

Kualitas Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) yang Diproduksi dengan Teknik Fortifikasi dan Fertigasi Berbeda pada Pertumbuhan *Indigofera zollingeriana*

(The Quality of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Produced by Various Fortification and fertigation techniques on growth of *Indigofera zollingeriana*)

Iwan Prihantoro^{1*}, Panca Dewi Manu Hara Karti Soewondo¹, Edit Lesa Aditia², Shandathyana Nisabillah¹

(Diterima November 2022/Disetujui Mei 2023)

ABSTRAK

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) adalah jamur yang bersimbiosis mutualisme dengan tanaman pada sistem perakaran. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pertumbuhan tanaman *Indigofera zollingeriana* (nila) hasil inokulasi produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan. Penelitian didesain dengan rancangan acak lengkap yang terdiri atas enam perlakuan dan lima ulangan. Detail perlakuan ialah FD1000, FD2000, FD3000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 1000, 2000, 3000 ppm pada fertigasi datar), FB1000, FB2000, FB3000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 1000, 2000, 3000 ppm pada fertigasi bertingkat). Hasil penelitian menunjukkan tingkat kolonisasi FMA pada akar tanaman tidak berbeda nyata ($P>0,05$) dengan nilai kolonisasi yang tinggi (80,00–99,00%). Semua produk FMA bersimbiosis baik dengan tanaman dengan ciri pertumbuhan (tinggi tanaman, lingkaran batang, jumlah cabang, jumlah ranting) yang sama ($P>0,05$). FMA yg diproduksi dengan fortifikasi AB mix dosis 2000 ppm pada teknik fertigasi bertingkat nyata ($P<0,05$) meningkatkan jumlah daun dan dihasilkan dominasi tingkat warna daun yang lebih hijau (7,5GY 4/6) dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Disimpulkan bahwa produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda memiliki efektivitas kolonisasi akar dan performa pertumbuhan yang sama baiknya pada skala lapangan. Produk FMA yg diproduksi dengan fortifikasi AB mix dosis 2000 ppm pada teknik fertigasi bertingkat paling efektif dalam meningkatkan jumlah daun dengan dominasi tingkat warna daun yang lebih hijau.

Kata kunci: fertigasi, Fungi mikoriza arbuskula, fortifikasi, fungi mikoriza arbuskula, *Indigofera zollingeriana*

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is a fungus that has a symbiotic impact on the plant at the root system level. The research objective was to evaluate the growth of *Indigofera zollingeriana* produced from inoculation of AMF under different fortification and fertigation techniques at the field scale. A completely randomized design with six treatments and five replication were applied for the study. The treatments were: FD1000, FD2000, FD3000 (AMF fortified with 1000, 2000, and 3000 ppm of AB mix at flat fertigation), FB1000, FB2000, and FB3000 (AMF fortified with 1000, 2000, 3000 ppm of AB mix at graded fertigation). The result shows that the AMF colonization level at the root of was similar ($P>0.05$) to the upper value of colonization (80.00–99.00%). The entire products of AMF have similar favorable symbiotic effects on the plant with major growth traits (plant high, stem diameter, number of branches and twigs). A fortification of 2000 ppm of AB mix under graded fertigation technique has produced AMF that significantly ($P<0.05$) increased the number of leaves with higher green color level (7.5GY 4/6) compared with other treatments. In conclusion, the AMF produced by different fortification and fertigation techniques at the field scale has a similar result on root colonization effectivity and growth performance of *I. zollingeriana*. In addition, the AMF produced by 2000 ppm of AB mix with graded fertigation technique effectively increased the number of leaves with higher green color intensity.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi, arbuscular mycorrhizal fungi quality, fertigation, fortification, *Indigofera zollingeriana*

PENDAHULUAN

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) adalah jamur yang bersimbiosis mutualisme dengan tanaman pada sistem

perakaran. Simbiosis FMA dengan tanaman dicirikan dengan pembentukan hifa, spora, vesikula, dan arbuskula. Simbiosis ini memberikan banyak manfaat bagi tanaman, seperti meningkatnya ketahanan tanaman pada tanah marginal, meningkatnya ketahanan terhadap patogen, meningkatnya serapan hara, meningkatnya ketahanan terhadap cekaman kekeringan dan cekaman salinitas. Selanjutnya, mekanisme simbiosis terjadi di dalam akar tanaman melalui

¹ Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

² Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi: Email: prihantoro@apps.ipb.ac.id

kolonisasi hifa di apoplas dan sel korteks tanaman untuk memperoleh karbon yang berasal dari produk fotosintesis tanaman. Pulungan (2018) menyatakan bahwa lebih dari 80% tanaman bersimbiosis dengan FMA untuk berbagai keuntungan bagi tanaman inang seperti perluasan daerah serapan hara, toleran pada cekaman kekeringan, dan menghindarkan tanaman inang dari patogen tanah. FMA mampu berkolaborasi dengan mikroorganisme tanah lainnya seperti rhizobium.

Schrire *et al.* (2009) melaporkan bahwa *Indigofera* adalah tanaman berbunga jenis leguminosa dari famili Fabaceae. Tanaman ini memiliki lebih dari 750 spesies yang tersebar luas di wilayah tropis dan subtropis. *Indigofera zollingeriana*, juga disebut nila, adalah salah satu jenis leguminosa potensial sebagai hijauan pakan ternak dengan kandungan protein tinggi dan mampu beradaptasi dalam berbagai lingkungan. Produk hijauan pakan asal tanaman ini sering dinamakan sebagai *green concentrate* untuk beberapa jenis ternak. Kumalasari *et al.* (2017) menambahkan bahwa tanaman pakan ini berkualitas nutrisi tinggi dan potensial untuk diberikan pada ternak ruminansia, ternak monogastrik, dan ikan. Palupi *et al.* (2014) menyatakan bahwa kandungan protein kasarnya 27,60–31,00%. Potensi produksi daun dalam bahan kering adalah 4.096 kg ha⁻¹ dengan tingkat pencernaan *in vitro* 67–81% (Abdullah & Suharlina 2010).

Beberapa upaya dilakukan untuk meningkatkan produksi massal FMA yang efektif dan efisien melalui rekayasa dosis pupuk, proses pemupukan, dan ruang produksi melalui teknik datar dan bertingkat. Pengendalian dosis pupuk melalui rekayasa fortifikasi memungkinkan produksi massal FMA lebih ekonomis. Fertigasi adalah metode penggabungan pupuk dengan sistem irigasi dalam upaya meningkatkan efisiensi dan penekanan kehilangan pupuk yang dapat mencemari lingkungan. Teknik produksi datar dan bertingkat berkaitan dengan kebutuhan ruang produksi yang diperlukan. Fitria (2021) menginformasikan bahwa metode produksi FMA berdasarkan perbedaan dosis larutan nutrisi AB mix (1000–3000 ppm) pada teknik fertigasi datar dan bertingkat menghasilkan kualitas kolonisasi FMA pada akar inang sorgum dan jumlah spora FMA yang sama baiknya. Selanjutnya, penggunaan produk FMA tersebut dalam proses pembibitan *I. zollingeriana* hingga umur 4 MST (minggu setelah tanam) menghasilkan ciri pertumbuhan tanaman dan tingkat kolonisasi FMA pada akar tanaman yang relatif sama ($P > 0,05$).

Lebih lanjut, diperlukan evaluasi mendalam perihal kualitas produk FMA yang diproduksi dengan dosis fortifikasi berbeda melalui teknik fertigasi datar dan bertingkat pada tanaman *I. zollingeriana* pada skala lapangan di Unit Pendidikan dan Penelitian Peternakan Jonggol (UP3J). Kawasan UP3J dikelola oleh Fakultas Peternakan IPB University dengan luas 169 ha. Kesuburan lahan ini relatif terbatas dengan status pH tanah yang masam. Mardhika dan Sudradjat (2015) menyatakan bahwa status pH tanah di lahan sawit

Kecamatan Jonggol adalah masam, yakni pH 4,2. Pramono *et al.* (2017) menambahkan bahwa status pH tanah di lahan mahoni di sini adalah masam dengan kisaran pH 4,73–5,17. Simbiosis yang baik antara FMA dan tanaman *I. zollingeriana* pada lahan marginal diharapkan mampu meningkatkan adaptasi dan pertumbuhan tanaman sebagai hijauan pakan ternak. Tujuan kajian ini ialah mengevaluasi pertumbuhan tanaman *I. zollingeriana* hasil inokulasi produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di (UP3J), Fakultas Peternakan, IPB University. pH tanah dianalisis di Laboratorium Agrostologi, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan IPB. Bahan yang digunakan adalah bibit *I. zollingeriana* yang telah diinokulasi FMA, pupuk feses ayam, pupuk fonska (nitrogen 15%, fosfat 10%, kalium 12%), KCl 1 M, HCl 2%, dan biru tripan 5%.

Penyiapan Lahan, Penanaman, dan Perawatan Tanaman

Lahan dibersihkan secara fisik dan kimiawi menggunakan herbisida, selanjutnya dibajak sedalam 30–50 cm dengan bajak piringan (*disk flow*), bajak rotari (*rotary flow*), dan bajak brujul (*chisel flow*). Setelah lahan siap, diterapkan jarak tanam 2 m × 1 m dengan membuat lubang tanam ukuran 30 cm × 30 cm × 30 cm. Bibit umur 3 bulan yang telah diinokulasi produk FMA dosis 20 g/tanaman dipangkas pada tinggi 75 cm dan dimasukkan ke lubang tanam sesuai dengan desain perlakuan. Ke dalam setiap lubang tanam ditambahkan pupuk feses ayam dosis 5 ton/ha. Setelah 2 MST, ditambahkan pupuk fonska (nitrogen 15%, fosfat 10%, kalium 12%) sebanyak 3,6 g/tanaman. Tanaman disiram setiap pagi dan sore hari dengan menetapkan status air sesuai dengan kapasitas lapangan hingga tanaman berumur 8 MST. Gulma disiangi secara rutin dengan mencabutnya setiap ditemukan gulma yang tumbuh.

Pengukuran Parameter Penelitian

Parameter tinggi tanaman, jumlah daun, lingkaran batang, jumlah cabang, dan jumlah ranting diukur setiap pekan. Pengukuran dimulai pada 2 MST hingga 8 MST pada setiap sampel tanaman. Parameter pH tanah dan warna daun diukur ketika tanaman umur 8 MST. Selanjutnya nilai kolonisasi FMA pada akar tanaman diukur pada 10 MST, yakni 2 minggu pasca-cekaman tanaman tanpa penyiraman.

Pengukuran Morfologi Tanaman

Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung daun termuda. Jumlah daun diukur dengan menghitung semua daun majemuk yang telah terbuka sempurna. Lingkaran batang diukur dengan menggu-

nakan pita ukur yang dililitkan melingkari batang tanaman. Jumlah cabang dihitung dengan menghitung total cabang yang melekat pada batang utama tanaman dan jumlah ranting dihitung berdasarkan total ranting yang tumbuh dan melekat pada cabang tanaman.

Pengukuran pH Tanah

pH tanah ditetapkan menggunakan pelarut KCl (Tan 1998), yakni ke dalam sampel tanah ditambahkan pelarut KCl 1 M dengan konsentrasi 1:2 untuk dihomogenisasi. Selanjutnya sampel diinkubasi selama 30 menit dan dilanjutkan pengukuran supernatan menggunakan pH meter.

Pengukuran Warna Daun

Warna daun ditetapkan secara manual dengan menilai tingkat kesamaan daun dari setiap sampel dengan standar warna daun pada akhir penelitian (8 MST). Sampel daun disandingkan dengan standar warna daun dari Munsell Plant Tissues Colour Book (2012).

Pewarnaan dan Kolonisasi Mikoriza di Akar

Kolonisasi FMA diukur melalui proses pewarnaan akar menurut Brundrett *et al.* (1996). Pengukuran kolonisasi FMA mengacu Hadianur *et al.* (2016), yakni sampel akar pasca-pewarnaan biru tripan dipotong secara acak dengan ukuran ± 1 cm sebanyak 10 potong dari setiap sampel dan ditempatkan pada preparat dan ditutup dengan kaca tutup. Kolonisasi pada preparat yang sudah siap dihitung melalui mikroskop. Nilai kolonisasi FMA ditetapkan dari keberadaan hifa, vesikula, arbuskula, dan spora. Rumus kolonisasi FMA di akar adalah (jumlah akar terkolonisasi/jumlah akar yang diamati) × 100%.

Rancangan Percobaan

Penelitian didesain dengan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri atas enam perlakuan berdasarkan perbedaan sumber produk FMA dan lima ulangan. Perlakuan meliputi FD1000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar), FD2000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar), FD3000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar), FB1000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat), FB2000 (FMA dengan fortifikasi AB mix

2000 ppm pada fertigasi bertingkat), dan FB3000 (FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat).

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS) versi 25 dengan sidik ragam (ANOVA). Jika hasilnya berbeda nyata, analisis dilanjutkan dengan uji Duncan. Data warna daun dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ciri pH Tanah Pasca-inokulasi Fungi mikoriza arbuskula (FMA)

Tingkat kesuburan tanah berkait erat dengan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Kesuburan tanah meliputi kesuburan fisik, kimia, dan biologi. Kesuburan kimia juga berkait dengan kemelimpahan unsur hara bagi tanaman. Semakin hara tersedia bagi tanaman, tanaman akan tumbuh dan berproduksi dengan optimum sesuai dengan potensi genetiknya. Salah satu komponen penentu kesuburan kimia tanah adalah pH tanah yang berkait dengan kelarutan unsur mineral bagi tanaman. Status pH tanah yang netral menjadikan kelarutan unsur hara utama tinggi sehingga dapat lebih baik diserap oleh tanaman. Menurut von Tucher *et al.* (2018), pH tanah berperan sangat penting dalam mendukung ketersediaan unsur-unsur hara tanah bagi tanaman. Kochian (1995) menyatakan bahwa kemasaman tanah yang disebabkan oleh Al mengakibatkan perkembangan akar tanaman terhambat dan menjadi pembatas pertumbuhan dan produksi tanaman.

Ciri pH tanah pada lahan percobaan di UP3J Jonggol berdasarkan perlakuan di akhir penelitian disajikan pada Tabel 1. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perbedaan produk FMA yang diproduksi dengan dosis fortifikasi berbeda, yakni AB mix (1000–3000 ppm) dengan sistem fertigasi datar dan bertingkat menghasilkan pH media yang tidak berbeda nyata ($P>0,05$), yakni pada kisaran 5,39–5,50. pH yang dihasilkan termasuk dalam kategori agak masam (LPT 1983). Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan perbedaan produk FMA tidak mengubah status pH media percobaan, dengan sekresi asam organik antarproduk FMA yang digunakan adalah sama.

Tabel 1 Ciri pH tanah dan tingkat kolonisasi Fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada akar tanaman *I. zollingeriana* hasil fortifikasi dan fertigasi berbeda skala lapangan

| Parameter | Sumber fungi mikoriza arbuskula | | | | | |
|--------------------|---------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | FD1000 | FD2000 | FD3000 | FB1000 | FB2000 | FB3000 |
| pH Tanah | 5,39±0,15 | 5,40±0,09 | 5,42±0,10 | 5,44±0,08 | 5,50±0,10 | 5,40±0,15 |
| Kolonisasi FMA (%) | 85,0±14,14 | 90,80±7,01 | 88,00±7,58 | 80,00±12,24 | 89,20±12,37 | 99,00±2,23 |

Keterangan: FD1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar, FD2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar, FD3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar, FB1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat, FB2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi bertingkat, dan FB3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat.

Basri (2018) melaporkan bahwa aktivitas dan metabolisme FMA menghasilkan dan melepaskan senyawa-senyawa organik yang berperan dalam mengikat kation-kation logam penyebab kemasaman tanah yang berpeluang pada peningkatan pH media. FMA menghasilkan fosfatase yang penting dalam membantu inang dalam menyerap hara pada status pH media yang masam. Widiastuti *et al.* (2002) berpendapat bahwa inokulasi FMA efektif meningkatkan serapan P pada media masam pada pembibitan tanaman sawit. Status pH yang masam berpeluang negatif dalam penghambatan pertumbuhan dan produksi tanaman. Romheld (2012) menegaskan bahwa cekaman media asam menyebabkan gangguan pertumbuhan akar sehingga penyerapan hara dan air menjadi terhambat yang berdampak pada turunya pertumbuhan tanaman.

Tingkat Kolonisasi Fungi mikoriza arbuskula (FMA)

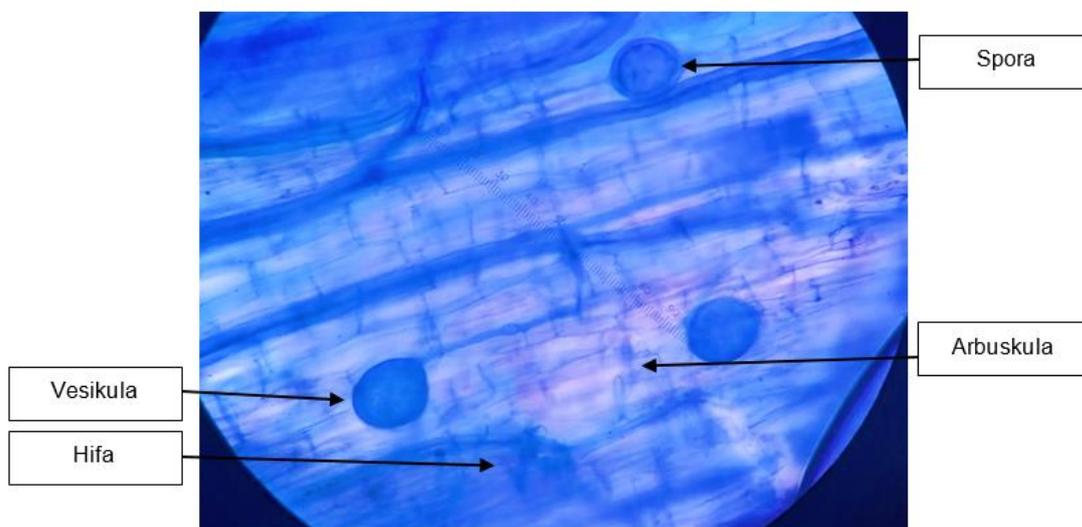
Tingkat simbiosis antara tanaman dan FMA diukur dari nilai kolonisasi mikoriza pada akar tanaman inang. Kolonisasi mikoriza ditandai dengan keberadaan hifa, vesikula, arbuskula, dan spora. Semakin tinggi nilai kolonisasi FMA pada tanaman inang, semakin tinggi simbiosis mutualisme antara keduanya dan tingginya efektivitas FMA pada inang. Hasil analisis sidik ragam tingkat kolonisasi FMA pada akar tanaman skala lapangan berdasarkan perbedaan produk FMA tidak menunjukkan perbedaan nyata ($P > 0,05$). Ini berarti bahwa kualitas produk FMA yang diproduksi dengan dosis fortifikasi berbeda, yakni AB mix (1000–3000 ppm) dengan sistem fertigasi datar dan bertingkat menghasilkan produk inokulum FMA dengan kualitas yang sama baiknya. Nilai kolonisasi FMA yang dihasilkan tinggi, yakni 80,00–99,00%. Ini menunjukkan bahwa produk FMA yang digunakan menghasilkan tingkat kolonisasi yang baik dan efektif bagi tanaman pada kondisi pH tanah yang agak masam. Tingginya nilai kolonisasi FMA menggambarkan tingkat simbiosis

yang ideal dan kualitas produk FMA yang baik. Beberapa faktor yang berkaitan dengan simbiosis FMA dengan tanaman inang adalah jenis tanaman, kualitas FMA, dan lingkungan di rhizosfer. Lebih lanjut, simbiosis FMA dengan inang tanaman yang ideal akan meningkatkan kesuburan tanaman sebagai output dari kemanfaatan FMA bagi tanaman inang. Asmi *et al.* (2021) menemukan bahwa perkembangbiakan mikoriza pada inang tanaman, selain dipengaruhi oleh ciri tanaman inang, juga sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, pH tanah, kelembapan tanah, kandungan fosfor, dan nitrogen, serta kandungan bahan organik tanah. Detail visualisasi kolonisasi FMA pada akar *I. zollingeriana* disajikan pada Gambar 1 dan detail kolonisasi FMA pada skala lapangan ditampilkan pada Tabel 1.

Kolonisasi akar merupakan bentuk proses simbiosis antara akar tanaman inang dan FMA. Menurut Baptista *et al.* (2011), proses kolonisasi akar dibagi menjadi empat tahapan, yaitu sebelum infeksi, penetrasi hifa pada akar tanaman inang, pertumbuhan dan perkembangan hifa pada sel akar, dan pada tahap akhir FMA akan menjalankan fungsinya membantu penyerapan hara dan air bagi tanaman inang. Mikoriza dalam penyerapan unsur hara dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman melalui simbiosis mutualisme antara FMA dan tanaman. Dikemukakan oleh Basri (2018) bahwa pengambilan hara oleh mikoriza melibatkan hifa yang berada di dalam tanah yang akhirnya dipindahkan ke dalam sel akar. Hifa membantu menyerap unsur hara di dalam tanah untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter yang menggambarkan kumulasi pertumbuhan sebagai dampak dari perlakuan. Hasil sidik ragam menunjukkan nilai laju tinggi tanaman yang berbeda nyata ($P < 0,05$): perlakuan FD1000, FD2000, dan FB2000



Gambar 1 Visualisasi kolonisasi Fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada akar *I. zollingeriana*.

menghasilkan nilai yang lebih tinggi pada tanaman umur 2, 4, 5, dan 6 MST. Meskipun demikian, tinggi tanaman di akhir penelitian (8 MST) tidak menunjukkan perbedaan nyata ($P>0,05$). Data ini menunjukkan bahwa perbedaan proses produksi FMA berdasarkan teknik fortifikasi berbeda, yakni AB mix (1000–3000 ppm) dengan sistem fertigasi datar dan bertingkat menghasilkan produk inokulum FMA dengan efektivitas yang sama baiknya di akhir penelitian (8 MST) pada inang skala lapangan. Nilai tinggi tanaman yang tidak berbeda antarperlakuan disebabkan oleh penambahan tinggi tanaman yang relatif sama. Gejala ini wajar sebagaimana nilai kolonisasi FMA antarperlakuan yang sama tinggi dan tidak berbeda nyata (Tabel 1). Detail tinggi dan penambahan tinggi tanaman hasil inokulasi produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan diberikan pada Tabel 2.

Liferdi (2010) menyatakan bahwa P merupakan unsur penting dan efektif dalam meningkatkan pertumbuhan morfologi tanaman, di antaranya tinggi vertikal tanaman. Fungsi utama P dalam tanaman adalah menyimpan dan mentransfer energi dalam bentuk ADP dan ATP. Energi diperoleh dari fotosintesis dan metabolisme karbohidrat yang disimpan dalam campuran fosfat untuk digunakan dalam proses pertumbuhan dan produksi. Tanpa P, semua proses tersebut tidak dapat berlangsung.

FMA menghasilkan enzim fosfatase yang mampu mengkatalisis hidrolisis kompleks fosforus yang tidak tersedia menjadi fosforus terlarut dan tersedia. Selanjutnya fosforus ini diserap oleh hifa eksternal dan dipindahkan ke dalam jaringan tanaman (Abbott & Robson 1984). Simbiosis mutualistik FMA dengan

tanaman di bagian perakaran membantu tanaman tumbuh lebih baik pada daerah-daerah marginal (Smith & Read 2010). Pemanfaatan FMA menyebabkan tanaman lebih toleran pada lingkungan tanah masam (Cuenca *et al.* 2001).

Jumlah Daun

Hasil sidik ragam perlakuan produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan dalam hal jumlah daun tanaman menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$), yakni perlakuan FB2000 menghasilkan jumlah daun terbanyak dibandingkan perlakuan lainnya sejak umur 2 MST hingga umur 8 MST (Tabel 3). Ini mengindikasikan bahwa produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi AB mix dosis 2000 ppm dengan sistem fertigasi bertingkat menghasilkan efektivitas simbiosis terbaik dalam hal jumlah daun tanaman. Banyaknya jumlah daun yang dihasilkan berkaitan dengan ketersediaan hara oleh FMA yang lebih optimum. Hifa FMA memperluas jangkauan akar sehingga serapan hara meningkat dan FMA menghasilkan berbagai hormon pertumbuhan yang sangat bermanfaat bagi tanaman. Selain itu, FMA berperan dalam meningkatkan ketersediaan unsur makro, utamanya P dan N, yang penting dalam pembelahan sel tanaman.

Abbot dan Robson (1984) menyatakan bahwa akar tanaman yang terinfeksi FMA dapat meningkatkan kapasitas penyerapan unsur hara. Selvaraj dan Chellappan (2006) juga berpendapat bahwa FMA dapat memproduksi hormon pada tanaman, seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Jadi, peningkatan hormon tersebut meningkatkan jumlah daun.

Tabel 2 Ciri tinggi tanaman *I. zollingeriana* hasil inokulasi produk Fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan

| Umur | Sumber fungi mikoriza arbuskula | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | FD1000 | FD2000 | FD3000 | FB1000 | FB2000 | FB3000 |
| Tinggi tanaman | | | | | | |
| | ... (cm)... | | | | | |
| 2MST | 93,92±9,57 ^{ab} | 93,80±12,43 ^{ab} | 81,30±4,20 ^b | 83,20 ±3,56 ^b | 98.40±14,79 ^a | 87,40±12,93 ^{ab} |
| 3MST | 109,90±11,54 | 111,74±19,88 | 88,20±12,27 | 95,06±10,66 | 116,00±17,86 | 102,10±20,34 |
| 4MST | 129,20±23,42 ^{ab} | 125,02±26,95 ^{ab} | 106,20±23,33 ^b | 105,90±12,4 ^b | 148,76±16,86 ^a | 120,32±23,42 ^{ab} |
| 5MST | 129,20±12,89 ^{ab} | 126,82±23,72 ^{ab} | 108,00±21,56 ^b | 108,40±26,97 ^b | 148,76±16,86 ^a | 121,12±21,94 ^b |
| 6MST | 143,82±14,91 ^{ab} | 135,60±28,27 ^{abc} | 113,40±23,14 ^c | 117,84±14,63 ^{bc} | 157,10±15,69 ^a | 122,00±23,77 ^{bc} |
| 7MST | 151,04±14,77 | 148,30±47,29 | 122,50±26,76 | 129,40±19,40 | 165,14±16,35 | 131,60±30,42 |
| 8MST | 161,30±12,90 | 153,10±50,01 | 133,30±28,41 | 140,40±25,11 | 174,40±12,26 | 136,10±27,33 |
| Pertambahan tinggi tanaman | | | | | | |
| | ... (cm/pekan)... | | | | | |
| 2MST | 18,06±9,41 ^{ab} | 18,20±12,17 ^{ab} | 5,70±3,38 ^b | 7,30±14,32 ^b | 21,40±14,88 ^a | 12,40±12,94 ^{ab} |
| 3MST | 16,70±3,60 | 17,94±9,18 | 6,90±8,68 | 11,86±9,32 | 17,60±20,95 | 14,70±18,48 |
| 4MST | 19,30±3,40 | 13,28±9,07 | 18,66±14,32 | 10,04±6,23 | 32,76±26,44 | 18,22±18,67 |
| 5MST | 0,00±0,00 | 1,80±4,02 | 1,80±2,68 | 3,80±3,63 | 0,00±0,00 | 0,80±1,78 |
| 6MST | 14,62±4,50 ^a | 8,78±6,46 ^{ab} | 5,40±5,37 ^b | 8,94±4,12 ^{ab} | 8,34±4,16 ^{ab} | 0,88±7,66 ^b |
| 7MST | 7,22±14,83 | 12,70±8,63 | 9,10±8,02 | 11,56±4,99 | 8,04±9,97 | 9,60±8,01 |
| 8MST | 10,26±5,66 | 4,80±12,23 | 10,80±3,34 | 11,00±6,20 | 9,26±22,14 | 4,50±7,57 |

Keterangan: Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata ($P<0,05$). FD1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar, FD2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar, FD3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar, FB1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat, FB2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi bertingkat, dan FB3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat.

Lingkar Batang, Cabang, dan Ranting Tanaman

Hasil sidik ragam perlakuan produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan terhadap lingkar batang tanaman menunjukkan perbedaan nyata ($P < 0,05$), yakni perlakuan FD1000 dan FB2000 secara umum menunjukkan ukuran lingkar batang yang lebih besar pada umur 4, 5, 6, dan 7 MST dibandingkan perlakuan lainnya. Meskipun demikian, ukuran lingkar batang

tidak berbeda nyata pada akhir penelitian (8 MST) (Tabel 4). Dinamika perbedaan kecepatan ukuran lingkar batang antarperlakuan lebih berkaitan dengan kecepatan tumbuh jaringan batang tanaman. Perlakuan FD1000 dan FB2000 cenderung merespons pertumbuhan yang lebih awal pada periode pertengahan masa pengamatan. Selanjutnya, perlakuan lainnya menyusul pada akhir periode kajian sehingga dihasilkan ukuran lingkar batang tanaman yang tidak

Tabel 3 Ciri jumlah daun tanaman *I. zollingeriana* hasil inokulasi produk Fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan

| Umur | Sumber fungi mikoriza arbuskula | | | | | |
|------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | FD1000 | FD2000 | FD3000 | FB1000 | FB2000 | FB3000 |
| | ... (daun)... | | | | | |
| 2MST | 52,20±19,14 ^b | 33,00±21,55 ^b | 30,80±17,71 ^b | 29,00±13,42 ^b | 85,40±41,69 ^a | 38,00±24,48 ^b |
| 3MST | 65,60±15,85 ^b | 48,40±24,03 ^b | 41,40±23,92 ^b | 50,40±23,77 ^b | 121,40±55,17 ^a | 48,60±32,52 ^b |
| 4MST | 101,20±37,06 ^b | 71,40±27,91 ^b | 54,60±30,99 ^b | 60,40±18,38 ^b | 175,40±66,59 ^a | 69,00±40,82 ^b |
| 5MST | 179,40±61,31 ^{ab} | 137,80±62,55 ^b | 94,80±64,29 ^b | 101,00±59,26 ^b | 264,60±136,80 ^a | 115,80±64,88 ^b |
| 6MST | 225,20±65,58 ^b | 176,40±80,87 ^b | 113,60±76,48 ^b | 137,20±88,78 ^b | 365,80±107,54 ^a | 151,20±82,82 ^b |
| 7MST | 269,60±67,40 ^b | 234,60±93,56 ^{bc} | 129,40±87,49 ^c | 155,40±80,05 ^{bc} | 420,80±111,73 ^a | 176,20±92,46 ^{bc} |
| 8MST | 292,00±81,79 ^b | 271,80±106,90 ^b | 171,20±118,28 ^b | 166,40±70,50 ^b | 480,40±90,15 ^a | 209,60±142,96 ^b |

Keterangan: Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$). FD1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar, FD2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar, FD3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar, FB1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat, FB2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi bertingkat, dan FB3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat.

Tabel 4 Ciri lingkar batang, jumlah cabang dan ranting tanaman *I. zollingeriana* hasil inokulasi Fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan

| Umur | Sumber fungi mikoriza arbuskula | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | FD1000 | FD2000 | FD3000 | FB1000 | FB2000 | FB3000 |
| | ... (cm)... | | | | | |
| Lingkar batang | | | | | | |
| 2MST | 4,50±0,35 | 3,80±0,57 | 3,82±0,74 | 3,56±0,43 | 4,30±0,59 | 3,60±0,74 |
| 3MST | 4,50±0,35 | 3,80±0,57 | 3,82±0,74 | 3,56±0,43 | 4,30±0,59 | 3,60±0,74 |
| 4MST | 4,50±0,35 ^{ab} | 3,88±0,60 ^{bc} | 3,58±0,59 ^c | 3,56±0,43 ^c | 4,68±0,44 ^a | 3,70±0,80 ^c |
| 5MST | 4,50±0,35 ^{ab} | 3,88±0,60 ^{bc} | 3,58±0,59 ^c | 3,56±0,43 ^c | 4,68±0,44 ^a | 3,70±0,80 ^c |
| 6MST | 5,28±0,33 ^{ab} | 4,74±1,12 ^b | 4,34±1,01 ^b | 4,04±0,98 ^b | 6,06±0,75 ^a | 4,46±1,29 ^b |
| 7MST | 6,28±0,49 ^{ab} | 5,86±1,67 ^{ab} | 4,70±1,30 ^b | 4,42±1,50 ^b | 7,00±0,57 ^a | 5,10±1,55 ^{ab} |
| 8MST | 6,70±0,83 | 6,10±1,78 | 4,82±1,47 | 4,78±2,01 | 7,20±0,84 | 5,08±1,43 |
| | ... (cabang)... | | | | | |
| Jumlah cabang | | | | | | |
| 2MST | 6,60±2,40 | 7,80±2,68 | 5,60±1,51 | 7,60±2,07 | 5,60±1,14 | 7,00±3,24 |
| 3MST | 5,80±5,93 | 8,00±2,44 | 6,60±2,19 | 8,20±2,39 | 7,00±4,36 | 7,40±3,13 |
| 4MST | 6,60±2,40 | 7,80±2,68 | 5,60±1,51 | 7,60±2,07 | 5,60±1,14 | 7,00±3,24 |
| 5MST | 7,40±3,97 | 8,20±3,03 | 8,80±4,38 | 8,80±2,94 | 10,20±4,21 | 8,20±4,55 |
| 6MST | 8,00±3,74 | 8,80±2,77 | 9,46±4,62 | 8,60±2,61 | 10,20±4,08 | 8,80±4,44 |
| 7MST | 8,00±3,74 | 8,20±2,05 | 9,20±4,54 | 8,80±2,59 | 10,00±3,74 | 8,20±2,86 |
| 8MST | 8,20±3,56 | 8,80±2,68 | 9,40±3,78 | 9,00±1,87 | 10,20±3,11 | 9,40±3,58 |
| | ... (ranting)... | | | | | |
| Jumlah ranting | | | | | | |
| 2MST | 42,00±20,58 | 25,20±19,94 | 14,60±14,32 | 14,60±14,32 | 27,60±8,73 | 28,00±27,85 |
| 3MST | 41,40±20,58 | 29,00±21,31 | 27,80±30,70 | 18,60±25,13 | 47,40±12,26 | 30,40±10,38 |
| 4MST | 42,00±20,58 | 25,20±19,94 | 14,60±14,32 | 14,60±14,32 | 27,60±8,73 | 28,00±27,85 |
| 5MST | 69,80±14,62 | 62,80±41,27 | 41,00±38,35 | 31,00±43,09 | 83,00±14,03 | 48,60±27,90 |
| 6MST | 83,40±11,54 | 69,60±43,59 | 44,80±43,59 | 32,60±45,14 | 91,80±18,71 | 62,80±37,49 |
| 7MST | 90,60±14,05 | 66,60±40,52 | 53,80±49,33 | 34,40±47,12 | 100,00±25,45 | 61,80±38,18 |
| 8MST | 82,80±12,75 | 68,80±42,04 | 52,40±49,23 | 43,40±60,18 | 104,60±25,54 | 67,40±40,47 |

Keterangan: Superskrip berbeda pada baris yang sama menunjukkan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$). FD1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar, FD2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar, FD3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar, FB1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat, FB2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi bertingkat, dan FB3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat.

berbeda ($P>0,05$) di periode akhir. Hasil ini menguatkan informasi bahwa perbedaan proses produksi FMA berdasarkan teknik fortifikasi berbeda, yakni AB mix (1000–3000 ppm) dengan sistem fertigasi datar dan bertingkat menghasilkan produk inokulum FMA dengan efektivitas yang sama baik dalam hal ukuran lingkaran batang *I. zollingeriana* pada skala lapangan.

Hasil serupa didapatkan pada parameter jumlah cabang dan ranting tanaman hasil inokulasi produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda, yakni tidak ada perbedaan nyata ($P>0,05$) antarperlakuan. Produk FMA berbeda memberikan efektivitas yang sama baiknya pada tanaman. Hasil ini selaras dengan output tinggi tanaman (Tabel 2) dan tingkat kolonisasi FMA di akar (Tabel 1). Semua produk FMA mampu bersimbiosis dengan baik dengan inangnya. Keberadaan FMA memberikan pasokan makromineral yang cukup dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Selain itu, jumlah cabang dan ranting tanaman berkaitan erat dengan ciri genetik tanaman tersebut.

Pulungan (2018) menyatakan bahwa FMA efektif mengurangi efek stres pada tanaman inang dengan meningkatkan ketersediaan hara dan meningkatkan produktivitas tanaman inang. Selain itu, FMA menghasilkan senyawa glikoprotein glomalin yang sangat berkorelasi dengan peningkatan kemantapan agregat tanah. Faktor-faktor yang terlibat dalam pembentukan struktur adalah organisme, seperti hifa FMA yang dapat mengikat satu partikel tanah dengan partikel lainnya, sekresi senyawa-senyawa polisakarida, asam organik, dan lendir yang diproduksi oleh hifa eksternal mampu mengikat butir-butir mikrotanah menjadi agregat lebih mantap sehingga pertumbuhan inang lebih optimum.

Laksono dan Karyono (2017) menghasilkan output serupa, yaitu bahwa aplikasi pupuk fosfat dan fungsi mikoriza arbuskular berpengaruh tidak nyata ($P>0,05$) pada diameter batang dan jumlah cabang tanaman *I. zollingeriana*. Diduga jumlah cabang lebih dipengaruhi oleh faktor genetik tanaman. Solaiman dan Hirata (1995) menyatakan bahwa efektivitas mikoriza dipengaruhi oleh faktor lingkungan tanah yang meliputi faktor abiotik (konsentrasi hara, pH, kadar air, suhu, pengolahan tanah, dan pestisida) dan faktor biotik (interaksi mikrobial, spesies mikoriza, tanaman inang, tipe perakaran tanaman inang, dan kompetisi antarmikoriza). Selanjutnya, perkembangan lingkaran batang berkaitan dengan laju fotosintesis dan berkorelasi dengan kecukupan cahaya matahari untuk fotosintesis (Usuluddin *et al.* 2018).

Warna Daun Tanaman

Daun merupakan jaringan utama dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Proses fotosintesis terjadi di daun dan berkait erat dengan produktivitas tanaman. Warna daun erat berkait dengan efisiensi proses fotosintesis bagi tanaman. Warna daun menggambarkan konsentrasi klorofil di daun dan

perannya dalam menghasilkan produk fotosintat. Zhao *et al.* (2020) menyatakan bahwa warna daun adalah komponen penting untuk mempelajari metabolisme pigmen, perkembangan dan diferensiasi kloroplas, fotosintesis, dan proses lainnya.

Visualisasi warna daun hasil inokulasi produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan disajikan pada Tabel 5. Secara umum, warna daun antarperlakuan secara visual beragam dengan tingkat warna yang normal. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulasi produk FMA berbeda tidak berdampak negatif pada warna daun tanaman inang. Lebih lanjut, tingkat warna daun dari perlakuan FD2000 dan FB2000 didominasi warna daun kode 7,5GY 4/6 sebesar 60% dengan tingkat warna yang lebih hijau. Hasil ini selaras dengan parameter jumlah daun (Tabel 3), utamanya pada perlakuan FB2000 yang tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Meningkatnya pigmen warna daun yang lebih hijau dari perlakuan FB2000 mengindikasikan peningkatan suplai hara bagi tanaman, utamanya unsur N, sehingga fotosintesis lebih optimum yang berdampak pada meningkatnya jumlah total daun. FMA efektif meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman. Suttedjo (1999) menyatakan bahwa nitrogen merupakan unsur esensial pada berbagai senyawa penyusun tanaman serta salah satu unsur penyusun klorofil pada proses fotosintesis. Peran FMA dalam pertumbuhan tanaman ditandai dengan meningkatnya penyerapan hara dengan semakin besarnya luas permukaan serapan atau kemampuan memobilisasi sumber hara yang tidak tersedia menjadi tersedia. Rosenstock (2016) menemukan bahwa keberadaan FMA meningkatkan penyerapan makronutrien lainnya (selain P), seperti N, K, dan Mg.

KESIMPULAN

Fungi mikoriza arbuskular (FMA) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda menghasilkan efektivitas kolonisasi akar dan performa pertumbuhan *I. zollingeriana* yang sama baiknya pada skala lapangan. Produk FMA yg diproduksi dengan fortifikasi AB mix dosis 2000 ppm dengan teknik fertigasi bertingkat paling efektif dalam meningkatkan jumlah daun dan didominasi tingkat warna daun yang lebih hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott LK, Robson AD. 1984. *The effect of mycorrhizae on plant growth*. Dalam: Powel CL, Bagyraj DJ (Ed). *Vesicular arbuscular mycorrhizae*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Abdullah L, Suharlina. 2010. *Herbage yield and quality of two vegetative parts of Indigofera at different time*

Tabel 5 Ciri warna daun tanaman *I. zollingeriana* hasil inokulasi produk Fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi dan fertigasi berbeda pada skala lapangan

| Perlakuan | Warna | Visualisasi | Jumlah (%) |
|-----------|-----------|---|------------|
| FD1000 | 5GY 8/8 |  | 70 |
| | 7.5GY 5/6 |  | 30 |
| FD2000 | 2.5GY 9/8 |  | 20 |
| | 7.5GY 5/6 |  | 60 |
| | 5GY 7/6 |  | 20 |
| FD3000 | 2.5GY 9/8 |  | 40 |
| | 5GY 8/6 |  | 60 |
| FB1000 | 5GY 8/6 |  | 60 |
| | 7.5GY 5/6 |  | 40 |
| FB2000 | 2.5GY 9/8 |  | 20 |
| | 7.5GY 4/6 |  | 60 |
| | 5GY 8/10 |  | 20 |
| FB3000 | 2.5GY 9/8 |  | 60 |
| | 5GY 9/8 |  | 40 |

Keterangan: FD1000= Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi datar, FD2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi datar, FD3000= Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi datar, FB1000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 1000 ppm pada fertigasi bertingkat, FB2000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 2000 ppm pada fertigasi bertingkat, dan FB3000 = Inokulum FMA dengan fortifikasi AB mix 3000 ppm pada fertigasi bertingkat.

- of first regrowth defoliation. *Media Peternakan*. 33(1): 44-49.
- Asmi A, Subaedah S, Saida. 2021. Perbanyak mikoriza dengan penggunaan tanaman inang kedelai dengan berbagai dosis kompos. *Jurnal Agrotekmas*. 2(1): 70–80. <https://doi.org/10.5398/medpet.2010.33.3.169>
- Baptista P, Tavares RM, Lino-Neto T. 2011. Signaling in Ectomycorrhizal Symbiosis Establishment. In: Rai M, Varma A. (eds) *Diversity and Biotechnology of Ectomycorrhizae*. *Soil Biology*. 25: 157–175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15196-5_8
- Basri AHH. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensi*. 12(2): 74–78
- Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grave T, Malajezuk N. 1996. *Working with Mycorrhiza in Forestry and Agriculture*. Australia Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Canberra.
- Cuenca G, De Andrade Z, Meneses E. 2001. The presence of aluminum in arbuscular mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity. *Plant and Soil*. 231: 233–241. <https://doi.org/10.1023/A:1010335013335>
- Fitria A. 2021. Evaluasi inokulum fungi mikoriza arbuskula (FMA) difortifikasi dengan fertigasi berbeda pada pembibitan *Indigofera zollingeriana*. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hadianur H, Syafruddin S, Kesumawati E. 2016. Pengaruh jenis fungi mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Jurnal Agrista*. 20(3): 126–134.
- Kochian LV. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 46(1): 237–260. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.46.060195.001321>
- Kumalasari NR, Wicaksono GP, Abdullah L. 2017. Plant growth pattern, forage yield, and quality of *Indigofera zollingeriana* influenced by row spacing. *Media Peternakan*. 40(1): 14–19. <https://doi.org/10.5398/medpet.2017.40.1.14>
- Laksono J, Karyono T. 2017. Pemberian pupuk fosfat dan fungi mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan tanaman legum pohon (*Indigofera zollingeriana*). *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*. 12(2): 165–170. <https://doi.org/10.31186/jspi.id.12.2.165-170>

- [LPT] Litbang Penelitian Tanah. 1983. *Kriteria Penilaian Sifat Kimia Tanah*. Bogor (ID): Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Lukman L. 2010. Efek pemberian fosfor terhadap pertumbuhan dan status hara pada bibit manggis. *Jurnal Hortikultura*. 20(1): 18–26.
- Mardhika LD, Sudradjat. 2015. Respons pertumbuhan tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) belum menghasilkan umur dua tahun terhadap pemupukan kalsium. *Buletin Agrohorti*. 3(1): 110–118. <https://doi.org/10.29244/agrob.v3i1.14834>
- Palupi R, Abdullah L, Astuti DA, Sumiati. 2014. Potensi dan pemanfaatan tepung pucuk Indigofera sp. sebagai bahan pakan substitusi bungkil kedelai dalam ransum ayam petelur. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*. 19(3): 210–219. <https://doi.org/10.14334/jitv.v19i3.1084>
- Pramono AA, Syamsuwida DIDA, Djam'an DF. 2017. Produksi buah dan benih mahoni (*Swietenia macrophylla*) di Parung Panjang dan Jonggol (Bogor, Jawa Barat) serta kaitannya dengan status kesuburan tanah. Dalam: *Proceedings of International Conference society for Indonesian Biodiversity*. 3(3): 381–389. Bali, 8–10 December 2017.
- Pulungan ASS. 2018. Tinjauan ekologi fungi mikoriza arbuskula. *Journal of Biosciences*. 4 (1): 17–22. <https://doi.org/10.24114/jbio.v4i1.9389>
- Romheld V. 2012. *Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients*. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Cambridge (MA): Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00011-X>
- Rosenstock N P, Berner C, Smits MM, Krám P, Wallander H. 2016. The role of phosphorus, magnesium and potassium availability in soil fungal exploration of mineral nutrient sources in Norway spruce forests. *New Phytologist*. 211(2): 542–553. <https://doi.org/10.1111/nph.13928>
- Schrire B D, Lavin M, Barker NP, Forest F. 2009. Phylogeny of the tribe Indigoferae (Leguminosae–Papilionoideae): Geographically structured more in succulent-rich and temperate settings than in grass-rich environments. *American Journal of Botany*. 96(4): 816–852. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800185>
- Selvaraj T, Chellappan P. 2006. Arbuscular mycorrhizae: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*. 7(2): 349–358.
- Smith SE, Read DJ. 2010. *Mycorrhizal Symbiosis*. Cambridge (MA): Academic Press.
- Solaiman MZ, Hirata H. 1995. Effects of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in paddy fields on rice growth and N, P, K nutrition under different water regimes. *Soil Science and Plant Nutrition*. 41(3): 505–514. <https://doi.org/10.1080/00380768.1995.10419612>
- Sutedjo MM. 1999. *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta (ID): Rineka Cipta.
- Usuluddin, Burhanuddin, Muin A. 2018. Pertumbuhan tanaman gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk) pada tanah aluvial dengan naungan dan tinggi bibit berbeda. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(3): 605–617.
- von Tucher S, Horndl D, Schmidhalter U. 2018. Interaction of soil pH and phosphorus efficacy: Long-term effects of P fertilizer and lime applications on wheat, barley, and sugar beet. *Ambio*. 47(1): 41–49. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0970-2>