

# Efektivitas Fungi Mikoriza Arbuskula yang Diproduksi dengan Teknik Fortifikasi Nutrisi Berbeda terhadap Produktivitas *Stylosanthes guianensis* pada Cekaman Kekeringan

Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Produced by Different Nutrient Fortification Techniques on the Productivity of *Stylosanthes guianensis* in Drought Stress

Marzukah<sup>1</sup>, P M D H Karti<sup>1</sup>, I Prihantoro<sup>1\*</sup>

Corresponding email:

prihantoro@apps.ipb.ac.id,

<sup>1</sup> Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jalan Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

Submitted: March 03, 2023

Accepted: August 09, 2023

## ABSTRACT

This study aimed to test the effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) products against stylo plants (*Stylosanthes guianensis*) under drought stress conditions. The research design used a factorial complete random pattern (CRD) with 2 factors. Factor A was AMF: F0 (control), FU (superior AMF as a comparison), FIPB1 (1000ppm ABmix nutrient fortification technique), FIPB2 (2000ppm ABmix nutrient fortification technique), FIPB3 (3000ppm ABmix nutrient fortification technique). Factor B was the drought level, 100% field capacity (FC), 60% FC (medium dry level), and 40% FC (high dry level). The fertilizer for control plants (without AMF) was 100% dose, while plants with AMF were given a 50% dose, adding AMF  $\pm$  20 grams. The results showed an interaction between the drought factor and the different types of AMF. AMF was effective in symbiosis with stylo plants at all levels of drought. FIPB1 and FIPB2 could increase plant adaptation up to 60% FC. All AMF inoculations effectively increased leaf chlorophyll content at all drought levels. Biomass accumulation in FU and FIPB1 plants produced the best biomass. The research concluded that the quality of AMF produced with different nutrient fortifications were as good as the superior AMF (FU). Inoculation of AMF products (IPB1, IPB2, and IPB3) with 50% fertilization effectively increased the adaptation and production of *Stylosanthes guianensis* to a drought level of 60% FC compared to control (without AMF, 100% fertilization).

**Key words:** Arbuscular mycorrhizal fungi, drought level, productivity, *Stylosanthes guianensis*

## ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk menguji efektivitas produk fungi Mikoriza arbuskula (FMA) terhadap tanaman stylo (*Stylosanthes guianensis*) pada kondisi cekaman kekeringan. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial dengan 2 faktor. Faktor A adalah jenis FMA yaitu F0 (kontrol), FU (FMA unggulan sebagai pembanding), dan 3 level teknik fortifikasi nutrisi Abmix: 1000 ppm (FIPB1), 2000 ppm (FIPB2) dan 3000ppm (FIPB3). Faktor B adalah level kekeringan, 100% kapasitas lapang (KL), 60% KL (level kering sedang), dan 40% KL (level kering tinggi). Pupuk untuk perlakuan kontrol (tanpa FMA) dengan dosis 100%, sedangkan perlakuan dengan FMA diberikan dosis 50%, penambahan FMA  $\pm$  20 g. Hasil penelitian menunjukkan adanya interaksi antara faktor kekeringan dan perbedaan jenis FMA. FMA efektif bersimbiosis dengan tanaman stylo pada semua level kekeringan. FIPB1 dan FIPB2 mampu meningkatkan adaptasi tanaman hingga 60% KL. Seluruh inokulasi FMA efektif meningkatkan kandungan klorofil daun pada semua level kekeringan. Akumulasi biomassa pada tanaman FU dan FIPB1 menghasilkan biomassa terbaik. Simpulan penelitian adalah inokulasi produk FMA (IPB1, IPB2 dan IPB3) dengan pemupukan 50% efektif meningkatkan adaptasi dan produksi tanaman *Stylosanthes guianensis* hingga level kekeringan 60% KL dibandingkan kontrol (tanpa FMA, 100% pemupukan).

**Kata kunci:** fungi mikoriza arbuskula, level kekeringan, produktivitas, *Stylosanthes guianensis*

## PENDAHULUAN

Tanaman stylo (*Stylosanthes guianensis*) adalah tanaman leguminosa asli dari Amerika Selatan dan Tengah (Wu et al. 2015) yang memiliki tinggi berkisar 0,6 m-1,2 m dengan diameter batangnya 0,3 cm-0,8cm (Jiang et al. 2017) panjang daun mencapai 6 cm, memiliki kandungan protein kasar yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan rumput yaitu berkisar pada 16%-17%, kandungan bahan kering 15%-23% serta produksi biomassa pertahunnya mencapai 40 ton ha<sup>-1</sup> berdasarkan bahan kering (Litbang Pertanian, 2012; Yulia et al. 2022). Stylo merupakan salah satu tanaman leguminosa yang sudah banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak karena memiliki daya adaptasi yang bagus khususnya pada kondisi asam.

Kondisi stress abiotik yang umum terjadi yaitu stress kekeringan, kondisi ini menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat bahkan mati sebagai respon dari terganggunya fisiologis tanaman tersebut. Air merupakan salah satu komponen terpenting dalam proses metabolisme tanaman. Secara umum, air berperan penting dalam menjaga tekanan turgor, menjaga suhu tanaman tetap normal, sebagai pereaksi dalam proses fotosintesis dan sebagai penyusun protoplasma (Yuniarsih, 2017).

Penambahan pupuk hayati Fungi Mikoriza arbuskula (FMA) merupakan salah satu strategi untuk memaksimalkan pertumbuhan, produksi dan adaptasi tanaman pada cekaman kekeringan. Fungi Mikoriza arbuskula (FMA) ini merupakan salah satu kelompok mikoriza yang bersifat simbiosis obligat yang membutuhkan tanaman inang sebagai inang untuk melangsungkan hidupnya. Prinsip kerja FMA dengan cara mengkolonisasi sistem perakaran tanaman inang melalui produksi hifa sehingga kemampuan tanaman dalam pemenuhan air dan hara meningkat. Berdasarkan hasil penelitian Herlina et al. (2017) tanaman *Indigofera zollingeriana* yang diinokulasi dengan FMA sebanyak 10 g per polybag memiliki tinggi tanaman, biomassa segar dan kering terbaik dibandingkan dengan tanaman yang tanpa mikoriza.

Kualitas inokulum FMA berkaitan erat dengan jenis FMA, jenis tanaman sebagai *host* dan teknik budidaya. Reayasa pupuk melalui prinsip fortifikasi berkaitan dengan efektivitas dan kualitas dari produk inokulum FMA. Laboratorium Agrostologi, Divisi Ilmu dan Teknologi Tumbuhan Pakan dan Pastura, Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan Fakultas peternakan IPB memproduksi FMA dengan teknik fortifikasi nutrisi ABmix berbeda dan dihasilkan produk inokulum dengan efektivitas tinggi pada beberapa tanaman pakan. Fitria et al. (2022) melaporkan bahwa pemberian inokulum FMA produksi Laboratorium Agrostologi berpengaruh nyata meningkatkan tinggi tanaman serta biomassa segar *Sorgum bicolor*. Efektivitas produk inokulum FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi berbeda dalam meningkatkan adaptasi dan produktivitas *Stylosanthes guianensis* pada cekaman kekeringan belum dilakukan.

Tujuan penelitian adalah menguji kualitas FMA yang diproduksi dengan fortifikasi nutrisi berbeda terhadap produktivitas tanaman stylo (*Stylosanthes guianensis*) dalam kondisi kekeringan.

## METODE

### Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan November 2021 – Agustus 2022 bertempat di rumah kaca Laboratorium Agrostologi, Laboratorium Kultur Jaringan Agrostologi dan Laboratorium Ternak Perah Fakultas Peternakan, IPB University.

Alat yang digunakan terdiri dari peralatan penanaman benih dan pengukuran peubah penelitian. Peralatan untuk melakukan analisis kandungan air relatif daun, prolin daun, dan persentase kolonisasi akar. Bahan yang digunakan meliputi benih *Stylosanthes guianensis*, pupuk kandang, pupuk Urea, KCl, SP36, FMA unggulan dan produk Agrostologi Fapet IPB, bahan-bahan untuk analisis prolin dan analisis persentase kolonisasi FMA (aquades, asam ninhydrin, asam sulfosalisilat 3% asam sulfur, 6M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Filtrat, larutan toluene, KOH 2,5%, HCL 2%, lactophenol trypan blue).

### Persiapan media dan pemupukan

Persiapan media tanam diawali dengan pengayakan tanah dan dilanjutkan dengan pengeringan tanah pada suhu ruang. Media tanam terdiri atas tanah kering sebanyak 5 kg per polybag, pupuk anorganik dicampur dengan pupuk dasar berupa pupuk organik (pupuk kotoran ayam) yang mengacu pada Purwanto et al. (2014) dan pupuk anorganik yang mengacu pada Rizki et al. (2022). Tanaman kontrol (F0) menggunakan dosis pupuk 100% yaitu 20 ton ha<sup>-1</sup> pupuk organik, KCl 100 kg ha<sup>-1</sup>, SP36 150 kg ha<sup>-1</sup> dan urea 200 kg ha<sup>-1</sup>. Selanjutnya, kelompok perlakuan dengan inokulasi FMA (FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3) ditetapkan dosis pupuk 50% yaitu 10 ton ha<sup>-1</sup> pupuk organik, KCl 50 kg ha<sup>-1</sup>, SP36 75 kg ha<sup>-1</sup> dan urea 100 kg ha<sup>-1</sup>.

### Persemaian, penanaman dan pemeliharaan

Persemaian benih stylo diawali dengan sterilisasi benih dengan clorox ±7 menit, selanjutnya dibilas dengan air bersih dan dilanjutkan perendaman menggunakan air suhu ± 80°C selama 24 jam. Tahap selanjutnya, benih disemai pada media tanam tanah yang sudah disiapkan di dalam tray semai volume 19,2 g per lubang hingga umur 2 minggu setelah semai (MSS). Bibit stylo umur 2 MSS dipindahkan ke media tanam polybag volume 5 kg per polybag yang sudah ditambahkan pupuk dasar. Setiap polybag ditambahkan FMA sebanyak 20 g per polybag sesuai desain penelitian pada awal penanaman. Penambahan pupuk urea sesuai dosis perlakuan adalah 1 minggu setelah tanam (MST) melalui penaburan di sekitar perakaran.

Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman dan pembasmian gulma. Penyiraman rutin satu kali per hari dilakukan hingga tanaman berumur 2 MST. Selanjutnya dilakukan penyiraman sesuai dengan desain penelitian, yakni kapasitas lapang air 100% KL, 60% KL dan 40% KL. Pembasmian gulma dilakukan manual dengan cara

mencabut gulma secara langsung beberapa saat setelah gulma ditemukan.

### Pengukuran Peubah

Peubah tingkat kolonisasi FMA pada akar tanaman stylo diukur pada akhir penelitian (tanaman umur 10 MST). Sampel akar tanaman dipotong dan dicuci dengan air mengalir hingga bersih. Selanjutnya diukur tingkat kolonisasi FMA yang merujuk pada metode Philips & Hayman (1970) yang telah dimodifikasi Nusantara *et al* (2012), yakni sampel akar direndam menggunakan KOH 2,5% selama 24 jam, sampel kemudian dicuci dengan air bersih dan dilanjutkan dengan perendaman dengan HCl 2% selama 24 jam dan dibilas lagi dengan air bersih. Tahap terakhir yaitu perendaman dengan lactophenol trypan blue. Terakhir menyiapkan preparat akar pada kaca preparat sebanyak 10 helai dengan ukuran  $\pm 1$  cm. Rumus perhitungan nilai kolonisasi FMA adalah:

Kolonisasi FMA (%) =

$$\frac{\text{Jumlah titik pandang (+)}}{\text{Jumlah titik pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

Peubah tinggi tanaman diukur setiap minggu menggunakan penggaris dengan ketelitian 1 mm dari permukaan tanah hingga bagian ujung tanaman. Kadar air relatif daun (KARD) diukur pada 10 MST dari daun tanaman bagian atas, tengah dan bawah yang dikomposit. Pengukuran KARD merujuk pada modifikasi dari metode Slatyer & Barrs (1965), yakni sampel daun segar ditimbang untuk mendapatkan berat segar (BS), kemudian sampel tersebut direndam dengan aquades selama 24 jam. Sampel tersebut selanjutnya tiriskan dan ditimbang untuk mengetahui berat turgid (BT). Setelah ditimbang, sampel kemudian dioven dengan suhu 60° selama 2x24 jam dan ditimbang untuk berat kering (BK). Rumus KARD adalah:  $\text{KARD (\%)} = \frac{BS - BK}{BT - BK} \times 100\%$

Peubah klorofil daun dihitung pada 10 MST dari daun tanaman bagian atas, tengah dan bawah yang dikomposit. Klorofil daun diukur menggunakan alat *TYS-B digital Chlorophyll Meter Analyzer* (SPAD) merujuk pada metode Zakiyah *et al* (2018) yang dimodifikasi, yakni dengan mengukur daun pada bagian pangkal, tengah dan ujung batang yang dilakukan sebanyak 6 kali ulangan.

Peubah prolin daun diukur pada tanaman umur 10 MST dari bagian daun tengah. Prolin daun diukur

menggunakan metode Bates *et al.* (1973), yakni sampel daun diekstraksi 10 ml asam sulfosalisilik 3%, kemudian filtrat tersebut direaksikan dengan 2 ml larutan asam ninhydrin dan 2 ml asam asetat glasial selama 1 jam pada suhu 100°C. Campuran sampel tersebut kemudian diekstraksi dengan 4 ml toluene dan dihomogenkan dengan *test tube stirrer* selama 15-20 detik dan diukur absorbansinya pada 520 nm dengan spektrofotometer.

Biomassa kering tanaman diukur pada tanaman umur 10 MST dengan cara memotong bagian pangkal tanaman. Biomassa segar tanaman dikeringkan bertahap menggunakan sinar matahari dan dilanjutkan dengan pengeringan oven pada suhu 60° hingga bobot stabil.

### Rancangan dan Analisis Data

Penelitian didesain menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor dan 5 ulangan. Faktor A adalah perbedaan jenis FMA yang terdiri dari F0 (tanpa FMA), FU (FMA Unggulan) sebagai pembanding, FIPB1 (produk FMA IPB1) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi ABMix 1000ppm, FIPB2 (produk FMA IPB2) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi ABMix 2000ppm dan FIPB3 (produk FMA IPB3) yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi ABMix 3000ppm. Faktor B adalah perbedaan level kekeringan tanah berdasarkan kapasitas lapang (KL) air tanah (100% KL, 60% KL, 40% KL).

Data dianalisis menggunakan *analisis of Variance* (ANOVA) menggunakan aplikasi SPSS versi 25, jika terdapat pengaruh yang berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kolonisasi FMA

Efektivitas inokulum FMA lazim diukur pada peubah kolonisasi FMA pada akar tanaman inang. FMA berasosiasi dengan sistem perakaran tanaman dicirikan dengan beberapa struktur tetap seperti hifa, arbuskula, vesikula dan spora (Suharno *et al.* 2020). Detail nilai kolonisasi produk inokulum FMA hasil fortifikasi nutrisi ABmix berbeda disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Kolonisasi FMA pada akar stylo dengan level kekeringan yang berbeda

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	26,76 ± 5,48 <sup>d</sup>	21,27 ± 3,54 <sup>d</sup>	23,06 ± 10,21 <sup>d</sup>	23,70 ± 6,41
FU	92,64 ± 3,66 <sup>abc</sup>	89,57 ± 4,48 <sup>bc</sup>	98,27 ± 1,21 <sup>a</sup>	93,49 ± 3,12
FIPB1	94,53 ± 5,19 <sup>abc</sup>	88,69 ± 9,66 <sup>c</sup>	96,36 ± 2,87 <sup>ab</sup>	93,19 ± 5,91
FIPB2	92,45 ± 4,36 <sup>abc</sup>	96,76 ± 2,56 <sup>ab</sup>	95,32 ± 2,12 <sup>abc</sup>	94,85 ± 3,01
FIPB3	92,31 ± 6,07 <sup>abc</sup>	96,15 ± 2,30 <sup>abc</sup>	91,76 ± 3,77 <sup>abc</sup>	93,41 ± 4,05
Rataan	79,74 ± 4,95	78,49 ± 4,51	80,95 ± 4,04	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). KL : kapasitas lapang air media tanam, F0: tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2 : FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3 :FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

Pada Tabel 1 terdapat interaksi antar kedua faktor (jenis FMA dan level kekeringan). Secara umum, perlakuan kontrol (F0) pada semua level kekeringan mempunyai nilai kolonisasi paling rendah dibandingkan dengan perlakuan inokulasi FMA. Kelompok level kekeringan 100% KL menghasilkan nilai kolonisasi yang nyata lebih tinggi ( $p < 0,05$ ) pada semua perlakuan jenis FMA (FU, FIPB1, FIPB2 dan FIPB3) dibandingkan kontrol (F0). Kelompok level kekeringan 60% KL menunjukkan adanya perubahan yakni nilai kolonisasi tertinggi terdapat pada perlakuan FIPB2 dan FIPB3 dibandingkan dengan F0, FU dan FIPB1. Selanjutnya kelompok level kekeringan 40% menghasilkan semua produk FMA (FU, FIPB1, FIPB2 dan FIPB3) memiliki nilai kolonisasi tinggi yang nyata berbeda ( $p < 0,05$ ) dibandingkan dengan kontrol (F0). Secara keseluruhan, nilai kolonisasi FMA dari isolat yang digunakan adalah termasuk dalam kategori tinggi yaitu diatas 75%. Nurhandayani et al. (2013) mengklasifikasikan kategori kolonisasi FMA dalam beberapa kategori yaitu kategori FMA skala 0-5% termasuk dalam kategori sangat rendah, skala 6%-25% kategori rendah, skala 26%-50% termasuk kategori sedang, kemudian 51%-75% termasuk kategori tinggi dan skala 76%-100% termasuk dalam kategori sangat tinggi. Hasil ini menunjukkan kualitas semua produk FMA adalah baik dan efektif dalam bersimbiosis dengan tanaman inang baik pada kondisi normal maupun tercekam kekeringan. Peningkatan level kekeringan berpeluang meningkatkan simbiosis mutualisme antara FMA dengan tanaman inang. Khaliq et al. (2022) menyatakan bahwa cekaman atau stress biotik dan abiotik berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan serta produktivitas tanaman, tetapi dengan penambahan FMA mampu meningkatkan daya toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman seperti kekeringan, salinitas dan sebagainya sehingga tanaman akan mampu bertahan pada kondisi stress sekalipun.

Keberadaan kolonisasi FMA pada F0 (tanpa pemberian mikoriza) diduga terjadi karena adanya FMA indigenous yang terdapat pada media tanam penelitian yang memang secara alami sudah ada di dalam alam. Meskipun demikian, nilai kolonisasi FMA dari F0 adalah

rendah. Hasil ini didukung pernyataan Riliana, et al. (2020) bahwa tanah yang tidak disterilisasi maka masih terdapat endogenous FMA alami. Rizki et al. (2022) menyatakan pada kondisi masam, tanaman *Stylosanthes guianensis* yang diberi FMA produk Laboratorium Agrostologi IPB dihasilkan nilai kolonisasi FMA  $>60\%$  dibandingkan dengan tanaman tanpa inokulasi FMA ( $<25\%$ ).

### Pertambahan Tinggi Tanaman *Stylosanthes guianensis*

Pertambahan tinggi tanaman merupakan salah satu indikator untuk mengevaluasi pertumbuhan dan produktivitas dari suatu tanaman. Efektivitas penambahan beberapa jenis FMA pada tanaman stylo pada level kekeringan berbeda dapat dilihat pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 terdapat interaksi antara faktor perlakuan inokulasi FMA dan level kekeringan terhadap pertambahan tinggi tanaman stylo. Perlakuan level kekeringan 100% KL menghasilkan pertambahan tinggi tanaman yang nyata lebih baik ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan FU dan FIPB3 dibandingkan kontrol (F0). Hasil ini menggambarkan bahwa perlakuan FU dan FIPB3 memiliki efektivitas terbaik dalam meningkatkan pertambahan tinggi tanaman stylo. Penggunaan pupuk 50% menghasilkan pertambahan tinggi tanaman yang lebih baik pada level kekeringan 100% KL dan 60 % KL. Hasil pertambahan tinggi yang lebih baik berkaitan dengan ketersediaan unsur hara yang lebih tersedia bagi tanaman. Hifa FMA efektif meningkatkan serapan hara bagi tanaman inang karena memiliki struktur yang lebih kecil, halus dan mampu menyebar hingga 8 cm sehingga perakaran tanaman mampu menyerap air dan P yang terikat melalui miselia di rizosfer akar tumbuhan (Suharno et al. 2020).

Cekaman kekeringan level 60% KL dihasilkan nilai pertambahan tinggi yang tidak berbeda nyata antara kontrol (F0) dengan perlakuan penambahan FMA. Hasil ini menggambarkan efektivitas FMA dalam mempertahankan ketersediaan hara bagi tanaman inang. Penggunaan pupuk 50% dihasilkan pertambahan tinggi tanaman yang sama dengan kontrol (penggunaan 100% pupuk).

**Tabel 2** Pertambahan tinggi tanaman pada level kekeringan yang berbeda (cm/10 minggu)

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	91,13 ± 5,94 <sup>cd</sup>	89,47 ± 13,36 <sup>d</sup>	57,98 ± 18,45 <sup>e</sup>	79,53 ± 12,58
FU	116,40 ± 1,00 <sup>a</sup>	92,32 ± 10,53 <sup>bcd</sup>	60,45 ± 2,52 <sup>e</sup>	89,72 ± 4,68
FIPB1	104,57 ± 8,54 <sup>abcd</sup>	102,50 ± 11,38 <sup>abcd</sup>	66,10 ± 11,64 <sup>e</sup>	91,06 ± 10,52
FIPB2	108,17 ± 1,35 <sup>abc</sup>	105,30 ± 5,36 <sup>abcd</sup>	35,38 ± 13,38 <sup>f</sup>	82,95 ± 13,38
FIPB3	109,50 ± 1,65 <sup>ab</sup>	87,35 ± 4,87 <sup>d</sup>	50,58 ± 12,30 <sup>ef</sup>	82,48 ± 12,30
Rataan	105,95 ± 3,70	95,39 ± 9,10	54,10 ± 11,66	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). KL: kapasitas lapang air media tanam, F0: tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2: FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3: FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

Hasil ini menguatkan peranan mikoriza dalam peningkatan ketersediaan hara bagi tanaman inang utamanya P yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman. Wahyuni *et al.* (2020) melaporkan penambahan FMA sebanyak 20 g pada bibit kelapa sawit meningkatkan kadar hara P sebesar 21,82% dibandingkan tanaman kontrol.

Secara umum, perlakuan level cekaman kekeringan 40% KL dihasilkan nilai pertambahan tinggi tanaman yang rendah dibandingkan perlakuan 100% KL dan 60% KL (yakni menurun 48,93% dan 43,28%). Penurunan pertambahan tinggi dari cekaman kekeringan 40% KL menggambarkan ketidakmampuan tanaman beradaptasi dengan kekeringan ekstrim (40% KL) dan inokulasi mikoriza belum efektif meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman inang. Hasil yang tidak berbeda nyata antara perlakuan kontrol (F0) dan FU, FIPB1 menggambarkan efektivitas produk FU dan FIPB1 yang sama baik pada cekaman kekeringan 40% KL. Produk FU dan FIPB1 mampu meningkatkan ketersediaan hara dan air bagi tanaman inang. Chandrasekaran (2022) menyatakan bahwa tanaman yang diinokulasi FMA memiliki pertumbuhan lebih tinggi 49% dibandingkan dengan tanaman yang tanpa FMA pada kondisi cekaman kekeringan, karena mikoriza dapat menghasilkan vitamin dan hormon sitokinin dan giberelin yang berfungsi dalam merangsang pertumbuhan tanaman (Basri 2018).

#### Kadar Air Relatif Daun *Stylosanthes guianensis*

Kadar air relatif daun (KARD) menggambarkan mekanisme tanaman dalam beradaptasi dan merespon cekaman kekeringan. Sourour *et al.* (2017) melaporkan nilai KARD tinggi merupakan mekanisme ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan berkaitan erat dengan regulasi osmotik yakni mempertahankan turgor dalam jaringan dengan mengakumulasi zat terlarut pada tanaman. Kekeringan berkaitan dengan status ketersediaan air bagi tanaman yang rendah sebagai dampak rendahnya retensi air di media tumbuh. Nilai KARD tanaman stylo terdapat pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 terdapat interaksi nyata ( $p < 0,05$ ) antara faktor perlakuan jenis FMA dengan level kekeringan terhadap kadar air relatif daun (KARD). Perlakuan level

kekeringan 100% KL dan 60% KL dihasilkan nilai KARD yang lebih tinggi ( $p < 0,05$ ) dibandingkan level kekeringan 40% KL untuk beberapa perlakuan (F0, FIPB1, FIPB3). Hasil ini menunjukkan, perlakuan FMA pada level kekeringan 60% KL efektif meningkatkan adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Penggunaan dosis pupuk 100% (F0) utamanya status pupuk organik yang lebih tinggi meningkatkan kandungan air (retensi air) di media. Perlakuan inokulasi FMA efektif memperbaiki nilai KARD pada tanaman yang berkaitan dengan pemenuhan status air bagi inang. Elviwirda *et al.* (2016) menyatakan rumput *Brachiaria decumbens* yang diinokulasi FMA pada perlakuan kekeringan 60% KL memiliki nilai KARD 74,73% lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman tanpa FMA.

Peningkatan level kekeringan 40% KL menurunkan nilai KARD tanaman stylo ( $p < 0,05$ ) pada perlakuan F0, FIPB1, FIPB3 dibandingkan dengan FU dan FIPB2. Secara umum, penurunan nilai KARD adalah 16,28% dibandingkan nilai KARD pada level 100% KL.

Penurunan nilai KARD merupakan salah satu bentuk respon fisiologis tanaman yang mengalami kekeringan. Perlakuan FMA (FU dan FIPB2) efektif meningkatkan adaptasi tanaman stylo pada cekaman kekeringan 40% KL. Produk FU dan FIPB2 nyata lebih efektif dibandingkan dengan kontrol (F0). Kedua produk tersebut memiliki kualitas paling baik dalam mempertahankan nilai KARD pada kondisi cekaman kekeringan ekstrim (40% KL). Sowmen *et al.* (2014) menyebutkan bahwa adanya hifa pada FMA mampu membantu tanaman *Leucaena leucocephala* lebih maksimal dalam menyerap air pada saat mengalami cekaman kekeringan sehingga memiliki nilai KARD lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tanpa inokulasi FMA.

#### Klorofil Daun

Klorofil berkaitan dengan efektivitas proses fotosintesis tanaman. Klorofil berfungsi dalam merubah CO<sub>2</sub> menjadi karbohidrat pada saat proses fotosintesis (Mansur 2017).

**Tabel 3** Kadar air relatif daun tanaman pada level kekeringan yang berbeda

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	82,96 ± 1,53 <sup>ab</sup>	80,15 ± 3,31 <sup>abc</sup>	64,02 ± 2,87 <sup>d</sup>	75,71 ± 2,57
FU	83,42 ± 2,63 <sup>ab</sup>	86,25 ± 2,04 <sup>a</sup>	81,16 ± 6,32 <sup>abc</sup>	83,61 ± 3,66
FIPB1	86,72 ± 4,23 <sup>a</sup>	85,94 ± 1,36 <sup>a</sup>	74,76 ± 6,84 <sup>c</sup>	82,48 ± 4,14
FIPB2	82,75 ± 1,54 <sup>ab</sup>	79,83 ± 2,93 <sup>abc</sup>	77,16 ± 5,08 <sup>bc</sup>	79,91 ± 3,19
FIPB3	85,52 ± 1,82 <sup>a</sup>	84,65 ± 3,47 <sup>a</sup>	55,63 ± 0,97 <sup>e</sup>	75,27 ± 2,08
Rataan	84,27 ± 2,35	83,36 ± 2,62	70,55 ± 4,42	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). KL: kapasitas lapang air media tanam, F0: tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2 : FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3: FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

**Tabel 4** Kandungan klorofil daun tanaman pada level kekeringan yang berbeda (unit)

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	30,17 ± 1,45 <sup>f</sup>	35,39 ± 2,73 <sup>e</sup>	37,61 ± 2,87 <sup>de</sup>	34,39 ± 2,35
FU	41,56 ± 1,27 <sup>abc</sup>	39,44 ± 0,42 <sup>bcde</sup>	42,77 ± 2,90 <sup>abc</sup>	41,26 ± 1,53
FIPB1	45,16 ± 1,19 <sup>a</sup>	45,18 ± 2,50 <sup>a</sup>	43,46 ± 1,99 <sup>abc</sup>	44,60 ± 1,89
FIPB2	40,90 ± 1,66 <sup>abc</sup>	43,39 ± 4,04 <sup>abc</sup>	38,93 ± 2,59 <sup>cde</sup>	41,07 ± 2,76
FIPB3	43,19 ± 2,84 <sup>abc</sup>	43,17 ± 3,30 <sup>abc</sup>	44,04 ± 3,04 <sup>ab</sup>	43,47 ± 3,06
Rataan	40,20 ± 1,68	41,32 ± 2,60	41,36 ± 2,68	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). KL: kapasitas lapang air media tanam, F0: tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2: FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3: FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

Kandungan klorofil tanaman stylo berdasarkan perbedaan jenis FMA dan level kekeringan disajikan pada Tabel 4. Kandungan klorofil tanaman stylo menunjukkan adanya interaksi nyata ( $p < 0,05$ ) antara faktor perlakuan jenis FMA dan level kekeringan, yakni perlakuan inokulasi FMA meningkatkan jumlah klorofil daun dibandingkan kontrol (F0). Selaras dengan hasil penelitian Hazzoumi *et al.* (2015) pada kondisi stres, tanaman basil yang diinokulasi FMA memiliki nilai klorofil 72,7% lebih tinggi dibandingkan dengan yang tanpa FMA. Perbedaan jenis FMA pada level kekeringan berbeda, dihasilkan nilai klorofil yang sama baik. Nilai klorofil daun dari tanaman stylo yang diinokulasi FMA pada kisaran 38,93 - 45,18 unit. Rizki *et al.* (2022) menyatakan inokulasi FMA pada tanaman *Stylosanthes guianensis* pada tanah masam dihasilkan nilai klorofil daun dengan rata-rata 48,02 unit.

Hasil penelitian pada Tabel 3 menunjukkan efektivitas FMA dalam meningkatkan klorofil daun pada kondisi normal maupun tercekam kekeringan. Peningkatan klorofil daun stylo menggambarkan efektivitas hifa FMA di perakaran dalam meningkatkan serapan unsur hara utamanya unsur N dan Mg yang berperan dalam pembentukan sintesis klorofil. Keberadaan hifa eksternal FMA selain meningkatkan unsur hara P dan N, juga membantu meningkatkan unsur hara lain seperti Mg, Zn, Cu, K, Mo dan B (Suharno *et al.* 2020). Rupaedah *et al.* (2015) menambahkan kandungan klorofil daun tanaman sorgum manis dengan perlakuan FMA yang dikombinasi pupuk meningkat secara signifikan.

### Prolin Daun

Prolin adalah salah satu peubah untuk menguji daya adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Semakin tinggi nilai prolin, menggambarkan peningkatan stres tanaman terhadap cekaman kekeringan. Idris *et al.* (2023) melaporkan cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya kerusakan sel tanaman sehingga untuk meminimalisir dampak kerusakan tersebut, tanaman akan mengakumulasi kandungan prolin. Havrlentova *et al.* (2021) menyatakan prolin berperan sebagai osmosit dalam sel tanaman dalam kondisi stress khususnya stress kering. Data kandungan prolin terdapat pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 terdapat interaksi antar ke dua faktor perlakuan. Berdasarkan kelompok level kekeringan, nilai prolin yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya level kekeringan ( $P < 0,05$ ). Lebih lanjut, inokulasi FMA (FIPB1, FIPB2, FIPB3) berdasarkan level kekeringan (60% KL dan 40% KL) belum efektif menurunkan nilai prolin dibandingkan dengan kelompok perlakuan level kekeringan 100% KL.

Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan level kekeringan (60% KL dan 40% KL) meningkatkan stress tanaman yang terindikasi dengan meningkatnya nilai prolin di daun dan keberadaan FMA pada tanaman tercekam kekeringan (60% KL dan 40% KL) belum efektif meningkatkan adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan dibandingkan kelompok perlakuan 100% KL.

**Tabel 5** Kandungan prolin tanaman pada level kekeringan yang berbeda ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	0,50 ± 0,04 <sup>ab</sup>	1,13 ± 0,04 <sup>cd</sup>	2,84 ± 0,04 <sup>f</sup>	1,49 ± 0,04
FU	0,83 ± 0,09 <sup>bc</sup>	1,27 ± 0,19 <sup>cde</sup>	1,59 ± 0,42 <sup>e</sup>	1,23 ± 0,23
FIPB1	0,58 ± 0,15 <sup>ab</sup>	1,41 ± 0,53 <sup>de</sup>	2,69 ± 0,14 <sup>f</sup>	1,56 ± 0,27
FIPB2	0,34 ± 0,13 <sup>a</sup>	1,39 ± 0,56 <sup>de</sup>	2,84 ± 0,10 <sup>f</sup>	2,38 ± 0,16
FIPB3	0,57 ± 0,021 <sup>ab</sup>	1,61 ± 0,05 <sup>e</sup>	2,75 ± 0,09 <sup>f</sup>	1,64 ± 0,12
Rataan	0,56 ± 0,12	1,36 ± 0,27	2,54 ± 0,16	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). KL: kapasitas lapang air media tanam, F0: tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2: FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3: FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

**Tabel 6** Produksi biomassa tanaman pada level kekeringan yang berbeda (g/tanaman)

Mikoriza	Level kekeringan			Rataan
	100% KL	60% KL	40% KL	
F0	6,93 ± 1,51	3,01 ± 0,80	1,13 ± 0,40	3,69 ± 0,90 <sup>B</sup>
FU	9,31 ± 1,40	4,31 ± 0,12	1,90 ± 0,17	5,17 ± 0,57 <sup>A</sup>
FIPB1	8,61 ± 1,61	4,85 ± 0,95	1,91 ± 0,33	5,12 ± 0,96 <sup>A</sup>
FIPB2	7,70 ± 2,13	3,61 ± 1,13	0,39 ± 0,29	3,90 ± 1,18 <sup>B</sup>
FIPB3	8,27 ± 3,49	3,70 ± 0,43	1,49 ± 1,42	4,49 ± 1,78 <sup>AB</sup>
Rataan	8,16 ± 2,03 <sup>A</sup>	3,90 ± 0,69 <sup>B</sup>	1,36 ± 0,52 <sup>C</sup>	

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,01$ ). KL: kapasitas lapang air media tanam, F0 adalah tanpa mikoriza/kontrol (100% pemupukan), FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2: FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3 : FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan).

Peningkatan nilai prolin pada cekaman kekeringan 40%KL selaras dengan peubah kadar relatif daun (Tabel 3), yakni kadar relatif daun (KARD) menurun seiring peningkatan nilai prolin. Selaras dengan Idris *et al.* (2022) penambahan FMA pada tanaman sorgum varietas JP-1 dalam kondisi cekaman kekeringan efektif menurunkan nilai prolin sebesar 33,33% yang diikuti dengan peningkatan nilai KARD sebesar 11,90% dibandingkan kontrol.

#### Biomassa Tanaman *Stylosanthes guianensis*

Biomassa tanaman merupakan indikator penting untuk mengevaluasi produktivitas suatu tanaman. Produksi biomassa tanaman stylo berdasarkan level kekeringan dan penambahan beberapa produk FMA disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 menunjukkan tidak ada interaksi antara jenis FMA dan level kekeringan terhadap produksi biomassa kering tanaman stylo. Berdasarkan perlakuan level kekeringan dihasilkan bahwa produksi biomassa kering tanaman stylo nyata menurun ( $p < 0,01$ ) seiring dengan meningkatnya level kekeringan. Persentase penurunan produksi biomassa kering tanaman pada level kekeringan 60% KL dan 40% KL berdasarkan tabel 6 masing-masing sebesar 52,21% dan 83,33% jika dibandingkan level kekeringan 100% KL. Penurunan biomassa berkaitan dengan keterbatasan ketersediaan air bagi tanaman yang berdampak pada gangguan aktivitas fotosintesis sehingga pertumbuhan rendah. Sopandie (2014) menyatakan bentuk adaptasi langsung tanaman dalam merespon kekeringan yakni

menghindari kekeringan (*drought escape*) dengan cara mengakumulasi air dalam tanaman, selain itu juga dengan cara menutup stomata daun yang akan memperlambat proses fotosintesis. Hal ini mengakibatkan pertumbuhan tanaman akan terhambat sehingga mempengaruhi berat biomassa tanaman. Cekaman kekeringan menyebabkan terjadinya penurunan laju fotosintesis sehingga menurunkan produksi biomassa pada kacang polong (Mathobo *et al.* 2016).

Perlakuan perbedaan produk FMA dihasilkan rata-rata biomassa dari perlakuan FU dan FIPB1 sangat nyata ( $p < 0,01$ ) lebih tinggi dibandingkan kontrol (F0). Hasil ini menunjukkan secara kumulatif inokulasi FU dan FIPB1 efektif meningkatkan konsumsi air bagi tanaman inang. Hifa FMA berperan penting dalam meningkatkan serapan dan ketersediaan air bagi tanaman inang. Selaras dengan Wati *et al.* (2021) produksi biomassa tajuk tanaman *Indigofera zollingeriana* yang diinokulasi FMA 42,33% lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa FMA. Basri (2018) menjelaskan keberadaan jaringan hifa dengan ukuran relatif lebih kecil daripada rambut akar akan memudahkan tanaman inang dalam menyerap air secara lebih maksimal. Tingginya air terserap akan memudahkan tanaman inang dalam menyerap unsur-unsur hara seperti N, S dan K.

#### Matrik Efektivitas produk FMA

Matrik efektivitas produk FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi berbeda berdasarkan level kekeringan disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7** Matrik efektivitas produk FMA pada level kekeringan berbeda berdasarkan peubah penelitian

Parameter	Level kekeringan		
	100% KL	60% KL	40% KL
Kolonisasi FMA	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3
Tinggi Tanaman	FU, FIPB1, FIPB2,	FIPB1, FIPB2	FU, FIPB1
KAR daun	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3	FU, FIPB1, FIPB2
Klorofil Daun	FU, FIPB1, FIPB2, FIPB3	FIPB1, FIPB2, FIPB3	FU, FIPB1, FIPB3
Biomassa kering	FU, FIPB1	FU, FIPB1	FU, FIPB1

KL: kapasitas lapang air media tanam, FU: FMA pembanding (50% pemupukan), FIPB1: FMA yang difortifikasi ABmix 1000ppm (50% pemupukan), FIPB2 : FMA yang difortifikasi ABmix 2000ppm (50% pemupukan), FIPB3: FMA yang difortifikasi ABmix 3000ppm (50% pemupukan), KAR : kadar air relatif

Visualisasi perlakuan mikoriza berdasarkan level kekeringan menunjukkan efektivitas FMA yang lebih baik terhadap parameter yang diukur. Seluruh perlakuan FMA efektif bersimbiosis dengan tanaman inang dan dihasilkan kemanfaatan tinggi, utamanya pada kelompok perlakuan level kekeringan 100%KL dan 60% KL dibandingkan kontrol ( $p < 0,05$ ). Perlakuan FU dan FIPB1 pada kelompok level kekeringan 40% KL efektif meningkatkan ( $p < 0,05$ ) peubah yang diukur dan sangat nyata ( $p < 0,01$ ) meningkatkan rata-rata biomassa tanaman. Hasil ini menunjukkan efektivitas simbiosis produk FIPB1 terhadap tanaman inang adalah lebih baik dibandingkan FIPB2 dan FIPB3. Lebih lanjut, FIPB1 sama baik dengan FU, yakni kualitas produk FIPB1 sama baik dengan produk FMA komersial (FU). Sejalan dengan hasil penelitian Rizki *et al.* (2022) bahwa FMA efektif bersimbiosis dengan baik pada tanaman *Stylosanthes guianensis* dan efektif meningkatkan adaptasi serta pertumbuhan tanaman pada tanah masam.

## SIMPULAN

Kualitas FMA yang diproduksi dengan fortifikasi nutrisi berbeda adalah sama baik dengan FMA Unggulan (FU). Inokulasi produk FMA (IPB1, IPB2 dan IPB3) dengan pemupukan 50% efektif meningkatkan adaptasi dan produksi tanaman *Stylosanthes guianensis* hingga level kekeringan 60% KL dibandingkan kontrol (tanpa FMA, 100% pemupukan). Inokulasi produk FMA unggulan (FU) dan FIPB1 efektif meningkatkan ketahanan tanaman *Stylosanthes guianensis* hingga level kekeringan 40% KL.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah membiaya secara penuh Pendidikan pascasarjana penulis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basri AHP. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Agrica Ekstensi*. 12 (2): 74-78
- Bates LS, Waldren RP, & Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline water stress studies. *Plant Soil* 39:205-207
- Chandrasekaran M. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A Meta-Analysis. *Journal of Fungi*. 8 (7): 660.
- Elviwidra E, Sufardi S & Syakur S. 2016. Aplikasi mikoriza untuk meningkatkan pertumbuhan beberapa jenis rumput makanan ternak terhadap cekaman kekeringan pada tanah podsolik jantho. *Jurnal Floratek* 11(2):152-158
- Fitria A, Abdullah L, & Karti PDMH. 2022. Pertumbuhan dan produksi Sorgum bicolor pada kultur fungi mikoriza arbuskula (FMA) dengan sistem fertisasi dan fortifikasi nutrisi berbeda. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 20 (2):51-57
- Havrlentová M, Kraic J, Gregusová V, & Kováčsová B. 2021. Drought stress in cereals - A review. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 67(2): 47-60.
- Hazzoumi Z, Moustakime Y, Elharchli EH, & Joutei KA. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L.). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2:10
- Herlina B, Sutejo S, & Laksono J. 2017. Peran inokulasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan pupuk fosfat terhadap produktivitas dan kandungan nutrisi *Indigofera zollingeriana*. *Jurnal Sain Peternakan Indonesia*. 12 (2): 184-190
- Idris, Fefirenta AD, Sari VK, & Sudiana IM. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungi induced different proline accumulations in two sorghum accessions in a response to drought stress. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*. 68 (3):127-142
- Jiang Y, Shen Q, Ding X, Yan L, Liu G, & Bai C. 2017. Phenotypic diversity analysis of *Stylosanthes germplasm*s. *Practical Science*. 34, 1032-1041.
- Khaliq A, Perveen S, Alamer KH, Haq ZU, Rafique M, Alsudays Z, Althobaiti IM, Saleh AT, Hussain MA, S. & Attia, H. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis to enhance plant-soil interaction. *Sustainability*. 14 (13): 7840.
- Mansur M. 2017. Potensi serapan CO<sub>2</sub> pada beberapa jenis kantong semar (*Nepenthes* spp.) dataran rendah. *Berita Biologi*. 16(1): 47-57
- Mathobo R, Marais D, & Steyn JM. 2016. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural Water Management*. 180: 118-125
- Nurhandayani R, Linda R & Khotimah S. 2013. Inventarisasi jamur mikoriza vesicular arbuscular dan rhizosfer tanah gambut tanaman nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr). *Jurnal of Biological Science*. 2(3):146-151
- Nusantara AD, Bertham RYH, & Mansur HI. 2012. *Bekerja Dengan Fungi Mikoriza Arbuskula*. Bogor (ID): Seameo Biotrop.
- Phillips JM, & Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of The British Mycological Society*. 55:158-161.
- Purwanto I, Suryono J, Sumantri KK, Somantri E, Mulyadi, Suwandi, Jaenudin, Mindawati, Suhaeti E, Hidayat E, & Hidayat R. 2014. *Petunjuk teknis pelaksanaan penelitian kesuburan tanah*. Jakarta (ID): IAARD Press
- Riliana N, Yonathan A, & Sukmawan Y. 2020. Pengaruh inokulan fungi mikoriza arbuskula dan komposisi media tanam pada pertumbuhan tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) *Savana Cendana* 5(3): 44-46
- Rizki A, Karti PDMH, & Prihantoro I. 2022. Efektivitas berbagai produk fungi mikoriza arbuskula dalam meningkatkan produktivitas *Stylosanthes guianensis* pada tanah masam. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 20 (3): 89-94
- Rupaedah B, Anas I, Santosa DA, Sumaryono W, & Budi, SW. 2015. Peran rizobakteri dan fungi mikoriza arbuskula dalam proses fotosintesis dan produksi gula sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Menara Perkebunan*. 83(1): 44-53
- Slatyer RO & Barrs HD. 1965. Modification to the relative turgidity technique with notes on significance as an index of the internal water status of leaves. *Arid Zone Research*. 25:331-342.
- Sopandie D. 2014. *Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika*. Bogor (ID): IPB Press
- Sourour A, Afef O, Mounir R, & Mongi BY. 2017. A Review: morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 6(1): 01-04
- Sowmen S, Abdullah L, Karti PDMH, & Soepandi D. 2014. Adaptasi legum pohon yang diinokulasi dengan fungi mikoriza arbuskula

- (FMA) saat cekaman kekeringan. *Jurnal Peternakan Indonesia*.16 (1): 46- 54
- Suharno, Tanjung, RHR, & Sufaati S. 2020. Fungi Mikoriza arbuskula mempercepat rehabilitasi lahan tambang. Yogyakarta (ID): UGM Press:
- Wahyuni M, Maharany R, & Dlm, ACH. 2020. Pengaruh aplikasi kompos hijauan *Mucuna bracteata* dan mikoriza terhadap kadar hara P dan pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq). *Jurnal Agrium: Jurnal Ilmu Pertanian*. 17(2): 74-79
- Wati VL, Suharlina, & Sanusi I. 2021. Produksi hijauan Indigofera zollingeriana yang dipupuk menggunakan fungi mikoriza arbuskula pada tanah pasca tambang batubara. *Pastura*. 11(1): 13-17
- Wu FH, Yu XD, Zhuang NS, Liu GD, & Liu JP. 2015. Induction and identification of *Stylosanthes guianensis* tetraploids. *Genetics and Molecular Research*. 14(4):12692-12698.
- Yulia N, Prihantoro I, & Karti PDMH. 2022. Optimasi penggunaan mutagen kolkisin untuk peningkatan produktivitas tanaman stylo (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.). *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 20(1): 19-24
- Yuniarsih D. 2017. Pengaruh cekaman air terhadap kandungan protein kacang kedelai. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Yogyakarta (ID) : Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Zakiah M, Manurung TF, & Wulandari RS.2018. Kandungan klorofil daun pada empat jenis pohon di Arboretum Sylva Indonesia PC. Universitas Tanjungpura. *Jurnal Hutan Lestari*. 6 (1): 48-55