

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakterisasi mikoriza asal tanah pasca tambang

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah asal pasca tambang batubara yang terdiri dari 13 sampel pada setiap 50g tanah diperoleh 2 genus mikoriza, yaitu *Glomus* dan *Gigaspora*. Jenis mikoriza *Glomus* terdiri dari 3 jenis yang berbeda berdasarkan morfologi sporanya, yaitu *Glomus* sp.1 (G1), *Glomus* sp.2 (G2), dan *Glomus* sp.3 (G3), sedangkan genus *Gigaspora* (G4) hanya diperoleh 1 spesies (Tabel 1).

Tabel 1. Jenis mikoriza dari tanah pasca tambang batubara

Tanah Asal	Jenis Mikoriza	Kepadatan spora/50g tanah
T0	G1; G2; G4	14
T1	G1; G2; G3; G4	56
T2	G1; G2; G3; G4	105
T3	G1; G2; G4	65
T4	G1; G2; G3; G4	244
T5	G1; G2; G3; G4	121
T6	G1; G2; G3; G4	95
T7	G1; G2; G4	95
T8	G2; G3; G4	83
T9	G1; G3; G4	19
T10	G1; G3; G4	26
T11	G1; G2; G3; G4	38
T12	G1;G2; G4	71

Keterangan: T0=Tanah tambang; T1=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 10 ton/ha; T2=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 20 ton/ha; T3=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 30 ton/ha; T4=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 10 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T5=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 20 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T6=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 30 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T7=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 10 ton/ha; T8= Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 20 ton/ha; T9= Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 30 ton/ha; T10= Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 10 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T11= Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 20 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; dan T12= Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 30 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu. G1=*Glomus* sp.1; G2=*Glomus* sp.2; G3=*Glomus* sp.3; dan G4=*Gigaspora* sp.

Data Tabel 1 menunjukkan bahwa tanah tambang awal (T0) memiliki jumlah spora mikoriza yang paling sedikit pada setiap 50 gram tanah dibandingkan dengan tanah lain yang telah diberi perlakuan pupuk kandang ayam dan pupuk kandang kambing dengan dosis 10, 20, 30 ton/ha baik sebelum tanam maupun tanah telah ditanami tanaman jagung umur 2 minggu. Setelah dibandingkan antar perlakuan, tanah tambang yang diberi pupuk kandang ayam dosis 10, 20, 30 ton/ha pada tanaman yang telah berumur 2 minggu memiliki jumlah spora mikoriza tertinggi dengan rata-rata 153 spora mikoriza di setiap 50

gram tanahnya dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Selain itu, sampel tanah ini juga ditemukan keempat jenis spora mikoriza yang berbeda pada setiap spesiesnya. Hal ini terkait dengan kandungan N, P tanah serta pH dan suhu tanah.

Pada tanah pasca tambang awal, kandungan N dan P memiliki total 0. Pada kondisi ini, mikoriza yang terdapat di dalam tanah sangat sedikit. Mikoriza memerlukan tanaman agar dapat berasosiasi dengan akarnya. Mikoriza membutuhkan suplai karbon (C) dan zat esensial dari tanaman. Tanah pasca tambang yang belum ditanami menyebabkan mikoriza sangat sulit untuk mempertahankan hidupnya karena kekurangan suplai zat-zat yang dibutuhkannya untuk bertahan hidup. Peningkatan kandungan N dan P terjadi seiring bertambahnya jumlah spora mikoriza setelah tanah pasca tambang diberi perlakuan pupuk kandang ayam dan pupuk kandang kambing dengan berbagai dosis baik sebelum tanam maupun setelah tanaman umur 2 minggu (Tabel 2).

Tabel 2. Data analisis kandungan N dan P, pH, serta suhu tanah sumber mikoriza

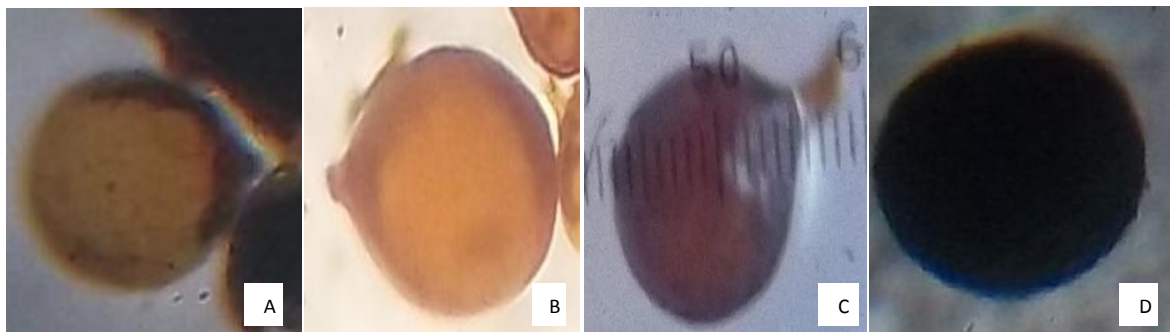
Kode sampel tanah	Kandungan N (%)	Kandungan P (ppm)	pH	Suhu (°C)
T0	-	-	4	30
T1	0.26	36.11	5	34
T2	0.26	37.44	5	34
T3	0.40	34.97	5	34
T4	0.08	106.35	5	36
T5	0.07	35.72	5	36
T6	0.06	36.62	5	37
T7	0.11	65.33	4.5	33
T8	0.15	120.04	5	35
T9	0.18	115.50	5	35
T10	0.23	131.06	4.5	35
T11	0.14	113.80	5	35
T12	0.11	118.75	5	35

Keterangan: T0=Tanah tambang; T1=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 10 ton/ha; T2=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 20 ton/ha; T3=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 30 ton/ha; T4=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 10 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T5=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 20 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T6=Tanah tambang+pupuk kandang ayam dosis 30 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T7=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 10 ton/ha; T8=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 20 ton/ha; T9=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 30 ton/ha; T10=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 10 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; T11=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 20 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu; dan T12=Tanah tambang+pupuk kandang kambing dosis 30 ton/ha pada tanaman umur 2 minggu.

Pada tanah pasca tambang awal, suhu tanah mencapai 30°C dan pH tanah sebesar 4. Kondisi tersebut kemungkinan mikoriza masih dapat bertahan hidup tetapi sangat sulit untuk berkembang karena kondisi tidak sesuai bagi mikoriz. Menurut Sieverding (*dalam* Margaretha, 2011), bahwa mikoriza (*Glomus* sp.) tidak dapat berkembang baik pada pH<5 dan Nurhalimah *et al.* (2014) menyatakan semakin tinggi suhu maka jumlah mikoriza akan

semakin banyak karena suhu berpengaruh terhadap pertumbuhan dan pembentukan koloni spora mikoriza. Hal tersebut terbukti dari hasil penelitian ini bahwa tanah pasca tambang yang telah diberi perlakuan pupuk kandang ayam dan kambing dengan berbagai dosis pada waktu sebelum tanam dan tanaman umur 2 minggu meningkat (suhu tanah 33-37°C dan pH 4,5-5,0), sehingga populasi spora mikoriza menjadi lebih banyak.

Berdasarkan bentuk sporanya, jenis mikoriza yang diperoleh dari beberapa sampel tanah pasca tambang hasil identifikasi berasal dari 2 genus, yaitu *Glomus* dan *Gigaspora*. Pada genus *Glomus* terbagi menjadi 3 spesies yang berbeda, yaitu *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, dan *Glomus* sp.3, serta satu spesies dari *Gigaspora* sp. (Gambar 1). Pengelompokan jenis mikoriza berdasarkan karakteristik setiap morfologi spora secara mikroskopis ini diidentifikasi dengan kunci identifikasi menurut Schenk dan Perez (1988).



Gambar 1. Spora mikoriza asal tanah pasca tambang batubara

Ket: A=Spora *Glomus* sp.1;
 B=Spora *Glomus* sp.2;
 C=Spora *Glomus* sp.3; dan
 D=Spora *Gigaspora* sp.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa mikoriza dari genus *Glomus* mendominasi dari berbagai sampel tanah pasca tambang batubara dibandingkan genus *Gigaspora*. Seperti dinyatakan oleh Puspitasari *et al.* (2012) bahwa tanah yang didominasi fraksi lempung (*clay*) merupakan kondisi yang sesuai untuk perkembangan *Glomus* sedangkan pada tanah yang berpasir genus *Gigaspora* ditemukan dalam jumlah tinggi karena pori tanah terbentuk lebih besar sehingga keadaan ini diduga sesuai untuk perkembangan spora *Gigaspora* yang berukuran lebih besar dibanding *Glomus*.

Karakteristik *Glomus* dan *Gigaspora* memiliki ciri khas yang berbeda, selain dari segi ukuran. Kedua genus tersebut dalam lapisan dinding spora, yaitu *Glomus* memiliki dinding spora lebih dari satu lapis, sedangkan *Gigaspora* tidak memiliki lapisan dinding dalam. Spora *Glomus* yang ditemukan memiliki bentuk bulat sampai bulat lonjong, memiliki dinding spora berwarna hialin-kuning, kuning-kecoklatan, hingga coklat kemerahan dengan ukuran spora antar spesies tidak berbeda jauh (Tabel 3). Sementara itu, spora *Gigaspora* yang ditemukan memiliki warna hitam gelap dengan bentuk bulat dan

ukuran 56,10 μ m (Tabel 3). Menurut Nurhalimah (2014), spora *Gigaspora* terbentuk dari ujung hifa yang membulat (*bulbous suspensor*), selanjutnya muncul bulatan kecil yang semakin lama membesar menjadi spora yang terbentuk tunggal di dalam tanah. Spora *Glomus* terbentuk dari perkembangan hifa (*chlamydospora*) yang terkadang bercabang dan membentuk sporocarp. Saat dewasa spora dipisahkan dari hifa pelekak. Menurut Ulfa *et al.* (2011), bahwa mikoriza genus *Glomus* sp. mampu menunjukkan eksistensinya untuk bertahan hidup dan berkembang di lingkungan yang terbentuk akibat penimbunan tanpa top soil di areal bekas tambang batubara dibandingkan genus *Gigaspora* sp. dan *Acaulospora* sp. Hal ini diartikan bahwa FMA memiliki masing-masing karakteristik yang khas untuk beradaptasi terhadap perubahan yang terjadi di lingkungan.

Tabel 3. Karakteristik spora mikoriza hasil ekstraksi tanah pasca tambang batubara

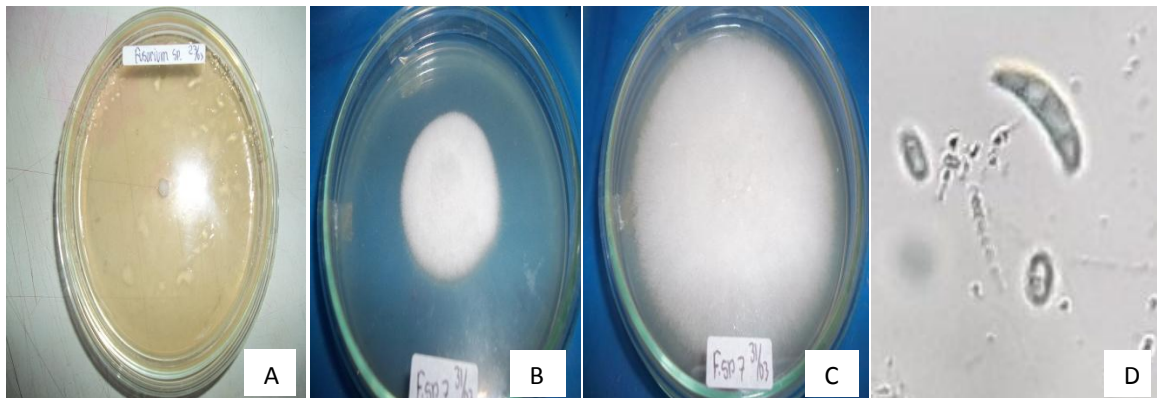
Jenis Mikoriza	Warna Spora	Bentuk Spora	Ukuran Spora
<i>Glomus</i> sp.1	Hialin-Kuning	Bulat	31.62 μ m
<i>Glomus</i> sp.2	Kuning-Coklat	Bulat	33.66 μ m
<i>Glomus</i> sp.3	Coklat-Kemerahan	Bulat lonjong	33.66 μ m
<i>Gigaspora</i> sp.	Hitam	Bulat	56.10 μ m

B. Karakterisasi *Fusarium* sp.

Jamur *Fusarium* sp. yang tumbuh pada cawan petri yang berisi medium PDA padat, dikarakterisasi dari: perkembangan diameter koloni, perkembangan warna koloni, warna koloni jamur, dan elevasi koloni. Sedangkan pengamatan mikroskopis terdiri dari: bentuk konidia, ukuran konidia, septa konidia, dan kerapatan spora (Tabel 4). Dari pengamatan warna koloni terlihat bahwa jamur ini memiliki ciri berwarna putih seperti kapas. Perkembangan warna koloni dibuktikan pada hari ke-1 isolasi hingga hari ke-7 menunjukkan adanya konsistensi warna yang tidak berubah, yaitu berwarna putih. Pada umur 7 hsi (hari setelah isolasi), jamur *Fusarium* sp. memenuhi seluruh bagian cawan petri dan terlihat sekumpulan koloni jamur seperti kapas dengan bagian tepi yang rata (Gambar 2).

Pada hasil pengamatan mikroskopis, pada perbesaran 200x terlihat bagian makrokonidia *Fusarium* sp. dengan bentuk seperti bulan sabit. Makrokonidia jamur berbentuk meruncing pada ujungnya dan memiliki septa terdiri dari 4 sel dan mikrokonidia memiliki 1-2 sel (Gambar 2D) serta memiliki kerapatan 12.80x10⁶ konidia/ml. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nugraheni (2010) bahwa cendawan *Fusarium* sp. memiliki makrokonidia berbentuk melengkung, panjang dengan ujung yang mengecil dan mempunyai satu atau tiga buah sekat. Mikrokonidia merupakan konidia bersel 1 atau 2,

dan paling banyak dihasilkan di setiap lingkungan bahkan pada saat patogen berada dalam pembuluh inangnya. Makrokonidia mempunyai bentuk yang khas, melengkung seperti bulan sabit, terdiri dari 3-5 septa, dan biasanya dihasilkan pada permukaan tanaman yang terserang lanjut. Klamidospora memiliki dinding tebal, dihasilkan pada ujung miselium yang sudah tua atau didalam makrokonidia, terdiri dari 1-2 septa dan merupakan fase atau spora bertahan pada lingkungan yang kurang baik.



Gambar 2. *Fusarium* sp. pada medium PDA

Ket: A = Koloni umur 0 hsi;

B = Koloni umur 3 hsi;

C = Koloni umur 7 hsi; dan

D = Mikroskopis makrokonidia dan mikrokonidia cendawan

Tabel 4. Karakteristik *Fusarium* sp. secara makroskopis dan mikroskopis

Karakteristik	Pengamatan hari ke-							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Diameter koloni (cm)	0.10	0.65	1.90	2.70	4.10	5.10	6.40	7.70
Perkembangan warna koloni	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih
Warna koloni	Berwarna putih seperti kapas							
Elevasi koloni	Permukaan halus dengan bagian tepi yang rata.							
Bentuk konidia	Makrokonidia ujungnya meruncing dan mikrokonidia berbentuk bulat							
Ukuran konidia	23.46 x 6.12 μm							
Septa konidia	Makrokonidia terdiri dari 2-4 sel mikrokonidia 2 sel							
Kerapatan spora	12.80 x 10 ⁶ konidia/ml							

Genus *Fusarium* sp. adalah patogen tular tanah yang memiliki alat reproduksi, yaitu: makrokonidia, mikrokonidia, dan klamidiospora. Sebagian besar, jamur bersifat saprofit umumnya yang terdapat di dalam tanah dan ada juga yang bersifat parasit. Misellium jamur tidak berwarna dan semakin tua koloni akan tampak mengumpul seperti

benang-benang. Mikrokonidia berbentuk seperti bulat telur lebih kecil dari makrokonidia dan tidak memiliki warna (sama seperti warna makrokonidia).

C. Pengaruh fungi mikoriza terhadap variabel pertumbuhan tanaman jagung

1. Waktu muncul bibit jagung

Hasil analisis keragaman pengaruh mikoriza terhadap waktu muncul bibit jagung menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (Lampiran 4). Pada perlakuan kontrol, rata-rata pertumbuhan bibit jagung muncul diatas permukaan tanah 4 hst (hari setelah tanam). Begitu juga dengan benih jagung yang diberi mikoriza, rata-rata waktu munculnya bibit jagung untuk perlakuan jenis mikoriza *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, *Glomus* sp.3, dan *Gigaspora* adalah 4 hst (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan berbagai jenis mikoriza belum mampu memberikan perbedaan terhadap waktu munculnya bibit jagung sehingga belum menunjukkan adanya interaksi mutualisme karena benih masih mengalami masa pembentukan untuk membentuk bagian vegetatif tanaman.

Spora mikoriza dapat bekerja efektif jika berasosiasi dengan akar tanaman sehingga mikoriza dapat berkolonisasi dan berkembang secara mutualistik (Adnan dan Talanca, 2005). Tisdale *et al.* (1993) dalam Handayani (2008), menambahkan kemampuan intersepsi akar dalam pengambilan nutrisi dapat dipertinggi oleh mikoriza terutama ketika tanaman tumbuh ditempat yang kurang subur. Hal ini menyatakan bahwa mikoriza tidak dapat aktif menjalankan fungsinya terhadap tanaman tanpa adanya akar. Suatu benih yang belum mengalami masa perkecambahan (belum membentuk bagian vegetatif tanaman), maka mikoriza tidak dapat memberikan dan menjalankan fungsinya sehingga tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap benih tersebut.

Pertumbuhan tanaman terjadi karena adanya proses-proses pembelahan sel dan pemanjangan sel dimana proses tersebut memerlukan karbohidrat dalam jumlah besar. Pemberian pupuk kandang sapi yang juga disterilisasi dengan tanah untuk media awal penanaman diduga menjadi faktor penyebab pertumbuhan muncul bibit jagung pada waktu yang sama walaupun terdapat tanaman yang diberi perlakuan mikoriza. Menurut Kastono (2005), salah satu faktor lingkungan tumbuh yang penting bagi pertumbuhan tanaman adalah ketersediaan unsur hara. Hara pada pupuk kandang merupakan sumber hara (unsur utamanya N) bagi tanaman dan bermanfaat karena dapat memperbaiki sifat kimia, biologi, serta fisik tanah. Muniapan *et al.* (1998) dalam Kastono (2005), menyatakan pemberian bahan organik ke dalam tanah dapat merangsang aktivitas enzim tanah dan mikroba,

Tabel 5. Hasil uji lanjut pengaruh fungi mikoriza terhadap variabel pertumbuhan waktu muncul bibit jagung, tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah tajuk, berat kering tajuk, berat basah akar, dan berat kering akar.

Perlakuan	WMB	TT					JD					BBT	BKT	BBA	BKA
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
M0	4.0a	13.42a	45.82a	74.92ab	98.82a	117.20a	3.6a	7.2a	9.6a	10.6a	11.6a	130a	33ab	150a	91ab
M1	4.3a	13.72a	43.78a	75.88ab	99.94a	119.02a	3.6a	6.6a	9.4a	10.8a	11.6a	115a	21ab	92b	52b
M2	3.8a	8.48a	43.24a	65.88b	97.06a	111.56a	2.6a	6.6a	9.2a	10.2a	10.8a	109a	21ab	135ab	90ab
M3	3.7a	14.08a	46.54a	77.12ab	103.54a	119.50a	3.6a	7.0a	9.2a	10.6a	11.6a	107a	25ab	145ab	102a
M4	4.5a	13.94a	45.48a	72.54ab	101.48a	112.40a	3.2a	6.4a	8.6a	10.4a	11.0a	96a	20ab	117ab	67ab
M5	4.3a	9.08a	47.38a	77.80ab	99.26a	117.58a	2.8a	7.0a	9.8a	11.0a	12.0a	109a	35a	137ab	93ab
M6	4.1a	14.66a	52.36a	84.04a	107.30a	122.94a	3.6a	7.2a	9.4a	10.6a	11.8a	117a	28ab	154a	89ab
M7	4.3a	11.46a	43.94a	72.46ab	99.10a	116.54a	3.0a	7.0a	9.2a	11.0a	11.2a	95a	18b	139ab	83ab
M8	3.8a	10.92a	48.86a	80.06ab	103.20a	116.64a	3.2a	7.2a	9.6a	10.6a	11.4a	118a	33ab	139ab	79ab
M9	4.0a	11.42a	49.48a	79.80ab	98.40a	119.28a	3.2a	7.4a	9.6a	11.0a	11.8a	109a	26ab	137ab	85ab

Catatan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji lanjut DMRT pada taraf 5%.

Ket: WMB = Waktu muncul bibit (hst)
 TT = Tinggi tanaman (cm)
 JD = Jumlah daun (helai)
 BBT = Berat basah tajuk (g)
 BKT = Berat kering tajuk (g)
 BBA = Berat basah akar (g)
 BKA = Berat kering akar (g)

aktivitas enzim total tanah tergantung pada enzim ekstraseluler dan jumlah enzim dalam sel mikroba yang mati dan hidup. Ini memperjelas bahwa mikroba yang ada pada media tanam yang telah mati sekalipun, kandungan enzim yang dihasilkannya dapat diproses secara biologis untuk bermanfaat bagi kebutuhan kesuburan tanah karena enzim tersebut memberikan pengaruh positif pada perbaikan kondisi tanah sehingga media tanah menjadi produktif bagi pertumbuhan tanaman.

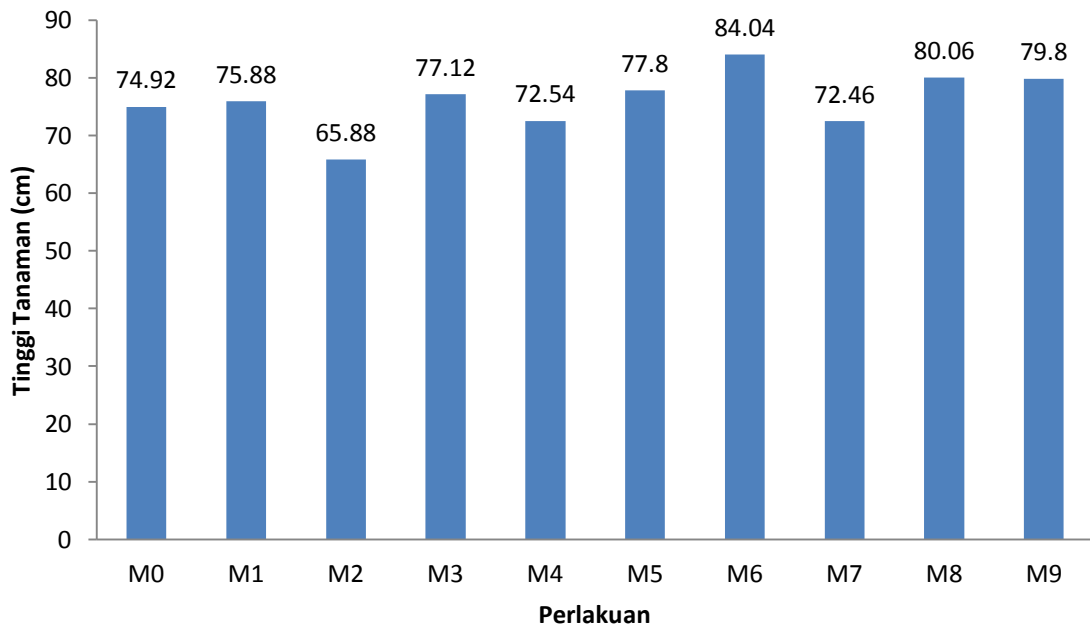
2. Pertumbuhan tinggi tanaman

Hasil analisis keragaman pengamatan pengaruh mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman jagung tidak berbeda nyata antar perlakuan pada minggu ke-1, 2, 4, dan 5 (Lampiran 5, 6, 8, dan 9). Namun, pada minggu ke-3, pertumbuhan tinggi tanaman antar perlakuan yang diuji berbeda nyata (Lampiran 7). Perlakuan M6 menunjukkan pengaruh terbaik pada tinggi tanaman pada minggu ke-3, yaitu 84,04 cm, walaupun tinggi tanaman berbeda nyata dengan M2, tetapi M6 tidak berbeda nyata dengan M3, M4, M5, M7, M8, M9, M0, dan M1 (Tabel 5).

Pada minggu ke-1, 2, 4, dan 5, antar perlakuan yang diberikan ke tanaman tidak memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pertumbuhan tinggi tanaman. Hal tersebut terjadi karena pada minggu awal (ke-1 dan ke-2), mikoriza masih membutuhkan waktu untuk menginfeksi masuk melalui akar tanaman. Bagian hifa mikoriza adalah yang bertugas masuk melalui akar tanaman dan setelah masuk, mikoriza akan melakukan kolonisasi yang nantinya membentuk keluar melalui hifa eksternal untuk memperluas bidang serapan akar tanaman dalam memperoleh air dan unsur hara seperti fosfat dan nutrisi lainnya. Waktu ini juga diduga bersamaan dengan penetrasi patogen *Fusarium* sp. masuk untuk menginfeksi tanaman jagung melalui akar.

Pada minggu ke-3, terjadi perbedaan pengaruh antar perlakuan yang diuji terhadap pertumbuhan tanaman jagung. Perlakuan M6 tidak berbeda nyata dengan M8, M9, M5, M3, M1, M0, M4, dan M7, tetapi berbeda nyata dengan M2. Perlakuan jenis mikoriza *Glomus* sp.1 dengan inokulasi patogen pada tanaman menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman jagung yang paling baik pada minggu ke-3 jika dibandingkan dengan perlakuan jenis mikoriza lainnya dan kontrol baik yang diberi patogen maupun tanpa patogen. Hal tersebut menunjukkan bahwa mikoriza *Glomus* sp.1 memberikan reaksi pengaruh positif bagi pertumbuhan tanaman walaupun tanaman diinokulasikan patogen. Tinggi tanaman terbaik yang diperoleh perlakuan M6 mencapai 84,04 cm, sedangkan perlakuan paling rendah adalah jenis mikoriza yang sama tanpa inokulasi patogen, yaitu M2. Hal ini menunjukkan bahwa mikoriza *Glomus* sp.1 menjalankan fungsinya dengan baik saat

tanaman menunjukkan adanya gejala serangan patogen *Fusarium* sp. sehingga ketahanan yang dihasilkan menjadi lebih besar dibandingkan tanpa patogen.



Gambar 3. Pengaruh fungi mikoriza terhadap tinggi tanaman jagung pada minggu ke-3.

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa pemberian jenis mikoriza tanpa inokulasi *Fusarium* sp., tanaman yang diberi *Gigaspora* sp. (M5) memiliki tinggi tanaman jagung tertinggi dibandingkan dengan perlakuan M2, M3, M4, dan M0. Pada tanaman yang diberi perlakuan jenis mikoriza yang diinokulasi *Fusarium* sp., *Glomus* sp.1 (M6) memiliki perlakuan tanaman tertinggi dibanding tanaman yang diberi perlakuan M7, M8, M9, dan M1.

Mikoriza telah menginfeksi akar tanaman jagung telah memasuki masa aktif dan berinteraksi mutualisme dengan tanaman. Hifa eksternal mikoriza telah keluar dan menurut Talanca (2010), akar yang telah bermikoriza dapat menyerap P dari larutan tanah pada konsentrasi dimana akar tanaman mempunyai metabolisme energi lebih besar sehingga aktif dalam pengambilan P pada konsentrasi 10^{-7} - 10^{-6} didalam larutan tanah menjadi 10^{-3} - 10^{-2} didalam akar tanaman. Hasil penelitian yang dilakukan Lizawati *et al.* (2014), memperlihatkan bahwa pada perlakuan pemberian FMA *Glomus* sp. sebanyak 20 gram dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi bibit jarak pagar. Hal ini disebabkan FMA dengan enzim phosphatasenya mampu membebaskan P dan unsur lainnya yang tadinya tidak tersedia menjadi tersedia dalam tanah. Unsur hara N juga diduga ikut diserap mikoriza untuk tanaman, karena menurut Indriati *et al.* (2013) unsur hara berupa N berfungsi untuk merangsang pertumbuhan tanaman. Kecepatan pertumbuhan tinggi tanaman merupakan indikasi adanya proses fotosintesis yang efisien.

Suswati *et al.* (2013) mengemukakan, bahwa isolat *Glomus* tipe.1 dan *G. fasciculatum* efektif (100%) menginduksi ketahanan tanaman pisang barangan terhadap penyakit *Blood Disease Bacterium* (BDB). Sehingga dapat dikatakan *Glomus* sp.1 mampu secara cepat menyimpan karbohidrat yang dihasilkan tanaman jagung dan dikeluarkan dalam bentuk senyawa, seperti fitoalexin untuk menghambat perkembangan patogen karena diduga mikoriza *Glomus* sp.1 menjadi lebih aktif dalam keadaan berkompetisi dalam hal pengambilan nutrisi di dalam tanah. Ditambahkan oleh Halis *et.al.* (2008), bahwa *Glomus* sp dengan berbagai dosis memberikan pengaruh yang lebih terhadap tinggi tanaman dibandingkan dengan tanpa pemberian jenis mikoriza dari jenis lainnya. Dengan demikian, pernyataan ini sesuai dengan hasil penelitian ini bahwa mikoriza *Glomus* sp. memberikan pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih baik meskipun adanya patogen yang menyerang tanaman dan mikoriza dapat bekerja lebih efektif jika kondisi pertanaman kurang menguntungkan dari segi cekaman faktor biotik.

Pada minggu ke-4 dan ke-5, antar perlakuan yang diuji tidak memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman karena pendugaan bahwa mikoriza menjalankan fungsi yang lain terhadap tanaman, yaitu meningkatkan ketahanan tanaman dari serangan patogen sehingga mendorong akar tanaman mengeluarkan karbohidrat lebih banyak untuk mikoriza sebelum dikeluarkan dalam bentuk eksudat akar dan menjadikan patogen tidak dapat berkembang. Bolan (1991) dalam Suharti *et al.* (2011), menambahkan aplikasi FMA *indigenus* di lahan endemik juga mampu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman jahe dan menunjukkan bahwa, isolat FMA sudah beradaptasi dengan lingkungan sehingga mampu menghambat serangan patogen dan merebut nutrisi dari tanah sehingga banyak tersedia untuk menunjang pertumbuhan tanaman.

3. Jumlah daun

Hasil analisis keragaman pengaruh antar perlakuan tidak berbeda nyata terhadap jumlah daun pada setiap minggunya hingga minggu ke-5 (Lampiran 10 sampai 14). Artinya, setiap perlakuan jenis mikorizayang diberikan tidak berpengaruh terhadap pertambahan jumlah daun tanaman jagung. Hasil rata-rata jumlah daun tertinggi terdapat pada tanaman yang diberi perlakuan jenis *Gigaspora* sp. baik yang diinokulasi patogen maupun tanpa patogen di tanaman jagung dari minggu ke-2, ke-3, ke-4, sampai minggu ke-5. Jumlah daun terendah terdapat pada perlakuan jenis mikoriza *Glomus* sp.1 tanpa inokulasi patogen *Fusarium* sp. pada minggu ke-1, ke-3, ke-4, dan ke-5 (Tabel 5).

Adanya jumlah daun yang banyak, maka tanaman akan lebih baik dalam melangsungkan proses fotosintesisnya. Hasil penelitian Handayani (2008), bahwa

perlakuan inokulasi mikoriza berpengaruh nyata terhadap luas daun, dimana luas daun tertinggi pada perlakuan 3 gram mikofer (mikoriza beserta bahan pembawa) mencapai 841.14 cm² dan terendah pada perlakuan 0 gram mikofer, yaitu 775.86 cm²).

Fungsi daun pada tanaman adalah untuk melakukan proses fotosintesis agar pertumbuhan dan perkembangan tanaman terus bertambah. Fotosintesis merupakan salah satu proses metabolisme yang terjadi pada tumbuhan hijau. Menurut Lizawati *et al.* (2014), proses fotosintesis dalam reaksi terang menghasilkan energi dalam bentuk senyawa ATP dan NADPH. ATP merupakan sumber energi untuk melakukan berbagai proses metabolisme dalam tubuh tanaman. Ketersediaan unsur hara P akan mempengaruhi pembentukan ATP. Adanya mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara terutama unsur P. Meningkatnya kandungan P dalam jaringan tanaman dapat mempercepat pembelahan sel terutama pada jaringan meristem tanaman sehingga berakibat lebih lanjut terhadap pertumbuhan tanaman.

4. Berat basah tajuk tanaman jagung

Hasil analisis keragaman menunjukkan pengaruh antar perlakuan mikoriza yang diuji tidak berbeda nyata terhadap berat basah tajuk tanaman (Lampiran 15). Rata-rata berat basah tajuk berbeda, pada pengamatan perlakuan jenis mikoriza dengan berat basah tajuk tanaman jagung tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol tanpa mikoriza dan tanpa patogen (M0) sebesar 130 g. Hasil terendah diperoleh tanaman yang diberi perlakuan *Glomus* sp.2 dengan inokulasi *Fusarium* sp., yaitu rata-rata sebesar 95 gram. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian mikoriza tidak menunjukkan adanya peningkatan berat bagian tajuk tanaman (Tabel 5).

Menurut Talanca (2010), bahwa mikoriza vesikular-arbuskular (MVA) mempunyai struktur yang terdiri dari hifa yang tidak bersekat, dan tumbuh diantara sel korteks dan didalamnya bercabang, tetapi tidak masuk sampai jaringan stele (silinder pusat, bagian terdalam dari akar). Artinya, mikoriza tidak sampai menginfeksi bagian struktur dalam akar, tetapi hanya sampai bagian struktur luar dari sistem perakaran. Dengan demikian, mikoriza tidak secara langsung membantu pertumbuhan bagian tanaman yang spesifik, tetapi mikoriza merupakan mikroorganisme perantara pertumbuhan tanaman dengan menyediakan suplai untuk mengambil nutrisi di dalam tanah yang biasanya tidak dapat dijangkau oleh tanaman ketika tanpa adanya mikoriza. Selanjutnya, bagian tanaman yang memiliki fungsi tersendiri yang mengalirkan dan meneruskan ke seluruh bagian tanaman lainnya.

Tanaman yang bermikoriza mampu menyerap air dan membawa unsur hara yang mudah larut dan terbawa oleh aliran masa, seperti: N, P, K, dan S. Menurut Margarettha (2010), penginokulasian mikoriza dapat meningkatkan kandungan N total tanah sebesar 0,44% dan ketersediaan P di tanah marginal dari 6,16 ppm menjadi 75,21 ppm per 100 g inokulan FMA. Unsur hara yang terserap digunakan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman, seperti bagian tajuk dan akar. Talanca dan Adnan (2005), menambahkan bahwa cendawan mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara oleh misellium eksternal dengan memperluas permukaan penyerapan akar atau melalui hasil senyawa kimia yang menyebabkan lepasnya ikatan hara dalam tanah. Sehingga dalam hal ini, hifa mikoriza yang menembus tanaman inang, membantu mendekatkan unsur hara dari zona rizosfer tanaman jagung sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung lebih cepat.

5. Berat kering tajuk tanaman jagung

Hasil analisis keragaman perlakuan mikoriza terhadap berat kering tajuk tanaman jagung berbeda nyata (Lampiran 16). Perlakuan jenis mikoriza *Gigaspora* sp. tanpa inokulasi patogen *Fusarium* sp. (M5) tidak berbeda nyata terhadap perlakuan M8, M0, M6, M9, M3, M2, M1, dan M4, tetapi berbeda nyata terhadap perlakuan M7. Rata-rata berat kering tajuk tertinggi diperoleh perlakuan tanaman jagung M5 sebesar 35 gram dan rata-rata berat kering tajuk terendah adalah perlakuan M7 sebesar 18 gram (Lampiran 21).

Perlakuan dengan jenis M7 menjadi perlakuan yang lebih rendah dari kontrol. Hal ini diduga bahwa *Glomus* sp.2 tidak mampu menekan perkembangan patogen *Fusarium* sp. Kondisi abiotik diduga mendukung adanya perkembangan patogen dengan cepat. Kondisi media tanah yang subur mendukung pertumbuhan menjadi sehingga menyebabkan berkurangnya efektivitas mikoriza dalam menjalankan fungsinya. Jika kondisi tanah yang ditanami subur, maka mikoriza tidak bekerja secara maksimal pada tanaman. Handayani (2008) menyatakan tanah yang defisien P, tanaman yang bermikoriza akan tumbuh lebih baik dibanding tanaman non-mikoriza dan akan terjadi juga sebaliknya, jika tanah subur dengan suplai fosfat yang baik maka efektivitas kerja mikoriza pada tanaman akan menjadi berkurang. Kondisi tanah yang subur menyebabkan tanaman menjadi cepat mengalami proses fisiologis pertumbuhannya tanpa membutuhkan perantara seperti mikoriza karena kebutuhannya telah tersedia. Berkurangnya fungsi mikoriza pada tanaman membuat patogen dengan mudah berkembang dan menginfeksi tanaman dengan baik. Selanjutnya, patogen menginfeksi dan mengambil karbohidrat dari tanaman sehingga daya tahan tanaman menjadi lemah dan proses pertumbuhan selanjutnya menjadi terhambat.

Gigaspora sp. memberikan hasil berat kering tajuk tanaman yang maksimal. Mikoriza jenis tersebut memiliki pengaruh yang lebih baik dibanding perlakuan lainnya terlebih lagi tanpa adanya perlakuan patogen *Fusarium* sp. Mikoriza *Gigaspora* sp. menjadi dominan menjalankan fungsinya dengan baik. Hasil penelitian tersebut didukung juga oleh Nurhidayati (2011), yang menyatakan bahwa tanaman bermikoriza memiliki berat kering tanaman yang lebih tinggi dibanding tanaman yang tidak bermikoriza. Peningkatan hasil yang diasumsikan dengan peningkatan berat kering berhubungan dengan hasil fotosintesis yang ditimbun dalam tanaman. Kolonisasi mikoriza akan memberikan peran positif dalam penyediaan unsur hara N, P, dan air sehingga memacu pertumbuhan yang merupakan manifestasi dimulai dari penyediaan karbohidrat dari organ fotosintesis dan penyediaan air dan hara oleh akar sampai kepada sintesis biomassa tanaman yang baru.

Hasil penelitian Lizawati *et al.* (2014), berat kering tanaman merupakan indikasi keberhasilan pertumbuhan bibit jarak pagar karena berat kering tanaman merupakan petunjuk adanya kandungan protein dan organik lainnya yang merupakan hasil fotosintesis yang dapat diendapkan setelah kadar air dikeringkan. Semakin besar berat kering tanaman menunjukkan semakin efisien proses fotosintesis yang terjadi dan produktivitas serta perkembangan sel jaringan semakin tinggi dan cepat, sehingga pertumbuhan jarak pagar menjadi lebih baik, yang akhirnya berat kering tanaman meningkat. Dengan demikian, adanya mikoriza pada tanaman meningkatkan penyerapan hara untuk tanaman sehingga dapat meningkatkan laju fotosintesis sehingga tanaman dapat mengalami pertumbuhan yang baik yang diwujudkan ke dalam produksi biomassa tanaman atau berat kering tanaman.

6. Berat basah akar tanaman jagung

Hasil analisis keragaman berat basah akar tanaman jagung, memberikan hasil yang berbeda nyata (Lampiran 17). Perlakuan M6 berbeda nyata dengan perlakuan M1, tetapi tidak berbeda nyata pada perlakuan lainnya. Rata-rata berat basah akar tertinggi diperoleh perlakuan tanaman jagung yang diberi mikoriza *Glomus* sp.1 yang diinokulasi patogen *Fusarium* sp. sebesar 154 gram dan bobot basah akar terendah diperoleh tanaman kontrol tanpa perlakuan mikoriza dengan inokulasi patogen (M1) sebesar 92 gram (Lampiran 21). Hal tersebut menunjukkan bahwa pemberian mikoriza dapat meningkatkan jumlah akar tanaman jagung. Jumlah akar yang lebih banyak dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman karena tanaman jagung dapat menerima serapan nutrisi lebih banyak yang didapatkan dari dalam tanah (Tabel 5).

Akar merupakan organ vegetatif utama yang penting bagi tanaman dalam hal mengambil hara, air, mineral, dan nutrisi lainnya yang ada di dalam tanah. Jumlah akar yang banyak sangat diperlukan tanaman dalam mengambil hara untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu, diameter hifa cendawan mikoriza sangat kecil yaitu 2-5 μm , sehingga dengan mudah menembus pori-pori tanah yang tidak bisa ditembus oleh akar tanaman yang berdiameter 10-20 μm (Talanca, 2010). Menurut Setiadi (2007), bahwa cendawan mikoriza arbuskular yang menginfeksi sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalainan hifa secara intensif sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap unsur hara dan air.

Simbiotik antara mikoriza dengan perakaran tanaman sangat baik dalam menekan perkembangan patogen. Ini terbukti dari hasil penelitian bahwa tanaman yang diberi perlakuan mikoriza *Glomus* sp.1, yang diinokulasi patogen *Fusarium* sp. memberikan berat basah akar tertinggi. Hal ini telah terbukti bahwa *Glomus* sp.1 mampu menekan patogen tular tanah *Fusarium* sp. yang berpenetrasi untuk menginfeksi akar tanaman jagung. Patogen tular tanah biasanya akan terlebih dahulu menyerang akar dan kemudian masuk untuk bersporulasi di dalam jaringan tanaman. Bobot basah akar membuktikan bahwa tanaman yang diberi mikoriza menghasilkan berat yang lebih besar dan lebih baik walaupun diberi patogen *Fusarium* sp. dibandingkan tanaman jagung yang terserang patogen yang sama tetapi tidak diberi mikoriza.

Mikoriza dan tanaman saling membutuhkan dan menguntungkan satu sama lain untuk mencegah serangan patogen tular tanah yang melewati akar tanaman jagung. Akar yang dihasilkan oleh tanaman yang diberi mikoriza lebih banyak dan panjang dibanding akar tanaman yang dihasilkan oleh tanaman yang terserang patogen tanpa adanya mikoriza. Hal ini juga dikemukakan oleh Suharti *et al.* (2011), ketahanan tanaman jahe terhadap serangan *R.solanacearum* ras 4, disebabkan akar yang telah terkolonisasi FMA akan menghasilkan senyawa kimia yang bersifat sebagai antimikroba sehingga dapat melindungi perakaran tanaman terhadap patogen. Selanjutnya, ditambahkan bahwa inokulasi FMA dapat mempengaruhi respon fisiologis dan biokimia, melalui peningkatan aktivitas enzim dan kandungan senyawa kimia yang menghambat perkembangan patogen. Sehingga hasil penelitian membuktikan bahwa mikoriza *Glomus* sp.1 diduga memberikan berbagai respon fisiologis yang menghasilkan anti mikroba untuk melindungi akar tanaman dari patogen *Fusarium* sp.

7. Berat kering akar tanaman jagung

Hasil analisis keragaman pengamatan berat kering akar tanaman jagung berbeda nyata (Lampiran 18). Perlakuan tanaman M3 tidak berbeda nyata terhadap M5, M0, M2, M6, M9, M7, M8, M4, tetapi berbeda nyata terhadap perlakuan M1. Rata-rata berat kering akar tertinggi diperoleh perlakuan tanaman jagung yang diberi mikoriza *Glomus* sp.2 tanpa diinokulasi patogen *Fusarium* sp. (M3), yaitu sebesar 102 g dan bobot kering akar terendah diperoleh tanaman tanpa perlakuan mikoriza dengan inokulasi patogen *Fusarium* sp. (M1) sebesar 52 g (Tabel 5). Hal tersebut dapat terjadi karena tanaman jagung yang terserang *Fusarium* sp. ini tidak mampu menahan perkembangan patogen tular tanah tersebut yang menyerang di daerah perakaran tanaman, sedangkan tanaman dengan pemberian mikoriza mampu memberikan sistem ketahanan dengan mengaktifkan berbagai senyawa antibiotik yang dihasilkan saat tanaman terserang patogen.

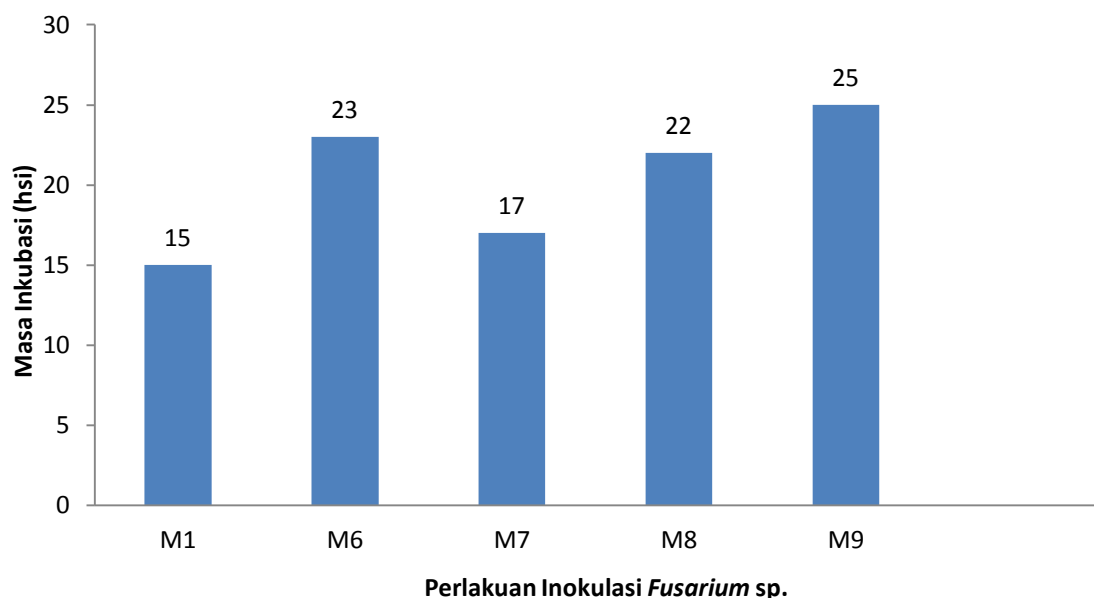
Mikoriza mampu beradaptasi pada tanaman yang tercekam oleh faktor biotik seperti serangan patogen tanaman. Menurut Suharti *et al.* (2011), bahwa FMA memiliki mekanisme dalam mengendalikan berbagai jenis patogen yang dapat terjadi secara langsung berupa kompetisi dan antibiosis. Selanjutnya, ditambahkan bahwa penyebabnya adalah pertumbuhan propagul infeksi dari FMA dapat menghalangi patogen untuk memasuki akar tanaman. Secara tidak langsung, melalui proses respon fisiologis dan biokimia dengan terjadinya perubahan aktivitas enzim dan peningkatan senyawa kimia yang menghambat perkembangan patogen.

Menurut Musfal (2010) menyatakan bahwa tanaman yang terinfeksi CMA mampu menyerap unsur P yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak terinfeksi. Tingginya serapan P oleh tanaman yang terinfeksi CMA disebabkan hifa CMA mengeluarkan enzim fosfatase sehingga P yang terikat di dalam tanah akan terlarut dan tersedia bagi tanaman. Salah satu kemampuan mikoriza adalah membantu pertumbuhan tanaman dengan mempertinggi pengambilan unsur hara P. Menurut Rainiyati *et al.* (2009), bahwa unsur P termasuk salah satu unsur yang mudah bergerak (*mobile*) di dalam tanaman dengan arah translokasi ditentukan oleh konsentrasi P larutan tanah yang selanjutnya menentukan akumulasi P di bagian tanaman tertentu. Bila terjadi kahat P, maka translokasi P yang berasal dari larutan tanah dan bagian daun yang lebih tua (retranslokasi) akan menuju pada bagian akar untuk digunakan dalam pembentukan akar. Oleh karena itu, selama masa tersebut akumulasi P akan lebih banyak terjadi pada bagian akar.

D. Pengaruh fungi mikoriza terhadap variabel penyakit *Fusarium* sp.

1. Masa inkubasi penyakit

Hasil pengamatan pengaruh mikoriza terhadap masa inkubasi penyakit diamati dimulai sejak tanaman diinokulasi *Fusarium* sp. hingga tanaman jagung mulai menunjukkan gejala pertama dari adanya ekspresi penyakit yang ditimbulkan oleh *Fusarium* sp., yaitu ditandai oleh adanya gejala bercak daun yang berkembang sejajar. Gejala luar yang ditunjukkan tanaman ini mengindikasikan bahwa patogen *Fusarium* sp. telah menginfeksi di dalam jaringan tanaman. Gejala daun yang ditunjukkan oleh tanaman merupakan bentuk serangan lanjut (sekunder) dari patogen *Fusarium* sp. yang dimanfaatkan oleh patogen tular udara untuk lebih mudah menyerang tanaman jagung sehingga tanaman mengekspresikan serangan dari patogen.



Gambar 4. Pengaruh mikoriza terhadap masa inkubasi penyakit busuk batang *Fusarium* sp. pada tanaman jagung

Pada Gambar 4 menunjukkan perlakuan tanaman yang seluruhnya diinokulasi *Fusarium* sp. di tanah menunjukkan bahwa M1 mulai bergejala bercak yang telah terlihat rata-rata pada 15 hsi. Perlakuan tanaman yang diberi mikoriza M6, M7, M8, dan M9 menunjukkan gejala yang sama setelah 15 hsi. Perlakuan M9 menjadi yang paling lama mampu menunda masa inkubasi penyakit, yaitu 10 hsi dibanding M1 atau tanaman terserang pada 25 hsi. Artinya, M9 mampu menunda masa inkubasi penyakit yang disebabkan *Fusarium* sp. paling baik, yaitu sebesar 66,67% dibanding M1. Perlakuan M6 memberikan masa inkubasi penyakit 23 hsi, M8 menunjukkan masa inkubasi 22 hsi, dan M7 menunjukkan pada 17 hsi.

Mekanisme yang diberikan perlakuan M9 menjadi yang paling lama menunda masa inkubasi penyakit sehingga diduga mampu memberikan ketahanan yang baik dalam menghambat perkembangan awal patogen *Fusarium* sp. yang sengaja diinokulasi untuk menginfeksi tanaman. Aplikasi FMA mampu menginduksi ketahanan tanaman melalui penghambatan perkembangan propagul patogen di rizosfir maupun di dalam jaringan tanaman. Hifa mikoriza yang telah berasosiasi dengan tanaman menyelubungi perakaran tanaman jagung dan membentuk senyawa penghambat seperti fitoalexin sehingga mikoriza mampu menghambat serangan patogen. Semakin banyak mikoriza yang diberikan mengakibatkan perubahan ketahanan morfologi tanaman, yaitu dengan terjadinya penebalan dinding sel sehingga dapat mencegah penetrasi dan pertumbuhan patogen (Nurhayati, 2010).

Pada penelitian di lapangan, tanaman yang diberi perlakuan M2, M3, M4, M5, dan M0 meskipun tanpa diinokulasi patogen *Fusarium* sp. tetapi, gejala bercak daun jagung masih berada pada tanaman yang diberi perlakuan tanpa *Fusarium* sp. yang menunjukkan adanya gejala bercak serangan penyakit pada daerah sekitaran daun. Hal ini terjadi karena patogen *Fusarium* sp. memanfaatkan kondisi abiotik disekitar pertanaman jagung yang sangat mendukung untuk berkembangnya *Fusarium* sp. dan sebaliknya kondisi lingkungan yang sesuai oleh patogen menjadi tidak menguntungkan bagi tanaman jagung sehingga tingkat infeksi patogen *Fusarium* sp. menjadi lebih besar.

Pada perlakuan tanaman kontrol tanpa inokulasi *Fusarium* sp. (M0) lebih cepat masa inkubasinya dibandingkan yang diberi mikoriza tanpa inokulasi *Fusarium* sp., yaitu M2, M3, M4, dan M5. Masa inkubasi M0 terjadi rata-rata pada 25 hsi dan yang paling lama adalah M3 rata-rata pada 26,5 hsi. Walaupun pada awalnya perlakuan ini tidak diinokulasi *Fusarium* sp., tetapi tanaman menunjukkan gejala serangan yang sama seperti perlakuan tanaman yang diinokulasi *Fusarium* sp. di tanah. Hal ini diduga bahwa gejala penyakit yang sama tersebut muncul karena adanya faktor abiotik (angin dan hujan) yang membawa dan menyebarkan spora *Fusarium* sp. yang telah berkembang sebelumnya dari tanaman yang sengaja diinokulasi patogen *Fusarium* sp.

Inokulum patogen dapat masuk melalui akar dengan penetrasi langsung atau melalui luka atau stomata saat posisi terbuka yang penyebarannya dibawa oleh angin atau percikan hujan karena patogen telah membentuk sporangium. Di dalam jaringan tanaman, patogen dapat berkembang secara interseluler maupun intraseluler. Klamidospora dapat berkecambah bila ada rangsangan eksudat akar yang mengandung gula dan asam amino, juga dapat dirangsang dengan penambahan residu tanaman ke dalam tanah. Nugraheni (2010), menambahkan *Fusarium* sp. menghasilkan tiga macam toksin yang menyerang

pembuluh xylem yaitu: asam fusaric, asam dehydrofusaric, dan lycomarasmin. Toksin-toksin tersebut akan mengubah permeabilitas membran plasma dari sel tanaman inang sehingga mengakibatkan tanaman yang terinfeksi lebih cepat kehilangan air daripada tanaman yang sehat. Damayanti (2009) dalam Nugraheni (2010), menambahkan kisaran keasaman tanah (pH), pengaruh suhu tanah yang rendah akan mempengaruhi suhu udara juga ikut rendah, dan faktor abiotik lainnya dapat membantu penyebaran patogen dari satu tanaman ke tanaman lain. Adanya curah hujan yang tinggi akan membantu sebaran cendawan patogen tular tanah ke daerah lain yang lebih jauh, baik karena percikan maupun ikut aliran air.

2. Persentase tanaman terinfeksi

Hasil pengamatan pengaruh jenis mikoriza terhadap tanaman terinfeksi penyakit diamati melalui gejala serangan bagian luar dan bagian dalam tanaman. Pengamatan bagian luar tanaman yang terserang dengan mengamati bagian daun tanaman jagung. Sedangkan, pengamatan serangan gejala dalam melalui irisan penampang melintang dari pangkal batang tanaman jagung. Pengamatan baik gejala luar maupun gejala dalam merupakan salah satu pengamatan pengaruh gejala yang ditimbulkan penyakit *Fusarium* sp. yang menyerang bagian-bagian spesifik dari tanaman.

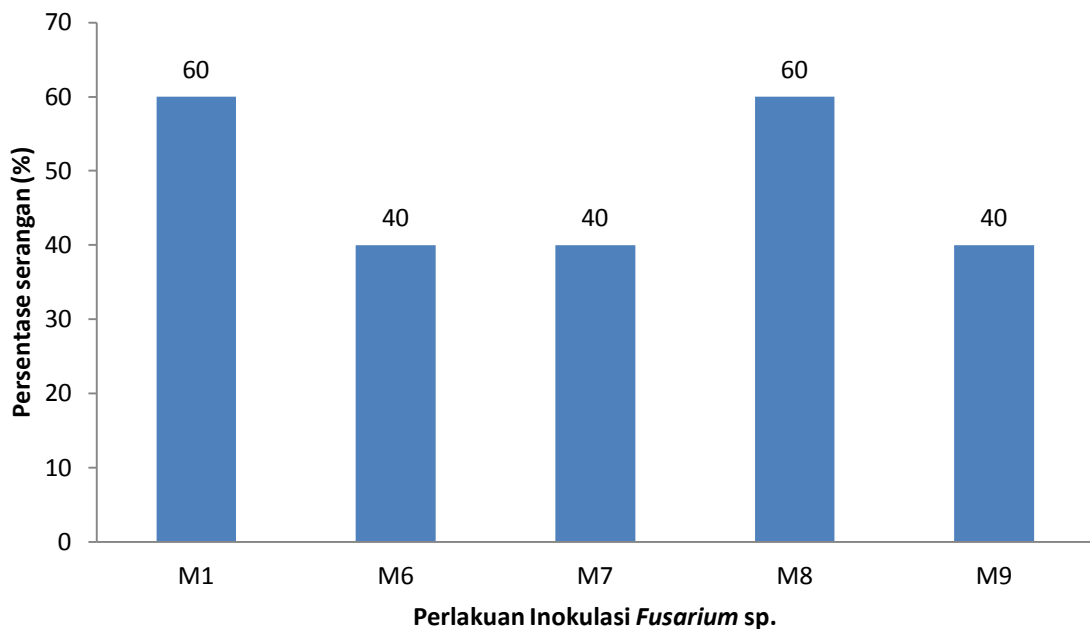


Gambar 5. Kenampakan gejala serangan tanaman pada daun:

- Ket: A = Bercak awal di bagian atas daun;
 B = Bercak di bagian daun pada tingkat lanjut dengan menyerupai garis sejajar dengan tulang daun;
 C = Gejala serangan pada level tinggi yang menyebabkan adanya bercak seperti kumparan perahu berwarna putih yang dikelilingi warna kuning kecoklatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua tanaman yang diberi perlakuan termasuk kontrol menimbulkan gejala penyakit pada fase vegetatif. Gejala luar yang diamati adalah pada daun, yaitu munculnya bercak daun yang berwarna kuning yang selanjutnya berkembang diikuti warna kecoklatan. Pada tanaman yang masih muda daun-daun yang baru saja membuka mempunyai bercak klorotis kecil-kecil seperti gambar 5A.

dan 5B. Bercak ini berkembang menjadi jalur yang sejajar seperti bergaris dengan tulang induk dan berkembang menuju pangkal daun (Gambar 5C). Hal ini diduga merupakan bentuk ekspresi tanaman akibat serangan dari patogen. Selanjutnya, pengamatan gejala dalam dilanjutkan diakhir penelitian, yaitu dengan mengamati bagian batang tanaman jagung yang diporong secara melintang. Hal ini dimaksudkan untuk mengamati seberapa jauh besarnya serangan *Fusarium* sp. yang menyebabkan busuk pangkal batang jagung. Semangun (2004) menyatakan bahwa jamur *Fusarium* sp. pada tanaman jagung menyebabkan busuk batang yang menyebabkan pembusukan pada leher akar atau ruas bawah dari akar. Selain mempunyai banyak tumbuhan inang diantara rumput-rumputan, *Fusarium* sp. dapat mempertahankan diri pada sisa-sisa tanaman sakit dan dapat hidup bertahun-tahun dalam tanah walaupun tanpa adanya tanaman inang.



Gambar 6. Pengaruh mikoriza terhadap persentase tanaman terinfeksi pada minggu ke-4

Hasil persentase serangan penyakit menjelaskan perbandingan antar perlakuan jenis mikoriza bahwa semakin besar persentase serangan penyakit, maka perlakuan mikoriza yang diberikan pada tanaman efektifitas ketahanan terhadap tanaman jagung rendah dan begitu juga sebaliknya. Pada gambar 6 menggambarkan hasil persentase serangan penyakit dari semua perlakuan yang diberikan pada tanaman jagung dengan inokulasi *Fusarium* sp. Jika dibandingkan antar perlakuan yang sama-sama diinokulasi *Fusarium* sp., bahwa M6, M7, dan M9 memberikan pengaruh yang baik dalam meningkatkan ketahanan tanaman jagung karena persentase serangan yang dihasilkan merupakan yang terendah, yaitu 40% dibanding M1 dan M8 yang memiliki persentase serangan penyakit paling tertinggi sebesar

60%. Artinya, pemberian *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, dan *Gigaspora* sp. mampu menurunkan besarnya persentase serangan penyakit *Fusarium* sp. pada tanaman jagung sebesar 20%.

Hal yang berbeda ditunjukkan pada perlakuan tanaman yang diberi jenis mikoriza yang tidak diinokulasi *Fusarium* sp. (tetapi penyebaran patogen *Fusarium* sp. oleh agen biotik) bahwa perlakuan M4 dan M0 juga memberikan persentase rendah sebesar 20% dibanding dengan M2, M3, dan M5 yang memiliki persentase lebih besar, yaitu 40%. Hal ini terjadi karena pada awalnya patogen memang tidak diinokulasi pada tanah, tetapi patogen yang menyerang tanaman tersebut menyebar karena dipengaruhi banyak faktor, seperti terbawa angin dan percikan hujan sehingga spora yang menyebar dari satu tanaman ke tanaman lain jumlah besarnya berbeda.

Cendawan *Fusarium* sp. membentuk sporangium yang berperan di dalam sebaran patogen terutama karena angin dan hujan. Walaupun pada awalnya tanaman jagung tidak diinokulasikan patogen *Fusarium* sp., tetapi tanaman yang diinokulasi patogen dan virulensinya tinggi maka menyebabkan tanaman menjadi lemah dan patogen *airborne* lain ikut menyerang tanaman yang rentan. Dengan kondisi lingkungan yang mendukung perkembangan patogen, seperti angin dan hujan menjadi salah satu penyebab menyebarnya patogen ke tanaman yang mulanya tidak diinokulasikan patogen. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa tanaman jagung yang tidak diinokulasikan patogen memiliki masa inkubasi penyakit yang lebih lama dibanding tanaman jagung yang diinokulasi patogen.

Hasil penelitian Marlina *et al.* (2010), menyatakan bahwa mikoriza mampu mengakumulasi asam salisilat di dalam tanaman cabai merah yang berperan sebagai sinyal penginduksi yang akan mengekspresikan gen pertahanan pertanaman berupa *pathogenesis-related* (PR)-*protein* yang berfungsi sebagai anti mikroba, mencegah multiplikasi, penyebaran virus, dan lokalisasi virus. Dengan demikian jelas bahwa jika dibandingkan perlakuan mikoriza antar inokulasi *Fusarium* sp., perlakuan M1 dan M8 memberikan hasil persentase serangan tertinggi dari perlakuan lain yang diberi mikoriza dengan inokulasi *Fusarium* sp., yaitu mencapai 60%. Tetapi, perlakuan M6, M7, dan M9 memiliki tingkat serangan yang lebih rendah, yaitu sebesar 40%. Artinya, pemberian mikoriza pada tanaman jagung dapat menurunkan persentase serangan penyakit busuk batang yang disebabkan oleh *Fusarium* sp. sebesar 20% dibanding tanaman tanpa diberi mikoriza.

3. Intensitas serangan penyakit

Hasil pengamatan pengaruh fungi mikoriza terhadap intensitas serangan penyakit diamati melalui gejala luar dan dalam tanaman jagung. Pengamatan serangan gejala dalam dilihat saat batang jagung dipotong secara melintang. Bagian tanaman yang diindikasikan terserang oleh *Fusarium* sp., yaitu batang mengalami pembusukan pada jaringannya dengan ditandai warna bewarna coklat kehitaman dan kerusakan jaringan xylem pada batang. Menurut Talanca (2007) yang menyatakan bahwa gejala umum yang tampak akibat serangan penyakit busuk batang oleh *Fusarium* sp. saat fase lanjut adalah bagian bawah batang jagung berwarna hijau kekuningan hingga berubah menjadi kecoklatan jika telah lanjut serangannya. Ruas paling bawah membusuk dan lembek, serta mudah dicabut, sehingga apabila ada angin tanaman mudah rebah.



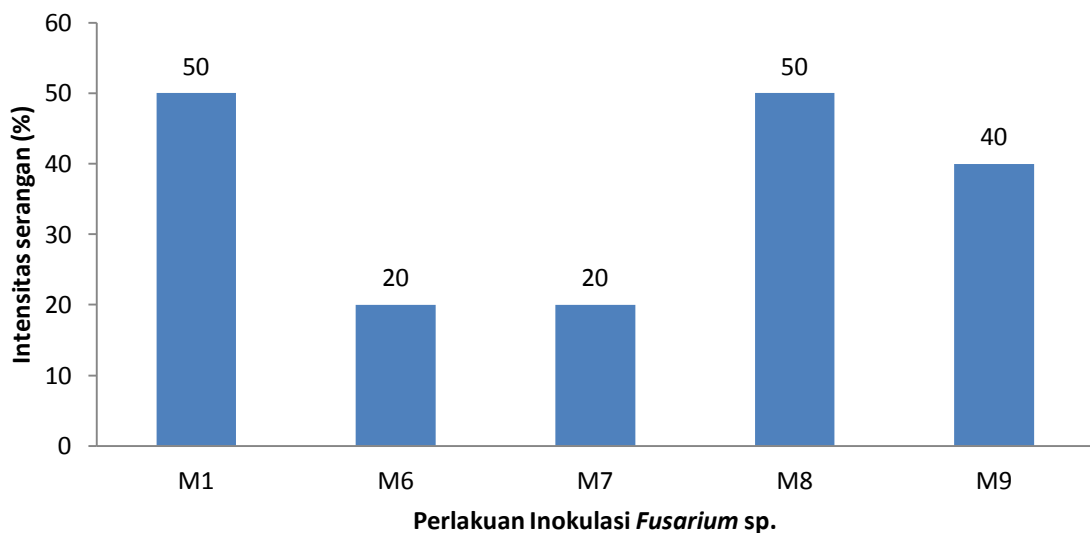
Gambar 7. Gejala dalam penyakit busuk batang jagung oleh *Fusarium* sp.

- Ket: A = Irisan pangkal batang jagung yang sehat.
 B = Irisan pangkal batang jagung yang sakit (lingkaran garis).
 C = Lingkaran batang jagung sehat secara mikroskopis.
 D = Lingkaran batang jagung sakit secara mikroskopis.

Pengamatan gejala dalam serangan penyakit terlihat pada irisan melintang batang jagung yang diberi perlakuan M8 (Gambar 7B) bahwa pangkal batang jagung mengalami kondisi pembusukan. Hal ini disebabkan karena tingkat virulensi patogen *Fusarium* sp. yang kuat menyebabkan mikoriza *Glomus* sp.3 tidak mampu meningkatkan resistensinya untuk menahan serangan patogen *Fusarium* sp. Jika dibandingkan dengan tanaman yang resisten terhadap *Fusarium* sp. (Gambar 7A) terlihat bahwa serangan patogen dihambat oleh mikoriza. Perlakuan dengan pemberian *Gigaspora* sp. yang diinokulasikan *Fusarium* sp. (M9), irisan pada tanaman jagung tampak sehat. Ketika diamati secara mikroskopis

(Gambar 7C dan 7D) terlihat sekali perbedaan bahwa irisan batang *Gigaspora* bagian xylem batang tidak terserang busuk batang, sedangkan *Glomus* sp.3 irisan batang mengalami gejala pembusukan meskipun tidak seluruh bagian batang terserang. Kenampakan warna coklat dan berlendir pada batang menjadi indikasi bahwa *Fusarium* sp. telah menyerang pada tingkat lanjut.

Hasil pengamatan intensitas serangan menunjukkan bahwa serangan busuk batang jagung (tingkat mulai parah) ditemukan pada tanaman yang diberi perlakuan mikoriza M8 dan M1. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan tanaman jagung yang diberi mikoriza *Glomus* sp.3 mengalami kerentanan penyakit busuk batang jagung oleh *Fusarium* sp. Sedangkan, sampel tanaman lain yang juga diberi mikoriza dengan pemberian inokulasi *Fusarium* sp. belum menunjukkan adanya serangan busuk batang jagung, tetapi telah menunjukkan adanya gejala serangan di bagian luar. Hal ini diduga bahwa perlakuan mikoriza jenis lainnya mampu menghambat infeksi di dalam jaringan tanaman.



Gambar 8. Pengaruh mikoriza terhadap intensitas serangan penyakit *Fusarium* sp. pada minggu ke-4

Hasil intensitas serangan penyakit menjelaskan perbandingan antar perlakuan jenis mikoriza bahwa semakin besar intensitas penyakit, maka perlakuan mikoriza yang diberikan pada tanaman efektifitas ketahanan terhadap tanaman jagung rendah dan begitu juga sebaliknya. Pada gambar 8 menggambarkan hasil intensitas serangan penyakit dari semua perlakuan pada tanaman. Jika dibandingkan antar perlakuan yang sama-sama diinokulasi *Fusarium* sp. bahwa M6 dan M7 memberikan pengaruh yang baik dalam meningkatkan ketahanan tanaman karena intensitas penyakit yang dihasilkan merupakan hasil terendah, yaitu 20% dibanding M1 dan M8 yang memiliki intensitas penyakit paling

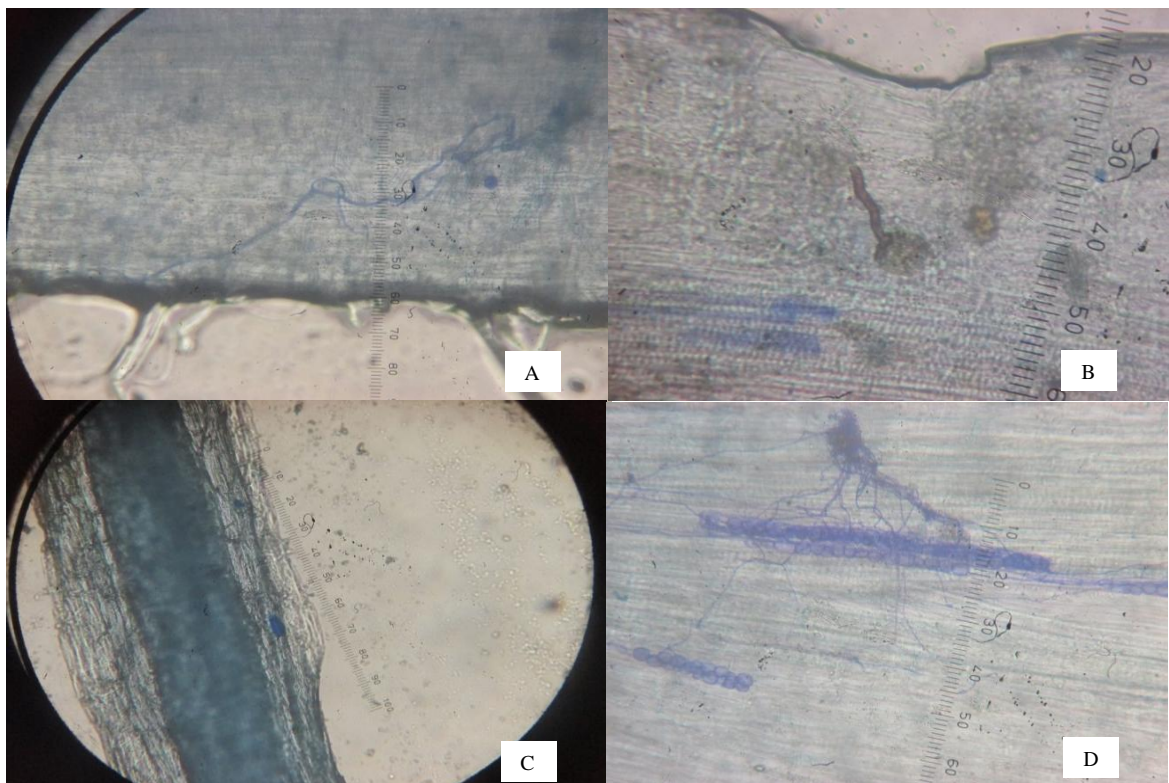
tertinggi sebesar 50%. Artinya, pemberian *Glomus* sp.1 dan *Glomus* sp.2 mampu menurunkan besarnya intensitas penyakit *Fusarium* sp. pada tanaman jagung sebesar 30%. Hasil ini didukung oleh pernyataan Talanca (2010), bahwa cendawan mikoriza dapat bersimbiose dengan akar tanaman inang, dan mempunyai pengaruh yang luas terhadap mikroorganisme yang bersifat patogen. Akar tanaman inang yang terinfeksi mikoriza mempunyai eksudat akar yang berbeda dengan eksudat akar yang tidak bermikoriza dan akar tanaman yang tidak terserang patogen. Perubahan eksudat akar tanaman inang ini mempengaruhi perubahan dalam rhizosfer yang mengakibatkan meningkatnya ketahanan dari serangan patogen. Ketahanan ini lebih meningkat karena adanya produksi antibiotik dari mikoriza.

Perlakuan tanpa inokulasi *Fusarium* sp. juga memiliki intensitas penyakit busuk batang walaupun penyebabnya tanpa disengaja karena kondisi biotik yang mendukung penyebaran patogen. Perbandingan intensitas penyakit tanaman jagung tanpa inokulasi *Fusarium* sp. melalui tanah bahwa M2, M3, dan M5 lebih tinggi dibanding M0 dan M4. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan pembandingan karena sumber penyakit yang ada merupakan hasil dari penularan patogen yang terserang dan penyebarannya tidak merata, sehingga M0 dan M4 memiliki intensitas penyakit yang lebih kecil dari perlakuan lain karena jumlah tanaman yang terserang *Fusarium* sp. melalui angin dan percikan hujan tidak merata dan tidak sama besar.

Menurut Hoffland *et al.* (1996) dalam Marlina (2010), induksi ketahanan sistemik terjadi karena adanya rangsangan FMA terhadap tanaman untuk menghasilkan dan mengakumulasi senyawa-senyawa seperti fitoaleksin, asam salisilat dan PR protein yang dapat menghambat penetrasi beberapa patogen secara sistemik. Hal ini diperkuat oleh Brundrett (1999) bahwa struktur FMA dapat berfungsi sebagai pelindung biologi terhadap patogen akar karena terdapatnya selaput tipis hifa sebagai penghalang masuknya patogen; mikoriza menggunakan hampir semua kelebihan karbohidrat dan eksudat lainnya sehingga tercipta lingkungan tidak sesuai untuk patogen; FMA dapat mengeluarkan antibiotik yang dapat mematikan atau menghambat pertumbuhan patogen. Suswati (2005) menambahkan bahwa kolonisasi mikoriza pada akar yang tinggi menyebabkan selaput tipis hifa eksternal yang berfungsi sebagai penghalang masuknya patogen. Kondisi tersebut tidak dapat atau sulit dipenetrasi oleh patogen karena patogen harus berkompetisi dengan FMA terlebih dahulu. Sehingga hal ini akan menghambat perkembangan patogen akar, sehingga memperkecil terjadinya infeksi.

4. Tingkat kolonisasi akar

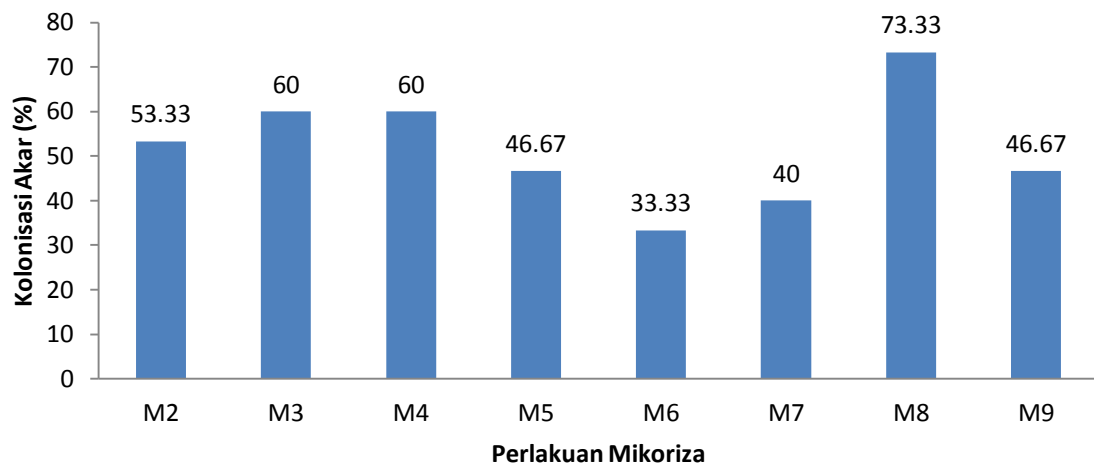
Hasil pengamatan yang dilakukan pada akar tanaman jagung yang diberi jenis mikoriza menunjukkan adanya hifa, vesikel, dan spora di dalam akar tanaman jagung (Gambar 9) yang diamati melalui pengamatan mikroskopis dengan menggunakan metode pewarnaan Kormanik dan Graw (1982) (Lampiran 3) yang menunjukkan adanya tanda infeksi mikoriza, kecuali tanaman kontrol yang diinokulasi maupun tanpa inokulasi *Fusarium* sp. Gambar 9A menunjukkan bentuk hifa mikoriza *Glomus* sp. yang memanjang dan bercabang dengan spora intraradikal di dalam akar tanaman jagung. Spora *Glomus* sp. mempunyai struktur relatif sederhana yang terbentuk pada ujung hifa, dengan dinding dapat berkembang menjadi lebih tebal dan mempunyai beberapa lapis. Fungi mikoriza pada gambar 9B dan 9C membentuk vesikel (seperti kapsul) dengan hifa yang memanjang di dalam akar tanaman. Vesikula berfungsi sebagai organ reproduktif atau organ tempat penyimpanan makanan (Suswati, 2005). Hifa mikoriza berkumpul membentuk koloni di dalam akar tanaman jagung (Gambar 9D).



Gambar 9. Pewarnaan fungi mikoriza yang mengkolonisasi jaringan akar tanaman jagung

- Ket: A=Hifa fungi mikoriza yang memanjang dan bercabang dengan spora intraradikal *Glomus* sp.
 B =Vesikel fungi mikoriza
 C =Vesikel berbentuk seperti kapsul dengan juluran hifa memanjang, dan
 D =Hifa mikoriza bergelembung dan bercabang-cabang membentuk koloni

Pada grafik persen kolonisasi akar (Gambar 10) bahwa persentase infeksi mikoriza tertinggi terdapat pada perlakuan M8 dengan tingkat kolonisasi akar tanaman mencapai 73,33% dan infeksi mikoriza terendah pada perlakuan M6 sebesar 33,33%. Tetapi, tanaman yang sama-sama tidak diinokulasi *Fusarium* sp. jika dibandingkan maka perlakuan M3 dan M4 memiliki tingkat kolonisasi akar yang tinggi sebesar 60% dan diikuti oleh M2 (53,33%) serta M5 (46,67%). Menurut Suharti *et al.* (2008) bahwa peningkatan kolonisasi akar tanaman jahe meningkat sejalan dengan meningkatnya umur tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa inokulum yang digunakan kompatibel, sehingga mampu membentuk arbuskular, vesikular, hifa internal dan hifa eksternal. Bagian tubuh mikoriza ini memiliki fungsi dalam penyerapan hara dan air, serta memberikan kebugaran tanaman.



Gambar 10. Pengaruh mikoriza terhadap tingkat kolonisasi akar tanaman jagung

Hasil persentase kolonisasi akar (Gambar 10) menurut Rajapakse dan Miller (1992) dalam Nusantara *et al.* (2012), bahwa perlakuan M8 mempunyai persentase sebesar 73,33% dan tergolong kelas 4, yaitu kategori kolonisasi tinggi (51-75%). Perlakuan M2 (53,33%), M3 (60%), dan M4 (60%) tergolong kategori yang sama. Sementara, perlakuan M6 tergolong paling rendah dari perlakuan jenis mikoriza lainnya, tetapi tergolong kategori kolonisasi kelas 3 berarti sedang (26-50%), yaitu 33,33% bersama dengan perlakuan M7 (40%), M9 dan M5 memiliki persen kolonisasi sama besar (46,67%). Tingkat kolonisasi mikoriza tertinggi pada akar tanaman yang ditunjukkan oleh *Glomus* sp.3 (73,33%), namun tidak menjamin bahwa jenis ini mampu menghasilkan pertumbuhan yang lebih baik dari perlakuan jenis mikoriza lainnya baik dari segi pertumbuhan tanaman maupun ketahanan tanaman jagung dari serangan patogen *Fusarium* sp. Morte *et al.* (2000) menyatakan kemampuan FMA untuk menunjang pertumbuhan dan kolonisasi akar,

bervariasi tergantung pada kesesuaian kombinasi fungi dan inang. Hal ini karena terjadinya perbedaan kemampuan FMA dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman disebabkan karena perbedaan kemampuan FMA mengkolonisasi perakaran dan perbedaan dalam penyerapan hara dan air.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Jenis mikoriza yang berhasil diisolasi dan diidentifikasi pada tanah pasca tambang batubara adalah genus *Glomus* dan *Gigaspora* dengan variasi tipe spora mikoriza yang berbeda, yaitu 3 tipe *Glomus* meliputi: *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, dan *Glomus* sp.3 dan 1 tipe *Gigaspora* (*Gigaspora* sp.).
2. Tanah sampel pasca tambang yang diberi perlakuan pupuk kandang dengan dosis 10 ton/ha yang telah ditanami jagung umur 2 minggu (T4) memiliki kepadatan spora mikoriza lebih tinggi (sebesar 244 spora/50g tanah) dengan karakter asal tanah yang memiliki kandungan N=0,08%, P=106,35 ppm, pH=5, dan suhu tanah=36°C.
3. Pemberian mikoriza asal tanah pasca tambang batubara mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung, yaitu tinggi tanaman terbaik pada minggu ke-3 oleh *Glomus* sp.1 (M6) sebesar 10,75%, berat kering tajuk oleh *Gigaspora* sp. (M5) sebesar 8,70%, berat basah akar oleh *Glomus* sp.1 (M6) sebesar 67,39%, dan berat kering akar oleh *Glomus* sp.2 (M3) sebesar 12,09%.
4. Pemberian mikoriza mampu menginduksi ketahanan tanaman jagung terhadap penyakit busuk batang *Fusarium* sp. Mikoriza *Gigaspora* sp. (M9) mampu menunda masa inkubasi penyakit 66,67%, mikoriza *Glomus* sp.1 (M6), *Glomus* sp.2 (M7), dan *Gigaspora* sp. (M9) mampu menurunkan persentase serangan penyakit sebesar 20%, dan *Glomus* sp.1 (M6) dan 2 (M7) mampu menurunkan intensitas penyakit sebesar 30%, serta *Glomus* sp.3 (M8) memiliki tingkat kolonisasi yang lebih tinggi (73,33%) dibanding perlakuan jenis mikoriza lainnya.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui potensi mikoriza asal tanah pasca tambang batubara dalam meningkatkan ketahanan terhadap serangan penyakit oleh *Fusarium* sp., perlu dilakukan uji kombinasi kedua mikoriza dan dosis pemberiannya yang berbeda terhadap tanaman jagung sehingga peran mikoriza dalam meningkatkan induksi ketahanan terhadap tanaman jagung menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwulan, R., Lisnawati, dan L. Lubis. 2013. Penggunaan cendawan mikoriza arbuskula (CMA) untuk mengendalikan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* dan nematoda *Radopholus similis* pada tanaman pisang barangan (*Musa paradisiaca* L.) di rumah kaca. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 2(1):340-348.
- A'yun, K.Q., T. Hadiastono, dan M. Martosudiro. 2013. Pengaruh penggunaan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) terhadap intensitas TMV (*Tobacco Mosaic Virus*), pertumbuhan, dan produksi pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal HPT* 1(1):47-57.
- Badan Pusat Statistik, 2013. Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai. http://www.bps.go.id/brs_file/aram_01jul13.pdf. Diakses 12 Juni 2014.
- Boland, G.J. 2004. Fungal viruses, hypovirulence, and biological control of sclerotinia species. *Can. J. Plant. Pathol.* 26:6-8.
- Burhanuddin, 2008. Penyakit busuk batang pada tanaman jagung, penyebab, gejala, penularan, tanaman inang, daerah sebaran, dan pengendaliannya.. *Pros. Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI PFI XIX Komisariat Daerah*. Sulawesi Selatan, 5 November 2008. Hal 187-192.
- Farida, R. 2011. Pengaruh Pemberian Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) dan Dosis Pupuk Kandang Ayam terhadap Pertumbuhan dan Produksi Jagung (*Zea mays* L.). Skripsi. Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 38 hal. (Dipublikasikan).
- Ginting, N., L. Musa, dan B. Sitorus. 2013. Efek interaksi pemberian silikat dan mikoriza pada andisol terhadap P-tersedia dan pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Online Agroekoteknologi* 2(1):294-302.
- Habazar, T. 2004. Aspek imunisasi dalam pengendalian penyakit tanaman secara hayati. Orasi ilmiah pada rapat senat terbuka Fakultas Pertanian. Universitas Andalas dalam rangka Dies Natalis ke-47. Tanggal 30 November 2004.
- Halis, P. Murni, dan A.B. Fitria. 2008. Pengaruh jenis dan dosis cendawan mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan cabai (*Capsicum annum* L.) pada tanah ultisol. *Jurnal Biospecies* 1(2): 59-62.
- Handayani, E. 2008. Respon Pertumbuhan dan Produksi Jagung (*Zea mays* L.) terhadap pemberian fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan Perbedaan Waktu Tanam. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan. 80 hal (Dipublikasikan).
- Hapsoh. 2008. Pemanfaatan fungi mikoriza arbuskula pada budidaya kedelai di lahan kering. Gelanggang Rapat Terbuka Universitas Sumatera Utara. 14 Juni 2008.
- Heil, M. and Richard M.B. 2002. Induced Systemic Resistance (ISR) against Pathogens in The Context of Induced Plants Defences. *Ann. Of Botany* 89(5):503-512

- Hermawan, B. 2011. Peningkatan kualitas lahan bekas tambang melalui revegetasi dan kesesuaiannya sebagai lahan pertanian tanaman pangan. *Pros. Seminar Nasional Budidaya Pertanian*. Bengkulu, 7 Juli 2011.
- Indriati, G., L.I. Ningsih, dan Rizki. 2013. Pengaruh pemberian fungi mikoriza multispora terhadap produksi tanaman jagung (*Zea mays* L.). Hal 323-327. *Pros. Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 2013.
- Indriyani, N.P., Mansyur, I. Susilawati, R.Z. Islami. 2011. Peningkatan produktivitas tanaman pakan melalui pemberian fungi mikoriza arbuskular (FMA). *Pastura* 1(1):27-30.
- Kastono, D. 2005. Tanggapan pertumbuhan dan hasil kedelai hitam terhadap penggunaan pupuk organik dan biopestisida gulma siam (*Chromolaena odorata*). *Jurnal Ilmu Pertanian* 12(2): 103-116.
- Kormanik, P.P. and A.C. Mc. Graw. 1982. Quantification vesicular-arbuskular mycorrhizal in plant root. In Schenk, N.C. (Ed.) 1982. Methods and principles of mycorrhizal research. University of Florida.
- Kuc, J. 2001. Concept and Direction of Induced Systemic Resistance in The Plant and Its Application. *European Journal of Plant Pathology* 11:171-196.
- Laiya, R., M.I. Bahua, dan Nurmi. 2013. Pertumbuhan dan produksi jagung hibrida melalui pemberian pupuk hayati. Kumpulan Abstrak. Forum Seminar Prodi S1 Agroteknologi, Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Ilmu Pertanian. Juli 2013.
- Lizawati, E. Kartika, Y. Alia, dan R. Handayani. 2014. Pengaruh pemberian kombinasi isolat fungi mikoriza arbuskula terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) yang ditanam pada tanah bekas tambang batubara. *Jurnal Biospecies* 7(1): 14-21.
- Margarettha, 2010. Pemanfaatan tanah bekas tambang batubara dengan pupuk hayati mikoriza sebagai media tanam jagung manis. *Jurnal Hidrolitan* 1(3): 1-10.
- Margarettha. 2011. Eksplorasi dan Identifikasi Mikoriza Indigen Asal Tanah Bekas Tambang Batu Bara. *Jurnal Berita Biologi* 10(5): 641-646.
- Marlina, Susanna, dan C.M.F. Kausa. 2010. Kemampuan fungi mikoriza arbuskula (FMA) dalam menekan perkembangan *Colletotrichum capsici* penyebab antraknosa pada cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Penelitian Universitas Jambi Seri Sains* 12(2):37-42.
- Misaghi, I.J. 1982. Physiology and biochemistry of plant pathogen interactions. Plenum, New York and London. pp: 144-187.
- Moelyohadi, Y., M.U. Harun, Munandar, R. Hayati, dan N. Gofar. 2012. Pemanfaatan berbagai jenis pupuk hayati pada budidaya tanaman jagung (*Zea mays* L.) efisien hara di lahan marginal. Universitas Sriwijaya. *Jurnal Lahan Suboptimal* 1(1):31-39.
- Morte, A., Lovisolo, C. and Schubert, A. 2000. Effect of drought stress on growth and water relations of mycorrhizal association *Helianthus almeriense Tervesia claveryi*. *Mycorriza J.* 10(3):115-119.
- Musfal. 2010. Potensi cendawan mikoriza arbuskula untuk meningkatkan hasil tanaman jagung. *Jurnal Litbang Pertanian*, 29(4): 154-158.

- Nelvia, A.T. Maryani, dan W.F. Muda. 2010. Aplikasi mikoriza dan fosfat alam pada medium gambut untuk meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman jarak pagar. Kumpulan Abstrak. Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR. 29-30 Juni 2010.
- Nugraheni, E.S. 2010. Karakterisasi Biologi Isolat-Isolat *Fusarium* sp. pada Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) Asal Boyolali. Skripsi. Jurusan Agronomi Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. 57 hal (Dipublikasikan).
- Nurbaity, A., D. Herdiyantoro, dan O. Mulyani. 2009. Pemanfaatan bahan organik sebagai bahan pembawa inokulan fungi mikoriza arbuskula. *Jurnal Biologi* XIII(1):7-11.
- Nurhalimah, S., S. Nurhatika, A. Muhibuddin. 2014. Eksplorasi mikoriza vesicular arbuskular (MVA) *Indigenous* pada tanah regosol di Pamekasan, Madura. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 3(1):30-34.
- Nurhayati, 2010. Pengaruh waktu pemberian mikoriza vesicular arbuskular pertumbuhan tomat. *J. Agrivigor* 9(3): 280-284.
- Nurhayati. 2012. Infektivitas mikoriza pada berbagai jenis tanaman inang dan beberapa jenis sumber inokulum. *Jurnal Floratek* 7:25-31.
- Nurhidayati, T., N. Jadid, dan S. Meridian. 2011. Aplikasi *Rhizobium* dan cendawan mikoriza arbuskula (CMA) terhadap pertumbuhan tanaman kacang tanah (*Arachis hypogea*) di Desa Socah Kecamatan Socah Kabupaten Bangkalan Madura. *Jurnal Berk. Panel Hayati* 17: 77-80.
- Nusantara, A.D., Rr.Y.H. Bertham, dan H.I. Mansur. 2012. Bekerja dengan Fungi Mikoriza Arbuskula. SEAMEO BIOTROP. IPB, Bogor.
- Pakki, S. 2005. Patogen tular benih *Fusarium* sp. dan *Aspergillus* sp. pada jagung serta pengendaliannya. *Pros. Seminar Nasional Jagung*, 2005. Balai Penelitian Tanaman Serealia. Hal 588-598.
- Panjaitan, A.C. 1999. Evaluasi *Fusarium oxysporum* Non-Patogenik untuk Induksi Resistensi Tanaman Tomat terhadap Penyebab Layu (*Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* Schlecht.). Skripsi. Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 38 hal. (Dipublikasikan).
- Prihatman, K. 2000. Budidaya Pertanian: Jagung (*Zea mays* L.). Sistem Informasi Manajemen Pembangunan di Perdesaan. <http://www.warintek.ristek.go.id/pertanian/jagung.pdf>. Diakses 12 Juni 2014.
- Purwanto, S. 2007. Perkembangan produksi dan kebijakan dalam peningkatan produksi jagung. Direktorat Budidaya Serealia, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. <http://203.176.181.70/bppi/lengkap/bpp10230.pdf>. Hal: 456-461. Diakses 31 Agustus 2014.
- Puspitasari, D., K.I. Purwani, dan A. Muhibuddin. 2012. Eksplorasi vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) indigenous pada lahan jagung di desa Torjun, Sampang Madura. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1:19-22.
- Rahmawaty. 2002. Restorasi lahan bekas tambang berdasarkan kaidah ekologi. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan. (Dipublikasikan).

- Rainiyati, Chozin, Sudarsono, dan Mansur. 2009. Pengujian efektivitas beberapa isolate cendawan mikoriza arbuskula (CMA) terhadap bibit pisang (*Musa AAB Raja Nangka*) asal kultur jaringan. *J.Berk Venel. Hayati*, 15: 63-69.
- Rao, S.N.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Schenk, N.C. dan Y. Perez. 1988. Manual for The Identification of VA Mycorrhizal Fungi. Editor University of Florida. USA.
- Semangun, H. 2004. Penyakit-Penyakit Tanaman Pangan di Indonesia. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Setiadi, Y. 2007. Bekerja dengan Mikoriza untuk Daerah Tropik. Workshop mikoriza. Kongres Mikoriza Indonesia II “Percepatan sosialisasi teknologi mikoriza untuk mendukung revitalisasi kehutanan, pertanian, dan perkebunan”. Bogor, 17-18 Juli 2007.
- Sigit. 2008. Uji Konsentrasi dan Waktu Inokulasi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman Tomat terhadap Penyakit Layu Fusarium. Skripsi. Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan Jurusan Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Bengkulu. 88 hal. (Tidak dipublikasikan).
- Sudjono. 1989. Penyakit-penyakit jagung. hlm: 23-71. *Dalam* Semangun, H. (eds.) 2004. Penyakit-Penyakit Tanaman Pangan di Indonesia. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Suharti, N., T. Habazar, N. Nasir, Dachryanus, dan Jamsari. 2008. Inokulasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) indigenus pada bibit jahe untuk pengendalian penyakit layu *Ralstonia solanacearum* ras 4. *Jurnal Natur Indonesia* 14(1):61-67.
- Suharti, N., T. Habazar, N. Nasir, Dachryanus, dan Jamsari. 2011. Induksi ketahanan tanaman jahe terhadap penyakit layu *Ralstonia solanacearum* ras 4. menggunakan fungi mikoriza arbuskular (FMA) indigenus. *Jurnal HPT Tropika* 11(1):102-111.
- Suswati. 2005. Respon Fisiologis Tanaman Pisang Dengan Introduksi Fungi CMA Arbuskular indigenus terhadap Penyakit Darah Bakteri (*Ralstonia solanacearum* Phylotype IV). Universitas Andalas. Padang.
- Suswati, Nasir, dan Azwana. 2013. Peningkatan ketahanan pisang barangan terhadap *blood disease bacterium* (BDB) dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskular indigenus. *Jurnal HPT. Tropika* 13(1):96-104.
- Sutanto, R. 2002. Penerapan Pertanian Organik : Pemasyarakatan dan Pengembangannya. Kanisius, Yogyakarta.
- Talanca, A.H dan A.M. Adnan. 2005. Mikoriza dan manfaatnya pada tanaman. *Pros. Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI dan PFI XVI Komda*. Sulawesi Selatan, 2005. Hal: 311-315.
- Talanca, A.H. 2007. Penyakit busuk batang jagung (*Fusarium* sp.) dan pengendaliannya. *Pros. Seminar Ilmiah dan Pertemuan Tahunan PEI dan PFI XVIII Komda*. Sulawesi Selatan. Hal: 75-79.

- Talanca, H. 2010. Status cendawan mikoriza vesicular-arbuskular (MVA) pada tanaman. *Pros. Pekan Serealia Nasional, 2010*. Hal: 353-357.
- Tangendjaja, B. dan E. Wina. 2007. Limbah tanaman dan produk samping industri jagung untuk pakan. Balai Penelitian Ternak, Bogor. <http://balitsereal.litbang.deptan.go.id/ind/images/stories/duadua.pdf>. Diakses 31 Agustus 2014. Hal: 427-455.
- Taufik, M., A. Rahman, A. Wahab, dan S.H. Hidayat. 2010. Mekanisme ketahanan terinduksi oleh *plant growth promotting Rhizobacteria* (PGPR) pada tanaman cabai terinfeksi *cucumber mosaic virus* (CMV). *J.Hort* 20(3): 274-283.
- Ulfa, M., A. Kurniawan, Sumardi, dan I. Sitepu. 2011. Populasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) lokal pada lahan pasca tambang batubara. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 8(3): 301-309.
- Widyasunu, P., S. Atmodjo, dan M. Ardiansyah. 2010. Kajian Reklamasi Lahan Bekas Penambangan Batu dengan Aplikasi Pupuk Organik dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agronomika* 10(1):56-68.

LAMPPIRAN

Lampiran 1. Denah Penelitian

M3 U1	M2 U2	M5 U2	M8 U1	M2 U3	U ↑
M0 U5	M8 U5	M3 U2	M5 U5	M8 U5	
M2 U1	M9 U1	M4 U2	M0 U3	M2 U5	
M8 U4	M3 U3	M0 U4	M5 U1	M4 U1	
M7 U1	M6 U1	M9 U4	M2 U4	M0 U2	
M6 U2	M1 U5	M6 U5	M7 U3	M7 U4	
M7 U2	M9 U3	M7 U5	M5 U3	M0 U1	
M1 U4	M3 U4	M9 U2	M6 U4	M3 U5	
M4 U4	M5 U4	M4 U5	M8 U2	M1 U1	
M6 U3	M1 U3	M8 U3	M1 U2	M4 U3	

Keterangan:

- M0 : Tanpa inokulasi mikoriza dan tanpa patogen *Fusarium* sp. (Kontrol)
 M1 : Tanpa inokulasi mikoriza + *Fusarium* sp. (Kontrol Patogen)
 M2 : *Glomus* sp.1 + tanpa *Fusarium* sp.
 M3 : *Glomus* sp.2 + tanpa *Fusarium* sp.
 M4 : *Glomus* sp.3 + tanpa *Fusarium* sp.
 M5 : *Gigaspora* sp. + tanpa *Fusarium* sp.
 M6 : *Glomus* sp.1 + *Fusarium* sp.
 M7 : *Glomus* sp.2 + *Fusarium* sp.
 M8 : *Glomus* sp.3 + *Fusarium* sp.
 M9 : *Gigaspora* sp. + *Fusarium* sp.

Lampiran 2. Langkah Kerja Metode Ekstraksi Mikoriza dari Tanah menurut Jenkins (1964)

1. Tanah 50 gram dimasukkan kedalam saringan 28 mesh lalu dicuci dengan air mengalir untuk membuang sisa kotoran.
2. Tanah yang terkumpul diletakkan ke dalam gelas piala dan disuspensi, kemudian diaduk hingga larutan homogen dengan air.
3. Kemudian, lakukan penyaringan dengan saringan 270 dan 400 mesh dan residu yang didapatkan dimasukkan ke dalam gelas ukur menggunakan air dalam labu semprot.
4. Residu dimasukkan dalam tabung sentrifuge untuk disentrifugasi sebanyak 40 ml selama 2 menit dengan kecepatan 2000 rpm.
5. Selanjutnya, resuspensi air gula 45% selama 2 menit. Setelah itu, tuangkan ke saringan 400 mesh dan bilas dengan air mengalir untuk membuang larutan gula.
6. Kemudian, lakukan pengumpulan residu yang ada untuk dituangkan ke gelas piala 250 ml dengan menggunakan air di dalam labu semprot.
7. Setelah itu, pengambilan suspensi menggunakan pipet 1000 μ dengan meletakkan ke gelas jam atau kertas untuk mengamati spora mikoriza pada mikroskop.

Lampiran 3. Langkah Kerja Metode Pewarnaan Kormanik dan McGraw (1982)

1. Akar tanaman jagung dibersihkan dari tanah dan kotoran dan dibilas dengan menggunakan air mengalir.
2. Akar kemudian dipotong-potong sepanjang 1 cm (minimal 15 akar/tanaman) dan dimasukkan ke dalam tabung film volume 25 ml.
3. Kemudian, tambahkan KOH 10% sebanyak 10 cc, lalu ditutup dengan aluminium foil dan di autoclave selama 15 menit dengan suhu 121°C bertekanan 2 atm hingga larutan berubah warna.
4. Larutan KOH dibuang, dan bilas dengan aquades steril sebanyak 3 kali.
5. Selanjutnya, masukkan HCl 1% dan kembali dipanaskan diatas pemanas (kompor) selama 5 menit. Lalu, sisa HCl dibuang.
6. Setelah itu, tambahkan *Lactofenol blue* 10 cc dan diamkan selama semalam hingga warna masuk ke dalam akar dan selanjutnya, diamati menggunakan mikroskop.

Lampiran 4. Analisis varians pengaruh fungi mikoriza terhadap waktu muncul bibit jagung

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	4.067	0.452	0.678 tn	0.725
Galat	50	33.333	0.667		
Total	59	37.400			

Keterangan: * = berbeda nyata pada uji F pada taraf 5%; dan tn = berbeda tidak nyata pada uji F pada taraf 5%

Lampiran 5. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman minggu ke-1

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	213.562	23.729	0.495 tn	0.869
Galat	40	1919.332	47.983		
Total	49	2132.894			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 6. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman minggu ke-2

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig
Mikoriza	9	376.473	41.830	0.550 tn	0.829
Galat	40	3041.700	76.042		
Total	49	3418.173			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 7. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman minggu ke-3

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig
Mikoriza	9	1140.665	126.741	1.236 *	0.301
Galat	40	4101.140	102.529		
Total	49	5241.805			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 8. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman minggu ke-4

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	428.241	47.582	0.678 tn	0.724
Galat	40	2807.524	70.188		
Total	49	3235.765			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 9. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap pertumbuhan tinggi tanaman minggu ke-5

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	399.721	44.413	0.691 tn	0.712
Galat	40	2569.288	64.232		
Total	49	2969.009			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 10. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap jumlah daun minggu ke-1

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	5.920	0.658	1.134 tn	0.362
Galat	40	23.200	0.580		
Total	49	29.120			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 11. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap jumlah daun minggu ke-2

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	4.720	0.524	0.832 tn	0.591
Galat	40	25.200	0.630		
Total	49	29.920			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 12. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap jumlah daun minggu ke-3

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	5.120	0.569	0.563 tn	0.819
Galat	40	40.400	1.010		
Total	49	45.520			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 13. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap jumlah daun minggu ke-4

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	3.280	0.364	0.492 tn	0.871
Galat	40	29.600	0.740		
Total	49	32.880			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 14. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap jumlah daun minggu ke-5

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	6.480	0.720	1.108 tn	0.380
Galat	40	26.000	0.650		
Total	49	32.480			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 15. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap berat basah tajuk tanaman

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	4842.500	538.056	0.887 tn	0.545
Galat	40	24270.000	606.750		
Total	49	29112.500			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 16. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap berat kering tajuk tanaman

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	1670.000	185.556	1.657 *	0.132
Galat	40	4480.000	112.000		
Total	49	6150.000			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 17. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap berat basah akar tanaman

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	14482.500	1609.167	1.133 *	0.363
Galat	40	56830.000	1420.750		
Total	49	71312.500			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Lampiran 18. Analisis keragaman pengaruh fungi mikoriza terhadap berat kering akar tanaman

SK	DB	JK	KT	F. Hit	Sig.
Mikoriza	9	9234.500	1026.056	1.247 *	0.295
Galat	40	32910.000	822.750		
Total	49	42144.500			

Keterangan. * : berbeda nyata pada taraf 5%, dan tn : tidak berbeda nyata pada taraf 5%