

**PENGARUH MIKORIZA DALAM MENEKAN INTENSITAS  
SERANGAN *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* PADA  
TANAMAN BAWANG PUTIH YANG DITANAM DI MEDIA  
PASIR KUARSA**

Oleh  
**DWI JULIANI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
MALANG  
2019**

**PENGARUH MIKORIZA DALAM MENEKAN INTENSITAS  
SERANGAN *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* PADA  
TANAMAN BAWANG PUTIH YANG DITANAM DI MEDIA  
PASIR KUARSA**

Oleh

**DWI JULIANI**

**155040201111084**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT PERLINDUNGAN TANAMAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana  
Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN HAMA DAN PENYAKIT TUMBUHAN  
MALANG  
2019**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

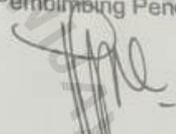
Malang, September 2019

Dwi Juliani



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Pengaruh Mikoriza dalam Menekan Intensitas Serangan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada Tanaman Bawang Putih yang Ditanam di Media Pasir Kuarsa  
Nama Mahasiswa : Dwi Juliani  
NIM : 155040201111084  
Jurusan : Hama dan Penyakit Tumbuhan  
Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui  
Pembimbing Utama, Pembimbing Pendamping II,  
   
Dr. Anton Muhibuddin SP., MP. Antok Wahyu S., SP., MP.  
NIP. 19771130 200501 1 002 NIP. 19841014 201903 1 004

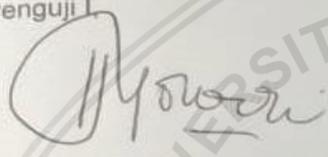
Diketahui,  
Ketua Jurusan  
  
Dr. Ir. Ludi Pantja Astuti, MS  
NIP. 19551018 198601 2 001

Tanggal Persetujuan : 27 SEP 2019

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan  
MAJELIS PENGUJI

Penguji I



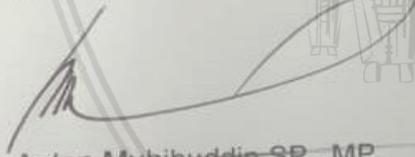
Prof. Ir. Liliek Sulistyowati, Ph.D  
NIP. 19551212 198003 2 003

Penguji II,



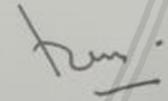
Antok Wahyu S., SP., MP.  
NIP. 19641014 201903 1 004

Penguji III,



Dr. Anton Muhibuddin SP., MP.  
NIP. 19771130 200501 1 002

Penguji IV



Dr. Ir. Ludji Pantja Astuti, MS  
NIP. 19551018 198601 2 001

Tanggal Lulus : 30 SEP 2019





*Skripsi ini saya persembahkan untuk  
Kedua Orangtua saya yang Tercinta dan Tersayang  
(Bapak Mujiono dan Ibu Sariyem)*

## RINGKASAN

**Dwi Juliani. 155040201111084. Pengaruh Mikoriza dalam Menekan Intensitas Serangan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada Tanaman Bawang Putih yang Ditanam di Media Pasir Kuarsa. Dibawah bimbingan Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP. dan Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.**

---

Pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan dengan meningkatkan ketahanan tanaman melalui aplikasi mikoriza. Mikoriza merupakan cendawan obligat, dimana kelangsungan hidupnya berasosiasi dengan akar tanaman melalui spora. Mikoriza sebagai agens pengendalian hayati dalam mengendalikan penyakit tanaman juga didukung oleh kemampuan dalam memacu pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh mikoriza pada media pasir kuarsa dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang putih serta ketahanan tanaman terhadap intensitas serangan penyakit *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*.

Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 5 perlakuan yaitu P0 (kontrol atau mikoriza 0 g), P1 (mikoriza 10 g), P2 (mikoriza 20 g), P3 (mikoriza 30 g) dan P4 (mikoriza 40 g). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak lima kali sehingga terdapat 25 unit percobaan. Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan analisis ragam ANOVA. Apabila hasil analisa berbeda nyata, maka dilanjutkan dengan uji lanjutan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf kesalahan 5% dan hasil kandungan senyawa total fenol di analisis menggunakan uji T *one sample test* dengan taraf kesalahan 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan mikoriza mempengaruhi pertumbuhan tanaman, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun dan diameter batang tanaman. Intensitas penyakit pada tanaman bawang putih dengan perlakuan mikoriza menunjukkan hasil intensitas serangan yang lebih rendah dibandingkan tanaman bawang putih tanpa mikoriza. Kandungan senyawa total fenol pada tanaman bawang putih mengalami peningkatan seiring dengan pemberian dosis mikoriza yang semakin meningkat.

## SUMMARY

**Dwi Juliani. 155040201111084. The Effect of Application Mycorrhizae in Attack Disease Intensity of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* in Garlic Planted in Quartz Sand Media. Under the guidance of Dr. Anton Muhibuddin, SP., MP. dan Antok Wahyu Sektiono, SP., MP.**

---

Control of plant diseases can be done by increasing plant resistance through mycorrhizal application. Mycorrhizae are obligate fungi, where their survival is associated with plant roots through spores. Mycorrhizae as biological control agents in controlling plant diseases are also supported by the ability to spur plant growth. This study aims to determine the effect of mycorrhiza on quartz sand media in increasing the growth of garlic plants dan plant resistance to the intensity of the attack of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*.

The research method used a Completely Randomized Design (CRD) consisting of 5 treatments namely P0 (control or 0 g mycorrhizal), P1 (10 g mycorrhizal), P2 (20 g mycorrhizal), P3 (30 g mycorrhizal) and P4 (40 g mycorrhizal). Each treatment was repeated five times so that there were 25 experimental units. Observation data were analyzed using ANOVA variance analysis at a 5% error level. If the results of the analysis are significantly different, then proceed with the Duncan Multiple Range Test (DMRT) test with a 5% error rate and a T test one sample.

The results showed that mycorrhizal treatment affected plant growth, including plant height, number of leaves and stem diameter of plants. The intensity of the disease in garlic plants with mycorrhizal treatment showed a lower intensity of attacks than garlic plants without mycorrhizae. The content of total phenol compounds in garlic plants increases with increasing mycorrhizal doses.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Mikoriza dalam Menekan Intensitas Serangan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada Tanaman Bawang Putih yang Ditanam di Media Pasir Kuarsa” ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Pertanian (S1) di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada Dr. Anton Muhibuddin, SP. MP. dan Bapak Antok Wahyu Sektiono, SP., MP., selaku Dosen Pembimbing Penelitian atas segala kesabaran, nasihat, arahan dan bimbingannya kepada penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr.Ir. Ludji Pantja Astuti, MS. selaku Ketua Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Universitas Brawijaya, beserta seluruh dosen atas bimbingan dan arahan yang selama ini diberikan serta kepada karyawan Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya atas fasilitas dan bantuan yang diberikan.

Penghargaan yang tulus penulis berikan kepada kedua orangtua dan kakak atas doa, cinta, kasih sayang, pengertian dan dukungan yang diberikan kepada penulis. Juga kepada rekan-rekan HPT serta sahabat atas bantuan, dukungan dan kebersamaan selama ini.

Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, 12 Agustus 2019

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Madiun pada tanggal 10 Juli 1996 sebagai putri kedua dari dua bersaudara dari Bapak Mujiono dan Ibu Sariyem.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 04 Nambangan Kidul pada tahun 2003-2009, kemudian penulis melanjutkan ke SMP Negeri 3 Madiun pada tahun 2009 hingga 2012. Pada tahun 2012 sampai tahun 2015 penulis studi di SMK Negeri 3 Madiun. Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah aktif mengikuti kegiatan magang kerja di PT. Kusuma Satria Dinasari Wisatajaya, Batu pada tahun 2018.



## DAFTAR ISI

RINGKASAN .....	i
SUMMARY .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
I. PENDAHULUAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Manfaat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Hipotesis .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Mikoriza .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Patogen <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Senyawa Fenol .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 Tanaman Bawang Putih .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Media Tanam .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III. METODE PENELITIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Tempat dan Waktu .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Alat dan Bahan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Rancangan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Persiapan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Pelaksanaan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6 Pengamatan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Analisa Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Identifikasi <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Mikoriza .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Intensitas Penyakit <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Pertumbuhan Vegetatif Tanaman .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



4.5 Masa Inkubasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* **Error! Bookmark not defined.**

4.6 Kandungan Total Fenol ..... **Error! Bookmark not defined.**

V. PENUTUP ..... **Error! Bookmark not defined.**

5.1 Kesimpulan ..... **Error! Bookmark not defined.**

5.2 Saran ..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA..... **Error! Bookmark not defined.**

LAMPIRAN ..... **Error! Bookmark not defined.**



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Morfologi <i>Gigaspora</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	Morfologi <i>Scutellospora</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	Morfologi <i>Glomus</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.	Morfologi <i>Sclerocyttis</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	Morfologi <i>Acalausporea</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.	Morfologi <i>Entrophospora</i> sp. ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.	Gejala Serangan <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> pada Tanaman Bawang Putih.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.	Senyawa Fenolik Sederhana.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.	Koloni <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.	Kenampakan Mikroskopis <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.	Mikoriza.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
12.	Gejala Serangan <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
13.	Tanaman Bawang Putih yang Diberikan Perlakuan pada Umur 9 MST .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
14.	Grafik Regresi Kadar Total Fenol.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

### Lampiran

Nomor	Teks	Halaman
1.	Pupuk Mikoriza.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	Denah Peletakkan Polybag .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



**DAFTAR TABEL**

Nomor	Teks	Halaman
1.	Rata-Rata Intensitas Penyakit <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.	Rata-Rata Tinggi Tanaman Bawang Putih <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
3.	Rata-Rata Jumlah Daun Tanaman Bawang Putih <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.	Rata-Rata Diameter Batang Tanaman Bawang Putih <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
5.	Rata-Rata Masa Inkubasi <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
6.	Kandungan Total Fenol Tanaman Bawang Putih <b>Error! Bookmark not defined.</b>	

**Lampiran**

Nomor	Teks	Halaman
1.	Analisis Ragam Tinggi Tanaman Bawang Putih 4-9 MST ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
2.	Analisis Ragam Jumlah Daun Tanaman Bawang Putih 4-9 MST ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
3.	Analisis Ragam Diameter Batang Tanaman Bawang Putih 4-9 MST <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.	Analisis Ragam Masa Inkubasi <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i> .... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
5.	Analisis Ragam Intensitas Penyakit Tanaman Bawang Putih 6-9 MST ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
6.	Uji T <i>One Sample Test</i> Senyawa Total Fenol <b>Error! Bookmark not defined.</b>	



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Serangan penyakit merupakan salah satu faktor yang dapat merugikan pertanian di Indonesia. Nugroho *et al.*, (2011) menyatakan bahwa penyakit busuk pangkal batang merupakan penyakit utama pada bawang yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*. Cendawan *Fusarium* sp. termasuk “soil inhabitant” yaitu parasit yang bersifat sebagai penghuni perakaran, yang menyebar dalam tanah tergantung pada jaringan inangnya dengan kisaran inang yang terbatas (Garret, 1970). Serangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dapat menyebabkan kehilangan hasil panen bawang putih hingga 50% (Wiyatiningsih, 2003) dan dapat menyebabkan kerusakan mencapai 75% pada umur 42 HST (Korlina *et al.*, 2000). Patogen busuk pangkal menyebabkan gejala daun mati dari ujung dengan cepat atau layu. Gejala pada umbi terserang patogen adalah umbi membusuk dan berwarna kuning coklat, umbi bawang putih menjadi lunak. Pada umbi yang busuk sering dijumpai tanda penyakit berupa miselium jamur yang berwarna putih.

Keberadaan penyakit busuk pangkal batang tersebut mendorong petani menggunakan fungisida yang berlebihan untuk mengendalikannya. Adiyoga *et al.* (1997), melaporkan bahwa 62-93% petani melakukan penyemprotan dengan campuran 2-4 jenis pestisida. Penggunaan fungisida yang berlebihan dapat memberikan ancaman terhadap keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia. Sehingga dibutuhkan alternatif pengendalian yang lebih efektif dalam mengendalikan patogen *F. oxysporum* f.sp. *cepae*. Alternatif yang dapat digunakan yaitu penggunaan mikroorganisme atau cendawan antagonis sebagai agens hayati.

Mikoriza merupakan cendawan obligat, dimana kelangsungan hidupnya berasosiasi dengan akar tanaman melalui spora (Haris, 2005). Manfaat penambahan mikoriza antara lain, mampu meningkatkan ketahanan terhadap penyakit dan pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik sehingga hasil yang didapat jauh lebih banyak. Kemampuan suatu agens pengendalian hayati dalam mengendalikan penyakit tanaman juga didukung oleh kemampuan dalam memacu pertumbuhan tanaman (Haris, 2005). Mikoriza mampu meningkatkan produksi hormon seperti auksin dan sitokinin yang digunakan dalam merangsang pertumbuhan tanaman (Khan dan Sharon 2009). Sehingga diharapkan dengan

pemberian mikoriza dapat digunakan dalam menghambat atau menekan intensitas serangan jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada tanaman bawang putih.

Media tanam adalah komponen utama bercocok tanam berisi suatu bahan atau media yang digunakan sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya akar tanaman (Wilkinson *et al.*, 2014). Pasir kuarsa merupakan pasir yang terbentuk melalui sedimentasi batuan metamorf yang tersebar luas di Indonesia. Pasir kuarsa dapat dijadikan sebagai media tanam akan tetapi membutuhkan bahan pendukung lain untuk meningkatkan kandungan nutrisi didalamnya. Diketahui bahwa pasir kuarsa merupakan lahan marjinal yang memiliki kandungan nutrisi rendah. Pupuk kompos yang diaplikasikan pada lahan pasir sangat berguna sebagai pembenah tanah karena kompos mengandung bahan organik. Bahan organik merupakan salah satu pembenah tanah yang memiliki manfaat dalam perbaikan sifat-sifat tanah baik sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Secara fisik memperbaiki struktur tanah, menentukan tingkat perkembangan struktur tanah dan berperan pada pembentukan agregat tanah (Tate, 1987). Penggunaan media pasir sebagai media tanam, dapat meningkatkan jumlah kolonisasi mikoriza. Berdasarkan kriteria jumlah kolonisasi, media pasir memperoleh kriteria sangat tinggi dengan perolehan sebesar 85,29% dibandingkan dengan media tanam cocopeat sebesar 16,39%, tanah 53,79% dan sekam 19,32% (Febriani *et al.*, 2017).

Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pemberian mikoriza pada media pasir kuarsa yang mengandung kompos AMB-P07 dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman serta menekan intensitas serangan jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* penyebab penyakit busuk pangkal pada tanaman bawang putih.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pemberian mikoriza pada media pasir kuarsa dalam menekan penyakit busuk pangkal *F. oxysporum* f.sp. *cepae*?
2. Bagaimana pengaruh pemberian mikoriza pada media pasir kuarsa terhadap pertumbuhan tanaman bawang putih?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui dosis aplikasi mikoriza yang potensial dalam menekan intensitas serangan jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* yang merupakan penyebab penyakit layu pada tanaman bawang putih.
2. Mengetahui dosis aplikasi mikoriza yang potensial terhadap pertumbuhan tanaman bawang putih pada media pasir kuarsa.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat mengetahui informasi tentang pengaruh pemberian mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman serta memberi informasi kepada masyarakat khususnya petani bahwa pemberian mikoriza dapat menjadi solusi dalam menekan penyakit busuk pangkal pada bawang putih.

### 1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dari penelitian ini adalah:

1. Pemberian dosis mikoriza sebanyak 40 g memberikan pengaruh yang lebih besar dalam menekan intensitas serangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada tanaman bawang putih.
2. Pemberian dosis mikoriza sebanyak 40 g dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang putih.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mikoriza

Mikoriza merupakan cendawan obligat, dimana kelangsungan hidupnya berasosiasi dengan akar tanaman melalui spora. Dalam siklus hidupnya, mikoriza bersimbiosis dengan akar tanaman tingkat tinggi. Simbiosis yang terjadi antara mikoriza dan tanaman adalah simbiosis mutualisme, dimana mikoriza memperoleh hasil fotosintat tanaman sebagai nutrisi dan tanaman mendapat tambahan serapan hara dan air.

#### 2.1.1 Tipe Mikoriza

Berdasarkan struktur dan cara fungi menginfeksi akar, menurut Brundrett *et al.* (2004), mikoriza dapat dikelompokkan ke dalam tiga tipe yaitu:

##### a. Ektomikoriza

Mikoriza mempunyai sifat antara lain akar yang terkena infeksi membesar, bercabang, rambut-rambut akar tidak ada, hifa menjorok ke luar dan berfungsi sebagai alat yang efektif dalam menyerap unsur hara dan air. Hifa tidak masuk ke dalam sel tetapi hanya berkembang diantara dinding-dinding sel jaringan korteks membentuk struktur seperti bulu-bulu akar.

##### a. Ektendomikoriza

Merupakan bentuk antara (intermediet) dengan ektomikoriza dan endomikoriza. Fungi ini memiliki karakteristik antara lain adanya selubung akar yang tipis. Hifa dapat menginfeksi dinding sel korteks dan juga sel-sel korteksnya, dan penyebarannya terbatas di dalam tanah-tanah hutan.

##### b. Endomikoriza

Fungi yang mempunyai sifat-sifat antara lain akar yang terkena infeksi tidak membesar, lapisan hifa pada permukaan akar tipis, hifa masuk ke dalam individu sel jaringan korteks. Adanya bentukan khusus yang berbentuk oval yang disebut vesikular dan sistem percabangan hifa yang dichotomous yang arbuskular. Salah satu jenis endomikoriza yang banyak terdapat di alam adalah Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA).

#### 2.1.2 Klasifikasi Fungi Mikoriza

Klasifikasi adalah pengelompokan makhluk hidup berdasarkan persamaan dan perbedaan morfologi, anatomi, fisiologi, habitat, dan distribusi. Ilmu klasifikasi juga disebut dengan Taksonomi. Klasifikasi FMA merupakan salah satu tipe fungi endomikoriza yang masuk dalam kelas zygomycetes dengan ordo Glomales. Ordo

Glomales terdiri dari dua sub ordo yaitu: (1) sub ordo Gigasporineae famili Gigasporaceae dengan dua genus Gigaspora dan Scutellospora, (2) sub ordo Glomineae dan terdiri dari dua famili yaitu Glomaceae dengan genus Sclerocity dan Glomus, famili Acaolsporaceae dengan genus Acaulospora dan Entrosphospora. Tipe FMA dikenal enam genus yaitu:

### 1. Famili Gigasporaceae

Famili Gigasporacea terbagai menjadi dua genus yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda, yaitu genus Gigaspora dan genus Scutellospora.

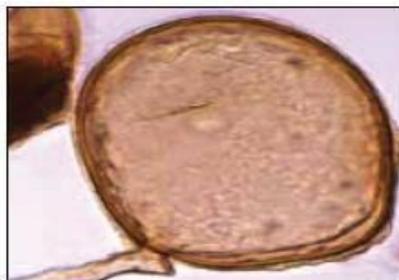
**Genus *Gigaspora*.** *Gigaspora* memiliki bentuk bulat dan permukaan dinding spora relatif kasar (Gambar 1). Perkembangan spora *Gigaspora* tidak langsung dari hifa. Pertama-tama ujung hifa (*subtending hyphae*) membulat yang dinamakan *bulbous suspensor*. Di atas *bulbous suspensor* ini timbul bulatan kecil yang semakin lama semakin besar dan mencapai ukuran maksimum yang akhirnya menjadi spora. Spora ini disebut azygospora.



Gambar 1. Morfologi *Gigaspora* sp. (Brundrett *et al.*, 2004)

Genus ini memiliki ciri khas yaitu spora yang dihasilkan secara tunggal di dalam tanah, tidak memiliki dinding spora dalam, terdapat *bulbous suspensor*, berbentuk globous atau sub globous, dan berwarna krem hingga kuning.

**Genus *Scutellospora*.** *Scutellospora* sp. adalah genus mikoriza yang termasuk dalam family *Gigasporaceae*, genus ini memiliki beberapa ciri khas antara lain, spora dengan atau tanpa hiasan, spora terdiri dari dinding spora yang fleksibel, ukuran spora berbentuk ovoid, obovoid, pyriformis atau irregular (Gambar 2).



Gambar 2. Morfologi *Scutellospora* sp. (Bihari dan Gupta, 2013)

## 2. Famili Glomaceae

**Genus *Glomales*.** Ciri khas dari genus ini yaitu terdapat hypical attachment yang khas yang tidak ditemukan pada genus lainnya. Genus ini berbentuk globous, sub globous, ovoid, dan obovoid, berwarna kuning, merah kecoklatan, coklat, dan hitam (Gambar 3). Genus ini dapat berkembang baik pada pH kurang dari 5 hingga netral.



Gambar 3. Morfologi *Glomus* sp. (Debnath *et al.*, 2015)

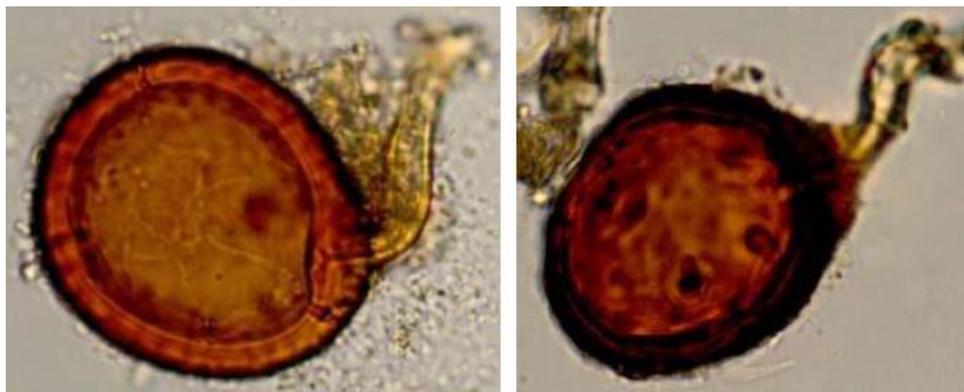
**Genus *Sclerocyttis*.** Genus ini memiliki ciri, bentuk oval, warna coklat tua dan memiliki bulbous, yaitu penyangga spora pada pangkal hifa (Gambar 4).



Gambar 4. Morfologi *Sclerocyttis* sp. (Debnath *et al.*, 2015)

## 3. Famili Acaulosporaceae

**Genus *Acaulospora*.** *Acaulospora* sp. Adalah genus mikoriza yang termasuk dalam family *Acaulosporaceae*. Genus ini memiliki beberapa ciri antara lain berbentuk globos hingga elips, berwarna bening, kuning, ataupun merah kekuningan, memiliki 2-3 dinding spora (Gambar 5). Genus ini lebih beradaptasi pada kondisi tanag asam dengan pH dari 5 hingga netral.



Gambar 5. Morfologi *Acalauspora* sp. (Debnath *et al.*, 2015)

**Genus *Enterospora*.** Genus *Enterospora* ini memiliki spora yang berbentuk bulat, warna cenderung coklat hingga kecoklatan, memiliki 2-3 dinding spora, warna dinding terluar terlihat lebih gelap (Gambar 6) (INVAM, 2013). Genus ini dapat berkembang baik pada pH kurang dari 5. Ciri khas dari Genus ini adalah sporanya berkembang dari tengah tengah *sporiferous saccule*, sehingga pada saat dewasa bekas *saccule* nya masih tertinggal di sporanya dan akan meninggalkan dua lubang kecil jika *saccule* nya lepas yang disebut *cycatric*.



Gambar 6. Morfologi *Entrophospora* sp. (INVAM, 2013)

### 2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Keberadaan Mikoriza

Keberadaan spora mikoriza dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan. Menurut Setiadi (2001), faktor lingkungan yang mempengaruhi antara lain:

#### a. Cahaya

Rendahnya jumlah produksi spora dan akar tanaman yang terinfeksi FMA dapat disebabkan oleh tingginya naungan pada tanaman inang. Naungan yang tinggi juga dapat menyebabkan berkurangnya respon tanaman terhadap fungi mikoriza. Hal ini disebabkan adanya hambatan pertumbuhan dan perkembangan internal hifa dalam akar yang berakibat terbatasnya perkembangan hifa pada rizosfer.

**b. Suhu**

Suhu dapat mempengaruhi perkembangan spora, penetrasi hifa pada sel akar dan perkembangan hifa pada korteks akar. Selain itu, suhu juga berpengaruh pada ketahanan dan simbiosis FMA. Semakin tinggi suhu semakin besar terbentuknya kolonisasi dan meningkatnya produksi spora. Suhu terbaik untuk perkembangan arbuskular adalah 30 °C, namun suhu optimum bagi pertumbuhan koloni adalah 28–34 °C, sedangkan optimum bagi perkembangan vesikula pada suhu 35 °C.

**c. Kandungan Air Tanah**

Kandungan air tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan serta infeksi fungi mikoriza terhadap akar tanaman. Perkecambahan paling baik pada kandungan air di antara kapasitas lapang dan kandungan air jenuh.

**d. pH Tanah**

Fungi mikoriza pada umumnya memiliki adaptasi yang baik pada perubahan pH tanah. pH tanah berpengaruh pada perkecambahan, perkembangan dan peran mikoriza terhadap pertumbuhan tanaman. pH optimum untuk perkembangan fungi mikoriza berbeda-beda tergantung pada adaptasi fungi mikoriza terhadap lingkungan. pH dapat mempengaruhi aktivitas kerja enzim yang berperan dalam perkecambahan spora fungi mikoriza.

**e. Bahan Organik**

Salah satu komponen yang menunjang dalam meningkatkan kesuburan tanah serta memperbaiki sifat-sifat tanah. Jumlah spora FMA berhubungan erat dengan kandungan bahan organik dalam tanah. Pada tanah-tanah yang memiliki kadar bahan organik 1–2%, ditemukan mengandung spora maksimum sedangkan pada tanah-tanah berbahan organik kurang dari 0,5% kandungan spora sangat rendah.

**f. Tanaman Inang**

Fungi mikoriza arbuskular merupakan simbion obligat yang dalam siklus hidupnya membutuhkan tanaman inang sebagai tempat hidupnya. Tanaman inang merupakan sumber senyawa karbon yang merupakan nutrisi bagi FMA. Kondisi fisik tanaman akan mempengaruhi perkembangan FMA, sehingga apabila kondisi tanaman terganggu (stress) baik akibat kekeringan maupun penyakit maka kondisi

FMA pun akan terganggu, yang dapat menyebabkan terputusnya asosiasi antara fungi dan tanaman yang selanjutnya dapat memicu sporulasi FMA.

#### **g. Mikroorganisme Lain**

Keberadaan mikroorganisme lain di dalam tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman inang, hal ini karena mikroorganisme di dalam tanah ada yang bersifat antagonis terhadap tanaman dan ada juga yang bersifat non-antagonis terhadap tanaman. Mikroorganisme yang bersifat antagonis akan menyerang tanaman inang dan menimbulkan gangguan fisik, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman inang dan mampu memicu sporulasi FMA. Namun mikroorganisme yang bersifat non-antagonis tidak menimbulkan gangguan fisik akan tetapi terkadang mikroorganisme tertentu dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman inang.

#### **2.1.4 Peran Mikoriza pada Tanaman**

Penambahan mikoriza pada budidaya tanaman memberikan manfaat yang tinggi. Penggunaan mikoriza mampu meningkatkan produksi tanaman pada lingkungan cekaman. Mikoriza berperan dalam memperbaiki kondisi lingkungan, hal ini dibuktikan pada penelitian Omon (2008), bahwa mikoriza mampu meningkatkan persentase hidup tanaman meranti merah yang digunakan pada rehabilitasi lahan hutan di Kalimantan Timur. Asosiasi mikoriza pada akar tanaman juga dapat meningkatkan pertumbuhan populasi organisme lain yang bermanfaat sehingga pertumbuhan tanaman lebih cepat, karena meningkatnya status nutrisi bagi tanaman. Dengan meningkatnya status nutrisi, maka pertumbuhan tanaman juga meningkat sehingga meningkatkan pula resistensi tanaman terhadap serangan patogen. Asosiasi mikoriza pada akar tanaman juga memberikan perlindungan terhadap serangan patogen karena akar tanaman terselubungi hifa mikoriza (mantel) (Prayudyaningsih, 2012). Asosiasi antara tanaman inang dengan mikoriza juga akan diperoleh beberapa manfaat, antara lain:

##### **a. Meningkatkan Penyerapan Unsur Hara**

Pertumbuhan tanaman yang terinfeksi mikoriza relatif lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang tidak terinfeksi mikoriza. Hal ini disebabkan karena tanaman yang terinfeksi mikoriza mempunyai kemampuan menyerap unsur hara lebih tinggi daripada tanaman tanpa mikoriza (Wilarso, 1990). Akar tanaman pada umumnya mengambil unsur hara terbatas pada bentuk yang dapat diserap oleh akar, tetapi akar yang bermikoriza dapat mengambil unsur hara selain

yang dapat diserap oleh akar, juga dalam bentuk yang tidak dapat diserap oleh akar biasa (Fakuara dan Setiadi, 1986). Nahumara (1980) menyatakan bahwa mikoriza dapat menyerap dan mengumpulkan Nitrogen, Fosfor, Kalsium dan Kalium dalam mantel lebih cepat dan menyimpannya dalam periode waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza. Mekanisme peningkatan absorpsi unsur hara dan air pada tumbuhan yang bersimbiosis dengan mikoriza pada dasarnya adalah bertambahnya luas permukaan absorpsi dan meningkatnya volume daerah penyerapan oleh adanya hifa diluar permukaan akar serta kemampuan hifa yang lebih tinggi dalam mengabsorpsi nutrisi dibanding bulu akar (Abbot dan Robson, 1984).

#### **b. Tahan Terhadap Serangan Patogen Akar**

Akar tanaman yang bermikoriza akan terlindungi dari serangan patogen akar karena akar yang bermikoriza akan menjadi lebih keras sehingga lebih sulit ditembus oleh patogen. Selain itu secara kimiawi terlindungi karena mempunyai zat anti serangan patogen (Fakuara dan Setiadi, 1986). Asosiasi mikoriza tertentu dapat memberikan keuntungan bagi tanaman dengan mengurangi serangan patogen. Dengan adanya peningkatan ketahanan tanaman terhadap infeksi patogen dan parasit akar, yang pada dasarnya terdiri dari pehalang mekanis berupa mantel jamur yang menghambat penetrasi patogen. Kemampuan beberapa jamur mikoriza untuk memproduksi antibiotik dan fungistatik, merangsang tanaman inang untuk membentuk senyawa-senyawa inhibitor dan meningkatkan persaingan kebutuhan hidup di perakaran oleh adanya mikoriza (Chakravarty dan Chatapaul, 1988).

#### **c. Memperbaiki Struktur Tanah**

Hifa eksternal jamur mikoriza yang berkembang ke dalam tanah dapat mengikat partikel-partikel dan membentuk agregat sehingga jumlah partikel tanah yang teragregasi dapat sampai lima kali lebih banyak dibandingkan oleh tanah yang tidak bermikoriza (Sutton dan Sheppard, 1976). Mikoriza dapat meningkatkan struktur tanah dengan menyelimuti butir-butir tanah. Stabilitas agregat dapat ditingkatkan oleh adanya gel polisakarida yang dihasilkan oleh cendawan pembentuk mikoriza (Tisdall dan Odes, 1979).

#### **d. Meningkatkan Produksi Tanaman**

Jamur mikoriza memiliki potensi untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman karena miselium jamur ini mampu berperan sebagai

perpanjangan akar dalam menyerap nutrisi dan air yang tidak terjangkau oleh akar sehingga permukaan absorpsi akar bertambah luas (Mosse, 1981). Dengan adanya kemampuan yang dimiliki mikoriza untuk memperbaiki ketersediaan nutrisi bagi tanaman, terutama berhubungan dengan kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi pupuk P, menyebabkan keberadaan mikoriza menjadi diperlukan pada tanah yang bermasalah. Pada akar tanaman yang terinfeksi mikoriza akan terjadi peningkatan asam fosfatase yang akan mengkatalisis hidrolisis kompleks fosfor tidak larut dalam tanah, sehingga terjadilah peningkatan fosfor tersedia pada daerah tersebut. Sebagai akibatnya maka akan terjadi pula peningkatan produksi tanaman (Mosse, 1973; Holevas 1966).

#### **2.1.5 Komunikasi Akar dan Mikroba dalam Pembentukan Asosiasi Mikoriza Arbuskular**

Pembentukan simbiosis MA dimulai dengan kolonisasi akar oleh hifa yang berasal dari propagul fungi, spora aseksual atau akar bermikoriza. Selanjutnya diikuti dengan pembentukan apresorium sehingga hifa menembus korteks akar serta membentuk struktur yang disebut arbuskula. Sebelum terbentuknya kolonisasi telah diawali dengan “dialog” intensif antara akar dengan fungi MA tersebut melalui pertukaran sinyal kimiawi. Tanaman melepaskan senyawa gula dan asam amino, yang akan menstimulir fungi melepaskan senyawa fenol terutama flavonoid yang merupakan senyawa “kunci” pada sebagian besar interaksi mikroba tanaman. Flavonoid mempengaruhi pertumbuhan, diferensiasi dan kolonisasi hifa fungi MA pada akar (Steinkellner *et al.* 2007). Flavonoid juga dapat menunjukkan spesifisitas genus dan species pada fungi MA (Scervino *et al.*, 2006). Artinya suatu jenis atau genus fungi hanya akan bersimbiosis dengan *species* atau genus tumbuhan tertentu dan sebaliknya. Keberhasilan kolonisasi dipengaruhi oleh senyawa strigolakton yang merupakan turunan dari eksudat akar lakton (Akiyama *et al.*, 2005). Strigolakton tidak hanya berperan pada sistem percabangan hifa fungi tetapi juga merupakan senyawa kemoatraktan bagi fungi MA di rhizosfer.

Eksudat yang dikeluarkan oleh fungi MA juga akan mengundang komunitas mikroba lain di mikorizosfir (Tolijdaner *et al.*, 2007), dan beberapa bakteri yang berasosiasi dengan MA dapat memperbaiki kolonisasi mikoriza, percabangan akar dan senyawa-senyawa antifungal yang baik untuk melawan patogen (Hartmann *et al.*, 2009). Bakteri yang terlibat dalam pembentukan dan berfungsinya simbiosis mikoriza dikenal sebagai *mycorrhiza helper bacteria* (MHB). Keragaman MHB

pada mikorizosfir (lingkungan mikoriza) memiliki spesifikasi antara bakteri dengan fungi dan dengan tumbuhan inang (Frey-Klett *et al.* 2007). Beberapa jenis dapat memiliki fungsi ganda, berpengaruh baik terhadap asosiasi MA maupun terhadap tumbuhan. MHB menghasilkan senyawa pengatur tumbuh yang sekaligus akan membantu perkecambahan spora, pertumbuhan miselia, peningkatan percabangan akar menurunkan cekaman melalui detoksifikasi senyawa-senyawa merugikan serta menghambat pertumbuhan pesaing dan mikroba antagonis. Menurut Roesti *et al.* (2005), komunitas bakteri di mikorizosfir lebih dipengaruhi oleh MA daripada oleh tanaman inangnya. Simbiosis MA akan menjaga struktur komunitas mikroba tanah (Singh *et al.*, 2008) efek dari MHB akan lebih signifikan ketika tanaman menghadapi cekaman, dari kekeringan sampai kontaminasi logam berat seperti Pb, Zn, dan Cd (II).

#### **2.1.6 Komunikasi Akar Mikroba dengan Patogen Tular Tanah**

Tanaman memanfaatkan berbagai macam senyawa eksudat akar yang dihasilkannya untuk menarik mikroba yang menguntungkan dan untuk mengusir mikroba yang berbahaya (Bouwmeester *et al.* 2007). Namun demikian tidak jarang terjadi kesalahan dalam menarik mikroba, undangan ditujukan bagi mikroba menguntungkan tetapi yang datang adalah mikroba jahat. Misalnya kesalahan tanaman dalam “mengundang” mikoriza menggunakan senyawa strigolakton dan turunannya. Kesalahan dosis senyawa tersebut dalam jumlah yang terlalu rendah tidak akan dapat membentuk asosiasi mikoriza tetapi yang akan terjadi adalah asosiasi dengan patogen (Awad *et al.* 2006). Hal ini karena rhizosfir juga merupakan arena pertarungan infeksi (*infection court*) bagi berbagai patogen tanah, sekaligus suatu ladang pertarungan (*battle field*) dimana mikroflora dan mikrofauna berinteraksi dengan mikroba jahat golongan patogen dan mempengaruhi terjadinya infeksi oleh patogen (Raaijmakers *et al.* 2009). Asosiasi mutualisme antara tanaman dengan mikroba tanah, patogen juga memanfaatkan sinyal kimia dari eksudat yang dikeluarkan akar sebagai isyarat awal untuk mengenali inang dan menginfeksi. Sebelum terbentuk infeksi spora patogen umumnya datang ke rhizosfir tertarik oleh senyawa yang dikeluarkan oleh inangnya. Misalnya patogen pada tanaman kedelai *Phytophthora sojae* akan tertarik oleh senyawa daidzein dan genistein yang dihasilkan oleh akar kedelai (Bouwmeester *et al.* 2007). Zhuang *et al.*(2013) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh eksudat terhadap pertumbuhan dua varietas bit gula,

menunjukkan bahwa gen ikut mengatur dalam interaksi mikroba tanaman, sehingga akan mempengaruhi metabolisme oleh mikroba.

Pengaruh gen tanaman dapat bersifat negatif ketika eksudat akar membantu menentukan lokasi infeksi pada tanaman inang. Eksudat akar juga berperan untuk memberi sinyal antara parasit dengan tanaman inang yang mempengaruhi perkecambahan spora dan pembentukan haustorium parasit pada inangnya. Sebagian besar tanaman menghasilkan senyawa antimikroba baik untuk pertumbuhan ketika kondisi normal maupun untuk melawan serangan patogen. Formulasi senyawa antifungal yang disebut fitoantispin biasanya dihasilkan oleh tumbuhan yang sehat dan berperan sebagai penghalang terhadap hadirnya fungi patogen. Namun demikian terdapat senyawa lain yang disebut fitoaleksin adalah senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh tumbuhan ketika sudah terserang oleh patogen. Kedua senyawa tersebut dikenal sangat efektif untuk menghadapi berbagai macam serangan patogen (Widyawati, 2017).

#### **2.1.7 Mekanisme Mikoriza dalam Menghambat Patogen**

Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) dapat melakukan simbiosis atau asosiasi dengan akar tanaman dengan membentuk interaksi yang kompleks. Mikoriza dikenal sebagai cendawan tanah karena habitatnya berada di dalam tanah dan di area perakaran tanaman (rizosfer), sehingga disebut sebagai cendawan tanah atau cendawan akar. Keistimewaan cendawan ini adalah kemampuannya dalam membantu tanaman untuk menyerap unsur hara, terutama P (Syib'li, 2008). Mikoriza dapat bersimbiosis mutualistik dengan akar tanaman. Jenis mikoriza yang efektif biasanya mampu meningkatkan pengambilan unsur hara oleh tanaman, sehingga tanaman sama-sama memperoleh keuntungan dari simbiosis ini. Di sisi lain, cendawan dapat memenuhi kebutuhan hidupnya karena tersedianya karbohidrat dan lainnya dari tanaman inang (Buntan *et al.*, 1997). Suatu simbiosis terjadi apabila cendawan masuk ke dalam akar atau melakukan infeksi. Proses infeksi dimulai dengan perkecambahan spora di dalam tanah. Hifa yang tumbuh melakukan penetrasi ke akar dan berkembang di dalam korteks. Pada akar yang terinfeksi akan terbentuk arbuskula, vesikel intraseluler, hifa internal di antara sel-sel korteks, dan hifa eksternal. Penetrasi hifa dan perkembangannya biasanya terjadi pada bagian yang masih mengalami proses pertumbuhan dan hifa berkembang tanpa merusak sel (Clark, 1997). Mekanisme mikoriza dalam menghambat patogen antara lain:

### a. Mengubah Morfologi Akar dan Pertumbuhan Akar

Kolonisasi akar tanaman dengan mikoriza dapat mengubah morfologi akar tanaman yang mengarah ke peningkatan luas permukaan akar tanaman. Perubahan morfologi akar pada akhirnya akan memengaruhi respons tanaman terhadap organisme lain. Akar jamur yang bersimbiosis dengan mikoriza mempunyai lebih banyak cabang, sistem akar mengandung akar adventif yang lebih pendek, lebih bercabang, dengan diameter lebih besar dan panjang akar spesifik yang lebih rendah. Tanaman yang diinokulasi AM memiliki sistem vaskular yang kuat, yang memberikan kekuatan mekanik yang lebih besar untuk mengurangi efek patogen (Schonbeck, 1979).

### b. Meningkatkan Nutrisi Tanaman

Tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza mengandung konsentrasi fosfor yang lebih tinggi daripada tanaman non-mikoriza. Peningkatan nutrisi fosfor setelah kolonisasi AM dari akar kekurangan fosfor menghasilkan penurunan permeabilitas membran dan pengurangan eksudasi akar (Graham *et al.*, 1981). Penurunan mikoriza yang diinduksi dalam eksudasi akar telah berkorelasi dengan pengurangan penyakit yang ditularkan melalui tanah (Graham dan Menge, 1982), sementara peningkatan status gizi inang yang disebabkan oleh kolonisasi jamur AM dapat mempengaruhi perubahan kuantitatif eksudat akar (Linderman, 1985). Jamur AM telah terbukti menginduksi respon ketahanan yang disebabkan oleh tekanan lingkungan dalam pertumbuhan akar, eksudasi akar, penyerapan nutrisi dan fisiologi inang (Smith, 1988). Secara umum, infeksi jamur AM pada tanaman kekurangan unsur P mempengaruhi permeabilitas dan membran pola eksudasi dengan cara yang sama dengan pemupukan pada tanaman non-mikoriza. Kontribusi nyata untuk pengurangan penyakit akar adalah peningkatan serapan hara, terutama P dan mineral lainnya, karena simbiosis AM menghasilkan tanaman yang lebih kuat, sehingga tanaman menjadi lebih tahan atau toleran terhadap serangan patogen (Linderman, 1994).

### c. Perubahan Fisiologis dan Biokimia

Perubahan fisiologis dan biokimia yang disebabkan oleh jamur mikoriza pada tanaman inang umumnya mengurangi keparahan penyakit nematoda. Senyawa fenolik telah terbukti terbentuk setelah kolonisasi mikoriza (Sylvia dan Sinclair, 1983) dan dianggap berperan dalam ketahanan tanaman terhadap penyakit. Produksi fitoaleksin lebih besar pada akar mikoriza daripada pada akar

non-mikoriza (Mordani, 1987) dan fitoaleksin diyakini memainkan peran utama dalam sistem pertahanan tanaman terhadap patogen (Kaplan *et al.*, 1980). Peningkatan lignin dan fenol pada tanaman yang bersimbiosis dengan mikoriza diamati dan dikaitkan dengan pengurangan reproduksi nematoda. Peningkatan konsentrasi fenilalanin dan serin dalam akar tomat akibat inokulasi dengan jamur mikoriza telah diamati (Suresh, 1980). Kedua asam amino ini dikenal sebagai penghambat nematoda simpul-akar (Reddy, 1974). Suresh dan Bagyaraj (1984), melaporkan bahwa inokulasi mikoriza meningkatkan jumlah gula dan asam amino dalam jaringan tanaman yang mungkin berpengaruh untuk pengurangan infestasi nematoda.

#### **d. Persaingan Langsung dengan Patogen**

Jamur mikoriza dan patogen tanaman yang ditularkan melalui tanah menempati jaringan akar yang sama dan mungkin ada persaingan langsung untuk ruang jika kolonisasi terjadi pada waktu yang sama (Smith, 1988). Hubungan mikoriza dengan inang secara fundamental ditandai oleh perkembangan arbuskular dalam sel-sel kortikal akar (Dehn, 1982). Mikoriza dan mikroba patogenik kemungkinan besar bergantung pada tanaman seperti hasil fotosintat inang, nutrisi, tempat infeksi, dan ruang di dalam akar tanaman untuk kelangsungan hidup (Whipps, 2004) karenanya persaingan dapat terjadi untuk memperebutkan sumber daya antara patogen dan jamur mikoriza.

#### **e. Aktivasi Mekanisme Ketahanan Internal Tanaman oleh Mikoriza untuk Pengendalian Biologis Penyakit Tanaman**

Pada awal simbiosis mikoriza, pola molekuler terkait mikroba dari jamur diakui oleh sistem kekebalan bawaan tanaman yang mengarah ke respons imunitas yang dipicu molekuler terkait mikroba yang lemah serta aktivasi jarak jauh. Simbiosis mikoriza memunculkan produksi asam absisat yang secara sistemik dan diangkut ke jaringan tunas melalui xilem dan dapat memberikan respon pertahanan dinding sel yang prima. Dengan perkembangan arbuskular dalam sel-sel kortikal akar, peningkatan pasokan gula dan nutrisi mineral, khususnya fosfor memodulasi metabolisme akar. Modifikasi seperti itu pada akar mempengaruhi populasi mikoriza yang dapat memungkinkan pemilihan mikroba atau bakteri rizosfer peningkat pertumbuhan yang memetabolisme akar mikoriza mengeluarkan dan menyampaikan sinyal pada permukaan akar dan atau hifa mikoriza menghasilkan sinyal jarak jauh yang dapat meningkatkan pertahanan

yang bergantung pada asam jasmonat dan respon pertahanan yang bergantung pada etilen dan akhirnya memicu ketahanan dalam mikoriza tanaman (Cameron *et al.*, 2013). Mekanisme ketahanan secara umum, aplikasi agen penginduksi menyebabkan tanaman menjadi sensitif sehingga dapat merespon serangan patogen secara cepat. Perlakuan dengan agen penginduksi dapat mengakibatkan berbagai macam mekanisme ketahanan secara cepat, sedangkan pada tanaman rentan potensi ini laten atau tidak secara cepat diekspresikan untuk melawan patogen. Penurunan efek patologis dapat dianggap sebagai bukti adanya resistensi terinduksi (Hammerschmid *et al.*, 1984).

## **2.2 Patogen *Fusarium oxysporum f.sp. cepae***

### **2.2.1 Klasifikasi Jamur *Fusarium oxysporum f.sp. cepae***

Jamur *Fusarium* merupakan jamur penyebab penyakit busuk pangkal pada tanaman bawang putih. Penyakit busuk pangkal bawang telah menjadi penyakit yang merugikan dan mengancam pertanaman bawang putih. Penyakit busuk pangkal pada bawang biasanya disebabkan oleh patogen jamur *Fusarium oxysporum f.sp. cepae* (Hadiwiyono, 2004). Jamur *Fusarium* sp. diklasifikasikan ke dalam: kingdom Mycetozoa; divisi Mycota; kelas Zygomycetes; ordo Zygomycetales (Moniliales); famili Tuberculariaceae; genus *Fusarium*; spesies *Fusarium oxysporum* (Agrios, 1996).

### **2.2.2 Daur Hidup *Fusarium oxysporum f.sp. cepae***

*Fusarium* sp. mengalami fase patogenesis dan saprogenesis. Pada fase patogenesis, cendawan hidup sebagai parasit pada tanaman inang. Apabila tidak ada tanaman inang, patogen hidup di dalam tanah sebagai saprofit pada sisa tanaman dan masuk fase saprogenesis, yang dapat menjadi sumber inokulum untuk menimbulkan penyakit pada tanaman lain. Penyebarannya dapat terjadi melalui angin, air tanah, serta tanah terinfeksi dan terbawa oleh alat pertanian dan manusia (Alfizar, 2011).

### **2.2.3 Morfologi Jamur *Fusarium oxysporum f.sp. cepae***

Morfologi dari *F. oxysporum f.sp. cepae* yaitu memiliki struktur yang terdiri dari mikronidium dan makronidium. Permukaan koloni patogen berwarna ungu, bergerigi, permukaan kasar berserabut dan bergelombang. Di alam, jamur ini membentuk konidium. Konidiofor bercabang-cabang dan konidia berbentuk sabit, bertangkai kecil, sering kali berpasangan. Miselium terdapat di dalam sel

khususnya di dalam pembuluh dan juga membentuk miselium yang terdapat di antara sel-sel, yaitu di dalam kulit dan di jaringan parenkim terjadinya infeksi (Semangun, 2004). Pada medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) mula-mula miselium berwarna putih semakin tua warna menjadi krem atau kuning pucat. Dalam keadaan tertentu berwarna merah muda agak ungu. Koloni *Fusarium* biasanya berwarna merah muda sampai biru violet dengan bagian tengah koloni berwarna lebih gelap dibandingkan dengan bagian pinggir. Saat konidium terbentuk, tekstur koloni menjadi seperti wol atau kapas (Fran dan Cook, 1998). Karakteristik makroskopis dari jamur *F. oxysporum* adalah miselium yang tumbuh pada medium PDA berwarna putih, arah pertumbuhan miselium ke samping dan struktur miselium halus seperti kapas (Semangun, 2007).

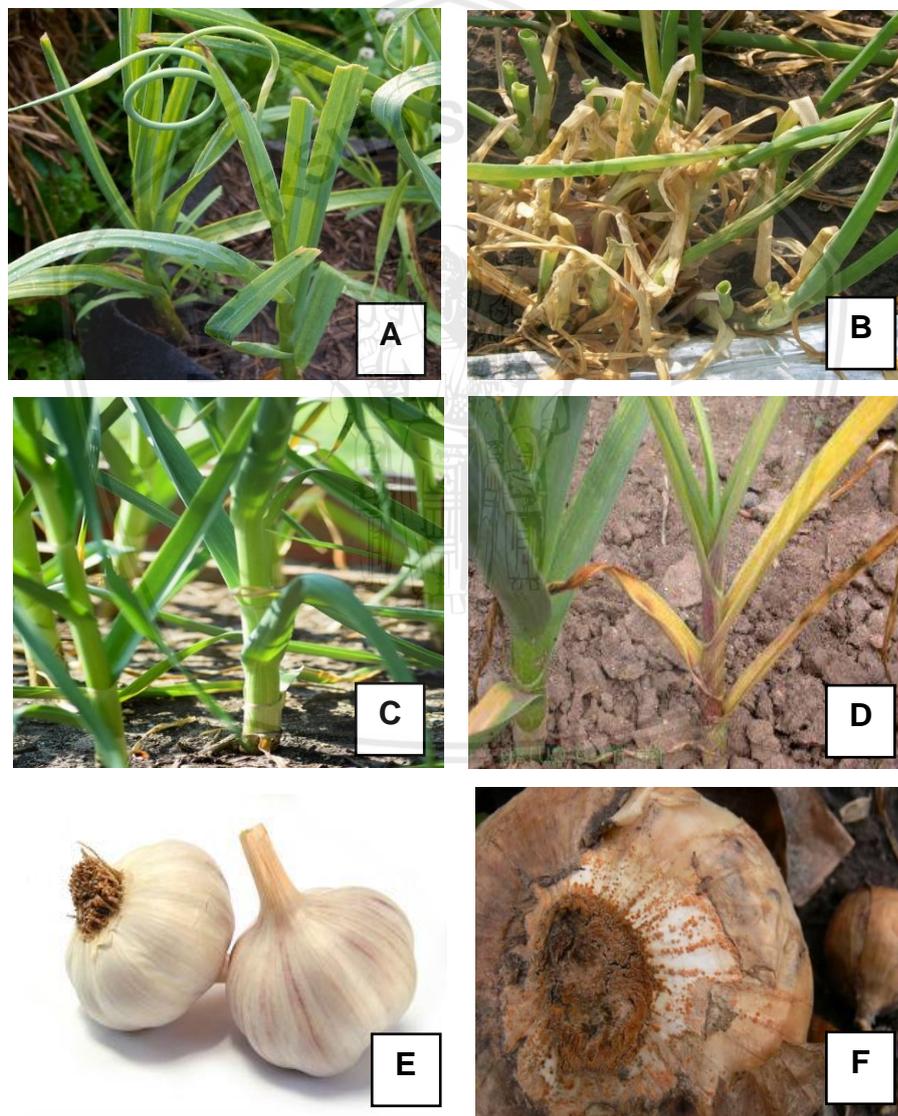
Temperatur optimum untuk pertumbuhan *F. oxysporum* berkisar antara 24 °C sampai 27 °C yang berpengaruh pada diameter koloni dan berat kering. Suhu tanah dapat menjadi faktor utama yang memberikan respon untuk perkembangan busuk pangkal bawang dalam kondisi lahan dipegunungan, yang umumnya dingin dalam sebagian stadium pertumbuhannya (Abawi dan Lorbeer, 1972). Sastrahidayat (2011), menyatakan bahwa perkembangan patogen dipengaruhi oleh suhu yang tinggi dan pH tanah yang rendah. Pada suhu 18 °C terjadi sedikit infeksi pada tanaman, pada suhu 25-28 °C patogen akan menjadi virulen sedangkan pada suhu 38°C patogen akan mati. Pada suhu tanah 25-30 °C spora akan berkecambah, sedangkan pada suhu yang lebih rendah proses perkecambahan akan terhambat.

Menurut Semangun (2007), mikroskopis *F. oxysporum* yaitu konidia berbentuk sabit, kebanyakan bersel 4, hialin dan berukuran 22-36 x 4-5 µm. Klamidosporanya bersel 1, jorong atau bulat, berukuran 7-13 x 7-8 µm, terbentuk di tengah atau pada makrokonidia dan sering kali berpasangan. Menurut Barnet dan Hunter (1972), konidiofor jamur ini ramping dan sederhana, pendek, bercabang tidak teratur. Konidia hialin, beberapa makrokonidia sedikit melengkung atau bengkok dan ujungnya meruncing. Biasanya mikrokonidia bersel 1, bulat telur atau lonjong. Beberapa konidia ada yang bersel 2 atau 3, lonjong dan sedikit melengkung.

#### **2.2.4 Gejala Serangan Jamur *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae***

Busuk pangkal bawang-bawangan yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* telah menjadi penyakit yang merugikan dan mengancam pertanaman bawang putih di Tawangmangu Karanganyar Jawa Tengah sehingga menjadi

kendala baru sejak musim tanam 2000. Menurut Fatawi *et al.* (2003), pada bawang putih, patogen busuk pangkal menyebabkan gejala daun mati dari ujung dengan cepat atau layu. Apabila tanaman dicabut terjadi pembusukan pada perakaran dan atau umbi terutama mulai dari pangkal umbi sehingga sesuai dengan gejalanya disebut penyakit busuk pangkal. Gejala pada umbi terserang patogen adalah umbi membusuk dan berwarna kuning coklat, umbi bawang putih menjadi “gembus”. Menurut Supriyadi *et al.* (2013), tanaman yang terinfeksi penyakit busuk pangkal batang menunjukkan gejala daun menguning mulai dari ujung daun hingga pangkal daun dan terpilin. Apabila tanaman dicabut, maka akan terlihat akar pada umbi membusuk. Pada serangan lanjut, tanaman akan rebah dan mati.



Gambar 7. Gejala Serangan *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* pada Tanaman Bawang Putih (a) Daun Sehat, (b) Daun yang Terserang, (c) Batang Sehat, (d) Batang yang Terserang, (e) Umbi sehat dan (f) Umbi yang Terserang (Jepson, 2008)

### 2.2.5 Faktor yang Mempengaruhi Penyakit Busuk Pangkal Batang

Faktor yang mempengaruhi perkembangan penyakit busuk pangkal fusarium antara lain temperatur, kelembaban tanah yang rendah, panjang hari yang pendek, intensitas cahaya yang rendah, nutrisi dan pH yang rendah. Sebagai bagian mikroorganisme yang hidup dan berkembang di dalam tanah, maka perkembangan populasi, penyebaran, daya tular serta daya tahan patogen tular tanah sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah (Otten dan Gilligan, 1998; Ownley *et al.*, 2003). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perkembangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* antara lain:

#### a. pH Tanah

Beberapa patogen tanah yang menyerang dapat berkembang dengan baik pada berbagai kisaran pH tanah. Misalnya *Fusarium oxysporum* yang menyerang tanaman jahe, akan berkembang pada pH tanah rendah (Soesanto *et al.*, 2005; Narisawa *et al.*, 2005). Patogen-patogen tersebut akan tertekan pada tanah-tanah dengan pH yang lebih tinggi, yaitu sekitar 6,3 dan 7,2. Hal ini karena pH tinggi menjadikan kondisi lingkungan tidak sesuai bagi perkembangannya, misalnya mengganggu proses terbentuknya zoospora sehingga mengurangi kemampuan patogen dalam menginfeksi tanaman (Porth *et al.*, 2003). Selain itu peningkatan pH tanah juga dapat menghambat perkecambahan patogen karena spora istirahat dari patogen tersebut akan dapat berkecambah dengan baik pada pH tanah yang rendah (Agrios, 1997).

#### b. Tekstur dan Pematatan Tanah

Kondisi tekstur tanah berpengaruh terhadap kesuburan dan kesehatan akar. Tanah dengan kadar liat tinggi juga memungkinkan terjadinya pematatan, yang akhirnya juga akan meningkatkan serangan penyakit (Wing *et al.*, 1995).

#### c. Bahan Organik

Bahan organik merangsang perkembangan mikrobia yang menghambat aktivitas jamur, termasuk jamur patogen penyebab penyakit. Peran bahan organik dalam menekan perkembangan patogen tidak hanya dengan meningkatkan aktivitas mikroba tanah, tetapi juga dengan meningkatkan kesehatan akar sehingga menjadikan tanaman lebih tahan terhadap penyakit (Manici *et al.*, 2005). Penambahan bahan organik yang berkadar N tinggi berpotensi untuk menekan patogen tular tanah dengan cara melepaskan hasil dekomposisi (*allelochemicals*) (Bailey dan Lazarovits, 2003). Menurunnya kandungan bahan organik dapat

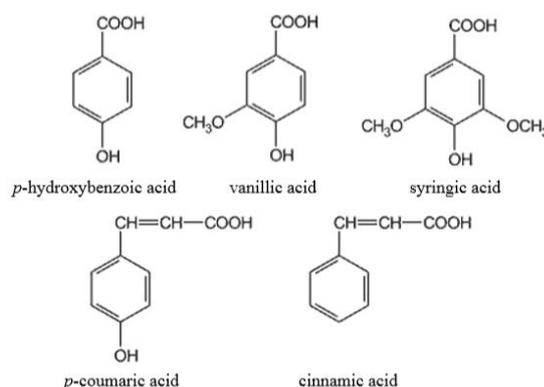
menghambat perkembangan mikroorganisme saprofit yang dapat berperan sebagai antagonis bagi patogen, sehingga yang banyak berkembang adalah mikroorganisme parasit seperti patogen tanaman.

#### d. Suhu Tanah

Pada umumnya perkembangan patogen tanah dihambat pada suhu tanah yang tinggi. Oleh karena itu strategi untuk menekan perkembangan patogen tanah adalah dengan menggunakan suhu tinggi. Contohnya adalah penggunaan metil bromida dengan teknik solarisasi, yaitu dengan menggunakan suhu yang sangat tinggi untuk membunuh jamur. Solarisasi merupakan metode yang paling efektif dalam membunuh patogen sasaran, karena mikroorganisme penekan seperti *Trichoderma* spp. masih bertahan (Pinkerton *et al.*, 2002).

### 2.3 Senyawa Fenol

Istilah fenolat tanaman merupakan metabolit sekunder tanaman yang beragam secara struktural. Kelompok ini mencakup metabolit yang berasal dari kondensasi unit asetat (terpenoid, flavonoid, isoflavonoid dan tanin). Terjadinya metabolisme zat fenolik pada tanaman adalah sebagai respon terhadap luka ataupun invasi oleh patogen (Ohri dan Pannu, 2010). Terjadinya akumulasi senyawa fenolik dapat meningkatkan enzim phenylalanine ammoniumlyase (PAL) dan mensintesis enzim kitinase yang secara fungsional berfungsi dalam sifat ketahanan tanaman (Shaul *et al.*, 2001). Komponen pada senyawa ini diketahui memiliki peranan penting sebagai antibakteri, antivirus, anti jamur dan lain-lain (Garg *et al.*, 2016). Senyawa fenolik biasanya dibagi menjadi dua kelompok yaitu fenol sederhana dan turunan yang lebih kompleks, sering mengandung beberapa cincin aromatik yang dihubungkan bersama. Kelompok fenol sederhana meliputi antara lain: asam p-hidroksibenzoat, asam o-hidroksibenzoat (asam salisilat), asam caffeic, asam galat, asam vanili, asam syringat, asam coumaric atau asam sinamat.



Gambar 8. Senyawa Fenolik Sederhana (Tomas-Barberan dan Espin, 2001)

Asam fenolik adalah metabolit sekunder yang tersebar luas ke seluruh kingdom tumbuhan. Senyawa fenolik memberikan rasa dan sifat mempromosikan kesehatan yang unik yang ditemukan dalam sayuran dan buah-buahan (Tomas-Barberan dan Espin, 2001). Oleh karena itu, meningkatkan kandungan fenolik pada tanaman ini dapat meningkatkan kualitasnya. Senyawa fenolik sangat penting untuk pertumbuhan dan reproduksi tanaman, dan diproduksi sebagai respons terhadap faktor lingkungan (cahaya, dingin, polusi dll) dan untuk mempertahankan tanaman yang terluka (Valentine *et al.*, 2003). Senyawa dan fungsi asam fenolik telah menjadi subjek dari sejumlah besar studi pertanian, biologi, kimia, dan medis. Senyawa ini membentuk kelompok beragam yang meliputi asam hidroksibenzoat dan hidroksisimatik yang tersebar luas. Senyawa asam hidroksisimatik (sering) diproduksi sebagai ester sederhana dengan glukosa atau asam hidroksi karboksilat. Senyawa fenolik tanaman beragam dalam struktur molekul, dan didanai dengan cincin aromatik terhidroksilasi (Mdanal *et al.*, 2010). Senyawa fenolik dikategorikan sebagai metabolit sekunder, dan fungsinya pada tanaman kurang dipahami. Senyawa fenolik di banyak tanaman dipolimerisasi menjadi molekul yang lebih besar seperti proanthocyanidins (PA; tannins terkondensasi) dan lignin. Selain itu, asam fenolat dapat muncul dalam tanaman makanan sebagai glikosida atau ester dengan senyawa alami lainnya seperti sterol, alkohol, glukosida, dan asam hidroksi lemak.

#### 2.4 Tanaman Bawang Putih

Bawang putih sebenarnya berasal dari Asia Tengah, diantaranya Cina dan Jepang yang beriklim subtropik. Bawang putih adalah tanaman semusim berumpun yang dapat tumbuh mencapai 60 cm. Tanaman ini banyak ditanam di ladang daerah pegunungan yang cukup mendapat sinar matahari (Syamsiah dan

Tajudin, 2003). Di Indonesia tanaman bawang putih dibudidayakan di dataran tinggi antara 1000-1600 mdpl, oleh karena itu areal untuk penanaman bawang putih sangat terbatas. Keragaman genetic bawang putih sangat sempit karena termasuk tanaman yang diperbanyak secara vegetatif. Varietas bawang putih yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah Lumbu Hijau, Lumbu Kuning dan Lumbu putih.

#### **2.4.1 Klasifikasi Tanaman Bawang Putih**

Adapun klasifikasi bawang putih tersebut adalah, divisi Spermatophyta; sub divisi Angiospermae; kelas Monocotyledonae; ordo Liliales; family Liliaceae; genus *Allium*; spesies *Allium sativum* L. (Syamsiah dan Tajudin, 2003).

#### **2.4.2 Morfologi Tanaman Bawang Putih**

Bawang putih (*Allium sativum* L.) adalah tanaman semusim berumpun yang dapat tumbuh mencapai sekitar 60 cm. Tanaman ini banyak ditanam di ladang-ladang di daerah pegunungan yang cukup mendapat sinar matahari (Syamsiah dan Tajudin, 2003). Adapun morfologi dari tanaman bawang putih (*Allium sativum* L.) sebagai berikut :

##### **1. Daun**

Berupa helai-helai seperti pita yang memanjang ke atas. Jumlah daun yang dimiliki oleh tiap tanamannya dapat mencapai 10 buah. Bentuk daun pipih rata, tidak berlubang, runcing di ujung atasnya dan agak melipat ke dalam.

##### **2. Batang**

Batangnya merupakan batang semu, panjang (bisa 30 cm) tersusun pelepah daun yang tipis, namun kuat.

##### **3. Akar**

Akar bawang putih terletak di batang pokok atau di bagian dasar umbi ataupun pangkal umbi yang berbentuk cakram. Sistem perakarannya akar serabut, pendek, menghujam ke tanah, mudah goyang dengan air dan angin berlebihan.

##### **4. Siung dan Umbi**

Di dekat pusat pokok bagian bawah, tepatnya diantara daun muda dekat pusat batang pokok, terdapat tunas, dan dari tunas inilah umbi-umbi kecil yang disebut siung muncul. Hampir semua daun muda yang berada di dekat pusat batang pokok memiliki umbi.

### 2.4.3 Syarat Tumbuh Tanaman Bawang Putih

Tanaman bawang putih pada mulanya hanya dikenal dapat ditanam dan tumbuh baik di dataran tinggi. Namun, kini telah dikenal pula varietas tanaman bawang putih yang dapat ditanam dan tumbuh baik di dataran rendah. Keadaan ekologi mempengaruhi pertumbuhan tanaman bawang putih. Oleh karena itu, lokasi usahatani bawang putih harus dipilih yang sesuai dengan syarat tumbuh tanaman bawang putih. Menurut Permadi *et al.*, (1992) faktor-faktor ekologi atau lingkungan yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

#### a. Ketinggian Tempat (Geografis)

Ketinggian tempat untuk budidaya bawang putih tergantung pada varietas. Bawang putih varietas dataran tinggi seperti Lumbu Hijau, sesuai ditanam di daerah yang memiliki ketinggian antara 600-1100 mdpl. Varietas Lumbu Kuning tumbuh dengan baik pada ketinggian 600-900 mdpl. Bawang putih dataran rendah sesuai ditanam di daerah yang memiliki ketinggian 700 mdpl seperti, varietas Lumbu Putih. Bawang putih varietas Bogor sesuai ditanam di daerah yang memiliki ketinggian 200-300 mdpl. Varietas bawang putih yang sesuai untuk ditanam di dataran tinggi tidak cocok apabila ditanam di dataran rendah begitu sebaliknya. Apabila varietas dataran tinggi ditanam di dataran rendah, maka tanaman tidak dapat berproduksi walaupun masih bias tumbuh. Ketinggian tempat sangat berpengaruh pada pertumbuhan tanaman karena sangat erat berkaitan dengan iklim setempat, seperti suhu, kelembapan, curah hujan dan keadaan penyinaran cahaya matahari. Setiap kenaikan 100 mdpl, keadaan suhu udara akan turun sebesar 0.5 °C, tetapi keadaan kelembapan udara, keadaan curah hujan dan intensitas cahaya matahari akan semakin meningkat.

#### b. Kemiringan tanah (Topografis)

Kemiringan tanah dapat menjadi faktor pembatas dalam budidaya pertanian. Pengaruh kemiringan tanah pada usaha budidaya tanaman terutama adalah pada biaya pembukaan lahan. Daerah yang topografinya miring harus dibuat teras-teras dan tanggul agar mudah ditanami dan tanaman dapat tumbuh dengan baik. Pembuatan teras dan tanggul bertujuan untuk mencegah erosi lahan. Lahan yang terkena erosi dapat merusak tanaman, baik pada tanaman yang berada di tanah yang tererosi maupun tanah yang berada di bawahnya. Di samping itu, tanah yang terkena erosi akan menjadi gersang karena unsur hara yang terkandung dalam tanah ikut terbawa aliran air. Keadaan tanah yang miring pada umumnya banyak

dijumpai di dataran tinggi. Penanaman yang dilakukan pada tanah yang miring harus memperhitungkan derajat kemiringannya. Keadaan topografi tanah dengan derajat kemiringan lebih dari 30% sangat tidak sesuai untuk budidaya karena membutuhkan biaya yang mahal untuk mengolah dan tanaman tidak dapat tumbuh.

### c. Keadaan Tanah (Sifat Fisika, Kimia dan Biologis)

Sifat fisika tanah yang sesuai untuk budidaya bawang putih baik varietas dataran tinggi maupun rendah adalah jenis tanah yang bertekstur lempung berpasir. Tanah yang banyak mengandung pasir dapat menyebabkan umbi bawang putih cepat masak sebelum waktunya, kulit luar menjadi tipis, siung mudah mengalami pecah dan mudah rontok sehingga kualitas umbi menjadi rendah. Bawang putih yang ditanam pada jenis tanah yang kandungannya litany tinggi dapat menyebabkan perkembangan umbi lambat dan umbi yang dihasilkan berbentuk tidak normal. Sifat fisika tanah lainnya yang sesuai untuk bawang putih adalah tanah yang bertekstur remah (gembur) dan tanah yang mudah mengikat air (porous). Keadaan tanah yang remah memudahkan perakaran tanaman dalam menembus tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, perkembangan perakaran dan meningkatkan pembentukan umbi. Tanah yang gembur dan memiliki drainase yang baik dapat terhindar dari genangan air yang dapat menyebabkan kerusakan umbi (mudah busuk). Tanah yang gembur dapat mengurangi erosi sehingga unsur hara tidak ada yang hilang, selain itu tanah yang gembur memiliki sistem aerasi (peredaran udara dalam tanah) menjadi lancar sehingga ketersediaan oksigen di dalam tanah dapat mencukupi keperluan pernafasan akar dan kehidupan mikroorganisme tanah. Dengan demikian, bahan organik dalam tanah mudah terurai menjadi bahan yang dapat diserap (tersedia) bagi tanaman karena adanya mikroorganisme tanah.

Struktur tanah yang padat dan tidak mudah mengikat air dapat menyebabkan ketersediaan oksigen di dalam tanah tidak mencukupi bagi tanaman dan mikroorganisme dalam tanah. Struktur tanah yang padat tidak memiliki pori tanah sehingga oksigen tidak dapat masuk ke dalam tanah. Dengan demikian, pertumbuhan tanaman dapat terhambat. Di samping itu, struktur tanah yang padat menyebabkan perkembangan umbi terhambat sehingga umbi yang terbentuk kecil. Sifat kimia tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman dan pembentukan umbi adalah tanah yang memiliki pH antara 5.6-6.8. Tanaman bawang putih ditanam pada tanah yang nilai pH-nya dibawah 5.6 akan tumbuh kerdil. Keadaan

ini disebabkan oleh pengaruh garam alumunium yang larut didalamnya sehingga meracuni tanaman bawang putih. Jika kandungan pH tanah rendah maka diperlukan pengkapuran dengan dosis tertentu sesuai dengan nilai pH tanah. Keadaan biologis tanah yang sesuai untuk tanaman bawang putih adalah tanah yang banyak mengandung bahan organik dan banyak terdapat jasad renik tanah. Jasad renik tanah dapat membantu proses penguraian bahan organik tanah menjadi bahan yang dibutuhkan oleh tanaman. keadaan biologis tanah yang baik dapat membuat pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik sehingga umbi yang dihasilkan juga baik.

#### **d. Suhu dan Kelembaban Udara**

Varietas tanaman bawang putih dataran tinggi menghendaki suhu yang dingin dan sejuk untuk pertumbuhan dan pembentukan umbi. Bawang putih dataran tinggi tidak tahan terhadap suhu atau cuaca yang panas. Suhu yang sesuai untuk budidaya bawang putih dataran tinggi adalah berkisar antara 20-25 °C. suhu yang terlalu tinggi kisaran tersebut dapat menyebabkan pertumbuhan tunas terhenti atau umbi dalam keadaan dorman. Demikian pula, suhu yang terlalu rendah (di bawah 15 °C) dapat menyebabkan pertumbuhan tunas terhambat. Kisaran suhu tersebut dapat ditemukan pada daerah yang memiliki ketinggian 700-1100 mdpl. Sedangkan kelembapan udara yang sesuai untuk bawang putih dataran tinggi adalah sekitar 60-80%. Bawang putih dataran rendah sesuai ditanam di daerah yang bersuhu 27-30 °C karena bawang putih menghendaki cuaca sedikit panas. Kelembapan udara yang dikehendaki bawang putih dataran rendah adalah sekitar 50%. Keadaan suhu udara yang tinggi melebihi kisaran suhu tersebut menyebabkan pembentukan umbi terhambat, bahkan seringkali terjadi tanaman tidak dapat membentuk umbi. Perkembangan tunas vegetatif dalam siung juga menjadi lambat. Pada suhu udara rendah di bawah kisaran suhu optimalnya, tanaman bawang putih menjadi peka terserang penyakit frost. Kelembapan udara yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan tanaman mudah terserang penyakit cendawan (jamur) sehingga pertumbuhan tanaman terganggu.

#### **e. Curah Hujan**

Daerah yang memiliki curah hujan 1200-2400 mm/tahun sangat sesuai untuk pertumbuhan dan pembentukan umbi bawang putih. Curah hujan yang tinggi melebihi kisaran tersebut dapat menyebabkan kerusakan tanaman, terutama pada bagian daun, sehingga pertumbuhan terhambat dan bagian umbi mengalami

kerusakan. Genangan air akibat curah hujan yang tinggi menyebabkan umbi bawang putih membusuk. Curah hujan yang rendah juga dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman bawang putih terhambat karena tanah kekurangan air, terutama di daerah yang tidak terdapat irigasi teknis. Oleh sebab itu, penanaman bawang putih sebaiknya dilakukan pada musim kemarau antara bulan April dan Juni saat curah hujan tidak terlalu tinggi.

#### **f. Cahaya Matahari**

Cahaya matahari merupakan sumber energi yang digunakan tanaman untuk proses fotosintesis sehingga tanaman dapat membentuk bagian vegetatif tanaman (batang dan daun) serta bagian generatif (umbi). Pertumbuhan dan pembentukan umbi sangat dipengaruhi oleh panjang penyinaran cahaya matahari. Penyinaran cahaya matahari yang kurang dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman rendah karena proses fotosintesis tidak berjalan dengan baik sehingga hasil umbi rendah. Tanaman bawang putih memerlukan penyinaran cahaya matahari secara langsung sepanjang hari. Oleh karena itu, budidaya bawang putih tidak memerlukan tanaman pelindung sebagai peneduh.

#### **g. Angin**

Keadaan angin juga mempengaruhi pertumbuhan bawang putih dan pembentukan umbi. Angin yang kencang dapat mengakibatkan kerusakan tanaman yaitu roboh karena perakaran tanaman yang dangkal. Pengaruh angin secara tidak langsung terhadap pertumbuhan tanaman dan pembentukan umbi adalah mempengaruhi kondisi tanah. Di daerah yang sering diterpa angin kencang akan mempercepat evapotranspirasi yaitu penguapan air tanah dan penguapan air pada tanaman. Dengan demikian, tanaman bawang putih cepat mengalami kekurangan air karena tanah cepat mengering. Di samping itu tanah yang mengering akan menjadi keras sehingga proses peredaran udara di dalam tanah terganggu. Dengan demikian, jumlah oksigen di dalam tanah berkurang dan tidak mencukupi kebutuhan tanaman maupun mikroorganisme dalam tanah sehingga membuat tanah menjadi tidak subur dan tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik.

### **2.5 Media Tanam**

Media tanam memegang peranan penting bagi pertumbuhan tanaman. Salah satu syarat media tanam yang baik adalah porositas yaitu kemampuan media dalam menyerap air dan steril. Tingkat porositas tanaman di setiap daerah berbeda-beda, di daerah dataran rendah yang berudara panas, tingkat

penguapannya tinggi, media harus mampu menahan air sehingga tidak mudah kering. Media harus terbebas dari organisme yang dapat menyebabkan penyakit, seperti bakteri, spora, jamur dan telur siput (Harsono, 1992). Media tanam alternatif yang akan digunakan yaitu media tanam pasir kuarsa dengan campuran kompos AMB-P07.

Pemberian pupuk kompos pada lahan pasir memiliki pengaruh yang sangat besar. Secara umum pasir kuarsa memiliki beberapa keunggulan yaitu jumlah luas yang sangat besar. Lahan pasir merupakan lahan marjinal yang memiliki produktivitas rendah. Produktivitas lahan pasir yang rendah disebabkan oleh beberapa faktor pembatas berupa kemampuan memegang dan menyimpan air rendah, infiltrasi dan evaporasi tinggi, kesuburan dan bahan organik sangat rendah serta efisiensi penggunaan air rendah (Kertonegoro, 2001). Produktivitas tanah dipengaruhi oleh kandungan C-organik, KPK tanah, tekstur tanah. Tanah pasir dicirikan bertekstur pasir, berstruktur berbutir, konsistensi lepas, sangat porous sehingga daya sangga air dan hara sangat rendah, miskin hara dan kurang mendukung pertumbuhan tanaman (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 1994). Tekstur tanah pasir sangat berpengaruh pada status dan distribusi air, sehingga berpengaruh pada sistem perakaran, kedalaman akar, hara dan pH (Syukur, 2005).

Bahan organik merupakan salah satu pembenah tanah yang memiliki manfaat dalam perbaikan sifat-sifat tanah baik sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Secara fisik memperbaiki struktur tanah, menentukan tingkat perkembangan struktur tanah dan berperan pada pembentukan agregat tanah (Tate, 1987)., meningkatkan daya simpan lengas karena baha yang tinggi (Stevenson, 1982). Menurut Mowidu (2001) pemberian bahan organik sebanyak 20-30 ton per hektar berpengaruh nyata dalam meningkatkan porositas total, jumlah pori berguna, jumlah pori penyimpan lengas dan kemantapan agregat sera menurunkan kerapatan zarah, kerapatan bongkah dan permeabilitas. Pemberian pupuk kandang sebanyak 75 ton per hektar per tahun selama 6 tahun berturut-turut dapat meningkatkan 4% proporsi tanah, 14.5% volume udara tanah pada keadaan kapasitas lapang dan 33.3% bahan organik serta menurunkan kepadatan tanah (Low dan Piper, 1973). Wigati (2006), menunjukkan bahwa pemberian pupuk kandang ayam sampai 20 ton per hektar dapat meningkatkan kualitas tanah (kandungan bahan organik dan KPK tanah). Hal ini berarti bahan organik

mempunyai kemampuan yang baik dan dapat dimanfaatkan sebagai perbaikan tanah pasir.

Kompos AMB-P07 merupakan media tanam yang memiliki komposisi dari limbah buah tomat, rimpang jahe dan akar rumput gajah dengan perbandingan 2:1:1 yang dikomposkan (Muhibuddin, 2018). Adapun keunggulan dari beberapa bahan yang digunakan untuk pembuatan media adalah sebagai berikut:

**a. Pasir Kuarsa**

Pasir kuarsa adalah pasir yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan kaca, gelas, semen dan untuk keperluan penyaringan air minum karena sifatnya yang lebih dapat tembus cahaya. Pasir kuarsa terdapat di beberapa tempat di Indonesia seperti Sumatera Utara, Bengkulu, pulau Bangka dan Belitung, Aceh, Jawa Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan dan Papua. Pasir kuarsa terbentuk merupakan endapan klastik dengan ukuran seperti pasir yang didominasi oleh mineral silika serta memiliki tekstur heksagonal yang mengalami kristalisasi. Pasir kuarsa terbentuk melalui proses sedimentasi batuan malihan dari batuan beku, batuan sedimen, ataupun batuan metamorf dengan komposisi mineral silika yang dominan. Endapan pasir kuarsa terjadi setelah melalui proses transportasi, sortasi dan sedimentasi. Proses transportasi oleh air menyebabkan butiran pasir menjadi bertambah halus. Pada umumnya pasir kuarsa diendapkan dalam penyebaran melebar, dengan ukuran butir yang berbeda mulai dari fraksi halus (0.06 mm) sampai dengan fraksi ukuran kasar (2 mm) (Sukdanarrumidi, 2018).

**b. Limbah Buah Tomat**

Produksi tomat di Indonesia mulai berkembang, tercatat tahun 2000 hingga 2014 produksinya relatif mengalami kenaikan dari 891,616 ton menjadi 915,987 ton karena jumlah permintaan yang naik (Badan Pusat Statistik, 2014). Produksi tomat yang terus meningkat, belum diimbangi dengan penanganan paska panen yang sesuai serta metode penyimpanan yang baik, oleh karena itu buah tomat mudah busuk bila tidak segera dikonsumsi ataupun diolah. Kurang baiknya dalam penanganan pasca panen buah tomat dapat menyebabkan buah tomat membusuk di berbagai pasar tradisional yang akhirnya menjadi bagian dari limbah pasar.

Buah tomat yang telah busuk sebenarnya dapat digunakan sebagai media yang baik bagi pertumbuhan bakteri pengurai. Limbah tomat merupakan limbah organik yang dapat digunakan sebagai media biakan (inokulan) bagi mikroorganisme lokal (MOL) tertentu yang mampu mendegradasi bahan-bahan

organik. Mikroorganisme Lokal (MOL) merupakan salah satu bioaktivator yang dapat mempercepat dan dapat meningkatkan mutu kompos (Pratiwi, 2013). MOL adalah mikroorganisme lokal yang ditemukan diberbagai macam jenis bahan organik yang membusuk dan biasanya dapat dimanfaatkan untuk mempercepat proses degradasi sampah organik dalam pembuatan kompos. Dengan demikian limbah tomat sebagai media MOL diharapkan dapat berperan sebagai bioaktivator seperti misalnya EM4 (Sofyan, 2007). Apabila MOL dari limbah tomat dapat dimanfaatkan sebagai bioaktivator pada proses pengomposan, maka dapat memangkas pengeluaran karena limbah tomat mudah diperoleh dengan harga murah dan dapat diproduksi sendiri sebagai MOL.

### c. Rimpang Jahe

Menurut Kardinan (2002), pestisida nabati memiliki senyawa kimia yang dapat menghambat pertumbuhan jamur yang ingin dikendalikan. Salah satu tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai fungisida nabati yaitu tanaman jahe. Hal ini karena rimpang jahe mengandung 2-3 % minyak astiri, 20-60 % pati, damar, asam organik, asam malat, asam oksalat serta gingerin (Mursito, 2003). Sehingga, rimpang jahe dapat digunakan sebagai bahan media tanam karena dapat menghambat perkembangan jamur maupun patogen penyebab penyakit (Paimin dan Murhananto, 2002).

### d. Akar Rumpun Gajah

Rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) memiliki kualitas yang tinggi. Satu rumpun tanaman dapat mencapai 40-60 anakan apabila dipotong secara teratur. Kadar nitrogen dari hasil panen yang diadakan secara teratur berkisar antara 2 – 4%, Protein Kasar (PK) selalu diatas 7% dan menurun dengan naiknya umur tanaman. Pada daun muda nilai ketercernaan (TDN) diperkirakan mencapai 70% tetapi angka ini menurun cukup drastis pada usia tua mencapai 55% (Budiman *et al.*, 2012). Rumput gajah memiliki akar yang tumbuh pada buku-buku dari batang yang merayap didalam tanah, keberadaan akar pada tanah akan mempercepat penutupan tanah, rumput gajah mempunyai akar serabut yang mana dapat mengikat partikel dan membentuk jalinan serta mengangkat zat hara yang telah tercuci oleh air hujan kelapisan permukaan. Sifat ini sangat menguntungkan karna dapat menyuburkan tanah. Terbukti di Uganda setelah penanaman rumput gajah selama tiga tahun, kemudian ditanami tanaman pertanian, menunjukan peningkatan hasil yang nyata (Rahayu, 2001). Adanya beberapa kandungan dari

rumpun gajah di atas menunjukkan bahwa rumput gajah dapat digunakan sebagai media tanam jika dikomposkan dengan bahan-bahan lainnya.



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

Kegiatan penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Penyakit Tumbuhan, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang dan Rumah Kaca Institut Pertanian Malang pada bulan Januari sampai April 2019.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu cawan petri, tabung reaksi, jarum ose, tube, tabung *erlenmayer*, *beaker glass*, *autoclave*, *laminar air flow cabinet* (L AFC), timbangan, mikroskop, dan buku identifikasi jamur *Illustrated Genera of Imperfect Fungi 4<sup>th</sup> edition*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Kompos AMB-P07, pasir kuarsa ukuran 0.5 mm dari Surabaya, pupuk daun, isolat jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae*, media *potato dextrose agar* (PDA) dan pupuk mikoriza dari CV. Abadi Sejahtera Indonesia, Batu.

#### 3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 5 perlakuan dan 5 ulangan. Perlakuan penambahan mikoriza meliputi:

1. P0 (kontrol) yaitu media tanam pasir dicampur dengan kompos AMB P-07 dan pupuk daun tanpa penambahan mikoriza.
2. P1 dilakukan penambahan mikoriza sebanyak 10 g/polybag pada setiap ulangan.
3. P2 dilakukan penambahan mikoriza sebanyak 20 g/polybag pada setiap ulangan.
4. P3 dilakukan penambahan mikoriza sebanyak 30 g/polybag pada setiap ulangan.
5. P4 dilakukan penambahan mikoriza sebanyak 40 g/polybag pada setiap ulangan.

Data pengamatan yang diperoleh meliputi: tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, masa inkubasi dan intensitas serangan penyakit diolah dengan analisis ragam (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil kandungan senyawa total fenol diolah dengan uji T *One Sample Test* pada taraf 5% menggunakan SPSS.

### 3.4 Persiapan Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan Kompos AMB-P07

Pembuatan kompos AMB-P07 membutuhkan bahan utama berupa limbah buah tomat, rimpang jahe dan akar rumput gajah dengan perbandingan 2:1:1. Bahan dihancurkan dengan alat penghancur yang terdapat pada UPT Kompos Universitas Brawijaya. Bahan yang telah dihancurkan selanjutnya ditambahkan EM4 dan molase. Selanjutnya tutup campuran bahan lalu biarkan selama 5 hari. Kelembapan, suhu dan sirkulasi udara pada proses pengomposan harus dijaga dengan menyemprotkan sedikit air setiap seminggu sekali dan mengaduk kompos.

#### 3.4.2 Pembuatan Media Tanam

Media tanam yang digunakan pada saat penanaman bibit yaitu pupuk organik AMB-P07 yang dicampurkan dengan pasir kuarsa dan pupuk daun dengan komposisi perbandingan 1:5:4 pada polybag 5 kg. Kemudian diberikan dosis mikoriza sesuai dengan perlakuan secara bersamaan.

#### 3.4.3 Sterilisasi Alat dan Bahan

Sterilisasi menggunakan *autoclave* selama 120 menit dengan suhu 121 °C dan tekanan 1.5 psi. Alat tahan panas yang akan digunakan untuk penelitian dicuci bersih, dikeringkan dan dibungkus kertas lalu di *autoclave*. Alat yang tidak tahan panas disterilkan dengan alkohol 70%. Media PDA yang telah dibuat dimasukkan kedalam botol vial 20 ml dan disterilkan dalam *autoclave*.

#### 3.4.4 Pembuatan Media *Potato Dextrose Agar* (PDA)

Pembuatan media dilakukan dengan cara menyiapkan kentang 250 gr, 20 gr dextrose, 20 gr agar dan 1 liter aquades. Umbi kentang dicuci dengan air bersih, dikupas dan di potong kecil dadu. Potongan kentang dimasukkan kedalam panci yang telah berisi 1000 ml air kemudian direbus selama 30 menit hingga mendidih dan kentang sedikit lunak. Setelah itu ditiriskan dan dihitung volume air rebusan kentang. Apabila air rebusan kentang berkurang maka ditambahkan aquades steril sampai volume kembali 1000 ml atau 1 liter. Kemudian dipanaskan kembali dan ditambahkan *dextrose* sebanyak 20 g dan agar 20 g secara perlahan. Kemudian dimasak kembali sampai mendidih. Setelah media jadi dimasukkan kedalam botol media lalu disterilkan menggunakan *autoclave* selama 2 jam. Setelah disterilkan kemudian media diberikan chloramfenikol sebagai anti bakteri.

#### **3.4.5 Perbanyak Isolat dan Peremajaan Jamur *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae***

Jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Balai Sayur Lembang Bandung. Isolat yang di dapatkan di remajakan pada media PDA yang baru. Peremajaan isolat dilakukan secara aseptis di dalam *Laminar Air Flow Cabinet* (LAFC).

#### **3.4.6 Pembuatan Suspensi Jamur *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae***

Pembuatan suspensi inokulum *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dilakukan dengan menambahkan 10 ml aquadest steril ke dalam biakan murni jamur pada cawan petri dan dikocok sampai homogen. Kemudian suspensi diencerkan sampai  $10^6$ .

### **3.5 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.5.1 Pembibitan dan Penanaman**

Bibit bawang putih yang akan ditanam pada media perlakuan yaitu umbi bawang putih yang sudah dikecambahkan. Cara pembibitan yang dilakukan yaitu menanam umbi bawang putih persiung ke media tanam yang berisi cocopid, arang sekam dan pupuk kompos dengan komposisi 1:1:1. Penanaman pada media pembibitan dilakukan selama  $\pm$  14 hari. Setelah itu bibit bawang putih dipindahkan pada media pasir kuarsa dengan campuran kompos AMB-P07 dan pupuk daun yang digunakan sebagai media penelitian. Penanaman dilakukan di polybag dengan memberikan lubang sedalam 5-10 cm kemudian menambahkan mikoriza dan menanam bibit bawang putih secara bersamaan. Peletakan polybag dilakukan pengacakan (Gambar Lampiran 2).

#### **3.5.2 Inokulasi Spora *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae***

Teknik inokulasi dilakukan dengan cara menyiramkan suspensi spora *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada media sebanyak 10 ml dengan kerapatan  $1.2 \times 10^6$ . Inokulasi dilakukan pada saat tanaman bawang putih berumur 21 hst.

#### **3.5.3 Perawatan Tanaman Bawang Putih**

Penyiraman atau pengairan dilakukan agar kebutuhan air tanaman bawang putih terpenuhi. Penyiraman dilakukan setiap hari dengan cara menyiram air sebanyak 1 gelas aqua.

### 3.5.4 Uji Senyawa Total Fenol

#### a. Larutan Uji Penentuan Kandungan Fenolik Total

Sebanyak 7,5 mg ekstrak ditimbang, lalu ditambahkan metanol p.a sampai diperoleh konsentrasi larutan uji sebesar 750 µg/ml.

#### b. Kurva Baku Asam Galat

Sebanyak 0,5 ml larutan asam galat 50; 75; 100; 125; dan 150 µg/ml ditambah dengan 5 ml reagen Folin-Ciocalteu yang telah diencerkan dengan air (1:1 v/v). Larutan selanjutnya ditambah dengan 4 ml natrium karbonat 1M. Setelah 15, setiap larutan discan pada 750 nm terhadap blanko yang terdiri atas aquades:metanol p.a (1:1), reagen Folin-Ciocalteu dan larutan natrium karbonat 1M.

#### c. Estimasi Kandungan Fenolik Total Larutan Uji

Diambil 0,5 ml larutan uji 750 µg/ml, lalu masing-masing dimasukkan ke dalam labu takar 10 ml dan dilanjutkan sebagaimana perlakuan pada pembuatan kurva baku asam galat. Kandungan fenolik total dinyatakan sebagai gram ekuivalen asam galat (mg ekuivalen asam galat per g ekstrak).

## 3.6 Pengamatan Penelitian

### 3.6.1 Kejadian Penyakit

Perhitungan indeks penyakit dilakukan dengan cara metode skoring dengan rumus:

$$IP = \frac{\sum (n \times v)}{Z \times N} \times 100\%$$

Keterangan: IP adalah Intensitas Penyakit (%), n adalah jumlah daun bergejala dalam setiap kategori, v adalah nilai kategori serangan, Z adalah nilai kategori serangan tertinggi, dan N adalah jumlah daun yang diamati, dengan kategori 0 menunjukkan tidak ada gejala, 1 menunjukkan gejala daun menguning 0-20%, 2 menunjukkan gejala daun menguning 21-40%, 3 menunjukkan gejala daun menguning 41-60%, 4 menunjukkan gejala daun menguning 61-80%, dan 5 menunjukkan gejala daun menguning >80% (Sudantha *et al.*, 1993).

### 3.6.2 Pengamatan Pertumbuhan Vegetatif pada Tanaman

Pengamatan pertumbuhan vegetatif tanaman dilakukan pada saat 4-9 MST dengan interval satu minggu (7 hari). Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah daun tanaman.

1. Tinggi tanaman; diukur mulai dari permukaan tanah sampai titik tumbuh tanaman dengan menggunakan meteran.
2. Jumlah daun; di hitung banyaknya daun yang sudah berkembang secara sempurna (tidak termasuk kuncup daun).
3. Diameter batang; diukur pada ketinggian 1 cm dari pangkal batang dengan menggunakan jangka sorong.

### 3.6.3 Pengukuran Senyawa Total Fenol

#### a. Larutan Uji Penentuan Kandungan Fenolik Total

Sebanyak 7,5 mg ekstrak ditimbang, lalu ditambahkan metanol p.a sampai diperoleh konsentrasi larutan uji sebesar 750 µg/ml.

#### b. Kurva Baku Asam Galat

Sebanyak 0,5 ml larutan asam galat 50; 75; 100; 125; dan 150 µg/ml ditambah dengan 5 ml reagen Folin-Ciocalteu yang telah diencerkan dengan air (1:1 v/v). Larutan selanjutnya ditambah dengan 4 ml natrium karbonat 1M. Setelah 15, setiap larutan discan pada 750 nm terhadap blanko yang terdiri atas aquades:metanol p.a (1:1), reagen Folin-Ciocalteu dan larutan natrium karbonat 1M.

#### c. Estimasi Kandungan Fenolik Total Larutan Uji

Diambil 0,5 ml larutan uji 750 µg/ml, lalu masing-masing dimasukkan ke dalam labu takar 10 ml dan dilanjutkan sebagaimana perlakuan pada pembuatan kurva baku asam galat. Kandungan fenolik total dinyatakan sebagai gram ekuivalen asam galat (mg ekuivalen asam galat per g ekstrak).

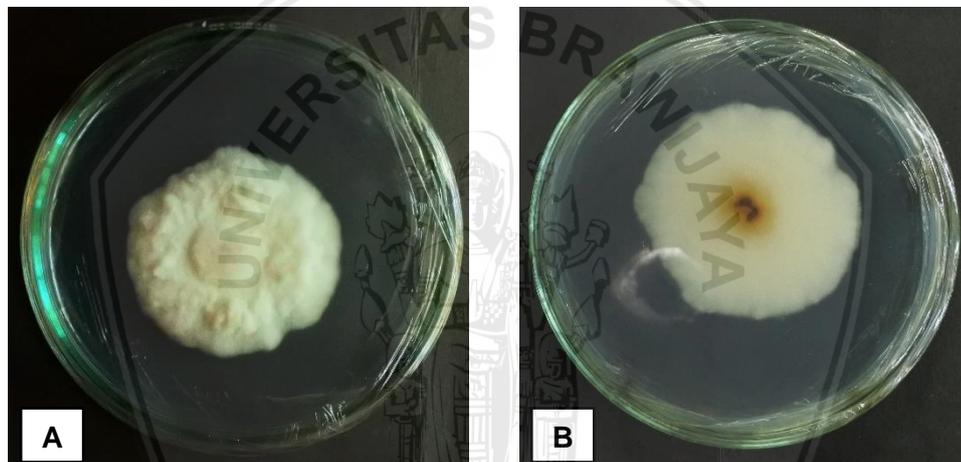
## 3.7 Analisa Data

Data hasil pengamatan meliputi: tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, masa inkubasi dan intensitas serangan penyakit dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA). Apabila dari hasil perlakuan berbeda nyata, maka dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil kandungan total fenol di uji dengan uji *T One Sample Test* pada taraf 5% menggunakan SPSS.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

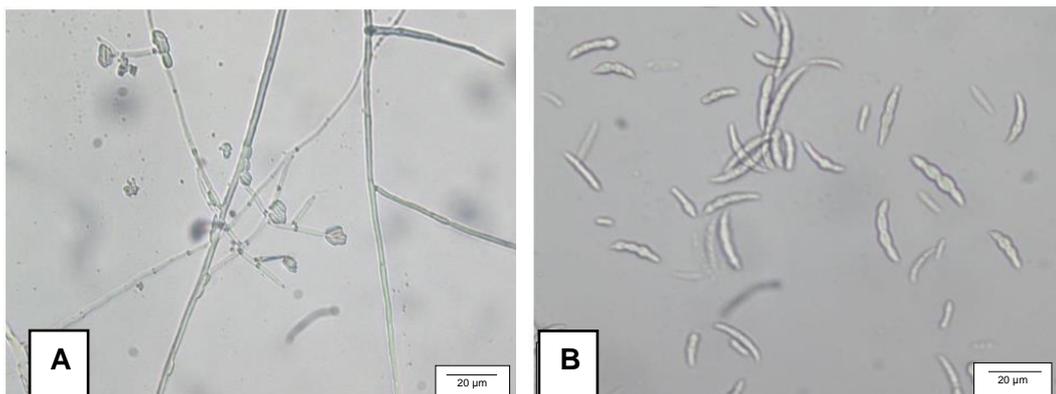
### 4.1 Identifikasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa koloni *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) berwarna putih seperti kapas, memiliki tepi tidak rata, elevasi cembung dan berserabut (Gambar 9). Hal tersebut sesuai dengan pendapat Fran dan Cook (1998), pada medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) mula-mula miselium berwarna putih semakin tua warna menjadi krem atau kuning pucat. Dalam keadaan tertentu berwarna merah muda agak ungu. Koloni *Fusarium* biasanya berwarna merah muda sampai biru violet dengan bagian tengah koloni berwarna lebih gelap dibandingkan dengan bagian pinggir. Saat konidium terbentuk, tekstur koloni menjadi seperti wol atau kapas.



Gambar 1. Koloni *F. oxysporum* f.sp. *cepae* (a) tampak depan (b) tampak belakang

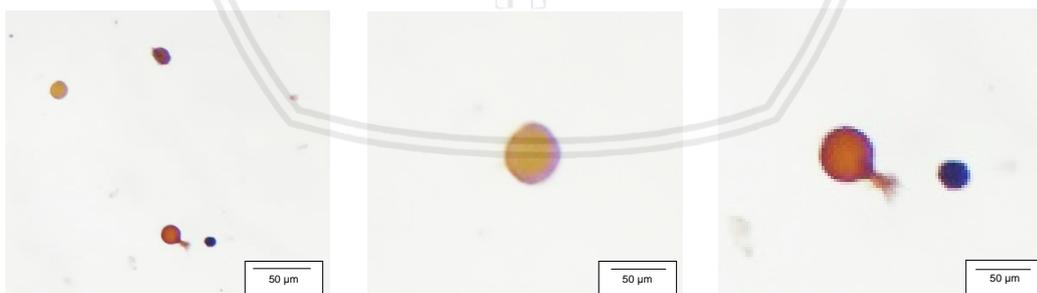
Pengamatan menggunakan mikroskop diketahui bahwa hifa *F. oxysporum* f.sp. *cepae* bersekat dan hialin (Gambar 10a), konidia memiliki bentuk ramping seperti sabit, hialin dan bersekat (Gambar 10b). Menurut Barnett dan Hunter (1972), *F. oxysporum* umumnya mempunyai makrokonidia melengkung, ramping, berbentuk bulan sabit dan makrokonidia hialin. Konidiofor jamur ini ramping dan sederhana, pendek, bercabang tidak teratur. Konidia hialin, beberapa makrokonidia sedikit melengkung atau bengkok dan ujungnya meruncing. Biasanya mikrokonidia bersel 1, bulat telur atau lonjong. Beberapa konidia ada yang bersel 2 atau 3, lonjong dan sedikit melengkung.



Gambar 2. Kenampakan Mikroskopis *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada Mikroskop (a) Hifa (b) Konidia

#### 4.2 Mikoriza

Dari hasil analisa laboratorium terhadap pupuk mikoriza yang diperoleh dari CV. Abadi Sejahtera Indonesia, Batu diketahui bahwa kerapatan mikoriza yang terkandung dalam pupuk tersebut sebesar 10 spora/10 g sampel. Jenis-jenis mikoriza yang ada didalamnya yaitu *Gigaspora* sp. dan *Glomus* sp. Digolongkan ke dalam jenis *Gigaspora* sp. karena memiliki ciri-ciri berbentuk globous dan berwarna kuning (Gambar 11b). Hal tersebut sesuai dengan pendapat Brundrett *et al.* (2014), genus *Gigaspora* memiliki ciri khas yaitu berbentuk globous atau sub globous, dan berwarna krem hingga kuning. Pada *Glomus* sp. memiliki ciri-ciri berbentuk globous dan berwarna merah kecoklatan hingga hitam (Gambar 11c). Menurut Debnath *et al.* (2015), genus *Glomus* berbentuk globous, sub globous, ovoid, dan obovoid, berwarna kuning, merah kecoklatan, coklat, dan hitam.



Gambar 3. (a) Koloni Mikoriza (b) *Gigaspora* sp. (c) *Glomus* sp.

#### 4.3 Intensitas Penyakit *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*

Pengamatan intensitas penyakit pada tanaman bawang putih diamati saat tanaman berumur 6-9 MST. Berdasarkan hasil analisis ragam menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Rata-rata indeks penyakit pada tanaman bawang putih disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rata-Rata Intensitas Penyakit *F. oxysporum* f.sp. *cepae* setelah Inokulasi

Perlakuan	Rata-Rata Intensitas Serangan (MST)			
	6	7	8	9
<b>Kontrol (P0)</b>	12 c	21.33 d	26.6 e	36.6 d
<b>P1</b>	6 b	12.73 c	19.2 d	25.53 c
<b>P2</b>	6 b	11.4 c	17.53 c	23.8 c
<b>P3</b>	5.3 b	9.8 b	15.47 b	20.93 b
<b>P4</b>	1.8 a	5.53 a	10.67 a	15.62 a

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%, P = Perlakuan, MST = Minggu Setelah Tanam.

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa rata-rata intensitas serangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* tertinggi terdapat di perlakuan kontrol atau tanpa penambahan mikoriza yaitu P0 dan serangan terendah terdapat di P4 (perlakuan mikoriza 40 g). Hal tersebut dipengaruhi, pada P4 dosis mikoriza yang diberikan lebih banyak dibandingkan P0, P1, P2 dan P3. Mikoriza memiliki peran membantu akar tanaman dalam menyerap nutrisi dan unsur hara yang terdapat di media tanam. Selain itu, mikoriza dapat menekan serangan patogen dengan cara hifa dari mikoriza menyelimuti akar tanaman agar tidak mudah untuk ditembus patogen. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Prayudyaningsih (2012), dengan adanya mikoriza maka dapat membantu akar dalam menyerap nutrisi sehingga dapat meningkatkan status nutrisi dalam tanaman. Dengan adanya hal tersebut maka pertumbuhan tanaman juga meningkat sehingga meningkatkan pula resistensi tanaman terhadap serangan patogen. Asosiasi mikoriza pada akar tanaman juga memberikan perlindungan terhadap serangan patogen karena akar tanaman terselubungi hifa mikoriza (mantel).

Gejala serangan hasil pengamatan dapat diketahui bahwa tanaman bawang putih yang terinfeksi patogen *F. oxysporum* f.sp. *cepae* memiliki gejala awal daun tanaman bawang putih berubah warna menjadi kuning, terpilin dan layu (Gambar 12a). Menurut Fatawi *et al.*, (2003), pada bawang putih, patogen busuk pangkal menyebabkan gejala daun mati dari ujung dengan cepat atau layu. Pada tingkat serangan tinggi pangkal batang tanaman berubah warna menjadi cokelat, busuk (Gambar 12b) dan tanaman menjadi kering dan mati (Gambar 12c). Penyakit busuk pangkal batang dapat menyebabkan layu pada daun bawang putih,

gejalanya dimulai dari pucuk daun, serta dijumpai tdana penyakit berupa miselium jamur yang berwarna putih pada tanaman yang sudah mati (Santoso, 1988).



Gambar 4. Gejala Serangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* (a) daun terpilin, (b) batang busuk, (c) tanaman kering dan mati

#### 4.4 Pertumbuhan Vegetatif Tanaman

##### 1. Tinggi Tanaman

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan pada 4-9 MST. Berdasarkan hasil analisis ragam tinggi tanaman bawang putih pada minggu keempat sampai dengan minggu kesembilan menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Rata-rata tinggi tanaman pada kelima perlakuan disajikan pada Tabel 2.

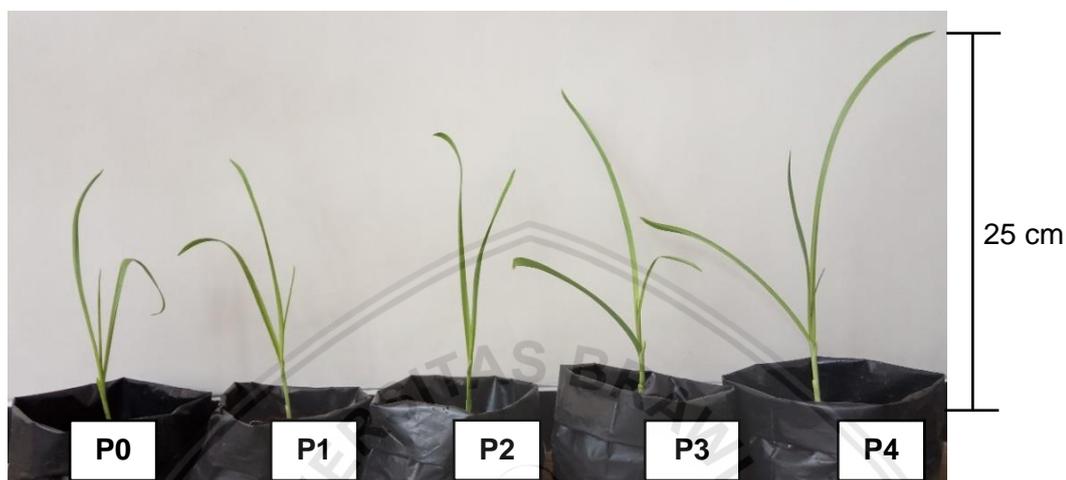
Tabel 2. Rata-Rata Tinggi Tanaman Bawang Putih

Perlakuan	Rata-Rata Tinggi Tanaman (MST)					
	4	5	6	7	8	9
<b>Kontrol (P0)</b>	11.02 a	13.72 a	15.68 a	17.44 a	20.18 a	20.78 a
<b>P1</b>	11.6 b	14.42 b	16.92 b	18.94 b	21.94 b	22.62 b
<b>P2</b>	12.54 c	14.88 b	17.12 b	19.28 b	22.4 b	23.16 b
<b>P3</b>	13.2 d	15.96 c	18.42 c	20.42 c	23.48 c	24.14 c
<b>P4</b>	13.72 d	16.74 d	19.44 d	21.74 d	24.4 d	25.08 d

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%, P = Perlakuan, MST = Minggu Setelah Tanam.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa rata-rata tinggi tanaman bawang putih pada masing-masing perlakuan setiap minggunya selalu mengalami peningkatan. Rata-rata tinggi tanaman terendah terdapat pada perlakuan kontrol (P0) tanpa penambahan mikoriza dan tertinggi pada setiap minggunya yaitu perlakuan P4 (mikoriza 40 g). Perbedaan tinggi tanaman pada setiap perlakuan dipengaruhi dengan adanya infeksi akar oleh mikoriza agar lebih mudah menyerap

unsur hara. Dengan adanya mikoriza maka dapat membantu akar dalam menyerap nutrisi sehingga dapat meningkatkan status nutrisi dalam tanaman sehingga dapat tumbuh dengan optimal. Mikoriza mampu meningkatkan produksi hormon seperti auksin dan sitokinin yang digunakan dalam merangsang pertumbuhan tanaman (Khan dan Sharon 2009).



Gambar 5. Tanaman Bawang Putih yang Diberikan Perlakuan pada Umur 9 MST

Pada Gambar 13 menunjukkan bahwa pada setiap perlakuan dosis mikoriza memberikan pengaruh terhadap tinggi tanaman bawang putih. Dengan penambahan dosis mikoriza yang diberikan maka tinggi tanaman juga semakin meningkat.

## 2. Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun pada tanaman bawang putih diamati pada 4-9 MST. Berdasarkan hasil analisis ragam diketahui pada pengamatan minggu keempat sampai dengan minggu keenam menunjukkan jumlah daun yang tidak berbeda nyata sedangkan, pada minggu ketujuh sampai dengan minggu kesembilan menunjukkan hasil berbeda nyata. Rata-rata jumlah daun tanaman bawang putih selama 6 minggu disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rata-Rata Jumlah Daun Tanaman Bawang Putih

Perlakuan	Rata-Rata Jumlah Daun (MST)					
	4	5	6	7	8	9
<b>Kontrol (P0)</b>	2	2.3	3	3.6 a	4.4 a	5.0 a
<b>P1</b>	2.3	2.5	3.2	3.8 a	4.6 ab	5.2 a
<b>P2</b>	2.4	2.6	3.4	4.2 b	4.8 b	5.4 a
<b>P3</b>	2.6	3	3.8	4.6 c	5.4 c	6.0 b
<b>P4</b>	2.8	3.4	4.2	4.8 c	5.6 c	6.4 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%, P = Perlakuan, MST = Minggu Setelah Tanam.

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa pada setiap perlakuan menunjukkan terjadinya penambahan jumlah daun pada setiap minggunya. Jumlah daun terbanyak terdapat pada kontrol positif dan jumlah daun terkecil terdapat pada P1 (perlakuan mikoriza 10 g). Perlakuan penambahan mikoriza, pada P4 sebanyak 40 g menunjukkan jumlah daun terbanyak karena dosis mikoriza yang diberikan lebih tinggi daripada perlakuan P1, P2 dan P3. Mikoriza diketahui dapat membantu akar agar maksimal dalam menyerap unsur hara sehingga, nutrisi yang diserap pada P4 lebih tinggi dan kemudian nutrisi tersebut diedarkan ke seluruh bagian tanaman. Dengan adanya hal tersebut maka pertumbuhan tanaman juga meningkat sehingga jumlah daun pada setiap minggunya dapat bertambah. Jamur AM telah terbukti menginduksi respon dalam penyerapan nutrisi dan fisiologi tumbuhan (Smith, 1988).

### 3. Diameter Batang

Pengamatan diameter batang pada tanaman bawang putih dilakukan pada 4-9 MST. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam bahwa pada pengamatan yang dilakukan menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Rata-rata diameter batang tanaman bawang putih selama 6 minggu disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rata-Rata Diameter Batang Tanaman Bawang Putih

Perlakuan	Rata-Rata Diameter Batang (MST)					
	4	5	6	7	8	9
<b>Kontrol (P0)</b>	0.14 a	0.16 a	0.2 a	0.26 a	0.32 a	0.36 a
<b>P1</b>	0.18 b	0.22 b	0.26 b	0.3 b	0.36 b	0.42 b
<b>P2</b>	0.2 c	0.24 c	0.34 c	0.34 c	0.44 c	0.46 c
<b>P3</b>	0.24 d	0.26 d	0.36 d	0.38 d	0.48 d	0.5 d
<b>P4</b>	0.3 e	0.32 e	0.4 e	0.44 e	0.52 e	0.56 e

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%, P = Perlakuan, MST = Minggu Setelah Tanam.

Pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa pada setiap perlakuan menunjukkan terjadinya penambahan diameter batang. Penambahan diameter batang terbesar terdapat pada P4 (perlakuan mikoriza 40 g) dan terkecil terdapat pada P0 (tanpa penambahan mikoriza). Pada P4 (perlakuan mikoriza 40 g) menunjukkan terjadinya penambahan diameter batang terbesar diantara P1, P2 dan P3. Hal tersebut dipengaruhi oleh penambahan dosis mikoriza yang diberikan pada P4 merupakan dosis yang paling banyak. Mikoriza memiliki peranan yang penting yaitu dapat membantu akar dalam penyerapan unsur hara dan nutrisi. Selain itu, mikoriza juga dapat membantu dalam pertumbuhan tanaman. Menurut Prayudyaningsih (2012), dengan adanya mikoriza maka dapat membantu akar dalam menyerap nutrisi sehingga dapat meningkatkan status nutrisi dalam tanaman.

#### 4.5 Masa Inkubasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*

Pengamatan masa inkubasi penyakit layu fusarium diamati setiap hari setelah diinokulasikan suspensi oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada tanaman bawang putih. Berdasarkan hasil analisis ragam bahwa pada setiap perlakuan dan ulangan menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Masa inkubasi oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada tanaman bawang putih disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Rata-Rata Masa Inkubasi *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*

Perlakuan	Rata-Rata Masa Inkubasi (HSI)
P0	8.2 a
P1	11.4 b
P2	11.6 b
P3	12.6 c
P4	14.6 d

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%, P = Perlakuan, HSI = Hari Setelah Inokulasi.

Inokulasi oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dilakukan saat tanaman berusia 21 HST (hari setelah tanam) dengan cara disiramkan pada media tanpa pelukaan pada tanaman. Pada tanaman yang diinokulasi tanpa melalui pelukaan akar gejala mulai muncul pada 3-15 HSI (Djauhari *et al.*, 2011). Tabel 5 menunjukkan waktu atau masa inkubasi patogen oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dalam menginfeksi tanaman perlakuan P0 (tanpa penambahan mikoriza) menunjukkan rata-rata waktu atau masa inkubasi lebih cepat. Rata-rata pada P4 (perlakuan mikoriza 40 g) menunjukkan bahwa waktu atau masa inkubasi oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dalam menginfeksi tanaman membutuhkan waktu yang lebih lama. Pada P4 diberikan dosis mikoriza sebanyak 40 g dibandingkan perlakuan P0, P1, P2 dan P3. Mikoriza memiliki peran selain meningkatkan pertumbuhan tanaman juga dapat melindungi akar dari serangan patogen. Hifa dari mikoriza dapat menyelubungi akar tanaman sehingga patogen membutuhkan waktu yang lama agar dapat menginfeksi tanaman tersebut. Menurut Prayudyaningsih (2012), asosiasi mikoriza pada akar tanaman dapat melindungi akar terhadap serangan patogen karena akar tanaman terselubungi oleh hifa mikoriza (mantel).

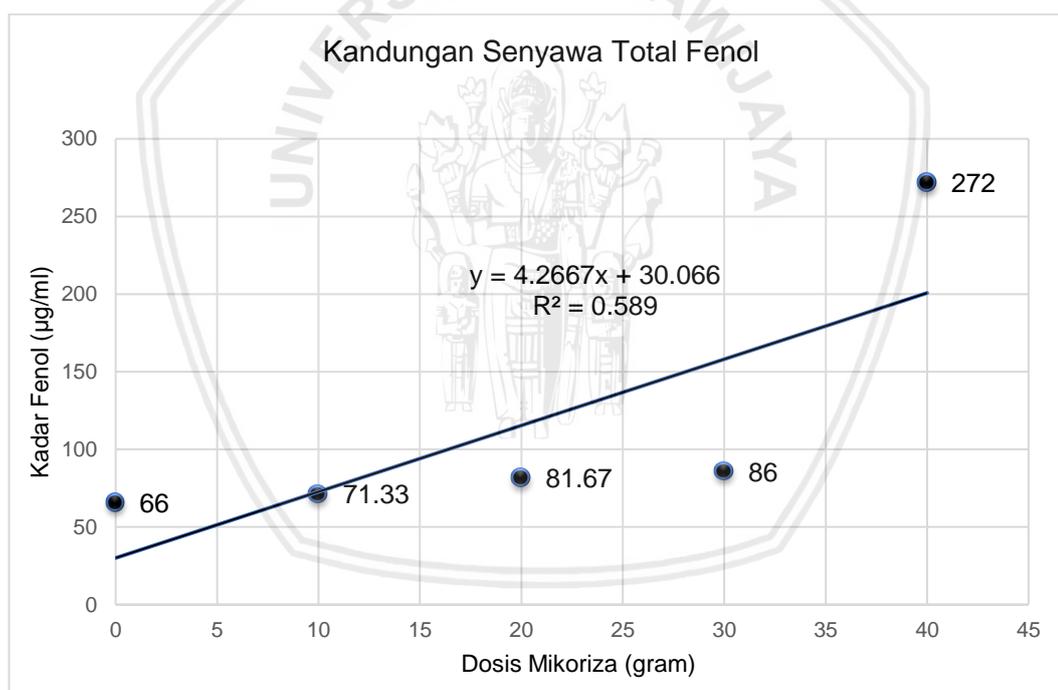
#### 4.6 Kandungan Total Fenol

Pengamatan kandungan total fenol pada tanaman bawang putih diamati setelah semua pengamatan selesai dilakukan (9 minggu setelah tanam). Berdasarkan hasil analisis di laboratorium kandungan total fenol pada setiap perlakuan disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan Total Fenol Tanaman Bawang Putih

Rata- Rata Kandungan Total Fenol pada Tanaman Bawang Putih ( $\mu\text{g/ml}$ )			Nilai Probabilitas
Perlakuan	Kontrol	AMB-P07+Mikoriza	Kontrol terhadap AMB-P07+Mikoriza
Kandungan Total Fenol ( $\mu\text{g/ml}$ )	66	127.75	0.29

Berdasarkan hasil uji T *one sample test* diketahui bahwa kandungan total fenol pada tanaman bawang putih antara kontrol terhadap media tanam dengan penambahan mikoriza menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Kandungan total fenol pada AMB-P07 dengan penambahan mikoriza menunjukkan hasil sebesar  $127.75 \mu\text{g/ml}$  dan pada P0 (kontrol atau tanpa penambahan mikoriza) sebesar  $66 \mu\text{g/ml}$  (Tabel 6).



Gambar 6. Grafik Regresi Kadar Total Fenol

Pada Gambar 14 menunjukkan bahwa setiap penambahan dosis mikoriza terjadi peningkatan kandungan senyawa total fenol. Pada grafik regresi dapat diketahui bahwa setiap penambahan 1 g mikoriza akan terjadi peningkatan kandungan senyawa total fenol sebesar  $4.27 \mu\text{g/ml}$ . Pada penambahan mikoriza sebesar 40 g menunjukkan kandungan senyawa total fenol tertinggi yaitu sebesar  $272 \mu\text{g/ml}$ . Kandungan senyawa total fenol aktif ketika adanya respon dari pemberian mikoriza. Dengan penambahan dosis mikoriza maka kandungan fenol

pada tanaman akan semakin meningkat. Akumulasi peningkatan kandungan senyawa fenol dapat meningkatkan enzim phenylalanine ammoniumlyase (PAL) yang berfungsi dalam ketahanan tanaman. Terjadinya metabolisme zat fenolik pada tanaman adalah sebagai respon terhadap luka ataupun invasi oleh patogen (Ohri dan Pannu, 2010). Terjadinya akumulasi senyawa fenolik dapat meningkatkan enzim phenylalanine ammoniumlyase (PAL) dan mensintesis enzim kitinase yang secara fungsional berfungsi dalam sifat ketahanan tanaman (Shaul *et al.*, 2001). Pemberian mikoriza membuat akar tanaman akan lebih kuat tidak mudah terserang patogen karena hifa mikoriza menyelimuti akar dari tanaman. Sehingga dengan adanya penambahan mikoriza metabolisme tanaman dapat tetap berjalan dengan baik. Verma *et al.* (2010), menjelaskan bahwa mikoriza dapat memberikan efek yang menguntungkan baik secara langsung atau tidak langsung pada tanaman, sebagai pemacu pertumbuhan dan perlindungan tanaman dari patogen melalui aktivitas di daerah perakaran tanaman. Aktivitas tersebut meliputi penyediaan unsur NPK, hormon pertumbuhan, produksi antibiotik yang dapat berpengaruh negatif terhadap patogen. Prayudyaningsih (2012), menjelaskan dengan adanya mikoriza maka dapat membantu akar dalam menyerap nutrisi sehingga dapat meningkatkan status nutrisi dalam tanaman. Dengan adanya hal tersebut maka pertumbuhan tanaman juga meningkat sehingga meningkatkan pula resistensi tanaman terhadap serangan patogen. Asosiasi mikoriza pada akar tanaman juga memberikan perlindungan terhadap serangan patogen karena akar tanaman terselubungi hifa mikoriza (mantel).

Kenaikan kandungan senyawa fenol memiliki pengaruh pada intensitas serangan patogen. Kandungan senyawa fenol yang tinggi maka intensitas serangan patogen semakin kecil. Sehingga pada perlakuan P4 memiliki intensitas serangan penyakit layu fusarium terendah karena memiliki kandungan kadar senyawa fenol yang tinggi. Lattanzio *et al.* (2006), menyatakan bahwa senyawa fenol pada tanaman merupakan hasil dari metabolit sekunder. Senyawa ini digunakan untuk pigmentasi, pertumbuhan, reproduksi dan ketahanan tanaman terhadap patogen. Harni *et al.* (2012), menyatakan bahwa aktivitas fenol merupakan satu dari beberapa mekanisme tanaman untuk menghindar dari infeksi patogen. Salah satu pengendalian tanaman terhadap patogen yang ramah lingkungan adalah dengan pemanfaatan agen hayati yaitu salah satunya mikoriza. Mekanisme agen hayati dalam pengendalian patogen tanaman antara lain dengan

menginduksi ketahanan tanaman. Induksi ketahanan tanaman terjadi akibat adanya perubahan metabolit pada tanaman.



## V. PENUTUP

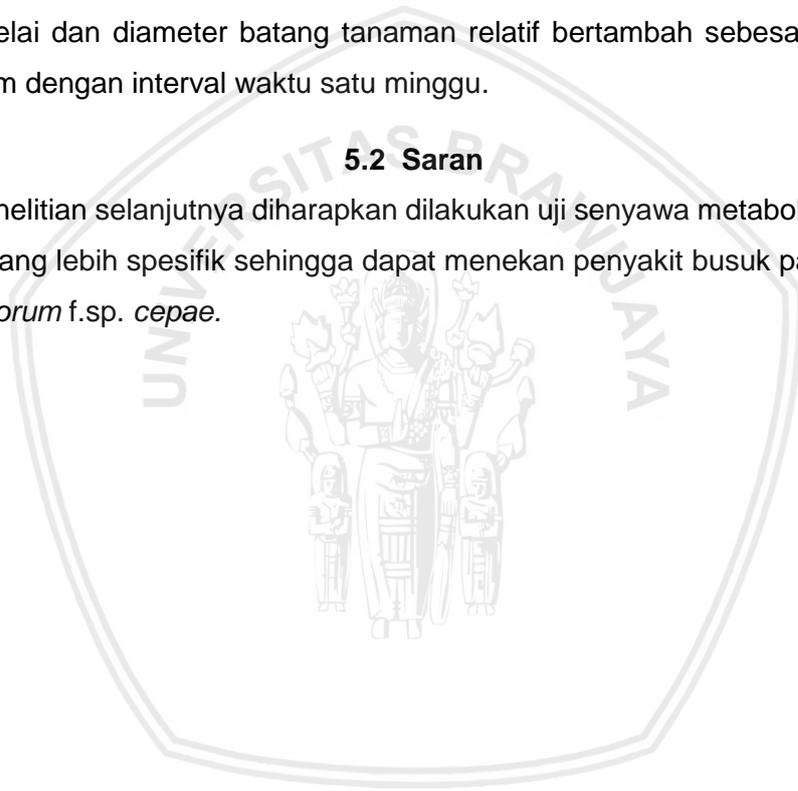
### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Dosis mikoriza sebanyak 40 g memberikan pengaruh yang lebih besar dalam menekan intensitas serangan patogen *F. oxysporum* f.sp. *cepae* sebesar 50%.
2. Pemberian dosis mikoriza sebanyak 40 g dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang putih meliputi tinggi tanaman yang relatif bertambah sebesar 2-3 cm, jumlah daun relatif bertambah sebanyak 2-3 helai dan diameter batang tanaman relatif bertambah sebesar 0.02-0.06 cm dengan interval waktu satu minggu.

### 5.2 Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan uji senyawa metabolit sekunder lainnya yang lebih spesifik sehingga dapat menekan penyakit busuk pangkal oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae*.



## DAFTAR PUSTAKA

- [INVAM]. 2013. *International culture collection of Vesikular Arbuscular Mychorizal fungi (US)*. 2014.
- Abawi, G.S., dan Lorbeer J.W. 1972. *Several aspects of the ecology and pathology of Fusarium oxysporum f. sp. cepae*. J. Phytopathol. 62:870-876.
- Adiyoga, W., Basuki, R. S., Hilman, Y., dan Udiarto, B. K. 1997. Studi "base line" Identifikasi dan Pengembangan Teknologi PHT pada Tanaman Cabai di Jawa Barat. Kumpulan Makalah Hasil Seminar Penelitian Pendukung PHT. Program Nasional PHT Deptan. Hlm 88-119.
- Agrios, G. N. 1996. *Plant Pathology*. Ed ke-4. San Diego: Academic Press.
- Bailey, K.L. dan Lazarovits, G. 2003. *Suppressing soil-borne diseases with residue management and organic amendments*. Soil dan Tillage Research. 72: 169-180.
- Brundrett, M. 2004. *Diversity and classification of mycorrhizal associations*. Biol. Rev. 79:473-495.
- Budiman., Soetrisno, S. P. S., Budhi dan Indrianto, A. 2012. *Morphological Characteristics, Productivity and Quality Of Three Napier Grass (Pennisetum purpureum Schum) Cultivars Harvested At Different Age*. University of Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Buntan, A.S., Bachrein, M. Rauf, Soenartiningih, dan Suarni. 1997. Interaksi dan karbohidrat terhadap pembentukan kolonisasi mikoriza vesicular Arbuskular (MVA) pada tanaman jagung. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 15(2):18-23.
- Clark, R.B., dan Zeto, S.K. 2000. *Mineral Acquisition by Arbuscular Mycorrhizal Plants*. Journal of Plant Nutrition 23: 867-902.
- Clark, R.B., dan Zeto S.K. 1996. *Growth and Root Colonization of Mycorrhizal Maize Grown on Acid dan Alkaline Soil*. Journal of Soil Biology Biochemical 28: 1505-1511.
- Debnath, A., Karmakar, P., Debnath, S., Roy, D.A., Saha, A.K., dan Das P. 2015. *Arbuscular Mycorrhizal and Dark Septate Endophyte Fungal Association In Some Plants Of Tripura, North-East India*. Journal Research In Enviromental Dan Applie Mycology 5 (4): 398-407.
- Fatawi, Z.D., Gutomo, H.S. dan Hadiwiyono. 2003. Studi Lini Dasar Terjadinya Epidemii Penyakit Busuk Pangkal Bawang Putih di Tawangmangu. Laporan Hasil Penelitian Sumber Dana DUE-Like TA.2003. PS. Agronomi. F. Pertanian. UNS. 45hal.
- Fran, F., dan Cook, N.B. 1998. *Fundamental of Diagnostic Mycology*. WB Sdaners Company. Philadelphia. 283 hal.
- Garg, N., Abdel-Aziz, S.M., dan Aeron, A. 2016. *Microbes in Food and Health*. Springer. Switserldan 42-45.
- Garret SD. 1970. *Pathogenic Root Infecting Fungi*. Cambridge: Cambreg Univ. Press.

- Graham, J.H., dan Menge J.A. 1982. *Influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Phosphorus on Take-All Disease of Wheat*. Journal of Phytopathology 72: 95–96.
- Harris, J. 2005. *Antimicrobial properties of Allium Sativum (garlic)*. Appl. Microbiol. Biotechnol. 57: 282-286.
- Harsono, S. 1992. Perbanyak tanaman sirih. Warta Tumbuhan Obat Indonesia. 1(1): 22-23.
- Kardinan A. 2002. Pestisida Nabati. Ramuan dan aplikasi. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Kertonegoro, B. D. 2001. Gumuk Pasir Pantai Di D.I. Yogyakarta : Potensi dan Pemanfaatannya untuk Pertanian Berkelanjutan. Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Sumberdaya Lokal Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. Universitas Wangsa Manggala pada tanggal 02 Oktober 2001. h 46-54.
- Korlina E, Rosmahani L, Baswarsiati, Kasijadi F, Retnaningtyas E *et al.* 2000. Pengkajian Rakitan Teknologi Usahatani Bawang Merah Tanam di Luar Musim. Didalam: Santoso *et al.* editor. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Pengkajian BPTP Karangploso. Malang. Hlm 160-171.
- Linderman, R.G. 1994. *Role of VAM Fungi in Biocontrol*. In Pflieger, F. L., R.G. Linderman, S.M.N. Paul (ed.) Mycorrhizae dan Plant Health. p 1–26.
- Mdanal SM, Chakraborty D, dan Dey S. 2010. *Phenolic acids act as signaling molecules in plant–microbe symbioses*. Plant Signal. Behav., 5: 359-368.
- Manici, L.M., F. Caputo dan G. Baruzzi. 2005. *Additional experiences to elucidate microbial component of soil suppressiveness towards strawberry black root rot complex*. Annual Applied Biology 146: 421-431.
- Mordani, D., Baily, J.A., dan Pearson, G.V. 1984. *Isoflavonoid Accumulation in Soybean Roots Infected With Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Journal of Physiology Plant Pathology 24: 357–364.
- Mowidu, I. 2001. Peranan Bahan Organik dan Lempung Terhadap Agregasi dan Agihan Ukuran Pori pada Entisol. Tesis Pasca Sarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Muhibuddin, A. 2018. Spesifikasi kandungan nutrisi kompos. Jombang: Unwaha Press, 112.
- Mursito B. 2003. Sehat di usia lanjut dengan ramuan tradisional. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Omon RM. 2008. Pengaruh Dosis Tablet Mikoriza terhadap Pertumbuhan Dua Jenis Meranti Merah Asal Benih dan Stek di HPH PT. ITCIKU, Balikpapan, Kalimantan Timur. Info Hutan 5(4): 329-335.
- Otten, W. dan Giligan, C.A. 1998. *Effect of physical conditions on the spatial and temporal dynamics of the soil borne fungal pathogen rhizoctonia solani*. New Phytologist 138 (4): 629-637.
- Ownley, B.H., Duffy, B.K, dan Weller, D.M. 2003. *Identification and manipulation of soil properties to improve the biological control performance of phenazineproducing Pseudomonas fluorescens*. Applied and Environmental Microbiology 69 (6): 3333-3343.

- Paimin FB dan Murhananto. 2002. *Budidaya, pengolahan, dan perdagangan jahe*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Permadi, A.H., Alliudin dan Soleh, M. 1992. Pengaruh asal bibit terhadap daya hasil beberapa varietas bawang putih di dataran rendah dan dataran medium. Laporan Penelitian. Balithort Lembang.
- Pinkerton, J.N., Ivors, K.L., Reeser, P.W., Bristow, P.R., dan Windom, G.E. 2002. *The use of soil solarization for the mangement of soilborne plant pathogens in strawberry and redberry production*. Plant Disease 86: 645-651.
- Porth, G., F. Mangan, Wick, R., dan Autio, W. 2003. *Evaluation of management strategies for clubroot disease of brassica crops*. <http://www.umassvegetable.org>.
- Semangun, H. 2004. *Penyakit Tanaman Pangan di Indonesia*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 449p.
- Setiadi, Y. 2001. Peranan mikoriza arbuskula dalam reboisasi lahan kritis di Indonesia makalah seminar penggunaan CMA dalam sistem pertanian organik dan rehabilitasi lahan. Bdanung. 21-23 April 2001.
- Shaul, O., David, R., Sinvani, G., Ginzberg., Ganon, D., Wininger, S., Badani, H., Ovdad, N., dan Kapulnik, Y. 2001. *Plant defence response during arbuscular mycorrhiza symbiosis. Current advances in mycorrhizae research*. The American Phytopathological Society St Paul Minnesota. p.61-68.
- Singh, G., Singh, O.P., dan Maurya, S. 2002. *Chemical and biocidal investigations on essential oils of some Indian Curcuma species*. Progress in Crystal Growth dan Characterization of Materials 45:75-81.
- Smith, S E., dan Read, D.J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Second Edition. Academic Press. Harcourt Brace and Company Publisher, London.
- Soesanto, L., Sudharmono, N., Prihatiningsih, A., Manan., Iriani, E., dan Promono, J. 2005. Penyakit busuk rimpang jahe di sentra produksi jahe Jawa Tengah: 2. Intensitas dan pola sebaran penyakit. Agrosains 7 (1): 27-33.
- Steinkellner, S., Mammerler, R., dan Vierheilig, H. 2007. *Microconidia Germination of The Tomato Pathogen Fusarium oxysporum in The Presence of Root Exudates*. J. Plant Interac. 1 (1): 23-30.
- Sukdanarrumidi. 2018. *Bahan Galian Industri*. Universitas Gajah Mada Press. Yogyakarta. Hal 170-175.
- Suresh, C.K. 1980. *Interaction Between Vesicular Arbuscular Mycorrhizae and Root-Knot Nematodes in Tomato*. Thesis University of Agricultural Sciences. Bangalore, India.
- Suresh, C.K., dan Bagyaraj, D.J. 1984. *Interaction Between Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae dan A Root-Knot Nematode and Its Effect on Growth dan Chemical Composition on Tomato*. Journal of Nematology Mediteranian 12: 31-39.
- Syamsiah, I.S., dan Tajudin. 2003. *Khasiat dan Manfaat Bawang Putih*. Jakarta : Agromedia Pustaka.
- Syib'li, M.A. 2008. Jati mikoriza, sebuah upaya mengembalikan eksistensi hutan dan ekonomi Indonesia. <http://-www.kabarindonesia.com>. Diakses 4 Agustus 2019.

- Syukur, A dan Indah, N. M. 2006. Kajian Pengaruh Pemberian Macam PupukOrganik Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jahe Di InceptisolKaranganyar. Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan Vol 6 (2) : 124-131.
- Tomas-Barberan F., dan Espin, J. C. 2001. *Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality of fruits dan vegetables*. J. Sci. Food Agric., 81: 853-876.
- Valentine I. K., Maria V. K., dan Bruno, B. 2003. *Phenolic cycle in plants and environment*. J. Mol. Cell Biol., 2: 13-18.
- Widyawati, E. 2017. Memahami Komunikasi Tumbuhan-Tanah dalam Areal Rhizosfir untuk Optimasi Pengelolaan Lahan. J. Sumberdaya Lahan 11(1): 33-42.
- Wing, K.B., Pritts, M.P., dan Wilcox, W.F. 1995. *Biotic, edaphic, and cultural factors associated with strawberr black root rot in New York*. HortScience 30: 86-90.
- Wiyatiningsih, S. 2003. Studi epidemi penyakit moler pada bawang merah. Disertasi PS. Fitopatologi UGM. Yogyakarta.

