

Potential of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Overcome Drought Stress and Low Nutrient Availability in Dryland Farming

Mira Yunita^{1*}, Taufik Fauzi², Suwardji², A. A. Ketut Sudharmawan², Mulyati²

¹Program Studi Pertanian Lahan Kering, Program Pascasarjana, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Article History

Received : July 17th, 2024

Revised : July 30th, 2024

Accepted : August 18th, 2024

*Corresponding Author: **Mira Yunita**, Program Studi Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;
Email: mirayunita0602@gmail.com

Abstract: There is an increasing rate of land conversion in Indonesia that can threaten food self-sufficiency. Therefore farmers and the government must expand agriculture by developing agriculture on potential available lands such as drylands. However, drylands in Indonesia have low productivity due to low water and nutrient availability. This article aims to determine the potential use of arbuscular mycorrhizal fungi to overcome drought stress and low nutrient availability in drylands. The method used in writing this article is a desk literature study conducted by collecting data from various sources, such as scientific journals, seminar proceedings, and online reports available in related government office in West Nusatenggara Province. The data obtained were then analyzed qualitatively by identifying, reviewing, and synthesizing information to produce a complete and comprehensive explanation. The results of the literature study showed that arbuscular mycorrhizal fungi have the potential to overcome drought stress and low nutrient availability in drylands. The use of arbuscular mycorrhizal fungi can be a sustainable solution to increase agricultural productivity in drylands.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, dryland, drought stress, low nutrient availability.

Pendahuluan

Beberapa tahun terakhir, telah terjadi alih fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian di Indonesia. Mulyani *et al.* (2016) memaparkan bahwa terjadi peningkatan laju konversi lahan sawah sebesar 54.716 ha per tahun dalam kurun waktu tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 di sembilan daerah sentra produksi nasional, yaitu Jawa Barat, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, Kalimantan Selatan, Sumatera Selatan, Sumatera Utara, dan Gorontalo. Peningkatan laju konversi lahan pertanian menyebabkan pemerintah maupun petani harus mencari alternatif lainnya untuk tetap menjaga produksi pertanian supaya konversi lahan tidak menimbulkan ancaman terhadap swasembada pangan. Salah satu solusi untuk mencegah ancaman swasembada pangan akibat tingginya laju konversi lahan yaitu dengan melakukan ekstensifikasi pertanian dengan

mencari lahan-lahan baru yang potensial untuk mengembangkan komoditi pertanian.

Lahan potensial yang dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan pertanian yaitu lahan kering, karena areal lahan kering yang terdapat di Indonesia cukup luas. Sebagaimana yang disampaikan oleh Dirjen Tanaman Pangan (2022) bahwa total luas lahan kering di Indonesia mencapai 144,47 juta hektar dan dari total luasan tersebut diketahui bahwa sekitar 62,64 juta hektar lahan kering masam serta 7,76 juta hektar lahan kering iklim kering memiliki potensi untuk mengembangkan pertanian. Akan tetapi, terdapat beberapa faktor pembatas yang menjadi kendala dalam melakukan pertanian di lahan kering. Mamat (2016) memaparkan bahwa kendala teknis terkait budidaya tanaman di lahan kering meliputi rendahnya curah hujan sehingga ketersediaan air rendah, tingginya evapotranspirasi, kadar hara relatif rendah di beberapa lokasi, dan bahaya erosi yang tinggi di

daerah perbukitan. Berbagai kendala tersebut seringkali mengakibatkan produktivitas lahan kering menjadi rendah.

Inokulasi FMA (Fungi Mikoriza Arbuskula) pada tanaman yang dibudidayakan di lahan kering dapat menjadi salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering, karena FMA dapat berperan dalam mengatasi masalah ketersediaan air dan hara yang rendah. FMA merupakan salah satu jenis mikoriza yang tergolong sebagai endomikoriza dan termasuk jamur tular tanah yang diketahui dapat meningkatkan serapan hara tanaman dan ketahanan terhadap beberapa faktor stres abiotik pada tanaman (Sun *et al.*, 2018). Pada lahan kering yang seringkali mengalami cekaman kekeringan, endomikoriza dapat berperan dalam meningkatkan toleransi melalui kontrol stomata, penyerapan air dan nutrisi langsung oleh hifa (Zhang *et al.*, 2018; Kuswandi & Sugiyarto, 2015), serta meningkatkan kelangsungan hidup tanaman melalui pemeliharaan homeostatis sel (Wu *et al.*, 2019).

Oleh karena itu, tujuan dari penulisan artikel ini yaitu untuk mengetahui potensi fungi mikoriza arbuskula dalam mengatasi cekaman kekeringan dan rendahnya ketersediaan hara pada tanaman di lahan kering. Artikel ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk meningkatkan produktivitas lahan kering melalui pengelolaan air dan hara guna mendukung terwujudnya pertanian yang berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Metode yang digunakan pada penulisan artikel ini yaitu studi literatur yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, prosiding seminar, dan laporan penelitian dan kemajuan dalam pengembangan lahan kering sejenisnya. Data-data yang didapatkan dari berbagai sumber tersebut kemudian dianalisis secara kualitatif dengan mengidentifikasi, mengkaji, serta mensintesis informasi untuk menghasilkan hasil diskusi dan penjelasan yang utuh komprehensif dan kritis mengenai potensi fungi mikoriza arbuskula untuk mengatasi cekaman kekeringan dan rendahnya ketersediaan hara pada tanaman di lahan kering. Adapun beberapa aspek yang dikaji yaitu terkait gambaran umum fungi mikoriza

arbuskula, peran mikoriza yang berkaitan dengan cekaman kekeringan atau kurangnya ketersediaan air pada tanaman di lahan kering, peran fungi mikoriza arbuskula yang berkaitan dengan rendahnya kadar unsur hara di lahan kering, faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas FMA, dan pengaruh inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Hasil studi pustaka tersebut kemudian disajikan dalam bentuk narasi kritis yang koheren dan sistematis.

Hasil dan Pembahasan

Fungi Mikoriza Arbuskula

Istilah mikoriza menggambarkan simbiosis yang terjadi antara jamur dengan inang yang berupa akar tanaman (Goodbold, 2004). Mikoriza dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan struktur dan cara jamur tersebut menginfeksi akar tanaman, yaitu ektomikoriza dan endomikoriza (Pujiyanto, 2001). Jamur endomikoriza lebih banyak ditemukan dibandingkan ektomikoriza karena jumlah tanaman inang endomikoriza lebih banyak daripada ektomikoriza. Salah satu jenis endomikoriza yang paling terkenal yaitu FMA (Fungi Mikoriza Arbuskula). FMA menginfeksi akar tanaman dengan cara jaringan hifa jamur masuk ke dalam sel korteks pada akar tanaman inang lalu membentuk struktur berupa vesikula dan arbuskula.

Sebagian besar kasus simbiosis antara FMA dengan akar tanaman akan membentuk simbiosis mutualisme, di mana FMA mendapatkan keuntungan dari akar tanaman inang dan tanaman inang juga mendapatkan manfaat dari FMA. Berdasarkan simbiosis yang berlangsung antara FMA dengan akar tanaman inang, diketahui akar tanaman akan menyediakan nitrogen dan mineral penting bagi FMA, kemudian FMA akan menyediakan air dan nutrisi penting lainnya untuk tanaman (Xiao *et al.*, 2022). FMA diketahui memberikan manfaat yang penting bagi tanaman inangnya, seperti peningkatan penyerapan air dan unsur hara, meningkatkan ketahanan terhadap penyakit (Chanclud & Morel, 2016), dan mobilisasi unsur hara dari substrat organik (Wang *et al.*, 2022). Menurut (Liu *et al.*, 2020), FMA mulai bersimbiosis dengan tanaman inang sejak 400 atau 480 juta tahun yang lalu dan memfasilitasi

kolonisasi tanaman terestrial pertama di daratan. Bahkan Mbodj *et al.* (2018) melaporkan terdapat sekitar 80% spesies tanaman terestrial di bumi ini yang bersimbiosis dengan FMA dan memberikan keuntungan bagi tanaman.

FMA memiliki kelimpahan dan hubungan yang luas dengan berbagai jenis tanaman, namun keanekaragaman dari FMA relatif rendah. Secara morfologi diketahui hanya terdapat sekitar 240 spesies FMA, akan tetapi jika ditinjau dari segi penelitian molekuler terdapat kemungkinan bahwa keanekaragaman FMA jauh lebih tinggi (Kruger *et al.*, 2012). Berdasarkan penelitian Aqma *et al.*, (2020) terkait jenis fungi mikoriza arbuskula pada berbagai pohon di Kawasan Glee Nipah Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar, ditemukan sebanyak 26 spesies fungi mikoriza arbuskula yang terbagi ke dalam 4 ordo, yaitu Diversiporales, Andogonales, Glomeromycota, dan Glomerales. Berbagai spesies FMA tersebut memiliki mekanisme infeksi yang sama, sebagaimana yang dijelaskan oleh Basri (2018), infeksi FMA diawali dengan apresorium yang terbentuk di permukaan akar, lalu apresorium tersebut menembus sel-sel epidermis akar. Setelah itu, hifa intraseluler atau ekstraseluler akan tumbuh di dalam korteks inang dan pada jenis tanaman tertentu hifa akan membentuk koil hifa di luar korteks. Hifa yang terdapat pada rizosfer selanjutnya membantu tanaman untuk meningkatkan serapan hara.

Peran mikoriza yang berkaitan dengan cekaman kekeringan atau kurangnya ketersediaan air pada tanaman di lahan kering

Stres tanaman akibat kekeringan biasanya menimbulkan efek negatif pada tanaman seperti yang disampaikan oleh Hasanuzzaman *et al.*, (2013) bahwa kekurangan air pada akar menyebabkan berkurangnya laju transpirasi dan menyebabkan stres eksidatif pada tanaman. Ahanger *et al.* (2017) juga menambahkan bahwa cekaman kekeringan dapat mempengaruhi aktivitas enzim, serapan ion, dan asimilasi unsur hara. Namun, keberadaan FMA pada tanaman diketahui dapat mengurangi stres kekeringan dan membantu tanaman dalam meningkatkan ukuran dan efisiensi akar, indeks luas daun, dan biomassa pada kondisi cekaman kekeringan (Gholamhoseini *et al.*, 2013).

FMA diketahui juga dapat membantu toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan melalui perubahan fisiologis organ dan jaringan di atas tanah (Barzana *et al.*, 2012). Hal tersebut sejalan dengan yang disampaikan oleh Rut *et al.*, (2011) bahwa FMA berkontribusi 20% terhadap total serapan air tanaman. Bernardo *et al.* (2019) menyatakan mikoriza dapat mengatasi kekurangan air melalui mitigasi kekeringan dan toleransi kekeringan. Strategi mitigasi kekeringan dilakukan dengan cara meningkatkan penyerapan air oleh FMA, sedangkan toleransi kekeringan merupakan hasil gabungan antara manfaat FMA dalam menyerap air dan kemampuan tanaman untuk mengatasi stres kekeringan (Posta & Duc, 2019). Mitigasi kekeringan kemungkinan disebabkan oleh kemampuan hifa FMA dalam meningkatkan luas permukaan akar untuk penyerapan air, peningkatan akses ke pori-pori tanah yang kecil, ataupun peningkatan aliran air apoplastik (Auge, 2001).

Peran fungsi mikoriza arbuskula yang berkaitan dengan rendahnya kadar unsur hara di lahan kering

FMA memiliki peranan dalam pemeliharaan daur hara, membenahi struktur tanah, membantu pengangkutan karbon pada sistem perakaran, serta mengatasi degradasi kesuburan tanah (Sianturi, 2014). FMA juga diketahui sangat efektif dalam membantu tanaman menyerap unsur hara dari tanah yang kekurangan unsur hara (Kayama dan Yamanaka, 2014). Keberadaan FMA pada akar tanaman dapat meningkatkan total permukaan serapan akar tanaman, sehingga akses tanaman terhadap unsur hara juga akan meningkat, terutama pada unsur hara yang berbentuk ion dengan tingkat mobilitas yang buruk atau hara yang konsentrasinya rendah dalam larutan tanah (Smith & read, 2008).

Balliu *et al.* (2015) menyatakan bahwa inokulasi FMA pada tanaman tomat ternyata dapat meningkatkan luas daun tanaman tomat serta meningkatkan kandungan nitrogen, kalium, kalsium, dan fosfor pada tanaman. Selain itu, FMA juga mempunyai kemampuan untuk mentransfer hara nitrogen ke tanaman inang (Zhang *et al.*, 2018). Namun, yang perlu diketahui adalah serapan unsur hara makro dan mikro tidak hanya tergantung jenis mikoriza

namun juga tergantung pada jenis tanaman inang (Trouvelot *et al.*, 2015). Pada tanaman sorgum diketahui terjadi peningkatan serapan fosfor dan kalium serta peningkatan terhadap nitrogen total akibat FMA (Nakmee *et al.*, 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Conversa *et al.* (2019) dan Luo *et al.* (2019) menunjukkan bahwa inokulasi FMA dapat mempengaruhi penyerapan selenium pada gandum. Simbiosis FMA dengan akar tanaman memiliki dampak yang positif terhadap konsentrasi Zn di berbagai jaringan tanaman. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh (Coccina *et al.*, 2019) bahwa FMA ini memberikan kontribusi yang besar terhadap penyerapan Zn pada tanaman sereal seperti gandum dan barley, hanya saja serapan Zn ini tergantung pada kesesuaian fungsional antara FMA dengan tanaman inang.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kolonisasi dan efektivitas FMA

Jenis FMA dan tanaman inang dapat mempengaruhi tingkat kolonisasi fungi yang bersimbiosis dengan akar tanaman, karena hal tersebut berkaitan dengan pertumbuhan akar dan kepekaan akar inang (Smith & Read, 2008). Pernyataan tersebut kemudian didukung oleh hasil penelitian Sufaati *et al.*, (2011) yang menyebutkan bahwa infeksi fungi mikoriza arbuskula berbeda-beda pada tiap jenis tanaman di mana rerata tingkat infeksi FMA pada tanaman jagung yaitu 98%, cabai 43,3%, tomat 57,98%, sawi 43,3%, dan kubis 10,64%. Selain jenis tanaman inang, berikut juga merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas FMA:

Kesuburan tanah

Nitrogen dan fosfor dapat mempengaruhi infeksi akar oleh FMA apabila kadar nitrogen dan fosfor tinggi (Alkobaisy, 2022). Pada kondisi kekurangan fosfor maka jumlah fosfolipid dalam membran sel akar menurun, sehingga permeabilitas membran akar meningkat yang menyebabkan terjadinya peningkatan sekresi gula pereduksi akar dan akhirnya persentase akar yang terinfeksi mikoriza mengalami peningkatan (Cooper, 1984). Menurut Pulungan (2013), semakin tinggi unsur hara pada tanah maka tingkat infeksi jamur FMA pada akar tanaman akan semakin rendah. Beberapa kasus, tanah dengan tingkat kesuburan yang tinggi akan

menyebabkan infeksi mikoriza menjadi sedikit, namun rendahnya tingkat kesuburan tidak selalu menjadi syarat berkembangnya mikoriza secara signifikan.

Suhu

Pembentukan spora dan koloni mikoriza dipengaruhi oleh suhu. Pergantian dan penurunan suhu diketahui dapat meningkatkan pembentukan koloni dan spora FMA di mana suhu 20 – 30°C merupakan suhu ideal miselium pada permukaan akar dan suhu 35°C adalah suhu yang paling ideal untuk pembentukan spora (Alkobaisy, 2022).

Cahaya

Secara tidak langsung cahaya mampu mempengaruhi mikroorganisme tanah dengan cara mempengaruhi tanaman yang produk fotosintesisnya dilepaskan melalui akar (Dehlin *et al.*, 2008). Penetrasi cahaya melalui tanah dapat berpengaruh terhadap berbagai faktor ekologis yang penting, seperti pertumbuhan akar, perkecambahan spora, pertumbuhan jamur, dan pembentukan bintil mikoriza dan polong-polongan (Alkobaisy, 2022).

pH

Nilai pH memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mikoriza dan jenis FMA juga berperan dalam menentukan kesesuaian jenis interaksi. Salah satu contohnya yaitu *Glomus mosseae* yang diisolasi dari tanah alkalin sporanya mampu berkecambah pada rentang pH 6 – 9, sementara *Gigaspora koralloida* yang diisolasi dari tanah masam fluorida sporanya dapat berkecambah pada pH 4 – 6 (Alkobaisy, 2022).

Salinitas

Salinitas berpengaruh penting terhadap persentase infeksi mikoriza dan perkecambahan spora. Diketahui bahwa proses pembentukan spora mikoriza terdiri dari empat fase dan kegagalan dari salah satu atau lebih fase tersebut disebabkan oleh tingginya konsentrasi garam terlarut pada larutan tanah yang dapat menunda ataupun menghentikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman inang (Alkobaisy, 2022).

Pengaruh inokulasi mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Penerapan mikoriza pada tanaman efektif dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman (Afrinda & Islami, 2018), karena keberadaan mikoriza pada tanaman akan meningkatkan penyerapan hara nitrogen, fosfor, dan kalium (Hadianur *et al.*, 2017) dan lebih dari 50% kebutuhan N tanaman diperoleh dari simbiosis antara tanaman dengan mikoriza (Adetya *et al.*, 2018). Hal tersebut dikarenakan mikoriza pada tanaman akan meningkatkan luas sebaran akar dalam tanah dan menjadikan hara lebih banyak tersedia bagi tanaman (Trisilawati *et al.*, 2012). Perluasan volume sebaran akar disebabkan oleh tingginya persentase infeksi akar, sehingga hormon rhizokalin yang disekresikan oleh akar menjadi lebih banyak dan akhirnya luas serta volume akar menjadi lebih besar (Meisilva *et al.* 2019).

Hasil penelitian Madusari *et al.*, (2018) menjelaskan inokulasi mikoriza arbuskular pada tanaman cabai mampu meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, bobot basah, dan bobot kering buah cabai. Selain itu, pada tanaman jagung manis yang diberikan mikoriza arbuskular juga terjadi peningkatan pada komponen pertumbuhannya, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, bobot kering total, serta terjadi peningkatan pada komponen hasil jagung manis (Faizi & Purnamasari, 2019). Pada tanaman bawang dayak yang ditanam di lahan marginal diketahui bahwa aplikasi mikoriza mampu meningkatkan jumlah dan bobot umbi bawang dayak (Sukmawati & Kasiamdari, 2021).

Kesimpulan

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan ketersediaan air dan nutrisi untuk tanaman di lahan kering. Penggunaan FMA juga dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas pertanian di lahan kering.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. Ir. M. Taufik Fauzi, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Suwardji, M.App.Sc., Ph.D., Dr. Ir. A.A. Ketut

Sudharmawan, M.P., dan Prof. Ir. Mulyati, SU., Ph.D. yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan artikel ini.

Referensi

- Adetya, V., Nurhatika, S. & Muhibudin, A. (2018). Pengaruh Pupuk Mikoriza Terhadap Pertumbuhan Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) di Tanah Pasir. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7 (2): 2337 – 3520. DOI: https://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/download/37251/5455
- Afrinda, M.S. & Islami, T. (2018). Pengaruh Mikoriza Arbuskular dan Pupuk P Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6 (7): 1465 – 1472. DOI: https://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/download/37251/5455
- Ahanger, M.A., Tyagi, S.R., Wani, M.R. & Ahmad, P. (2014). Drought Tolerance: Role of Organic Osmolytes, Growth Regulators, and Mineral Nutrients. *Physiological Mechanism and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*, 1: 25 – 55. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-8591-9_2,
- Alkobaisy, J.S. (2022). Factors Affecting Mycorrhizal Activity. *Mycorrhiza-New Insights*, 1 – 2 . DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.108099>
- Aqma, R.Z.A., Rahmi, A., Yanti, A.R. & Hidayat, M. (2020). Jenis Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Pada Berbagai Pohon Kawasan Glee Nipah Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Semminar Nasional Biotik*. URL: <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/PBiotik/article/view/9561>
- Auge, R.M. (2001). Water Relation, Drought and Vesicular-Arbuskular Mycorrhizal Symbiosis. *Mycorrhiza*, 11: 3 – 42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- Balliu, A., Sallaku, G. & Rewald B. (2015). AMF Inoculation Enhances Growth and Improves The Nutrient Uptake Rates of

- Transplanted, Salt-Stressed Tomato Seedlings. *Sustainability*, 7 (12): 15967 – 15981. DOI: <https://doi.org/10.3390/su71215799>
- Barzana, G., Aroca, R. & Ruiz, L.J.M. (2015). Localized and Nonlocalized Effects of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis on Accumulation of Osmolytes and Aquaporins and on Antioxidant Systems in Maize Plants Subjected to Total or Partial Root Drying. *Plant Cell Environmental*, 38: 1613 – 1627. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12507>
- Basri, A.H.H. (2018). Kajian Peranan Mikoriza dalam Bidang Pertanian. *Agrica Ekstensi*, 12 (2): 74 – 78. URL: <https://www.polbangtanmedan.ac.id/upload/upload/jurnal/Vol%2012-2/11%20Arie%20Mikoriza.pdf>
- Bernardo, L., Carletti, P., Badeck, F.W., Rizza, F., Morcia, C., Ghizzoni, R., Rouphael, Y., Colla, G., Terzi, V. & Lucini, L. (2019). Metabolomic Responses Triggered by Arbuscular Mycorrhiza Enhance Tolerance to Water Stress in Wheat Cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*, 137: 203 – 212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.007>
- Chanclud, E. & Morel, J.B. (2016). Plant Hormones: A Fungal Point of View. *Molecular Plant Pathology*, 17 (8): 1289 – 1297. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12393>
- Coccina, A., Cavagnaro, T.R., Pellegrino, E.E., Ercoli, L., McLaughlin, M. & Watts-William, S.J. (2019). The Mycorrhizal Pathway of Zinc Uptake Contributes to Zinc Accumulation in Barley and Wheat Grain. *BMC Plant Biology*, 19: 1 – 14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1741-y>
- Conversa, G., Lazzizzera, C., Chiaravalle, A.E., Miedico, O., Bonasia, A., La Rotonda, P. & Elia, A. (2019). Selenium Fertilization and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Soil Inoculation Enhance Se Content and Antioxidant Properties of Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Scientia Horticulturae*, 252: 176 – 191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.056>
- Coopers, K.M. (1984). Physiology of VA-Mycorrhizal Association in VA Mycorrhiza. *Florida: Press*: 155 – 186. DOI: <http://dx.doi.org/10.1201/9781351077514-8>
- Dehlin, H., Peltzer D., Allison, V., Yeates, G., Nilsson, M. & Wardle, D. (2008). Tree Seedling Performance and Below-Ground Properties in Stands of Invasive and Native Tree Species. *New Zealand Journal of Ecology*, 32: 67 – 69. URL: <https://newzealandecology.org/nzje/2849.pdf>
- Faizi, M. & Purnamasari, R.T. (2019). Pengaruh Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis (*Zea mays Saccharata* Sturt.). *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, 3 (2): 22 – 27. URL: <https://jamp-jurnal.unmerpas.ac.id/index.php/jamppertanian/article/download/31/31>
- Gholamhoseini, M., Ghalvand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E. & Khodaei, J.A. (2013). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Inoculation on Growth, Yield, Nutrient Uptake and Irrigation Water Productivity of Sunflowers Grown Under Drought Stress. *Agricultural Water Management*, 117: 106 – 114. DOI: [10.1016/j.agwat.2012.11.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.007)
- Godbold, D.L. (2004). *Tree Physiology/Mycorrhizae*. University of Wales, Bangor, United Kingdom. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-145160-7/00106-X>
- Hadianur, Syafrudin. & Kesumawati, E. (2017). Pengaruh Fungi Mikoriza Arbuskular Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agrotek Lestari*, 3 (1): 30 – 38. DOI: <https://doi.org/10.35308/jal.v3i1.293>
- Hasanuzzaman, M., Gill, S.S. & Fujita, M. (2013). Physiological Role of Nitric Oxide in Plants Grown Under Adverse Environmental Conditions. *Plants Acclimation to Environmental Stress*: 269

- 322. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-5001-6_11
- Kayama, M. & Yamanaka, T. (2014). Growth Characteristics of Ectomycorrhizal Seedlings of *Quercus glauca*, *Quercus salicina*, and *Castanopsis cuspidata* planted on Acidic Soil. *Trees*, 28: 569 – 583. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-013-0973-y>
- Kruger, M., Kruger, C., Walker, C., Stockinger, H. & Schubler, A. (2012). Phylogenetic Reference Data for Systematics and Phylotaxonomy of Arbuscular Mycorrhizal Fungi From Phylum to Species Level. *New Phytologist*, 193 (4): 970 – 984. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03962.x>
- Kuswandi, P.C. & Sugiyarto, L. (2015). Aplikasi Mikoriza Pada Media Tanam Dua Varietas Tomat Untuk Peningkatan Produktivitas Tanaman Sayur Pada Kondisi Cekaman Kekeringan. *Jurnal Sains Dasar*, 4 (1): 17 – 22. DOI: <https://doi.org/10.21831/jsd.v4i1.8432>
- Luo, W., Li, J., Ma, X., Niu, H., Hou, S. & Wu, F. (2019). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Uptake of Selenate, Selenite, and Selenomethionine by Roots of Winter Wheat. *Plant and Soil*, 438: 71 – 83. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04001-4>
- Madusari, S., Yama, D.I., Jumardin, Liadi, B.T. & Baedowi, R.A. (2018). Pengaruh Inokulasi Jamur Mikoriza Arbuskular Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.). *Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*. URL: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3536/2720>
- Mamat, H.S. (2016). Lahan Sub Optimal: Kendala dan Tantangan di Sektor Pertanian. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*. URL: <https://kmc-pengairan.bappenas.go.id/knowledge-management/download/270>
- Mbodj, D., Effa-Effa, B., Kane, A., Manneh, B., Gantet, P., Laplaze, L., Diedhiou, A. & Grondin A. (2018). Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Rice: Establishment, Environmental Control and Impact on Plant Growth and Resistance to Abiotic Stresses. *Rhizosphere*, 8: 12 – 26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.08.003>
- Meisilva, E.S., Hariyadi, & Wilarso, B.R.S. (2019). Pertumbuhan Bibit Vanili (*Vanilla planifolia* A.) Terinokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula dan Trichoderma Harzianum Pada Tanah Ultisol. Scientific Repository Institut Pertanian Bogor. URL: <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/81733>
- Mulyani, A., D. Kuncoro. D. Nursyamsi, & F. Agus. (2016). Analisis Konversi Lahan Sawah: Penggunaan Data Spasial Resolusi Tinggi Memperlihatkan Laju Konversi Yang Mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40: 43-55. URL: <https://media.neliti.com/media/publication/s/133680-ID-konversi-lahan-sawah-indonesia-sebagai-a.pdf>
- Nakmee, P.S., Techapinyawat, S. & Ngamprasit, S. (2016). Comparative Potentials of Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Nutrient Uptake and Biomass of *Sorghum Bicolor* Linn. *Agricultural and Natural Resources*, 50: 173 – 178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.06.004>
- Posta, K. & Duc, N.H. (2019). Benefits of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Application to Crop Production Under Water Scarcity. *Drought Detect*. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86595>
- Pujiyanto. (2001). Pemanfaatan Jasad Mikro, Jamur Mikoriza dan Bakteri dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan di Indonesia: Tinjauan dari Perspektif Falsafah Sains. *Makalah Falsafah Sains Program Pasca Sarjana IPB*, Bogor. DOI: <https://www.rudycr.com/PPS702-ipb/02201/pujiyanto.htm>
- Pulungan, A.S.S. (2013). Infeksi Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Akar Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Biosains*, 1 (1): 43 – 46.

- Rut, B., Khalvati, M. & Schmidhalter, U. (2011). Quantification of Mycorrhizal Water Uptake Via High-Resolution On-Line Water Content Sensors. *Plant and Soil*, 342: 459 – 468. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-010-0709-3>
- Sianturi, H. (2014). *Keanekaragaman Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Berbagai Varietas Tanaman Kopi*. Universitas Sumatera Utara. URL: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/42926>
- Smith, S.E. & Read, D.J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis 3rd edition*. Academic Press. San Diego. USA. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0015br>
- Sufaati, S., Suharno, & Bone, I.H. (2011). Endomikoriza yang Berasosiasi dengan Tanaman Pertanian Non-Legum di Lahan Pertanian Daerah Transmigrasi Koya Barat, Kota Jayapura. *Jurnal Biologi Papua*, 3 (1): 1 – 8. DOI: <http://dx.doi.org/10.31957/jbp.542>
- Sukmawati, I. & Kasiamdari, R.S. (2021). Pengaruh Inokulasi Mikoriza VA Terhadap Pertumbuhan Bawang Dayak (*Eleutherine palmifolia* L.) Pada Tanah Marginal. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 38 (1): 47 – 54 DOI: 10.20884/1.mib.2021.38.1.1086
- Sun, Z., Song, J., Xin, X., Xie, X. & Zhao, B. (2018). Arbuscular Mycorrhizal Fungal Proteins 14-3-3 are Involved in Arbuscule Formation and Responses to Abiotic Stresses During AM Symbiosis. *Front. Microbiol*, 5: 9 – 19. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00091>
- Trisilawati, O., Towaha, J. & Daras, U. (2012). Pengaruh Mikoriza dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jambu Mete Muda. *Buletin RISTRI*, 3 (1): 91 – 98. DOI: <https://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v3n1.2012.p91-98>
- Wang, F., Zhang L., Zhou, J., Rengel, Z., George, T.S. & Feng, G. (2022). Exploring the Secrets of Hyphosphere of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Processes and Ecological Functions. *Journal of Plant and Soil*, 1 (1): 1 – 22. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05621-z>
- Xiao, L., Lai, S., Chen, M., Long, X., Fu, X. & Yang, H. (2022). Effects of Grass Cultivation on Soil Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community in a Nanfeng Tangerine Orchard. *Rhizosphere*, 24 (11). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100583>
- Zhang, T., Hu, Y., Zhang, K., Tian, C. & Guo, J. (2018). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve Plant Growth of *Ricinus communis* by Altering Photosynthetic Properties and Increasing Pigments Under Drought and Salt Stress. *Industrial Crops and Products*, 117:13 – 19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.087>