

Pengaruh Penggunaan Fungi Mikoriza Arbuskula terhadap Produksi dan Karakteristik Fisiologis Lamtoro Mini (*Desmanthus virgatus*) pada Tanah Salin

The Effect of The Use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on The Production and Physiological Characteristics of Lamtoro Mini (*Desmanthus virgatus*) on Saline Soil

A Rizki^{1*}, P D M H Karti², I Prihantoro², Mudastsir¹, M A Yaman³, Ilham³

Corresponding email:
agamrizki@utu.ac.id

¹⁾Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar, Jalan Alue Peunyareng, Ujung Tanah Darat, Meureubo, Aceh Barat, Aceh, Indonesia

²⁾Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

³⁾Departemen Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Jalan Tgk. Hasan Krueng Kalee No 3, Kopelma Darussalam, Syiah Kuala, Banda Aceh, Aceh, Indonesia

ABSTRACT

This study aims to evaluate the quality of *Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (AMF) inoculum produced using various nutrient fortification methods for *Desmanthus virgatus* plants in helping to cope with salinity stress. This study was conducted at the Agrostology Laboratory of IPB University with a Completely Randomized Design (CRD) Factorial Pattern 5 x 3 with 8 replications. Factor A was types of AMF, namely AMF without administration (JM0), commercial/superior AMF (JMU), AMF fortified with AB Mix 1000 ppm (JM1), AMF fortified with AB Mix 2000 ppm (JM2), and AMF fortified with AB Mix 3000 ppm (JM3). Factor B was levels of soil salinity, namely control soil (JT0), medium saline soil (JT1), and high saline soil (JT2). Each plant was given 20 g of AMF, compost, and NPK fertilizers. Both plants without AMF and with AMF were given different doses of fertilizer, namely 100% dose and 50% dose. The results showed that inoculation of JMU, JM1, JM2 and JM3 had the same AMF colonization consistency in JT0, JT1 and JT2. AMF inoculation of JMU, JM1, JM2, and JM3 effectively increased ($p<0.05$) the vertical height of *Desmanthus virgatus* on high saline soil (JT2). The production of dry weight of JM3 shoots on high saline soil (JT2) was the highest ($p<0.05$) among other treatments. Leaf chlorophyll of JMU, JM1, JM2, and JM3 in control soil (JT0) was significantly higher than JM0, but it was not significantly different in medium saline soil (JT1) and high saline soil (JT2). AMF inoculation with JMU, JM1, JM2, and JM3 effectively reduced leaf proline content in highly saline soil (JT2), while salinity significantly ($p<0.05$) increased the leaf proline levels of *Desmanthus virgatus*. The conclusion was that AMF could increase the productivity of *Desmanthus virgatus* legumes on high-salinity soil. *Desmanthus virgatus* has an acceptable tolerance level on medium and high saline soils. Arbuscular Mycorrhizal Fungi JM3 (result of AB Mix 3000 ppm fortification) has a better production ability than JM1, JM2, and JMU on high saline soil.

Key words: forage crops, marginal land, legumes

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas inokulum Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) yang dihasilkan menggunakan berbagai metode fortifikasi nutrisi terhadap tanaman *Desmanthus virgatus* dalam membantu menghadapi cekaman salinitas. Rancangan percobaan penelitian yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) Pola Faktorial 5 x 3 dan diulang sebanyak 8 kali. Faktor A yaitu jenis FMA, yaitu tanpa pemberian FMA(JM0), FMA komersial/unggul (JMU), dan 3 level FMA hasil fortifikasi AB Mix 1000 ppm (JM1), 2000 ppm (JM2), dan 3000 ppm (JM3). Faktor B adalah tingkat salinitas tanah, yaitu tanah kontrol (JT0), tanah salin sedang (JT1), dan tanah salin tinggi (JT2). Setiap tanaman diberikan FMA sebanyak 20 g serta diberikan pupuk kompos dan NPK. Tanaman tanpa pemberian FMA dan dengan pemberian FMA diberikan dosis pupuk yang berbeda yaitu 100% dosis dan 50% dosis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif meningkatkan ($p<0.05$) tinggi vertikal *Desmanthus virgatus* pada tanah salin tinggi (JT2). Produksi berat kering akar JM3 pada tanah salin tinggi (JT2) merupakan yang tertinggi ($p<0.05$) dibanding perlakuan lainnya pada semua jenis tanah perlakuan. Klorofil daun JMU, JM1, JM2, dan JM3 pada tanah kontrol (JT0) nyata ($p<0.05$) lebih tinggi dibandingkan JM0, namun tidak berbeda nyata pada tanah salin sedang (JT1) dan tanah salin tinggi (JT2). Inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif menurunkan kadar proline daun pada tanah salin tinggi (JT2) dan salinitas nyata ($p<0.05$) meningkatkan kadar proline daun *Desmanthus virgatus*. Simpulan dalam penelitian ini adalah FMA dapat meningkatkan produktivitas leguminosa *Desmanthus virgatus* pada tanah salin tinggi. *Desmanthus virgatus* memiliki tingkat toleransi cukup baik pada tanah salin sedang dan tinggi. Fungi Mikoriza arbuskula JM3 (hasil fortifikasi AB Mix 3000 ppm) memiliki kemampuan produksi yang lebih baik dibandingkan JM1, JM2, dan JMU pada tanah salin tinggi.

Kata kunci: tanaman hijauan pakan, lahan marginal, leguminosa



Copyright © 2024 by JINTP

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang cukup luas untuk mengembangkan lahan salin. Negara kepulauan ini memiliki garis pantai sepanjang 95.161 km, menjadikannya garis pantai terpanjang kedua di dunia (Arianto 2020), dan diperkirakan memiliki total luas lahan salin seluas 0,6 juta hektar (Masganti *et al.* 2022). Tanah salin adalah jenis tanah suboptimal yang memiliki kandungan garam tinggi dan produktivitas rendah, karena itu, jarang digunakan untuk pertanian atau lahan hijau pakan ternak. Tanah salin terbentuk karena akumulasi berbagai jenis garam, terutama natrium klorida, natrium sulfat, CaCO₃, dan MgCO₃ (Tolib *et al.* 2017). Peningkatan laju evaporasi menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan pergerakan air tanah yang mengandung intrusi air laut menuju ke permukaan. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya akumulasi garam di lapisan atas tanah, sehingga menyebabkan peningkatan salinitas pada lahan pertanian di wilayah pesisir (Sukarman *et al.* 2018). Berdasarkan Abrol *et al.* (1988), tanah salin dikategorikan dalam lima tingkat berdasarkan daya hantar listrik (DHL), yaitu: 0-2 ds m⁻¹ (non-salin), 2-4 ds m⁻¹ (rendah), 4-8 ds m⁻¹ (tinggi), 8-16 ds m⁻¹ (sangat tinggi), dan >16 ds m⁻¹ (sangat tinggi).

Tingginya tekanan osmotik larutan tanah pada tanah salin dapat menghambat perkembangan akar dan akar kesulitan menyerap air. Selanjutnya tanaman dapat mengalami plasmolisis, yaitu sel tumbuhan kehilangan air melalui osmosis akibat tanah dalam larutan dengan konsentrasi garam yang lebih tinggi daripada cairan di dalam sel tersebut (hipertonik). Akibatnya, air akan keluar dari vakuola sel tumbuhan, menyebabkan sel tersebut menyusut dan membran plasma terlepas dari dinding sel. Dalam larutan garam yang sangat pekat, sel tumbuhan dapat mengalami proses ini, di mana air keluar dari sel menuju lingkungan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi. Plasmolisis dapat mengganggu fungsi sel dan menyebabkan kerusakan pada tumbuhan jika berlangsung terlalu lama atau terlalu intens. Perubahan struktur tanaman akibat salinitas antara lain pertambahan panjang tanaman yang terhambat, jumlah daun majemuk semakin sedikit, produksi berat kering tajuk rendah, jumlah klorofil daun rendah, dan meningkatkan kadar proline daun (Rizki *et al.* 2023). Upaya mengurangi dampak cekaman salinitas dan meningkatkan produktivitas tanah salin dapat dilakukan melalui pemberian Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dan memilih tanaman yang toleran terhadap salinitas.

Fungi Mikoriza arbuskula (FMA) dapat bekerja sama dengan tanaman inang untuk membantu menyerap air dan unsur hara makro dan mikro, yang dapat meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas tanaman (Hidayati 2015). Fungi mikoriza arbuskula sangat penting bagi tanaman dan ekosistem. FMA berfungsi sebagai biofertilizer, bioprotektor, bioregulator, dan gen fitoremediasi dalam ekosistem (Goltapeh *et al.* 2013). Fungi Mikoriza arbuskula juga

mampu meningkatkan tanaman terhadap cekaman kekeringan dan salinitas tinggi dan meningkatkan kesehatan tanaman dan mampu meningkatkan produktifitas tanaman (Hadidjah 2014).

Tanaman lamtoro mini (*Desmanthus virgatus*) merupakan salah satu leguminosa jenis perdu dengan tinggi mencapai 1,5 – 3 m. Lamtoro mini sangat disukai ternak dan tidak memiliki zat antinutrisi mimosin, produksinya mencapai 7,59 ton bahan kering ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan kandungan kadar air 15,58%, protein kasar 27,62%, lemak kasar 1,95%, serat kasar 16,75%, Ca 0,52%, dan P 0,17% (Mahata *et al.* 2010). Lamtoro mini tahan kekeringan dan dapat ditanam di tanah liat atau liat lempung dengan kondisi netral hingga alkalin, dengan rentang curah hujan kurang dari 500 mm per tahun dan ketinggian 0 hingga 2000 m dpl (Suswati *et al.* 2012). Penelitian mengenai pemanfaatan FMA pada tanaman lamtoro mini di tanah salin belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga kajian lebih mendalam terkait efektivitas FMA dalam membantu lamtoro mini mengatasi stres salinitas perlu untuk dilakukan.

METODE

Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan yaitu produk FMA hasil fortifikasi berbeda (*Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*, *Glomus* sp., *Acauolospora tuberculata*, dan *Gigaspora margarita*), FMA komersial (*Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*, *Acauolospora tuberculata*, dan *Gigaspora margarita*), benih leguminosa *Desmanthus virgatus*, pupuk, polybag, tanah kontrol, tanah salin sedang dan tanah salin tinggi serta bahan-bahan kimia lainnya untuk uji di laboratorium. Alat yang digunakan yaitu, mikroskop, spektrofotometer, timbangan digital dan lain-lain.

Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai dengan mempersiapkan media tanam yaitu tanah kontrol dan tanah salin. Tanah kontrol diperoleh dari Lab Agrostologi IPB, tanah salin tingkat sedang dan tinggi diperoleh dari pesisir desa Ciparage Jaya Karawang Jawa Barat dengan kandungan Daya Hantar Listrik (DHL) masing-masing 1,2 ds m⁻¹ (non salin) 6,1 ds m⁻¹ (tanah salin sedang) dan 8,4 ds m⁻¹ (tanah salin tinggi). Tanah diayak dan dibersihkan dari pengotor, selanjutnya ditimbang 5kg polybag⁻¹. Setiap media tanam ditambahkan pupuk kandang sesuai dosis perlakuan dan dilakukan homogenisasi. Pemupukan dilakukan dalam dua tahap untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Tahap pertama adalah pemberian pupuk dasar, sedangkan tahap kedua adalah pemberian pupuk susulan. Pupuk dasar yang digunakan adalah pupuk kandang dengan dosis 20 ton per hektar (20.000 kg ha⁻¹). Jika dikonversi ke dalam skala polybag, setiap polybag menerima 50 g pupuk kandang. Pupuk kandang diberikan sebelum

Tabel 1 Dosis pupuk perlakuan

| Jenis tanah | Jenis mikoriza dan dosis pemupukan | | | | |
|-------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
| JT0 | 100% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| JT1 | 100% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| JT2 | 100% | 50% | 50% | 50% | 50% |

100% dosis adalah pupuk kandang 20 ton ha⁻¹, Urea 200 kg ha⁻¹, KCl 100 kg ha⁻¹, SP36 150 kg ha⁻¹. JM0: Tanpa FMA. JMU: FMA unggul/komersial. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm. JT0: Tanah kontrol. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi.

penanaman untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kesuburan tanah, serta menyediakan nutrien organik yang diperlukan pada fase awal pertumbuhan tanaman. Tahap kedua adalah pemberian pupuk susulan yang dilakukan pada saat tanaman berusia dua minggu setelah tanam. Pupuk susulan ini terdiri dari tiga jenis, yaitu Urea, KCl, dan SP36. Dosis yang diberikan adalah 200 kg ha⁻¹ untuk Urea, 100 kg ha⁻¹ untuk KCl, dan 150 kg ha⁻¹ untuk SP36. Dalam skala polybag, dosis tersebut setara dengan 0,5 g Urea, 0,25 g KCl, dan 0,375 g SP36 per polybag. Pupuk susulan ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan nutrien makro tanaman, khususnya nitrogen (N), kalium (K), dan fosfor (P), yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan vegetatif, pembungaan, serta pembentukan buah.

Penelitian ini menggunakan kontrol positif sebagai banding, di mana perlakuan kontrol (JT0) menerima 100% dosis pupuk pada kedua tahap pemupukan, yaitu pemupukan pertama dan kedua. Sementara itu, perlakuan lainnya, yaitu JMU, JM1, JM2, dan JM3, hanya diberikan 50% dosis pupuk dari dosis normal. Pemberian pupuk dilakukan dengan metode perhitungan berdasarkan berat tanah, di mana berat tanah yang digunakan sebagai acuan adalah 2.000.000 kg ha⁻¹, sesuai dengan ketetapan yang telah dijelaskan oleh Purwanto *et al.* (2014). Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap minggu hingga tanaman mencapai usia 12 minggu. Hal ini bertujuan untuk memantau perkembangan dan respons tanaman terhadap perlakuan pemupukan yang berbeda. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh variasi dosis pupuk terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Detail dosis pupuk disajikan pada Tabel 1.

Pemeliharaan tanaman dilakukan secara rutin untuk mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kegiatan pemeliharaan meliputi penyiraman, pemberantasan gulma, serta pemberian pupuk sesuai dengan dosis yang telah ditetapkan. Pengambilan data dilakukan setiap minggu hingga tanaman mencapai usia 12 minggu. Peubah yang diamati meliputi kadar klorofil daun, berat kering tanaman, kadar proline daun, serta persentase kolonisasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada akar. Kadar klorofil daun diukur menggunakan alat TYS-B *Digital Chlorophyll Meter Analyzer*. Sementara itu, berat kering tanaman diperoleh dengan mengeringkan sampel tanaman dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam. Pengujian kadar proline daun

dilakukan mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Bates (1973). Prosedur pengujian persentase kolonisasi FMA pada akar dilakukan sesuai Metode Laboratorium Bioteknologi Hutan Institut Pertanian Bogor (Nusantara *et al.* 2012).

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial 5 x 3 dan diulang sebanyak 8 kali. Terdapat dua faktor yang diteliti, yaitu Faktor A yang merupakan perbedaan jenis fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang terdiri dari lima perlakuan, yaitu tanpa pemberian FMA (JM0), FMA komersial/unggul (JMU), FMA hasil fortifikasi AB Mix 1000 ppm (JM1), FMA hasil fortifikasi AB Mix 2000 ppm (JM2), dan FMA hasil fortifikasi AB Mix 3000 ppm (JM3). Faktor B adalah perbedaan tingkat salinitas tanah yang terdiri dari tiga perlakuan, yaitu tanah kontrol (JT0), tanah salin sedang (JT1), dan tanah salin tinggi (JT2). Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Jika hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan yang nyata, maka dilanjutkan dengan uji lanjut Duan untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Pengolahan data dilakukan menggunakan prog IBM SPSS Statistics 24 dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolonisasi FMA

Perbedaan jenis inokulum FMA terhadap tanah dengan salinitas berbeda menunjukkan hasil berbeda nyata ($p < 0,05$) pada kolonisasi FMA, secara umum inokulasi JMU, JM1, JM2 dan JM3 memiliki konsistensi kolonisasi sama baik pada JT0, JT1 dan JT2 (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrien berbeda menghasilkan kualitas FMA yang sama baik. FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 memiliki simbiosis yang kuat dengan tanaman inang terutama pada kondisi yang sangat tercekar salinitas. Fungi mikoriza arbuskula (FMA) memegang peranan penting dalam membantu tanaman menghadapi cekaman salinitas. Hal ini disebabkan oleh kemampuan FMA yang berfungsi sebagai biofertilizer, bioprotektor, dan gen fitoremediasi. Sebagai biofertilizer, FMA membantu tanaman dalam menyerap air dan unsur hara secara lebih efisien (Kumar *et al.* 2010; Goltapeh *et al.* 2013). Selain itu, FMA juga berperan sebagai bioregulator yang mampu meningkatkan agregasi tanah, sehingga struktur tanah menjadi lebih stabil dan mendukung pertumbuhan tanaman (Nusantara *et al.* 2012). Adanya kolonisasi FMA pada perlakuan tanpa inokulasi (JM0) diduga disebabkan oleh keberadaan FMA indigenous yang secara alami telah terdapat di dalam tanah.

Tabel 1 Kolonisasi FMA pada akar *Desmanthus virgatus* di berbagai jenis tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
| JT0 | 27,19±5,04 ^b | 85,94±5,50 ^a | 86,84±6,26 ^a | 88,75±8,18 ^a | 88,25±7,73 ^a |
| JT1 | 22,25±8,59 ^b | 85,81±4,68 ^a | 87,53±5,84 ^a | 89,52±8,06 ^a | 85,78±7,12 ^a |
| JT2 | 10,41±8,32 ^c | 88,25±8,76 ^a | 87,41±5,34 ^a | 87,81±5,12 ^a | 90,88±8,24 ^a |

Superskrip yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanpa FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi.

Pertambahan Tinggi Vertikal

Pertambahan tinggi vertikal *Desmanthus virgatus* hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin menunjukkan hasil berbeda nyata ($p<0,05$) dengan pola bahwa inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif meningkatkan tinggi vertikal *Desmanthus virgatus* pada tanah salin tinggi (JT2) (Tabel 2). Hasil ini menunjukkan bahwa FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrien berbeda memiliki kualitas FMA yang sama baik dengan FMA komersial.

Inokulasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada tanah salin tinggi (JT2) terbukti efektif dalam meningkatkan pertambahan tinggi vertikal tanaman *Desmanthus virgatus*. Hal ini disebabkan oleh kemampuan FMA dalam mengembangkan hifa eksternal yang berperan menyerap unsur fosfat dari dalam tanah. Fosfat yang diserap kemudian diubah menjadi senyawa polifosfat, yang selanjutnya dipindahkan ke dalam hifa dan dipecah menjadi fosfat organik. Fosfat organik inilah yang dapat diserap secara langsung oleh sel-sel tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman (Basri 2018). Dengan demikian, FMA berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan nutrien dan mendukung pertumbuhan tanaman meskipun dalam kondisi tanah yang salin.



Gambar 1 Perbandingan tinggi *Desmanthus virgatus* umur 12 minggu. (-) Tanpa inokulasi FMA. (+) Dengan inokulasi FMA.

Rendahnya pertambahan tinggi vertikal tanaman *Desmanthus virgatus* pada tanah kontrol (JT0) disebabkan oleh sifat tanah yang masam, sehingga tanaman mengalami kondisi stres. Berdasarkan hasil pengujian, tanah kontrol yang digunakan memiliki nilai pH H₂O sebesar 4,6 dan pH KCl sebesar 3,9. Menurut Soil Survey Staff (1999), tanah dikategorikan sebagai tanah masam (marginal) jika nilai pH H₂O-nya kurang dari 5,5 atau nilai pH CaCl₂-nya kurang dari 5,0. Tanah dengan reaksi masam (pH rendah) umumnya disebabkan oleh defisiensi unsur hara esensial seperti Kalsium (CaO) dan Magnesium (MgO), yang mengakibatkan tanah menjadi kurang subur dan tidak optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, kondisi tanah yang masam menjadi faktor pembatas dalam pertumbuhan tanaman *Desmanthus virgatus*.

Produksi Berat Kering Tajuk

Perbedaan jenis inokulum FMA terhadap tanah dengan salinitas berbeda menunjukkan hasil berbeda nyata ($p<0,05$) dengan pola bahwa inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif dan stabil meningkatkan berat kering akar pada tanah salin (Tabel 3). Produksi berat kering tajuk JM3 pada tanah salin tinggi (JT2) merupakan yang tertinggi dan nyata ($p<0,05$) lebih tinggi daripada perlakuan JM0, JMU, JM1, dan JM2. Inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif meningkatkan produksi berat kering tajuk pada tanah salin sedang meskipun pupuk yang diberikan hanya 50% dosis. FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi berbeda memiliki kualitas yang sama baik dengan FMA komersial pada tanah salin sedang (JT1), sedangkan pada tanah salin tinggi (JT2) produk JM3 memiliki efektivitas yang lebih baik. Pada perlakuan tanah salin tinggi (JT2) produksi berat kering tajuk *Desmanthus virgatus* sangat rendah, inokulasi FMA nyata ($p<0,05$) mampu meningkatkan produksi berat kering tajuk. Hal ini menunjukkan bahwa FMA sangat efektif membantu tanaman dalam mengatasi cekaman salinitas, FMA sangat efektif menyediakan hara bagi tanaman meskipun pupuk yang digunakan adalah 50% dosis.

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) memiliki jaringan hifa eksternal yang berperan dalam memperluas bidang serapan air dan unsur hara oleh tanaman. Ukuran hifa yang lebih halus dibandingkan bulu-bulu akar

Tabel 2 Pertambahan tinggi vertikal *Desmanthus virgatus* selama 12 minggu hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
|cm..... | | | | | |
| JT0 | 12,0±2,6 ^g | 45,9±12,0 ^{de} | 32,9±16,1 ^{ef} | 28,1±15,3 ^f | 24,6±13,1 ^{fg} |
| JT1 | 78,7±11,3 ^{ab} | 69,5±7,4 ^{ab} | 65,5±14,8 ^{bc} | 73,0±17,2 ^{ab} | 51,4±12,2 ^{cd} |
| JT2 | 52,2±23,6 ^{cd} | 78,6±18,8 ^{ab} | 83,3±14,0 ^a | 75,8±10,2 ^{ab} | 83,5±15,1 ^a |

Superskrip yang berbeda pada baris dan kolom menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanpa FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi

memungkinkan hifa untuk menyusup ke pori-pori tanah yang sangat kecil (mikro), sehingga FMA mampu menyerap air bahkan pada kondisi kadar air tanah yang sangat rendah. Selain itu, peningkatan serapan air oleh tanaman bermikoriza juga membawa unsur hara yang mudah larut, seperti Nitrogen (N), Kalium (K), dan Sulfur (S), yang terbawa oleh aliran massa air. Hal ini menyebabkan serapan unsur hara tersebut juga meningkat secara signifikan. Lebih lanjut, FMA mampu menghasilkan enzim fosfatase yang berfungsi melepaskan unsur fosfor dari ikatan-ikatan spesifik di dalam tanah, sehingga fosfor menjadi tersedia bagi tanaman (Basri 2018). Dengan demikian, FMA memegang peran penting dalam meningkatkan efisiensi penyerapan air dan unsur hara, serta mendukung pertumbuhan tanaman dalam kondisi tanah yang kurang optimal.

Rendahnya produksi berat kering tajuk *Desmanthus virgatus* pada tanah kontrol (JT0) dikarenakan pH tanah sangat rendah sehingga tanaman mengalami stres. Menurut Djaenudin *et al.* (2011), tanah masam memiliki beberapa kendala utama yang memengaruhi kesuburan dan produktivitasnya. Kendala tersebut meliputi reaksi tanah yang masam (pH rendah), miskin unsur hara terutama fosfor (P), serta rendahnya kandungan kation-kation dapat ditukar seperti Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), dan Kalium (K). Selain itu, tanah masam umumnya memiliki kandungan bahan organik yang rendah, kadar besi (Fe) dan aluminium (Al) yang tinggi, serta sensitif terhadap erosi. Kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan tanah masam memiliki tingkat produktivitas yang rendah, sehingga kurang optimal untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Berat Kering Akar

Perbedaan jenis inokulum FMA terhadap tanah dengan salinitas berbeda menunjukkan hasil berbeda nyata ($p<0,05$) pada berat kering akar dengan pola bahwa inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif dan stabil meningkatkan berat kering akar pada tanah salin (Tabel 4). Produksi berat kering akar JM3 pada tanah salin tinggi (JT2) merupakan yang tertinggi dan nyata ($p<0,05$) lebih baik dibanding perlakuan lainnya pada semua jenis tanah perlakuan. Hasil berbeda diperoleh pada tanaman tanpa FMA (JM0) pada tanah salin tinggi (JT2), bahwa tanah salin tinggi (JT2) secara nyata ($p<0,05$) menurunkan berat kering akar. Tingginya berat kering akar pada JT2-JM3 sejalan dengan tingginya produksi berat kering tajuk JT2-JM3. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulasi FMA pada tanah salin efektif meningkatkan toleransi tanaman, dan meningkatkan berat kering akar *Desmanthus virgatus*. Rizki *et al.* (2022) juga menyampaikan bahwa FMA dapat membantu perkembangan akar tanaman, penyerapan unsur hara, dan meningkatkan berat kering akar pada lahan-lahan marginal. Rendahnya berat kering akar pada tanah kontrol (JT0) dikarenakan pertumbuhan tanaman terganggu oleh pH tanah yang cukup rendah.

Klorofil Daun

Perbedaan jenis inokulum FMA terhadap tanah dengan salinitas berbeda menunjukkan hasil berbeda nyata ($p<0,05$) (Tabel 5) pada klorofil daun *Desmanthus virgatus* dengan pola bahwa inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif dan stabil meningkatkan klorofil daun. Klorofil daun JMU, JM1, JM2, dan JM3 pada tanah kontrol (JT0) nyata ($p<0,05$) lebih tinggi dibandingkan JM0

Tabel 3 Berat kering tajuk *Desmanthus virgatus* umur 12 minggu hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|-------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
|g..... | | | | | |
| JT0 | 0,10±0,02 ^e | 1,98±1,13 ^{de} | 2,38±1,33 ^{de} | 2,01±1,80 ^{de} | 1,12±0,88 ^{de} |
| JT1 | 7,34±2,36 ^c | 8,73±1,59 ^{bc} | 7,63±1,14 ^{bc} | 7,20±1,81 ^c | 7,02±1,48 ^c |
| JT2 | 2,64±0,97 ^d | 7,31±3,40 ^c | 7,30±2,15 ^c | 9,76±2,46 ^b | 15,16±2,90 ^a |

Superskrip yang berbeda pada kolom dan baris menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanpa FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi

Tabel 4 Berat kering akar *Desmanthus virgatus* umur 12 minggu hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
| JT0 | 0,03±0,01 ^e | 0,93±0,30 ^{cd} | 1,14±0,55 ^{bcd} | 0,98±0,64 ^{cd} | 0,62±0,29 ^{de} |
| JT1 | 1,49±0,48 ^{bc} | 1,80±0,50 ^{ab} | 1,75±0,34 ^{ab} | 1,60±0,64 ^{abc} | 1,39±0,56 ^{bc} |
| JT2 | 0,67±0,24 ^d | 1,47±0,74 ^{bc} | 1,46±0,61 ^{bc} | 1,56±0,54 ^{bc} | 2,24±0,57 ^a |

Superskrip yang berbeda pada kolom dan baris menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanpa FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi

namun pada tanah salin sedang (JT1) dan tanah salin tinggi (JT2) tidak berbeda nyata ($P>0,05$). Hasil ini menunjukkan perbedaan inokulum FMA yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrien berbeda menghasilkan kualitas FMA yang sama baik. Klorofil daun yang tinggi pada semua perlakuan di tanah salin sedang dan tanah salin tinggi menunjukkan bahwa tanaman *Desmanthus virgatus* tidak mengalami stres.

Kandungan klorofil daun pada perlakuan JMU, JM1, JM2, dan JM3 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan JM0 baik pada tanah salin sedang (JT1) maupun tanah salin tinggi (JT2), meskipun dosis pupuk pada perlakuan tersebut telah dikurangi sebanyak 50%. Hal ini disebabkan oleh peran fungi mikoriza arbuskula (FMA) yang mampu membantu tanaman dalam menyerap unsur-unsur hara esensial seperti fosfor (P), nitrogen (N), kalium (K), seng (Zn), tembaga (Cu), dan besi (Fe) meskipun dalam kondisi tanah salin (Mansur et al. 2012). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa FMA berperan penting dalam mempertahankan efisiensi penyerapan nutrien dan mendukung pertumbuhan tanaman meskipun dengan pemberian pupuk yang lebih terbatas. Rendahnya klorofil daun *Desmanthus virgatus* pada tanah kontrol (JT0) dikarenakan pH tanah sangat rendah ($\text{pH H}_2\text{O } 4,6$). Hasil ini menunjukkan, tanaman *Desmanthus virgatus* memiliki sensitifitas tinggi pada tanah yang bersifat masam sehingga mengalami stres dan tidak dapat tumbuh dengan baik.

Kadar Proline Daun

Kadar proline daun *Desmanthus virgatus* hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin menunjukkan hasil berbeda nyata ($p<0,05$) (Tabel 6) dengan pola bahwa

inokulasi FMA JMU, JM1, JM2 dan JM3 efektif menurunkan kadar proline daun pada tanah salin tinggi (JT2) dan peningkatan dosis salinitas nyata ($p<0,05$) meningkatkan kadar proline daun *Desmanthus virgatus*. Pada tanah salin tinggi (JT2) kandungan proline daun *Desmanthus virgatus* meningkat, hal ini dikarenakan tanaman mengalami stres cekaman salinitas. Tingginya kadar proline daun pada tanah salin tinggi merupakan bentuk respon fisiologi *Desmanthus virgatus* sebagai mekanisme toleransi terhadap cekaman salinitas. Proline berfungsi sebagai senyawa pelindung tanaman *Desmanthus virgatus* ketika *Desmanthus virgatus* mengalami stres kekeringan, dan salinitas tinggi. Ketika *Desmanthus virgatus* terpapar stres, proline terakumulasi dalam sel-sel tanaman sebagai respons untuk melindungi struktur seluler dan protein dari kerusakan. Ini membantu tanaman *Desmanthus virgatus* bertahan dalam kondisi yang tidak ideal. Namun kadar proline yang sangat tinggi bisa mengindikasikan bahwa tanaman *Desmanthus virgatus* mengalami stres yang berkepanjangan, yang dalam jangka panjang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan normal *Desmanthus virgatus*. Proline memang penting untuk melindungi tanaman, tetapi jika stres terlalu lama, tanaman bisa terhambat dalam fase pertumbuhannya seperti pada perlakuan JT2-JM0, JT2-JMU, JT2-JM1, dan JT2-JM2. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi tinggi, proline bisa berkompetisi dengan asam amino lain untuk penggunaan energi dan sintesis protein. Keadaan ini dapat mengganggu metabolisme normal tanaman *Desmanthus virgatus* dan mengurangi efisiensi penggunaan sumber daya tanaman untuk pertumbuhan dan produksi. Meskipun proline berperan dalam mengatur keseimbangan air dalam sel (osmoregulasi),

Tabel 5 Klorofil daun *Desmanthus virgatus* hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
|unit..... | | | | | |
| JT0 | 27,9±3,2 ^d | 37,5±1,6 ^b | 34,4±4,2 ^{bc} | 30,3±6,1 ^{cd} | 32,2±5,5 ^c |
| JT1 | 41,1±3,0 ^a | 44,6±4,2 ^a | 43,9±3,5 ^a | 44,3±2,6 ^a | 43,4±3,0 ^a |
| JT2 | 43,0±2,1 ^a | 44,8±3,2 ^a | 41,7±2,3 ^a | 42,4±1,7 ^a | 44,1±3,6 ^a |

Superskrip yang berbeda pada kolom dan baris yang sama menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanpa FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi

Tabel 6 Kadar proline daun *Desmanthus virgatus* hasil inokulasi FMA berbeda pada tanah salin

| Jenis tanah | Jenis mikoriza | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | JM0 | JMU | JM1 | JM2 | JM3 |
|μmol proline g ⁻¹ bobot segar daun..... | | | | | |
| JT0 | 1,08±0,19 ^{hi} | 1,47±0,17 ^{gh} | 2,28±0,32 ^{de} | 0,89±0,11 ⁱ | 0,85±0,11 ⁱ |
| JT1 | 0,85±0,11 ⁱ | 1,60±0,29 ^{fg} | 2,18±0,15 ^e | 2,72±0,49 ^{cd} | 2,73±0,73 ^{cd} |
| JT2 | 4,92±0,79 ^a | 4,03±0,45 ^b | 3,22±0,38 ^c | 3,83±0,66 ^b | 2,04±0,31 ^{ef} |

Superskrip yang berbeda pada kolom dan baris menunjukkan berbeda nyata ($p<0,05$). JM0: Tanah FMA dengan 100% dosis pupuk. JMU: FMA unggul/komersial dengan 50% dosis pupuk. JM1: FMA fertigasi 1000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM2: FMA fertigasi 2000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JM3: FMA fertigasi 3000 ppm dengan 50% dosis pupuk. JT0: Tanah kontrol/non salin. JT1: Tanah salin sedang. JT2: Tanah salin tinggi

akumulasi yang berlebihan bisa menyebabkan gangguan dalam keseimbangan osmotik yang ideal, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi proses fotosintesis dan pembentukan hasil.

Perlakuan JT2-JM3 memiliki berat kering tajuk tertinggi memiliki kadar proline yaitu 2,04 μmol proline per g bobot segar daun, dan nyata ($p<0,05$) lebih rendah dari perlakuan JT2-JM0, JT2-JMU, JT2-JM1, dan JT2-JM2. Hal ini menunjukkan bawah dalam jumlah yang moderat/tidak berlebihan, proline memberikan perlindungan yang sangat penting terhadap salinitas tinggi. Akumulasi proline yang berlebihan dapat menunjukkan bahwa tanaman berjuang untuk mengatasi kondisi yang buruk, yang pada gilirannya bisa menurunkan produktivitas tanaman. Namun, dalam kondisi yang tepat, kadar proline yang moderat dapat berfungsi sebagai pelindung dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stress salinitas. Kemampuan akumulasi proline pada setiap tanaman sangat bervariasi, seperti yang dilaporkan oleh (Rizki et al. 2023) tanaman *Clitoria ternatea* yang memiliki kadar proline 12,95 μmol proline g⁻¹ bobot segar daun, masih menunjukkan pertumbuhan dan produktivitas yang cukup baik, dari sini dapat disimpulkan kemampuan akumulasi proline tanaman dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, jenis tanaman, struktur dan fisiologis tanaman, bentuk daun, dan lainnya. Hasil penelitian juga menunjukkan proline berperan dalam regulasi osmotik, yang penting untuk menjaga keseimbangan air dalam sel tanaman. Dengan adanya proline, tanaman dapat mengurangi kehilangan air, sehingga membantu mengatasi kondisi kekurangan air. Selaras dengan pendapat Per et al. (2017) yang menyatakan bahwa dalam proses penyesuaian osmosis, senyawa-senyawa terlarut yang biasa diakumulasi ialah asam amino terutama proline dengan bantuan prekursor glutamat (Glu) dan ornitin (Orn). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa FMA memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar proline tanaman *Desmanthus virgatus* pada tanah salin tinggi, hal senada disampaikan Delvian dan Elviati (2012) bahwa FMA dapat menurunkan kadar proline daun *Cassuarina equisetifolia* pada tanah salin.

Kadar proline JT2-JM3 nyata ($p<0,05$) lebih rendah daripada JT2-JM0, JT2-JMU, JT2-JM1, dan JT2-JM2.

Pertambahan tinggi vertikal, produksi berat kering tajuk, dan berat kering akar JT2-JM3 merupakan yang tertinggi diantara semua perlakuan. Hal ini menunjukkan bahwa FMA JM3 yang diproduksi dengan teknik fortifikasi nutrisi berbeda memiliki efektivitas dan kualitas FMA yang lebih baik daripada FMA komersial (JMU). Inokulasi FMA JM3 sangat membantu *Desmanthus virgatus* untuk meningkatkan pertumbuhan, produksi, dan mengatasi cekaman salinitas. Senada dengan pendapat Hadijah (2014) bahwa Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) berperan penting dalam membantu tanaman mengatasi cekaman salinitas, karena mampu meningkatkan penyerapan air dan unsur hara esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Selain itu, FMA juga berfungsi menghambat translokasi ion natrium (Na⁺) dari akar menuju bagian pucuk tanaman, sehingga dapat mengurangi dampak toksitas garam.

SIMPULAN

FMA dapat meningkatkan produktivitas leguminosa *Desmanthus virgatus* pada tanah salin tinggi. FMA dapat meningkatkan penyerapan unsur hara dan dapat menghemat 50% penggunaan pupuk kompos dan NPK. FMA dapat menurunkan kadar proline tanaman *Desmanthus virgatus* pada cekaman salinitas tinggi. *Desmanthus virgatus* memiliki tingkat toleransi cukup baik pada tanah salin sedang dan tinggi. Fungi Mikoriza Arbuskula JM3 (hasil fortifikasi AB Mix 3000 ppm) memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan JM1, JM2, dan JMU pada tanah salin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrol IP, Yadav JSP & Massoud FI. 1988. *Salt-Affected Soils and Their Management*. FAO Soils Bulletin 39, Rome (IT): FAO.
- Arianto MF. 2020. Potensi wilayah pesisir di negara Indonesia. *Jurnal Geografi*. 20(20):1-7
- Basri AHH. 2018. Kajian peranan mikoriza dalam bidang pertanian. *Jurnal 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.
- Delvian, ED. 2012. Pertumbuhan *Cassuarina equisetifolia* bermikoriza dalam kondisi cekaman salinitas. *Bionatura Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati dan Fisik*. 14 (2): 94 - 100.
- Djaenudin D, Marwan H, Subago H & Hidayat A. 2011. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan Untuk Komoditas Pertanian*. Ed ke-2. Balai Penelitian Tanah. Bogor (ID): Balai Besar Penelitian dan

- Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Golatapeh EM, Danesh YZ, Prasad R & Varma A. 2013. Mycorrhizal Fungi: what we know and what should we know? In: Varma. A, editor. Mycorrhiza: State of the Art, Genetic and Molecular Biology, Eco Function, Biotechnology, Eco Physiology, Structure and Systematics. India (IN): Springer. Tan, K. H. 1991. Dasar - Dasar Kimia Tanah. Edisi Pertama. Graha Ilmu, Yogyakarta. (Diterjemahkan oleh D. H. Goenadi).
- Hadjiah MH. 2014. Peran mikoriza pada *Acacia auriculiformis* yang ditumbuhkan pada tanah salin. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan*. 7(1): 35-43.
- Hidayati N, Faridah E & Sumardi. 2015. Peran mikoriza pada semai beberapa sumber benih mangium (*Acacia mangium* Willd.) yang tumbuh pada tanah kering. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*. 9(1): 13-29.
- Kumar V, Abul A, Nelson F & Jon A. 2010. *Pathologic Basic of Disease*. 8th Ed. Philadelphia (US): Elsevier.
- Mansur I, Arif A, Husna & Tuheteru F D. 2012. *Pupuk Hayati Mikoriza untuk Budidaya dan Rehabilitasi Wilayah Pantai*. Bogor (ID): Seameo Biotrop.
- Masganti, Abdur AM, Agustina R, Alwi M, Noor M & Rina Y. 2022. Pengelolaan lahan dan tanaman padi di lahan aalin. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 16 (2): 83-95
- Nusantara AD, Bertham RYH & Mansur I. 2012. *Bekerja Dengan Fungi Mikoriza Arbuskula*. Bogor (ID): Seameo Biotrop.
- Per, TS., Khan, NA., Reddy, PS., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, MIR & Anjum, NA. 2017. Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance:
- Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*. 115: 126-140.
- 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) : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian
- Rizki A, Prihantoro I & Karti PDMH. 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.
- Rizki A, Prihantoro I & Karti PDMH. 2023. The effectiveness of Arbuscula Mycorrhiza Fungi stater with different fortification in increasing the productivity of *Clitoria ternatea* on saline soil. *E3S Web of Conferences* 373.
- Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy A Basic System for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd Ed. Washington, DC (US): USDA-NRCS.
- Suharti N, Habazar T, Nasir N, Dachryanus & Jamsari. 2011. Induksi ketahanan jahe terhadap penyakit layu *Rastonia solanacearum* ras 4 menggunakan fungi mikoriza arbuskula (FMA) indigenus. *JHPT Tropika*. 11(1):102-111.
- Sukarmen, Mulyani A & Purwanto S. 2018. Modifikasi metode evaluasi kesesuaian lahan berorientasi perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1): 1-11
- Suswati, Sumarsono, & Kusmiyati F. 2012. Pertumbuhan dan produksi rumput benggala (*Panicum maximum*) pada berbagai upaya perbaikan tanah salin. *Journal of Agricultural Science*. 1(1): 297-306.