</i> sp.	64.2 ^a	63.5 ^a	61.3 ^b	54.6 ^c

Keterangan: Angka dengan huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada uji BNJ 5%.

Aplikasi FMA meningkatkan pertumbuhan tanaman bahkan pada dosis NPK lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa FMA berperan dalam memperluas zona serapan akar dan meningkatkan ketersediaan P serta N melalui aktivitas enzim fosfatase dan nitrat reduktase (Qin et al., 2024; Wu et al., 2024). Felfoldi et al. (2022) juga melaporkan bahwa kolonisasi mikoriza pada tomat mampu meningkatkan tinggi tanaman hingga 15–20% dibandingkan kontrol tanpa mikoriza, terutama di tanah ber-pH rendah.

Berat Kering Tanaman (g)

Perlakuan FMA dan NPK juga berpengaruh nyata terhadap berat kering tanaman. Kombinasi *Glomus* sp. dengan NPK 50% menghasilkan berat kering tertinggi, yaitu **54,8 g**, sedangkan tanaman tanpa FMA dan dosis NPK 25% hanya **32,1 g** (Tabel 2).

Tabel 2. Rata-rata berat kering tanaman cabai (g).

Perlakuan	100% NPK	75% NPK	50% NPK	25% NPK
Tanpa FMA	51.6 ^a	45.2 ^b	38.7 ^c	32.1 ^d
<i>Glomus</i> sp.	55.0 ^a	55.2 ^a	54.8 ^a	48.3 ^b
<i>Rhizophagus</i> sp.	53.6 ^a	51.8 ^a	50.2 ^b	44.7 ^c

Keterangan: Angka dengan huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada uji BNJ 5%.

Aplikasi FMA meningkatkan pertumbuhan tanaman bahkan pada dosis NPK lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa FMA berperan dalam memperluas zona serapan akar dan

meningkatkan ketersediaan P serta N melalui aktivitas enzim fosfatase dan nitrat reduktase (Qin et al., 2024; Wu et al., 2024). Felfoldi et al. (2022) juga melaporkan bahwa kolonisasi mikoriza pada tomat mampu meningkatkan tinggi tanaman hingga 15–20% dibandingkan kontrol tanpa mikoriza, terutama di tanah ber-pH rendah.

Berat Kering Tanaman (g)

Perlakuan FMA dan NPK juga berpengaruh nyata terhadap berat kering tanaman. Kombinasi *Glomus sp.* dengan NPK 50% menghasilkan berat kering tertinggi, yaitu 54,8 g, sedangkan tanaman tanpa FMA dan dosis NPK 25% hanya 32,1 g (Tabel 2).

Tabel 3. Rata-rata berat kering tanaman cabai (g).

Perlakuan	100% NPK	75% NPK	50% NPK	25% NPK
Tanpa FMA	51.6 ^a	45.2 ^b	38.7 ^c	32.1 ^d
<i>Glomus sp.</i>	55.0 ^a	55.2 ^a	54.8 ^a	48.3 ^b
<i>Rhizophagus sp.</i>	53.6 ^a	51.8 ^a	50.2 ^b	44.7 ^c

Keterangan: Angka dengan huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada uji BNJ 5%.

Peningkatan berat kering tanaman disebabkan oleh efisiensi serapan unsur hara makro, terutama P dan N, yang mendukung pembentukan jaringan fotosintetik dan metabolit primer. Penelitian oleh Franczuk et al. (2023) menunjukkan bahwa kombinasi mikoriza dan dosis NPK moderat meningkatkan berat biomassa tanaman paprika sebesar 28–35%. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Subedi et al. (2023) bahwa mikoriza mampu menggantikan hingga 50% kebutuhan pupuk N tanpa menurunkan pertumbuhan tanaman cabai.

Umur Berbunga dan Jumlah Buah per Tanaman

Interaksi perlakuan juga memengaruhi umur berbunga tanaman cabai. Tanaman yang diberi FMA berbunga lebih cepat dibanding tanpa mikoriza. Perlakuan *Glomus sp.* dengan NPK 50% menghasilkan umur berbunga tercepat (38 hari setelah tanam), sementara tanpa FMA pada NPK 25% berbunga paling lambat (46 hari)

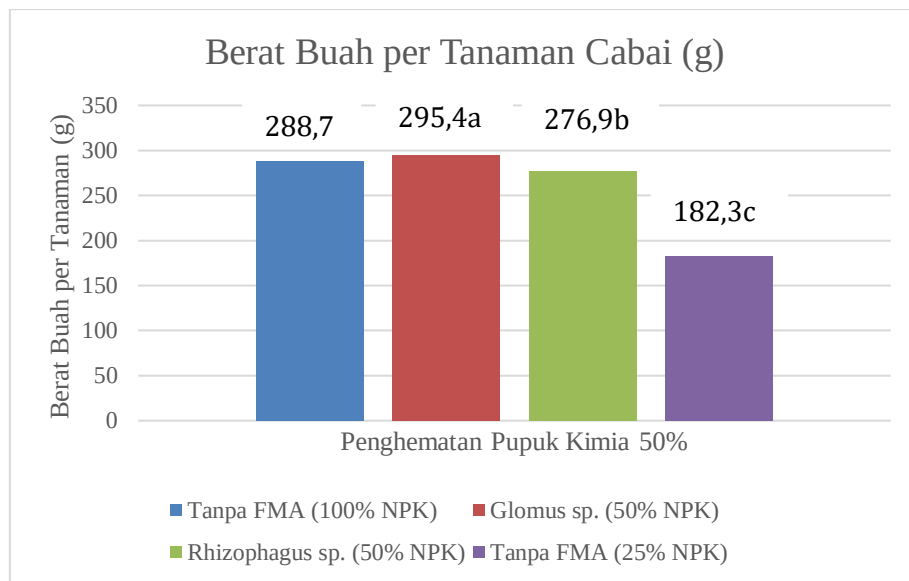
Tabel 4. Umur Berbunga dan Jumlah Buah per Tanaman.

Perlakuan	Umur Berbunga (HST)	Jumlah Buah per Tanaman (buah)
Tanpa FMA (100% NPK)	40	65
<i>Glomus sp.</i> (50% NPK)	38	88
<i>Rhizophagus sp.</i> (50% NPK)	39	82
Tanpa FMA (25% NPK)	46	47

Kolonisasi FMA mempercepat fase generatif karena meningkatkan rasio P/N dalam jaringan tanaman, yang memicu pembentukan hormon auksin dan giberelin (Xiao et al., 2023). Selain itu, *Glomus sp.* dikenal mampu meningkatkan pembentukan bunga dan buah pada tanaman hortikultura melalui peningkatan status air dan fotosintesis daun (Sayed et al., 2024).

Berat Buah per Tanaman (g)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi FMA dan NPK memberikan pengaruh sangat nyata terhadap hasil buah per tanaman. Kombinasi *Glomus sp.* + 50% NPK menghasilkan berat buah per tanaman tertinggi, yaitu 295,4 g, setara dengan perlakuan NPK penuh tanpa FMA (288,7 g) (Gambar 1).



Gambar 1. Efisiensi pemupukan meningkat hingga 48% pada perlakuan FMA + NPK 50%, yang berarti potensi penghematan pupuk kimia mencapai separuh dosis standar tanpa mengurangi hasil panen.

Peningkatan hasil buah dikaitkan dengan peningkatan ketersediaan fosfor yang mendukung proses pembungaan dan pembesaran buah (Yu et al., 2024). Menurut penelitian Wu et al. (2024), inokulasi mikoriza meningkatkan serapan fosfor sebesar 35–45% dan nitrogen 25–30% dibandingkan tanpa FMA, terutama pada tanah masam bertekstur liat seperti ultisol.

Franczuk et al. (2023) juga menegaskan bahwa aplikasi *Glomus sp.* dapat meningkatkan hasil paprika hingga 40% melalui peningkatan fotosintesis dan translokasi asimilat ke organ generatif.

Mekanisme Fisiologis dan Implikasi Agronomis

Secara fisiologis, tanaman bermikoriza membentuk sistem perakaran yang lebih luas dan efektif dalam mengeksplorasi hara terikat. Hifa eksternal FMA dapat memperluas zona penyerapan fosfat hingga 4–8 kali lebih luas dari akar utama (Khan et al., 2022). Hal ini menyebabkan tanaman mampu tumbuh optimal meskipun dosis NPK dikurangi.

Interaksi sinergis antara pupuk NPK dan FMA terjadi karena FMA membutuhkan ketersediaan unsur makro dalam jumlah moderat untuk memacu kolonisasi akar dan aktivitas enzim-enzim kunci seperti fosfatase dan dehidrogenase (Qin et al., 2024). Mekanisme ini juga berperan dalam mempertahankan keseimbangan mikrobiota tanah, meningkatkan aktivitas mikroba menguntungkan seperti *Azotobacter* dan *Bacillus* di rhizosfer (Sayed et al., 2024).

Dengan demikian, penggunaan FMA *Glomus sp.* dengan pengurangan dosis pupuk NPK hingga 50% dapat direkomendasikan sebagai strategi pemupukan efisien untuk cabai di tanah ultisol. Pendekatan ini tidak hanya menurunkan biaya produksi dan ketergantungan terhadap pupuk kimia, tetapi juga mendukung sistem pertanian berkelanjutan berbasis mikroba tanah.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat interaksi yang signifikan antara dosis pupuk NPK dan inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) terhadap pertumbuhan dan hasil cabai (*Capsicum annuum* L.) pada tanah ultisol. Inokulasi FMA jenis *Glomus sp.* dengan dosis NPK 50% memberikan respons pertumbuhan terbaik dan hasil buah tertinggi (295,4 g per tanaman), yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan NPK 100% tanpa FMA. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Glomus sp.* mampu meningkatkan efisiensi pemupukan hingga 48%, memungkinkan pengurangan dosis pupuk kimia hingga separuh tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Mekanisme peningkatan efisiensi tersebut disebabkan oleh peran hifa eksternal mikoriza dalam memperluas zona serapan akar dan meningkatkan ketersediaan fosfor serta nitrogen di rhizosfer. Dengan demikian, penerapan kombinasi FMA *Glomus sp.* + 50% dosis NPK dapat direkomendasikan sebagai strategi pemupukan berkelanjutan pada budidaya cabai di lahan ultisol, karena selain meningkatkan efisiensi hara juga berpotensi menjaga keseimbangan mikrobiota tanah dan mengurangi ketergantungan terhadap pupuk anorganik.

DAFTAR PUSTAKA

- Brundrett, M. C. (2009). *Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: Understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis*. *Plant and Soil*, 320(1–2), 37–77. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9877-9>
- Felföldi, Z., Vidican, R., Stoian, V., Roman, I. A., & Sestras, R. E. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization influence yield and root colonization of tomato genotypes. *Plants*, 11(13), 1743. <https://doi.org/10.3390/plants11131743>
- Franczuk, J., Tartanus, M., Rosa, R., & Dydiv, A. (2023). Effect of mycorrhizal fungi and mineral fertilizer levels on growth and yield of sweet pepper. *Agriculture*, 13(4), 857. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040857>
- Hardjowigeno, S. (2015). *Ilmu tanah*. Akademika Pressindo.
- Khan, Y., Shah, S., & Hui, T. (2022). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrients and metabolites of cereal crops. *Agronomy*, 12(9), 2191. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092191>
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158–161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (BBSDLP). (2024). *Peta kesesuaian lahan dan klasifikasi tanah Ultisol di Indonesia*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Qin, Z., Tian, Y., Hao, W., & Gai, J. (2024). Predictors of mycorrhizal response under multiple fertilization regimes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 365, 108926. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108926>
- Sayed, E. G., Desouky, A. F., & Azoz, S. N. (2024). Synergistic influence of arbuscular mycorrhizal fungi and nanoparticle foliar application on chili (*Capsicum annuum* L.) under stress conditions. *Plants*, 13(4), 517. <https://doi.org/10.3390/plants13040517>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Subedi, P., Bhattarai, P., & Shrestha, J. (2023). Effect of nitrogen and charcoal levels on growth and yield traits of chili (*Capsicum annuum* L.). *Heliyon*, 9(2), e13353. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13353>
- Wu, Y., Chen, C., & Wang, G. (2024). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nutrient uptake: A meta-analysis. *BMC Plant Biology*, 24, 960. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>
- Xiao, X., Liao, X., & Chen, J. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth and nutrient uptake under drought stress and recovery. *Journal of Fungi*, 9(3), 321. <https://doi.org/10.3390/jof9030321>
- Yu, B., Zhou, C., & Yu, P. (2024). Maize zinc uptake is influenced by mycorrhizal symbiosis under various soil phosphorus availabilities. *New Phytologist*, 243(5), 1936–1950. <https://doi.org/10.1111/nph.19952>
- Yulnafatmawita, N., Arifin, Y. F., & Fitri, A. (2021). Soil fertility status and management recommendation for upland areas in West Sumatra. *Jurnal Tanah Tropika*, 26(2), 115–123. <https://doi.org/10.5400/jts.2021.26.2.115>