

Uji Kemampuan Mikoriza dalam Meningkatkan Serapan P, Efisiensi Pupuk dan Hasil Tanaman Sorgum pada Tanah Latosol Menggunakan Teknik Isotop ^{32}P

The Study of Mycorrhiza Ability in Increasing P Uptake, Fertilizer Efficiency and Yield of Sorghum on Latosol Soils by Using ^{32}P Isotope Technique

N. Robifahmi^{1*}, I. Anas², Y. Setiadi³, Ishak¹, A. Citraresmini¹

¹ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Institut Pertanian Bogor
Jl. Ulin, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

³ Lab. Bioteknologi Kehutanan Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor
Jl. Kamper, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

* E-mail: nurrobifahmi@gmail.com

ABSTRAK

Mikoriza berfungsi untuk menghasilkan enzim fosfatase dan mampu melepaskan fosfat dari Fe^{2+} , Al^{3+} dan Ca^{2+} sehingga fosfat dapat diserap oleh tanaman. Berbagai jenis pupuk sumber P memiliki kandungan P_2O_5 yang berbeda-beda dan karakteristik ketersediaan P yang berbeda. Untuk mengetahui kemampuan fungi mikoriza melarutkan P dari berbagai sumber P pada jenis tanah latosol pada lokasi yang berbeda maka dilakukan penelitian dengan menggunakan sumber fosfat guano, fosfat alam (FA) Maroko, FA Blora dan pupuk SP-36 pada tanah latosol asal Pasar Jumat dan Cikabayan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan mikoriza dalam meningkatkan penyerapan P, pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum serta mengetahui efisiensi pupuk P, sumbangan P berasal dari aktivitas mikoriza, pupuk (fosfat alam dan SP 36) pada tanaman sorgum dengan menggunakan teknik isotop ^{32}P . Teknik isotop ^{32}P digunakan untuk merinci kontribusi P berasal dari aktivitas mikoriza, fosfat alam dan SP-36, serta mempelajari pengaruhnya terhadap efisiensi pemupukan P pada tanaman sorgum. Parameter yang diamati adalah hasil tanaman sorgum dan kontribusi P berasal dari aktivitas mikoriza dan berasal dari berbagai sumber P. Hasil penelitian pada tanah latosol Pasar Jumat menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza terhadap FA Maroko memberikan hasil tertinggi sebesar 22,53 g per tanaman; kontribusi P berasal dari aktivitas mikoriza atau sumber P (P-bdp) sebesar 24,71 mg per tanaman; dan efisiensi pemupukan P sebesar 16,32% pada tanaman sorgum berumur 145 hari setelah tanam (HST). Hasil pada tanah latosol Cikabayan menunjukkan bahwa inokulasi mikoriza terhadap FA Blora pada sorgum umur 63 HST memberikan hasil tertinggi pada bobot kering brangkasan (6,18 g per tanaman), kontribusi P berasal dari aktivitas mikoriza atau sumber P (P-bdp) sebesar 36,77 mg per tanaman, dan efisiensi pemupukan P sebesar 34,20%. Kombinasi mikoriza dengan fosfat alam dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pemupukan P dan produksi tanaman sorgum.

Kata Kunci: mikoriza, fosfat alam, teknik isotop ^{32}P , tanah latosol, sorgum

ABSTRACT

Mycorrhiza fungi produce the enzyme phosphatase and are able to release phosphate from Fe^{2+} , Al^{3+} and Ca^{2+} , so that phosphate can be absorbed by plants. Various type of P fertilizer contains of different P_2O_5 content and having a different character of P availability. To find out the ability of mycorrhizae fungi to dissolve P from various P sources on different location of latosol type of soil, a study was carried out using several P sources: guano, Moroccan natural phosphate (NP), Blora NP, and SP-36 fertilizer on latosol soil type from Pasar Jumat and Cikabayan. This study aims to examine the ability of mycorrhizae to increase P absorption, growth and yield of sorghum plants and determine the efficiency of P fertilizer, the contribution of P derived from various P sources mycorrhizal activity and P sources (natural phosphate and SP-36) in sorghum plants by using ^{32}P isotope technique. The ^{32}P isotope technique is used to fractionated the contribution of P derived from mycorrhizal activity, natural phosphate and SP-36 fertilizer and to study its impact of the efficiency of P fertilization on sorghum plant. Results of the study on latosol soils from

Pasar Jumat showed that mycorrhizal inoculation with Moroccan NP gave the highest seed yield of 22.53 g per plant; P contribution derived from mycorrhizal activity or P source (P-dfp) of 24.71 mg per plant; and P fertilization efficiency of 16.32% for sorghum plants aged 145 days after planting (DAP). Results of the study on latosol soils from Cikabayan showed that mycorrhizal inoculation with Blora NP on sorghum aged 63 DAP gave the highest stover dry weight (6.18 g per plant), P contribution derived from mycorrhizal activity or P source (P-dfp) of 36.77 mg per plant, and P fertilization efficiency of 34.20%. The combination of mycorrhizae with natural phosphate can be used to improve the efficiency of P fertilization and production of sorghum plants.

Keywords: Mycorrhiza, phosphate rock, ^{32}P isotope technique, latosol soils, sorghum

PENDAHULUAN

Sorghum (*Sorghum bicolor*) merupakan tanaman serealia yang cukup potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Berbagai manfaat Sorghum antara lain dapat digunakan sebagai alternatif bahan pangan, pakan, dan industri. Kandungan protein sorghum adalah 11 g per 100 g, lebih tinggi dibandingkan kandungan protein beras dan jagung yang masing-masing hanya 7 g per 100 g dan 9 g per 100 g [1]. Kelebihan lain tanaman ini adalah mempunyai daya adaptasi lingkungan yang cukup luas, khususnya pada lahan marjinal. Selain itu, tanaman sorghum dapat digunakan untuk perbanyakan spora mikoriza [2].

Salah satu jenis tanah marginal yang digunakan untuk media tumbuh sorghum yaitu tanah latosol. Tanah latosol merupakan tanah berkembang dari bahan volkan intermedier-basis, kandungan liat > 40%, remah, gembur dan warna homogen, penampang tanah dalam, KB < 50% pada beberapa bagian horison B, mempunyai horison penciri A okrik, atau umbrik, dan B kambik, tidak mempunyai plintit dan sifat vertik. Tanah latosol mengalami pelapukan lanjut dengan karakteristik pH masam, kandungan bahan organik dan hara rendah, mempunyai kandungan liat tinggi (> 60%), struktur tanah remah sampai gembur dan bergumpal [3],[4].

Fosfor merupakan salah unsur hara utama yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman [5], yang berfungsi dalam proses fotosintesis, perkembangan akar, pembentukan bunga, buah dan biji [6]. Unsur fosfor hanya menyumbangkan P sebesar 0,2% dari bobot kering tanaman, dikarenakan ketersediaan P di tanah rendah yaitu < 1% [7].

Ketersediaan P rendah terjadi karena sebanyak 75-90% dari P yang ditambahkan ke tanah, diikat oleh kompleks kation logam, dan mengendap dalam tanah. Sehingga tidak dapat dimanfaatkan seluruhnya oleh tanaman [8],[9].

Pada tanah netral sampai basa, pengikatan P pada umumnya melalui reaksi presipitasi, atau P dapat juga terikat oleh Ca dan mineral liat [10]. Akibatnya efisiensi pemupukan P sangat rendah yaitu hanya berkisar antara 10% - 20% [11].

Akibat efisiensi pemupukan P yang rendah menyebabkan takaran pupuk P yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan P tanaman meningkat dan merugikan secara ekonomi. Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman diantaranya melalui pengaturan pola tanam, penambahan bahan organik, pemberian fosfat alam, penambahan mikroba yang kemudian memberikan dampak terhadap pertumbuhan tanaman.

Mikoriza menghasilkan enzim fosfatase yang dapat berfungsi untuk proses mineralisasi senyawa P organik di dalam tanah [12],[13] dan mikoriza juga menghasilkan asam organik sehingga dapat mengurangi toksisitas logam dan meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah [14]. Mikoriza adalah simbiosis mutualisme antara fungi dengan akar tanaman, ia bersifat simbiosis obligat yang tidak dapat melestarikan tubuh dan reproduksinya bila terpisah dari tanaman inang [15],[16]. Berbagai peranan mikoriza adalah meningkatkan penyerapan unsur hara P, meningkatkan penyerapan air di daerah kering, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit [17], memperbaiki struktur tanah [18], dan melindungi tanaman dari keracunan logam berat [19],[20].

Penggunaan mikoriza bersamaan dengan fosfat alam dapat dijadikan sumber P alternatif karena relatif murah, ramah lingkungan dan dapat meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah sehingga diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa kombinasi mikoriza dan fosfat alam Kodjari dari Burkina Faso dapat meningkatkan serapan P tanaman,

sehingga meningkatkan hasil dari berbagai jenis tanaman [21],[22].

Metode konvensional hanya dapat menghitung kandungan P-total tanaman, tetapi metode ini tidak dapat merinci asal sumbangan P yang diserap oleh tanaman. Untuk dapat mengetahui asal sumbangan P yang diserap oleh tanaman maka digunakan radioisotop ^{32}P sebagai perunut (*tracer*). Metode ini dapat merinci sumbangan P berasal dari berbagai sumber P yang ada di dalam tanah, dibandingkan dengan metode lainnya yang hanya dapat menghitung secara kuantitatif total kandungan P dalam tanah. Isotop ^{32}P digunakan secara akurat untuk menentukan efisiensi pupuk P, mengetahui sumbangan P berasal dari tanah, mempelajari residu pupuk P, mengetahui jumlah P yang diserap oleh tanaman berasal dari sumber P yang berbeda [23],[24],[25]. Penambahan mikoriza diharapkan mampu meningkatkan serapan P tanaman, efisiensi pupuk P dan hasil tanaman sorgum.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan mikoriza dalam membantu penyediaan P, efisiensi pupuk P dan hasil tanaman sorgum serta mengetahui sumbangan P berasal dari aktivitas mikoriza, pupuk (fosfat alam dan SP 36) pada tanaman sorgum dengan menggunakan teknik isotop ^{32}P .

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah: mikroskop (Olympus CX 21 dan XT 2 A), saringan bertingkat berukuran 710 μm dan 45 μm , spektrofotometer (Optima SP 300), *Liquid Scintillation Counter* (Beckman LS 6500), *furnace* (pyrolab). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas: benih sorgum varietas Pahat (Pangan Sehat) BATAN dan Samurai 2 BATAN. Zeolit komersial asal Dramaga Bogor ukuran 1 sampai 2 mm, isolat mikoriza Mycofer yang terdiri atas *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum* dan *Acaulospora tuberculata* yang berasal dari koleksi Laboratorium Bioteknologi Kehutanan Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor, fosfat alam Guano (14,69% P_2O_5), fosfat alam Maroko (27,7% P_2O_5), fosfat alam Blora (26,61% P_2O_5), pupuk urea (45,18% N), pupuk SP 36 (36,38% P_2O_5), pupuk KCl (61,09% K_2O), *trypan blue* 0,05%, HCl 2%, KOH 10%. Media tanah yang

digunakan merupakan jenis tanah latosol yang memiliki karakteristik ketersediaan P yang rendah.

Rancangan percobaan

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Kehutanan Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Pemupukan dan Nutrisi Tanaman Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional Jakarta. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 10 perlakuan dan masing-masing perlakuan diulang 3 kali sehingga jumlah satuan percobaannya adalah 30 satuan percobaan. Perlakuan yang diberikan meliputi: (1) Tanpa mikoriza dan tanpa sumber P (Kontrol), (2) Fosfat alam Guano, (3) Fosfat alam Maroko, (4) Fosfat alam Blora, (5) SP 36, (6) Mikoriza, (7) Mikoriza + Fosfat alam Guano, (8) Mikoriza + Fosfat alam Maroko, (9) Mikoriza + Fosfat alam Blora, (10) Mikoriza + SP 36.

Pengujian viabilitas spora

Pengujian viabilitas spora dilakukan untuk melihat apakah spora mikoriza dapat berkecambah atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *plate count* [26] yang sudah dimodifikasi. Penyaringan spora menggunakan saringan bertingkat yang berukuran 710 μm dan 45 μm . Hasil saringan 45 μm diletakkan pada cawan petri. Sebanyak 60 spora isolat mikoriza Mycofer diletakkan di atas kertas saring steril yang bagian bawahnya sudah ditaburi oleh zeolit berukuran 1 sampai 2 mm seberat ± 10 gram. Sampel diulang sebanyak 4 kali. Selanjutnya dibasahi hingga kondisi lembab. Cawan petri kemudian ditutup rapat dan disimpan di dalam ruang gelap. Umur 3 hari spora dapat dilihat perkecambahannya di mikroskop. Jumlah spora mikoriza yang berkecambah tersebut dihitung persentase viabilitasnya.

Persiapan media tanam

Tanah yang digunakan pada penelitian adalah tanah jenis latosol berasal dari Pasar Jumat Lebak Bulus Jakarta Selatan dan berasal dari Cikabayan Dramaga Bogor. Tanah tersebut diambil dari lapisan olah yaitu pada kedalaman 0-20 cm. Tanah Pasar Jumat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam pot sebanyak 12 kg berat kering mutlak (BKM) per pot, sedangkan tanah Cikabayan 5 kg berat kering mutlak (BKM) per pot. Sampel tanah untuk analisis sifat kimia tanah awal dan jumlah spora mikoriza awal diambil secara komposit sebelum tanah digunakan dalam

percobaan.

Berdasarkan hasil analisis sampel tanah, ditetapkan kriteria karakteristik tanah dengan mengacu pada rujukan Eviati dan Sulaeman [27] sebagai berikut: tanah latosol di BATAN Pasar Jumat Lebak Bulus memiliki kandungan pasir 3%, debu 57%, liat 40%; tekstur liat berdebu; C-organik rendah (1,1%); Ca sedang ($6,91 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); N-total rendah (0,16%); C/N ratio rendah (7); memiliki tingkat kejenuhan basa (KB) sangat tinggi (82%); pH tanah agak masam (5,6); P_2O_5 total sangat tinggi (610 mg kg^{-1}); P_2O_5 tersedia sedang (29 mg kg^{-1}); K_2O total rendah (11 mg kg^{-1}); dan KTK rendah ($10,95 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Hasil analisis tanah latosol asal Cikabayan Dramaga Bogor yaitu memiliki kandungan pasir 23,62%, debu 25,11%, liat 51,27%, tekstur liat, Ca sangat rendah ($1,31 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), C-organik rendah (1,34%), N-total rendah (0,15%), C/N ratio rendah (7), memiliki tingkat kejenuhan basa (KB) sangat tinggi (82%), pH tanah masam (4,5), P_2O_5 total sangat tinggi ($232,73 \text{ mg kg}^{-1}$), P_2O_5 tersedia sangat rendah ($7,26 \text{ mg kg}^{-1}$), K_2O total sangat tinggi ($235,46 \text{ mg kg}^{-1}$), KTK rendah ($11,01 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Aplikasi isotop ^{32}P

Penelitian ini menggunakan isotop ^{32}P dengan metode tidak langsung. Pelabelan isotop dilakukan di dalam pot yang telah diisi tanah. Isotop ^{32}P yang digunakan pada tanah latosol Pasar Jumat dalam bentuk larutan $\text{KH}_2^{32}\text{PO}_4$, yang diaplikasikan pada setiap pot dengan aktivitas 305,1 μCi atau setara dengan 11,28 MBq setiap potnya. Pada penelitian dengan tanah latosol Cikabayan dalam bentuk larutan $\text{Na}_2\text{H}^{32}\text{PO}_4$, yang diaplikasikan pada setiap pot dengan aktivitas 267,4 μCi atau setara dengan 9,9 MBq setiap potnya. Tanah yang sudah diberi larutan isotop ^{32}P diaduk sampai homogen dengan pengaduk yang terbuat dari sebilah bambu kemudian tanah diinkubasi selama tiga hari.

Inokulasi mikoriza

Mikoriza yang dimaksud adalah Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), yang selanjutnya dalam penelitian ini disebut mikoriza. Inokulan mikoriza diperoleh dari koleksi Laboratorium Bioteknologi Kehutanan Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor dengan nama Mycofer. Inokulan Mycofer mengandung beberapa jenis isolat mikoriza, yaitu yang terdiri atas *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum* dan *Acaulospora tuberculata*.

Hasil pengujian perkecambahan spora mikoriza dari 240 spora yang diuji perkecambahannya pada tanah latosol Pasar Jumat, spora yang berkecambah yaitu 41,25%. Pada percobaan tanah latosol Cikabayan spora yang berkecambah yaitu 10,41%. Jenis spora mikoriza yang terdapat pada Mycofer yaitu *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*, *Acaulospora tuberculata*.

Inokulasi mikoriza dilakukan dalam dua tahap dengan tujuan untuk memastikan agar mikoriza yang diberikan ke tanaman dapat masuk menginfeksi akar tanaman. Inokulasi pertama dilaksanakan pada masa pengecambahan benih sorgum, dengan menaburkan inokulan Mycofer dimasukan ke dalam baki dengan ketebalan 2 – 4 cm, dan sekaligus menjadi media tumbuh untuk benih sorgum yang ditaburkan di atasnya. Pada hari ke-3, dilihat perkembangan miselium mikoriza dengan menggunakan mikroskop Olympus CX-21. Bibit tanaman sorgum yang sudah terkolonisasi mikoriza umur 7 hari setelah tanam (HST) dipindahkan dari baki ke pot. Bibit dimasukkan ke dalam lubang tanam sebanyak 4 bibit tanaman, kemudian setelah umur 14 HST dipilih 2 tanaman yang seragam dalam masing-masing pot. Inokulasi kedua dilakukan menggunakan propagul mikoriza dari hasil perbanyak kultur pot yang baru panen, dengan menuangkan inokulan Mycofer ke dalam lubang tanam sorgum sebanyak 10 g.

Pemupukan

Pupuk yang digunakan terdiri atas 3 macam pupuk anorganik, yaitu urea (45,18% N), KCl (61,09% K_2O), SP 36 (36,38% P_2O_5); dan 3 macam fosfat alam (FA), yaitu FA Guano (14,7% P_2O_5), FA Maroko (27,70% P_2O_5), FA Blora (26,61% P_2O_5). Fosfat alam Blora memiliki kandungan larutan asam sitrat 2% sebesar 18,07%, larut dalam air 0,01%, fosfat alam Maroko memiliki kandungan larutan asam sitrat 2% sebesar 12,71%, larut dalam air 0,041%, fosfat alam Guano memiliki kandungan larutan asam sitrat 2% sebesar 3,23%, larut dalam air 0,021%. Dosis pemupukan yang digunakan pada penelitian ini adalah 100 ppm N, 50 ppm P_2O_5 , dan 50 ppm K_2O . Pupuk N (Urea) dan K (KCl) diberikan pada seluruh perlakuan sedangkan pupuk P (SP 36 dan fosfat alam) diberikan sesuai perlakuan. Pupuk urea diberikan secara bertahap yaitu 50 ppm N ($1,32 \text{ g tanaman}^{-1}$) pada saat tanam, 50 ppm N ($1,32 \text{ g tanaman}^{-1}$) pada saat tanaman umur 30

HST. Pupuk KCl dengan dosis 50 ppm K₂O (0,98 g tanaman⁻¹), SP 36 dengan dosis 50 ppm P₂O₅ (1,65 g tanaman⁻¹) dan fosfat alam Guano dengan dosis 4,62 g tanaman⁻¹, fosfat alam Maroko dengan dosis 2,16 g tanaman⁻¹, fosfat alam Blora dengan dosis 2,25 g tanaman⁻¹ yang diberikan pada saat tanam.

Pemanenan

Pemanenan tanaman sorgum pada tanah latosol Pasar Jumat dipanen pada fase generatif umur 145 hari setelah tanam (HST) sedangkan pada tanah latosol Cikabayan dipanen pada fase vegetatif akhir umur 63 hari setelah tanam (HST).

Identifikasi derajat kolonisasi akar

Pengamatan kolonisasi mikoriza pada contoh akar tanaman dilakukan pada saat sorgum panen dengan metoda [28]. Secara acak diambil potongan akar yang telah diwarnai sebanyak 10 potongan akar dan disusun pada kaca preparat, untuk setiap tanaman sampel dibuat dua preparat akar. Potongan-potongan akar pada kaca preparat diamati untuk setiap bidang pandang. Kriteria derajat kolonisasi akar yaitu menunjukkan tanda-tanda kolonisasi (terdapat spora, hifa, arbuskula, dan vesikula) [29].

$$\% \text{ Kolonisasi akar} = \frac{\text{jumlah akar bermikoriza dalam bidang pandang}}{\text{jumlah bidang pandang akar yang diamati}} \times 100\%$$

Pengamatan pertumbuhan dan hasil sorgum

Penelitian dengan menggunakan tanah latosol Pasar Jumat dilakukan pengamatan tinggi tanaman dan jumlah daun umur 35 dan 77 HST, bobot biji umur 145 HST, sedangkan pada penelitian dengan tanah Cikabayan dilakukan pengamatan tinggi tanaman jumlah daun umur 35 dan 63 HST, bobot brangkasan sorgum umur 63 HST. Penelitian pada tanah latosol Pasar Jumat dilakukan penetapan serapan P biji pada saat fase generatif umur 145 HST, sedangkan penelitian dengan tanah latosol Cikabayan dilakukan penetapan serapan P tanaman pada saat vegetatif umur 63 HST. Penetapan P-total dalam jaringan tanaman [30].

Pengukuran aktivitas ³²P

Pengukuran menggunakan alat *Liquid Scintillation Counter* (LSC) berdasarkan metode Cerenkov [31]. Perhitungan aktivitas jenis ³²P, P berasal dari sumber P (P-bdp) dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Aktifitas Jenis} = \frac{\text{Aktifitas } ^{32}\text{P dalam contoh tanaman (Bq)}}{\text{Total P dalam contoh tanaman (mg P)}}$$

$$\% \text{P-bdt} = \frac{\text{Aktifitas jenis perlakuan P (pupuk atau mikrob)}}{\text{Aktifitas jenis kontrol}} \times 100$$

$$\% \text{P-bdp} = 100\% - \% \text{Pbdt}$$

$$\text{P-bdt} = \% \text{P-bdt} \times \text{serapan P tanaman}$$

$$\text{P-bdp} = \% \text{P-bdp} \times \text{serapan P tanaman}$$

$$\text{Efisiensi pemupukan P} = \frac{\text{P-bdp}}{\text{Total pupuk P yang diaplikasikan}}$$

Analisis statistik

Pengolahan data statistik menggunakan *software SAS 9.1.* untuk menganalisa keragaman (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95%. Hasil analisis yang menunjukkan adanya pengaruh nyata pada perlakuan diuji lanjut dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Derajat kolonisasi akar

Kolonisasi mikoriza pada akar sorgum merupakan bentuk awal dari proses simbiosis antara mikoriza dengan akar tanaman inang. Sorgum yang ditanam pada tanah latosol Pasar Jumat dengan perlakuan kontrol, mikoriza tanpa fosfat sampai mikoriza dan pupuk SP 36 memiliki kriteria persentase kolonisasi mikoriza dengan kategori rendah sampai tinggi (Tabel 1 dan 2). Tabel 3 menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara persentase derajat kolonisasi akar tanaman dengan bobot brangkasan dan bobot biji sorgum pada taraf nyata 5%. Kolonisasi mikoriza pada akar tanaman yang diinokulasi oleh mikoriza tidak berhubungan erat dengan keefektifan mikoriza [32].

Tabel 1. Derajat kolonisasi mikoriza pada akar sorgum yang ditanam pada tanah latosol Pasar Jumat dengan pemberian mikoriza dan fosfat alam umur 145 HST

Perlakuan	Persentase (%)	Kategori
Kontrol	[2,51 ± 2,42]	Rendah
Mikoriza	[39,83 ± 11,86]	Sedang - Tinggi
Mikoriza + Fosfat alam Guano	[32,30 ± 25,88]	Rendah - Tinggi
Mikoriza + Fosfat alam Maroko	[20,00 ± 11,26]	Rendah - Tinggi
Mikoriza + Fosfat alam Blora	[6,67 ± 2,93]	Rendah
Mikoriza + SP 36	[9,47 ± 8,75]	Rendah - Sedang

Keterangan : Nilai rata-rata persentase kolonisasi mikoriza

Tabel 2. Derajat kolonisasi mikoriza pada akar sorgum yang ditanam pada tanah latosol Cikabayan dengan pemberian mikoriza dan fosfat alam umur 63 HST

Perlakuan	Persentase (%)	Kategori
Kontrol	[0,50 ± 0,87]	Rendah
Mikoriza	[12,48 ± 3,29]	Rendah - Sedang
Mikoriza + Fosfat alam Guano	[5,55 ± 0,73]	Rendah
Mikoriza + Fosfat alam Maroko	[13,94 ± 9,32]	Rendah
Mikoriza + Fosfat alam Blora	[7,10 ± 4,70]	Rendah - Sedang
Mikoriza + SP 36	[7,26 ± 6,56]	Rendah - Sedang

Keterangan : Nilai rata-rata persentase kolonisasi mikoriza

Tabel 3. Korelasi Pearson (*r*) antara bobot biji pada tanah latosol Pasar Jumat dan bobot brangkas pada tanah latosol Cikabayan dengan persentase derajat kolonisasi akar

Perlakuan	Korelasi Pearson
Bobot brangkas pada tanah latosol Pasar Jumat dengan derajat kolonisasi akar	0,19 ^{tn}
Bobot biji pada tanah latosol Pasar Jumat dengan derajat kolonisasi akar	0,57 ^{tn}
Bobot brangkas pada tanah latosol Cikabayan dengan derajat kolonisasi akar	0,44 ^{tn}

Keterangan:

tn = korelasi tidak ada,

ada korelasi = P-value < taraf nyata 5%.

Dinamika P di dalam brangkas tanaman sorgum umur 145 HST pada tanah latosol Pasar Jumat

Hasil uji statistik data Tabel 4, 5 dan 6 pada penelitian yang menggunakan tanah latosol Pasar Jumat dan Cikabayan menunjukkan bahwa semua tanaman yang diberi perlakuan dengan sumber P (fosfat alam dan SP 36) saja maupun kombinasi mikoriza dan pupuk P (fosfat alam dan SP 36) memperlihatkan aktifitas jenis ³²P yang lebih rendah daripada kontrol (tanpa pupuk dan mikoriza). Semakin rendah nilai aktivitas jenis ³²P pada suatu perlakuan menggambarkan perlakuan tersebut semakin tinggi menyumbangkan P bagi tanaman. Pemberian mikoriza dan sumber fosfat menyebabkan miselium mikoriza secara efektif mampu membantu melepaskan ion fosfat (³¹P), baik dari P tanah maupun fosfat alam. Semakin

besarnya ³¹P yang diserap oleh tanaman maka akan mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah ³²P yang diserap tanaman. Pengenceran atau penurunan jumlah ³²P ini menyebabkan menurunnya rasio isotop ³²P/³¹P yang tergambar dari menurunnya aktivitas jenis. Pelepasan P menjadi bentuk tersedia bagi tanaman akan menyebabkan penambahan ³¹P dan menyebabkan penurunan aktivitas jenis (³²P/³¹P) pada tanah berlabel isotop [33].

Tabel 4. Pengaruh mikoriza dan sumber fosfat terhadap Aktifitas jenis ³²P, P berasal dari aktivitas mikoriza, fosfat alam dan SP 36 (P-bdp), serapan P, bobot brangkas sorgum umur 145 HST pada tanah latosol Pasar Jumat

Perlakuan	Aktivitas jenis ³² P (Bq mg P ⁻¹)	% P-bdp	P-bdp (mg tanaman ⁻¹)	Serapan P (mg tanaman ⁻¹)	Bobot brangkas (g tanam an ⁻¹)
Kontrol	3044 a	0 b	0 b	21,31 a	16,83 a
Fosfat alam Guano	1902 b	45,03 a	16,67 a	36,63 a	23,73 a
Fosfat alam Maroko	2132 b	38,57 a	16,22 a	41,06 a	27,30 a
Fosfat alam Blora	1621 b	44,92 a	15,69 a	34,21 a	20,80 a
SP 36	1872 b	46,06 a	14,72 a	33,30 a	21,77 a
Mikoriza	1791 b	37,65 a	10,41 a	27,01 a	20,90 a
Mikoriza + FA Guano	1616 b	44,60 a	15,18 a	35,11 a	26,13 a
Mikoriza + FA Maroko	1459 b	50,46 a	17,41 a	34,74 a	23,67 a
Mikoriza + FA Blora	1803 b	39,15 a	14,77 a	38,20 a	23,27 a
Mikoriza + SP 36	1679 b	44,44 a	12,71 a	28,00 a	21,03 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%

Data Tabel 4 dan 5 hasil uji statistik pada penelitian yang menggunakan tanah latosol Pasar Jumat menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata antar semua perlakuan kecuali kontrol terhadap kontribusi P berasal dari perlakuan aktivitas mikoriza / sumber P (%P-bdp), P berasal dari perlakuan (P-bdp) pada brangkas dan biji sorgum umur 145 HST.

Hasil uji statistik data Tabel 4 pada penelitian yang menggunakan tanah latosol Pasar

Jumat menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada respons bobot brangkasan tanaman dan serapan P brangkasan sorgum umur 145 HST. Hal ini disebabkan tanah latosol Pasar Jumat memiliki kandungan P_2O_5 tersedia di dalam tanah kategori sedang (29 ppm) sehingga pemberian nutrisi dan mikoriza tidak memberikan respon yang signifikan terhadap tanaman sorgum. Tanah dengan kriteria sedang menunjukkan keadaan hara dalam tanah cukup, dan adanya kenaikan produksi menunjukkan bahwa tanah masih merespon terhadap pemupukan [34].

Dinamika P di dalam biji tanaman sorgum umur 145 HST pada tanah latosol Pasar Jumat

Hasil uji statistik data Tabel 5 menunjukkan bahwa pemberian mikoriza dengan fosfat alam Maroko memberikan perbedaan yang signifikan terhadap bobot biji dan serapan P biji tanaman sorgum umur 145 HST. Pemberian mikoriza dengan fosfat alam Maroko menunjukkan hasil tertinggi pada bobot biji yaitu $22,53 \text{ g tanaman}^{-1}$ dan serapan P biji yaitu $71,56 \text{ mg tanaman}^{-1}$. Hal ini menunjukkan bahwa unsur hara P menjadi lebih mudah tersedia di dalam tanah dan mudah diserap oleh tanaman. Keadaan ini sama seperti penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa jenis mikoriza, sumber fosfat dan jenis tanah yang berbeda menyebabkan perbedaan bobot tanaman dan serapan P pada tanaman gandum hitam [35].

Tabel 4. Pengaruh mikoriza dan sumber fosfat terhadap aktifitas jenis ^{32}P , P berasal dari aktivitas mikoriza, fosfat alam dan SP 36 (P-bdp), serapan P, bobot biji sorgum umur 145 HST pada tanah latosol Pasar Jumat

Perlakuan	Aktivitas jenis ^{32}P (Bq mgP^{-1})	%P-bdp	P-bdp (mg tanaman^{-1})	Serapan P (mg tanaman^{-1})	Bobot biji (g tanaman^{-1})
Kontrol	2155 a	0 b	0 c	38,10 e	10,77 c
Fosfat alam Guano	1516 a	25,17 a	14,75 b	60,84 abcd	17,47 ab
Fosfat alam Maroko	1400 a	32,63 a	15,48 b	46,32 cde	14,60 bc
Fosfat alam Blora	1459 a	28,81 a	14,48 b	50,16 bcde	14,63 bc
SP 36	1459 a	27,81 a	18,79 ab	67,51 ab	17,50 ab
Mikoriza	1741 a	23,14 a	12,21 b	53,32 abcde	12,87 bc
Mikoriza + FA Guano	1540 a	25,08 a	15,53 b	59,80 abcd	17,03 abc
Mikoriza + FA Maroko	1339 a	36,61 a	24,71 b	71,56 a	22,53 a
Mikoriza + FA Blora	1581 a	26,90 a	13,13 b	41,96 de	12,93 bc
Mikoriza + SP 36	1640 a	23,62 a	14,51 b	61,90 abc	16,10 bc

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf kesalahan 5%

Dinamika P di dalam brangkasan tanaman sorgum umur 63 HST pada tanah latosol Cikabayan

Hasil uji statistik data Tabel 6 pada penelitian yang menggunakan tanah latosol Cikabayan menunjukkan bahwa tidak adanya perbedaan yang nyata antar semua perlakuan kecuali kontrol terhadap kontribusi P berasal dari perlakuan aktivitas mikoriza atau sumber P (%P-bdp). Pemberian mikoriza dan fosfat alam Blora mampu memberikan sumbangan P berasal dari perlakuan (%P-bdp) tertinggi untuk tanaman yaitu sebesar 64,86% (Tabel 6).

Hasil uji statistik pada data Tabel 6 pada penelitian yang menggunakan tanah latosol Cikabayan menunjukkan bahwa kombinasi pemberian mikoriza dan fosfat alam Blora berpengaruh signifikan terhadap bobot brangkasan ($6,18 \text{ g tanaman}^{-1}$) dan serapan P tanaman sorgum umur 63 HST ($59,96 \text{ mg tanaman}^{-1}$).

Tabel 6. Pengaruh mikoriza dan sumber fosfat terhadap aktifitas jenis ^{32}P , P berasal dari aktivitas mikoriza, fosfat alam dan SP 36 (P-bdp), serapan P, bobot brangkasan sorgum umur 63 HST pada tanah latosol Cikabayan

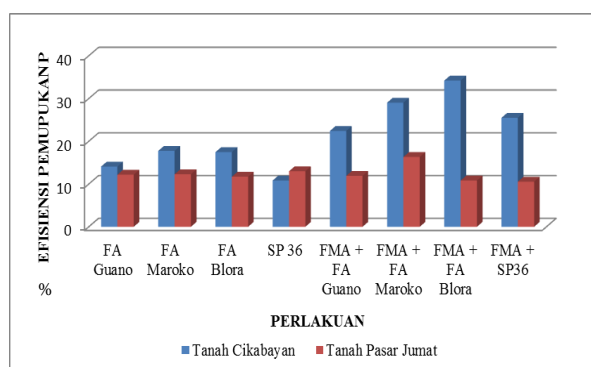
Perlakuan	Aktivitas jenis ^{32}P (Bq mgP ⁻¹)	%P-bdp	P-bdp (mg tanaman ⁻¹)	Serapan P (mg tanaman ⁻¹)	Bobot brangkasan (g tanaman ⁻¹)
Kontrol	512 a	0 b	0 c	2,32 d	0,25 d
Fosfat alam Guano	213 bc	57,21 a	5,14 bc	24,77 bcd	2,56 bc
Fosfat alam Maroko	185 bc	63,04 a	19,09 abc	30,14 bc	3,30 b
Fosfat alam Blora	235 bc	53,54 a	18,76 abc	32,13 b	3,48 b
SP 36	242 bc	51,13 a	11,63 bc	25,36 bcd	3,65 b
Mikoriza	262 b	49,48 a	2,00 c	4,06 cd	0,49 cd
Mikoriza + FA Guano	215 bc	56,75 a	24,09 ab	37,56 ab	4,10 ab
Mikoriza + FA Maroko	78 c	64,86 a	31,20 ab	36,88 ab	4,06 ab
Mikoriza + FA Blora	182 bc	63,95 a	36,77 a	59,96 a	6,18 a
Mikoriza + SP 36	204 bc	58,80 a	27,40 ab	38,10 ab	4,05 ab

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%

Efisiensi pemupukan P tanaman sorgum

Data pada gambar 1 pada tanaman sorgum di tanah latosol Pasar Jumat menunjukkan bahwa nilai efisiensi pemupukan P tertinggi terlihat pada perlakuan mikoriza dengan fosfat alam Maroko yaitu 16,32% (Gambar 1) dibandingkan perlakuan lainnya dengan mikoriza atau tanpa mikoriza. Hal ini disebabkan adanya sumbangan dari mikoriza dengan fosfat alam Maroko yang mampu menyumbang P (%P-bdp) sebesar 36,61% dari total P yang diserap tanaman atau sebesar 24,71 mg per tanaman. Selain itu, kemungkinan kejadian ini disebabkan oleh jenis mikoriza sesuai dengan jenis sumber fosfat alam Maroko yang diberikan, sehingga miselium mikoriza mampu bekerja dengan optimal dalam membantu melarutkan P lebih banyak di dalam pupuk dan tanah.

Nilai efisiensi pemupukan P pada tanaman sorgum di tanah latosol Cikabayan memiliki nilai efisiensi pemupukan P lebih tinggi dibandingkan di tanah latosol Pasar Jumat. Hal ini terlihat pada kombinasi mikoriza dengan fosfat alam Blora menunjukkan nilai efisiensi pemupukan P tertinggi yaitu 34,20% dibandingkan perlakuan lainnya dengan mikoriza atau tanpa mikoriza.



Gambar 1. Efisiensi pemupukan P pada tanah latosol Pasar Jumat dan Cikabayan

kandungan P_2O_5 tersedia di dalam tanah memiliki kategori rendah yaitu 7,26 ppm. Tanah dengan kriteria P rendah menunjukkan respons yang baik saat dilakukan pemupukan, terlihat dari produksi tanaman yang mengalami kenaikan cukup memadai atau menunjukkan respon terhadap pemupukan [34].

KESIMPULAN

Aplikasi mikoriza disertai pemberian sumber P berupa fosfat alam Maroko pada tanah latosol Pasar Jumat menyumbang P terbesar terhadap bobot biji sorgum dan serapan P biji sorgum. Melalui teknik isotop ^{32}P diketahui bahwa sumbangan P berasal dari perlakuan aktivitas

mikoriza atau sumber P (P-bdp) terhadap kandungan P dalam biji adalah sebesar 24,71 mg tanaman⁻¹ dengan efisiensi pemupukan P sebesar 16,32%. Aplikasi mikoriza disertai pemberian sumber P berupa fosfat alam Blora pada tanah latosol Cikabayan menyumbang P terbesar terhadap bobot brangkasian sorgum dan serapan P brangkasian sorgum. Melalui teknik isotop ³²P diketahui bahwa sumbangan P berasal dari perlakuan aktivitas mikoriza atau sumber P (P-bdp) terhadap kandungan P dalam brangkasian adalah sebesar 36,77 mg tanaman⁻¹ dengan efisiensi pemupukan P sebesar 34,20%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PAIR-BATAN yang telah mendukung dana untuk penelitian ini dan juga kelompok pemupukan dan nutrisi tanaman bidang pertanian PAIR-BATAN. N. Robifahmi^{1*} adalah kontributor utama pada penelitian dan penulisan paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sirappa, "Prospek pengembangan sorgum di Indonesia sebagai komoditas alternatif untuk pangan, pakan, dan industri," *Jurnal Litbang Pertanian*, vol. 22, no. 4, pp. 133-140, 2003.
- [2] D.S.A. Rachman, A. Dariah, *Pupuk organik dan pupuk hayati*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2006.
- [3] E. Saptiningsih, S. Haryanti, "Kandungan selulosa dan lignin berbagai sumber bahan organik setelah dekomposisi pada tanah Latosol," *Bul. Anat. dan Fisiol.*, vol. XXIII, pp. 34-42, 2015.
- [4] D.S. Subardja, S. Ritung, M.A., Sukarman, dkk., *Klasifikasi tanah nasional*, Edisi Kedu. Bogor: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2016.
- [5] J. Zhu, M. Li, M. Whelan, "Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 612, pp. 522-537, 2018.
- [6] M.S. Marta Ritonga, Bintang, "Perubahan bentuk P oleh mikroba pelarut fosfat dan bahan organik terhadap P-tersedia dan produksi kentang (*Solanum tuberosum* L.) pada tanah andisol terdampak Erupsi Gunung Sinabung," *J. Online Agroekoteknologi*, vol. 4, no. 1, pp. 1641-1650, 2016.
- [7] G. Singh, K.W. Goyne, J.M. Kabrick, "Determinants of total and available phosphorus in forested alfisols and ultisols of the Ozark Highlands, USA," *Geoderma Reg.*, vol. 5, pp. 117-126, 2015.
- [8] S.B. Sharma *et al.*, "Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils," *Springerplus*, vol. 2, no. 1, pp. 1-14, 2013.
- [9] D.S. Almeida, C.J. Penn, C.A. Rosolem, "Assessment of phosphorus availability in soil cultivated with ruzigrass," *Geoderma*, vol. 312, no. October 2017, pp. 64-73, 2018.
- [10] J. Shen *et al.*, "Phosphorus dynamics: From soil to plant 1," *Plant Physiol.*, vol. 156, no. 30821003, pp. 997-1005, 2011.
- [11] Johnston, J.K. Syers, "A new approach to assessing phosphorus use efficiency in agriculture," *Better Crop.*, vol. 93, no. 3, pp. 14-16, 2008.
- [12] A. Suparno dkk., "Respon of cacao seedlings fertilized with Papuan Ayamaru phosphate rock (papr) combined with humic acid, inoculation of amf and phosphate solubilizing bacteria," *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fis.*, vol. 14, no. 1, pp. 78-86, 2012.
- [13] Q. Liu *et al.*, "Functional characterisation and transcript analysis of an alkaline phosphatase from the arbuscular mycorrhizal fungus *Funneliformis mosseae*," *Fungal Genet. Biol.*, vol. 54, pp. 52-59, 2013.

- [14] C. Plassard, P. Fransson, "Regulation of low-molecular weight organic acid production in fungi," *Fungal Biol. Rev.*, vol. 23, pp. 29-39, 2009.
- [15] H. Kheyrodin, "Plant and soil relationship between fungi," *Int. Journal Res. Stud. Biosci.*, vol. 2, no. 9, pp. 42-49, 2014.
- [16] S. Basu, R.C. Rabara, S. Negi, "AMF: The future prospect for sustainable agriculture," *Physiol. Mol. Plant Pathol.*, vol. 102, pp. 36-45, 2018.
- [17] C. Baum, W. El-Tohamy, N. Gruda, "Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review," *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 187, pp. 131-141, 2015.
- [18] C. N. Daynes *et al.*, "Development and stabilisation of soil structure via interactions between organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi and plant roots," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 57, pp. 683-694, 2013.
- [19] F. Dhawi, R. Datta, W. Ramakrishna, "Mycorrhiza and heavy metal resistant bacteria enhance growth, nutrient uptake and alter metabolic profile of sorghum grown in marginal soil," *Chemosphere*, vol. 157, pp. 33-41, 2016.
- [20] E. Sabella *et al.*, "Tuber borchii Vitt. mycorrhiza protects *Cistus creticus* L. from heavy metal toxicity," *Environ. Exp. Bot.*, vol. 130, pp. 181-188, 2016.
- [21] R. Duponnois *et al.*, "The mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and rock phosphate amendment influence plant growth and microbial activity in the rhizosphere of *Acacia holosericea*," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 37, pp. 1460-1468, 2005.
- [22] D. Mahanta *et al.*, "Modification of root properties with phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhiza to reduce rock phosphate application in soybean-wheat cropping system," *Ecol. Eng.*, vol. 111, no. No-ember 2017, pp. 31-43, 2018.
- [23] S.R. Noack, T.M. McBeath, M.J.M. Laughlin, dkk., "Management of crop residues affects the transfer of phosphorus to plant and soil pools: Results from a dual-labelling experiment," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 71, pp. 31-39, 2014.
- [24] D.L. Achat *et al.*, "Plant-availability of phosphorus recycled from pig manures and dairy effluents as assessed by isotopic labeling techniques," *Geoderma*, vol. 232-234, pp. 24-33, 2014.
- [25] A. Citraresmini, I. Anas, "The use of ³²P method to evaluate the growth of lowland rice cultivated in a system of rice intensification (SRI)," *Atom Indones.*, vol. 39, no. 2, pp. 88-94, 2013.
- [26] M.C. Brundrett *et al.*, "Working with mycorrhizas in forestry and agriculture." Canberra: ACIAR, 1996.
- [27] Eviati, Sulaeman, Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk, 2nd ed. Bogor: Balai Penelitian Tanah Kemertian Pertanian, 2009.
- [28] P.P. Kormanik, A.C. McGraw, "Quantification of VA mycorrhizae in plantroot In: N.C.Schenk (Ed.) methods and principles of mycorrhiza research," *Am. Phytop*, 1982.
- [29] P.J.O. Connor, S.E. Smith, F.A. Smith, "Arbuscular associations in the sothern Southern Simpson desert," *Aust J Bot*, 2001.
- [30] F. Zapata, H. Axmann, "³²P isotopic techniques for evaluating the agronomic effectiveness of rock phosphate materials," *Fertil. Res.*, vol. 41, no. 3, pp. 189-195, 1995.
- [31] IAEA, Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.

- [32] C. Powell, D.J. Bagyaraj, *Vesicular arbuscula mycorrhiza*. Florida, 1984.
- [33] M. Toro, R. Azcon, J. Barea, "Improvement of Arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (³²P) and nutrient cycling," *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 63, no. 11, pp. 4408-4412, 1997.
- [34] A. Rosmarkam, N.W. Yuwono, *Ilmu kesuburan tanah*. Yogyakarta: Kanisius, 2002.
- [35] C.L.L. Powell, "Effect of mycorrhizal fungi on recovery of phosphate fertilizer from soil by ryegrass plants," *New Phytol*, vol. 83, 1979.

