



**UJI INOKULASI GANDA CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULAR  
(*Glomus* spp.) DAN BPF (BAKTERI PELARUT FOSFAT) DALAM  
MENGENDALIKAN NEMATODA *Pratylenchus coffeae*  
SERTA MENINGKATKAN PERTUMBUHAN  
TANAMAN KOPI ARABIKA  
(*Coffea arabica* L.)**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
Rifatul Adabiyah  
NIM. 110210103021**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**UJI INOKULASI GANDA CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULAR  
(*Glomus* spp.) DAN BPF (BAKTERI PELARUT FOSFAT) DALAM  
MENGENDALIKAN NEMATODA *Pratylenchus coffeae*  
SERTA MENINGKATKAN PERTUMBUHAN  
TANAMAN KOPI ARABIKA  
(*Coffea arabica* L.)**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
Rifatul Adabiyah  
NIM. 110210103021**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Penyayang, saya persembahkan skripsi ini dengan segala cinta dan kasih kepada:

1. Orang tua tercinta Ayahanda Abd. Rosid dan Ibunda Emi Susiana yang selalu sabar dan tiada lelah mendukung setiap langkah saya, memberikan kasih sayang, do'a, nasihat, semangat, dan motivasi baik moril dan materiil. Terima kasih yang tiada batas atas semua pengorbanan yang telah tcurahkan, semoga Allah SWT selalu memberikan barokah-Nya kepada kita;
2. Keluarga Besar "Bani Mubin" yang selalu mendukung dan mendo'akan setiap langkah saya;
3. Dosen pembimbing skripsi yang senantiasa membimbing dan membantu terselesaikannya skripsi ini, Dr. Iis Nur Asyiah SP., MP. dan Dra. Pujiastuti, M.Si;
4. Bapak dan Ibu guru dari Sekolah Dasar hingga Perguruan Tinggi yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat dan bimbingan dengan sepenuh hati;
5. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang tercinta dan selalu saya banggakan

**MOTTO**

*“Ability is what you’re capable of doing, Motivation determine what you do,Attitude is determines how well you do it. \**

*Man Jadda Wa Jadda\*\**

---

\*Lou Holtz

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rifatul Adabiyah

NIM : 110210103021

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman dengan Aras Pemupukan Fosfat Berbeda pada Bibit Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Maret 2015  
Yang menyatakan,

Rifatul Adabiyah  
NIM. 110210103021

**SKRIPSI**

**UJI INOKULASI GANDA CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULAR  
(*Glomus spp.*) DAN BPF (BAKTERI PELARUT FOSFAT) DALAM  
MENGENDALIKAN NEMATODA *Pratylenchus coffeae*  
SERTA MENINGKATKAN PERTUMBUHAN  
TANAMAN KOPI ARABIKA  
(*Coffea arabica L.*)**

Oleh:

Rifatul Adabiyah  
NIM 110210103021

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP  
Dosen Pembimbing Anggota : Dra. Pujiastuti, M.Si

**PERSETUJUAN**

**UJI INOKULASI GANDA CENDAWAN MIKORIZA ARBUSKULAR  
(*Glomus spp.*) DAN BPF (BAKTERI PELARUT FOSFAT) DALAM  
MENGENDALIKAN NEMATODA *Pratylenchus coffeae*  
SERTA MENINGKATKAN PERTUMBUHAN  
TANAMAN KOPI ARABIKA  
(*Coffea arabica L.*)**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Program Studi Pendidikan Biologi (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh:

**Nama Mahasiswa : Rifatul Adabiyah**  
**NIM : 110210103021**  
**Jurusan : Pendidikan MIPA**  
**Program Studi : Pendidikan Biologi**  
**Angkatan Tahun : 2011**  
**Daerah Asal : Jember**  
**Tempat, Tanggal Lahir : Jember, 17 Februari 1994**

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

**Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP**  
NIP. 19730614 200801 2 008

**Dra. Pujiastuti, M.Si**  
NIP. 19610222 198702 2 001

**PENGESAHAN**

Skripsi Berjudul “ Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Jum'at

Tanggal : 27 Maret 2015

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing utama,

Pembimbing anggota,

**Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP**

NIP. 19730614 200801 2 008

Penguji utama,

**Dra. Pujiastuti, M.Si**

NIP. 19610222 198702 2 001

Penguji anggota,

**Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si.**

NIP. 19571028 198503 1 001

**Prof. Dr. Suratno, M.Si.**

NIP. 19670625 199203 1 003

Mengesahkan,  
Dekan FKIP Universitas Jember

**Prof. Dr. Sunardi, M.Pd**

NIP. 19540501 198303 1 005

## RINGKASAN

**Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (*Bakteri Pelarut Fosfat*) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.); Rifatul Adabiyah; 110210103021;2015; 174 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi; Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.**

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting dalam meningkatkan perekonomian dan ekspor nonmigas negara-negara di dunia salah satunya di Indonesia. Kopi Indonesia menempati pada peringkat ketiga dunia setelah Brazil dan vietnam terutama kopi jenis Arabika. Akan tetapi produktivitas Kopi Arabika di Indonesia mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan. Penurunan yang disebabkan adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) berupa nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan *Radopholus similis*. Pengendalian biologi secara tidak langsung dengan aplikasi agensia hayati dari golongan cendawan dan bakteri mampu meningkatkan toleransi tanaman, serta mampu menekan populasi nematoda sekitar 80%. Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri Pelarut Fosfat merupakan agen hayati yang dapat digunakan produk *Biofertilizer* yang ramah lingkungan dan sejalan dengan konsep *Green Economy*. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menguji kemampuan inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) dalam mengendalikan nematoda parasit *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perlindungan Tanaman Puslit Koka Indonesia dan *Green House* milik Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP. di Perumahan Istana Tidar, Kaliurang, Jember. serta Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Pendidikan Biologi FKIP dan Jurusan Biologi FMIPA Universitas Jember. Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2014 - Januari 2015. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 8 perlakuan, 5 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 2 unit tanaman., yaitu A (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae* ), B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* ), C (100 spora *Glomus* sp. + *P. mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae* ), D (100 spora *Glomus* spp. + *P. mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae* ), E (100 spora *Glomus* spp. + *B. mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae* ), F (100 spora *Glomus* spp. + *B. mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae* ), G (100 spora *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* ), H (0 spora *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* + nematisida carbofuran dosis 5 gr/pot).

Parameter penelitian ini terdiri dari tinggi tanaman (cm), jumlah daun, diameter batang (mm), skor kerusakan tajuk, skor kerusakan akar, berat basah akar dan tajuk,

berat kering tajuk, derajat infeksi mikoriza, populasi nematoda *P. coffeae*, kandungan P jaringan. Pengukuran parameter ini dilakukan selama 9 kali pengamatan. Data parameter pertumbuhan tanaman Kopi Arabika diambil dengan interval waktu pengamatan setiap 2 minggu sekali. Pengukuran berlangsung selama 16 minggu, kemudian di akhir pengamatan dilakukan pemanenan tumbuhan untuk diukur berat basah akar dan tajuk, berat kering, skor kerusakan akar, dan juga ekstraksi nematoda untuk menghitung populasi nematoda parasit.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa inokulasi ganda keduanya memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan populasi nematoda *P. coffeae* ( $p=0,000$ ) dan tidak meningkatkan pertumbuhan tanaman secara nyata terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman tetapi memberikan peningkatan yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol positif maupun kontrol negatif, peningkatan tinggi tanaman mencapai 38,19%, pertambahan jumlah daun mencapai 97,43%, peningkatan diameter batang mencapai 39,68,51% dan berat kering mencapai 75,78%.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pemberian mikoriza *Glomus* spp. dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, serta berat kering tajuk dan mengendalikan nematoda parasit *P. coffeae*.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)”. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul Optimalisasi Peranan Mikoriza Dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* (>80%) dan Meningkatkan Ketersediaan P Tanah pada Tanaman Kopi dengan Penambahan *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan *Phospate Sulubilizing Bacteria* (BPF) yang didanai oleh hibah KKP3N deptan 2014, dan diketuai oleh Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Sunardi, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Prof. Dr. Suratno, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember;
4. Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP., selaku Dosen pembimbing Utama dan Dra. Pujiastuti, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota dan Dosen Pembimbing Akademik meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam proses akademik hingga penulisan skripsi ini;
5. Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si., dan Prof. Dr. Suratno, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dalam penulisan skripsi ini;
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, atas semua bimbingan dan ilmu yang diberikan;

7. Keluarga Besar Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Ir. Soekadar Wiryadiputra S.U., selaku Kepala Laboratorium Nematologi, Ir. Slamet Haryono dan Bapak Rosidi selaku Teknisi Laboratorium Nematologi, Hendy Firmanto, S.T., selaku Peneliti Laboratorium Pascapanen;
8. Teknisi laboratorium di Program Studi Pendidikan Biologi, Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA, Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian dan Laboratorium Biomedik Fakultas Farmasi;
9. Adikku tersayang Zamrotul Fuad, yang turut memberikan do'a, semangat dan motivasi;
10. Keluarga besarku "Bani Mubin" yang turut memberikan semangat, doa, dan dukungan baik moral maupun materi;
11. Keluarga Besar Bapak Edie Prasetyo, Dr. Iis Nur Asyiah, SP.,MP., Airlangga Putra Prasetyo, Kania Ceta Putri Prasetyo "Tata";
12. Sahabat-sahabat tercinta Bheny Widya Anggara N.H, Suhaeli Tri Cahyani, Fiqa, Lila, U'ul, Bintan, Ndok, Mery, Suvi, Sarmento, Tyas, Dinda, Risa "SD", Widi, Umi, Emil, mbak Evi "mbak Epong", mas Enki, Mb' Anik, mas Nanda, Mahindra Dewi Nur Aisyah "UB", FOSFORS, yang selalu memotivasi dan memberikan semangat;
13. Seluruh teman-teman angkatan 2011 Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember terutama "X-Frend" yang selalu memotivasi;
14. Keluarga Besar "*Gank Kopi*" (Mb' Nuy, Mb' Vika, Mb' Broki, Mb' Pt, Mas Irfan, Henoy, dan Mb' Tanti) yang selalu memberikan semangat serta Buk Mul, dan Pak Andrik yang senantiasa membantu saat proses penelitian;
15. Keluarga Besar IKAHIMBI, UKM PELITA UNEJ, UKM PRAMUKA "SOJU", HMSPSB "lumba-lumba" FKIP UNEJ yang selalu memberikan banyak wawasan, pengalaman dan ilmu yang bermanfaat;
16. Keluarga besar kosan Jl. Kalimantan X No. 28A dan Jl. Jawa IVC No.7;
17. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga semua do'a, bimbingan, wawasan, pengarahan, nasihat, pengalaman, bantuan dan dorongan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Akhir kata besar harapan penulis semoga dengan adanya skripsi ini dapat memberikan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 27 Maret 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xx</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>6</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1 Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Deskripsi Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	<b>7</b>
2.1.2 Klasifikasi Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	<b>7</b>
2.1.3 Morfologi tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	<b>8</b>
2.1.4 Syarat Tumbuh Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	<b>10</b>
2.1.5 Penyakit pada tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	<b>11</b>

<b>2.2 Nematoda .....</b>	<b>13</b>
2.2.1 Deskripsi Nematoda .....	13
2.2.2 Nematoda Peluka Akar ( <i>Pratylenchus</i> spp.) .....	14
2.2.3 Nematoda <i>P. coffeae</i> pada Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .	17
2.2.4 Pengendalian Nematoda .....	22
<b>2.3 Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) .....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Deskripsi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) .....	24
2.3.2 Manfaat Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) .....	24
2.3.3 Proses infeksi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) .....	27
2.3.4 Macam-macam Cendawan Mikoriza Arbuskular .....	27
2.3.5 Cendawan Mikoriza Arbuskular <i>Glomus</i> spp. ....	28
2.3.6 Peranan CMA dalam Meningkatkan Unsur P .....	30
<b>2.4 Unsur Hara Fosfat .....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Deskripsi Unsur Hara Fosfat .....	32
2.4.2 Manfaat Unsur Hara Fosfat .....	33
<b>2.5 Mikroba Pelarut Fosfat .....</b>	<b>35</b>
2.5.1 Deskripsi Mikroba Pelarut Fosfat .....	35
2.5.2 Macam-macam Mikroorganisme Pelarut Fosfat .....	35
2.5.3 Bioekologi Bakteri Pelarut Fosfat .....	35
2.5.4 Mekanisme Bakteri dalam Melarutkan fosfat .....	36
<b>2.6 Bakteri Pelarut Fosfat (<i>B.mycoides</i> dan <i>P. mallei</i>).....</b>	<b>37</b>
2.6.1 Biologi <i>Bacillus mycoides</i> .....	37
2.6.2 Klasifikasi <i>Bacillus mycoides</i> .....	38
2.6.3 Biologi <i>Pseudomonas mallei</i> .....	38
2.6.4 Klasifikasi <i>Pseudomonas mallei</i> .....	40
<b>2.7 Penggunaan Agen Hayati dalam mengendalikan nematoda .....</b>	<b>41</b>
<b>2.8 Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskuler dan Bakteri Pelarut Fosfat (<i>Bacillus mycoides</i> dan <i>Pseudomonas mallei</i>) dalam mengendalikan <i>Pratylenchus coffeae</i>.....</b>	<b>42</b>

2.9 Hipotesis Penelitian .....	43
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>44</b>
3.1 Jenis Penelitian .....	44
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	44
3.2.1 Tempat Penelitian .....	44
3.2.2 Waktu Penelitian .....	45
3.3 Identifikasi Variabel Penelitian .....	44
3.3.1 Variabel Bebas .....	44
3.3.2 Variabel Terikat .....	45
3.3.3 Variabel Kontrol atau variabel Kendali .....	45
3.4 Definisi Operasional .....	46
3.5 Desain Penelitian .....	47
3.6 Populasi dan Sampel Penelitian .....	48
3.6.1 Populasi Penelitian .....	48
3.6.2 Sampel Penelitian .....	48
3.7 Alat dan Bahan Penelitian .....	48
3.7.1 Alat Penelitian .....	48
3.7.2 Bahan Penelitian .....	48
3.8 Prosedur penelitian .....	49
3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan .....	49
3.8.2 Persiapan Media Tana .....	49
3.8.3 Persiapan penanaman bibit Kopi Arabika .....	49
3.8.4 Persiapan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	50
3.8.5 Persiapan <i>Glomus</i> spp. ....	51
3.8.6 Perhitungan mikoriza <i>Glomus</i> spp. ....	52
3.8.7 Penimbangan zeolit yang mengandung spora <i>Glomus</i> spp. ....	52
3.8.8 Identifikasi nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	52
3.8.9 Identifikasi BPF ( <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> )	53

3.8.10	Perhitungan populasi nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	56
3.8.11	Tahap Pengenceran Bakteri dan Formulasi Bakteri dengan CFU .....	56
3.8.12	Tahap Formulasi Bakteri .....	57
3.8.13	Inokulasi <i>Pratylenchus coffeae</i> , <i>Glomus</i> spp. dan Bakteri .....	57
3.8.14	Pemeliharaan tanaman kopi .....	58
<b>3.9</b>	<b>Parameter penelitian .....</b>	<b>58</b>
3.9.1	Tinggi Tanaman (cm).....	58
3.9.2	Diameter Batang .....	58
3.9.3	Jumlah Daun .....	59
3.9.4	Berat Basah Tajuk .....	59
3.9.5	Berat kering tajuk .....	59
3.9.6	Kandungan P tanah dan Jaringan .....	59
3.9.7	Derajat infeksi mikoriza dan bakteri .....	59
3.9.8	Skor kerusakan tajuk .....	60
3.9.9	Jumlah Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	61
3.9.10	Skor kerusakan Akar .....	61
<b>3.10</b>	<b>Analisis Data .....</b>	<b>62</b>
3.10.1	Analisis Data Penelitian .....	62
3.10.2	Pengambilan kesimpulan .....	62
<b>3.11</b>	<b>Alur Penelitian .....</b>	<b>63</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>64</b>
<b>4.1</b>	<b>Hasil Penelitian .....</b>	<b>64</b>
4.1.1	Hasil Identifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	64
4.1.2	Hasil Identifikasi Bakteri <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus</i> <i>mycoides</i> .....	67
4.1.3	Pengaruh <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Berat Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	68

4.1.4	Pengaruh inokulasi ganda mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap populasi nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> pada tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	74
4.1.5	Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	76
4.1.6	Hasil Analisis ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan setelah Pemberian <i>Glomus</i> spp. dan BPF .....	84
4.1.7	Hasil Analisis P (Fosfat) dalam Jaringan setelah Pemberian <i>Glomus</i> spp. dan BPF. ....	86
<b>4.2</b>	<b>Pembahasan .....</b>	<b>87</b>
4.2.1	Hasil Identifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	88
4.2.2	Hasil Identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> .....	89
4.2.3	Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap populasi nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	90
4.2.4	Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Pertumbuhan tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	93
4.2.5	Hasil Analisis ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan setelah Pemberian <i>Glomus</i> spp. dan BPF .....	98
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>101</b>
5.1	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>101</b>
5.2	<b>Saran .....</b>	<b>101</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>102</b>

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1 Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.).....	10
Gambar 2.2 Aneka bentuk tubuh Nematoda.....	14
Gambar 2.3 Siklus hidup dan siklus penyebaran penyakit nematoda peluka akar ( <i>Pratylenchus</i> spp.). .....	16
Gambar 2.4 Berbagai tipe makan atau cara makan nematoda didalam jaringan akar.....	17
Gambar 2.5 Bagian-Bagian Morfologi <i>Pratylenchus coffeae</i> .....	18
Gambar 2.6 <i>Pratylenchus coffeae</i> dari pengamatan bawah mikroskop cahaya....	19
Gambar 2.7 Tipe <i>stylet</i> pada bagian kepala pada <i>P.coffeae</i> .....	20
Gambar 2.8 Perawakan tanaman kopi akibat serangan nematoda <i>P.coffeae</i> .....	22
Gambar 2.9 Penampang longitudinal akar yang terinfeksi fungi mikoriza .....	27
Gambar 2.10 Spora <i>Glomus</i> spp. (Perbesaran 200 x) .....	29
Gambar 2.11 Bagian morfologi <i>Glomus</i> spp. ....	29
Gambar 2.12 Skema Penyerapan unsur P oleh akar bermikoriza .....	32
Gambar 2.13 Morfologi <i>Bacillus mycoides</i> menggunakan pewarnaan gram (Perbesaran 1000 x) .....	38
Gambar 2.14 Morfologi <i>Pseudomonas mallei</i> menggunakan pewarnaan gram (Perbesaran 1000 x) .....	40
Gambar 3.1 Skema penempatan inokulan <i>Pratylenchus coffeae</i> , <i>Glomus</i> spp. dan Bakteri .....	57
Gambar 4.1 Nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> Jantan .....	65
Gambar 4.2 Nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> Betina .....	66
Gambar 4.3 Akar tanpa inokulasi mikoriza <i>Glomus</i> spp. ....	69
Gambar 4.4 Akar dengan inokulasi mikoriza <i>Glomus</i> spp. ....	70
Gambar 4.5 Akar dengan inokulasi nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> dan mikoriza <i>Glomus</i> spp. ....	71

Gambar 4.6 Kerusakan akar bibit Kopi Arabika dengan perlakuan nematoda parasit <i>P. coffeae</i> dan mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF pada usia 4 bulan atau 16 msp dari perlakuan A-H .....	73
Gambar 4.7 Grafik penambahan tinggi tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp) .....	78
Gambar 4.8 Grafik rerata jumlah daun tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp) .....	80
Gambar 4.9 Grafik Peningkatan Diameter Batang Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp) .....	82

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Distribusi akar Kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah .....	8
Tabel 2.2 Syarat tumbuh Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	11
Tabel 2.3 Klasifikasi Cendawan Mikoriza Arbuskula .....	27
Tabel 4.1 Hasil Uji Fisiologis BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) .....	67
Tabel 4.2 Pengaruh Pemberian Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata Derajat Infeksi mikoriza pada Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	68
Tabel 4.3 Pengaruh Pemberian Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata skor kerusakan akar pada Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	72
Tabel 4.4 Pengaruh <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap rerata populasi nematoda parasit <i>P. coffeae</i> tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	75
Tabel 4.5 Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata Tinggi Tanaman Kopi Arabika pada sebelum perlakuan dan 16 msp .....	77
Tabel 4.6 Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata Jumlah daun tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) sebelum perlakuan dan 16 msp .....	79
Tabel 4.7 Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap rerata diameter batang tanaman Kopi Arabika Sebelum perlakuan dan 16 msp .....	81
Tabel 4.8 Pengaruh Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata Skor Kerusakan Tajuk Tanaman Kopi Arabika Sebelum perlakuan dan 16 msp .....	83
Tabel 4.9 Pengaruh Pemberian Mikoriza <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap Rerata Berat Tanaman Kopi Arabika ( <i>Coffea arabica</i> L.) .....	85
Tabel 4.10 pemberian <i>Glomus</i> spp. dan BPF terhadap ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan tanaman Kopi Arabika .....	86

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran A. Matrik Penelitian .....	108
Lampiran B. Desain Tata Letak Unit Percobaan .....	112
Lampiran C. Data Hasil Penelitian .....	113
Lampiran D. Data Hasil Analisis SPSS .....	123
Lampiran E. Alat-alat dan Bahan Penelitian .....	140
Lampiran F. Gambar Tanaman Bibit Kopi pada Akhir Penelitian .....	142
Lampiran G. Foto Kegiatan .....	144
Lampiran H. Lembar Konsultasi .....	151

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan komoditas perdagangan kedua setelah minyak mentah sebagai sumber perekonomian asing negara di dunia, dan merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting dalam meningkatkan perekonomian dan ekspor nonmigas negara-negara didunia salah satunya di Indonesia. Berdasarkan pada tingkat produksinya, kopi Indonesia menempati pada peringkat ketiga dunia setelah Brazil dan Vietnam. Hal tersebut ditinjau dari semakin meluasnya lahan yang digunakan sebagai perkebunan kopi mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2012 (Basis Data Statistik Pertanian, 2012)

Dari jenis kopi yang diproduksi, menurut *International Coffee Organization* (2014) Kopi Arabika merupakan bagian terbesar (sekitar 70%) dari total produksi kopi yang diproduksi dunia dan 30% sisanya adalah Kopi Robusta. Kopi Arabika (*Coffea arabica*) merupakan Kopi yang sering dibudidayakan di Indonesia. Dibandingkan dengan kopi Robusta (*Coffea canephora*), Kopi Arabika menjadi satu-satunya jenis kopi komersial yang dibudidayakan di Indonesia selama hampir dua abad. Dalam era yang berkelanjutan terhadap pemulihan perekonomian nasional, komoditi kopi jenis Arabika Indonesia diharapkan mampu meningkatkan devisa negara (Prastowo,2010)

Berdasarkan perkembangan volume dan nilai ekspor kopi, Kopi Arabika Indonesia memiliki nilai jual tertinggi dikarenakan Kopi Arabika Indonesia diekspor dalam kualitas bagus (*Grade 1*) sedangkan kopi Robusta dominan diekspor dalam kualitas sedang hingga rendah (AEKI, 2012).

Produktivitas Kopi Arabika di Indonesia mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan. Secara garis besar penurunan produktivitas kopi disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu faktor penyebabnya adalah adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Berdasarkan jenis OPT utama penyerang tanaman

kopi, dapat dikelompokkan menjadi tiga (3) diantaranya yaitu : (1) Hama (Hama Penggerek Buah Kopi atau PBKO); (2) Nematoda parasit (*Pratylenchus coffeae*); dan (3) Penyakit (Penyakit Karat Daun Kopi).

Hama dan penyakit mampu menurunkan produktivitas kopi hingga 40%, sedangkan nematoda parasit dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu dan menurunkan produksi dari kopi baik kuantitas maupun kualitas. Nematoda parasit yang utama menyerang tanaman kopi adalah *Pratylenchus coffeae* dan *Radopholus similis*. Menurut Harni (2013), serangan *P. coffeae* pada Kopi Robusta mampu menurunkan produksi hingga 57%, sedangkan serangan *R. similis* dan *P. coffeae* pada kopia Arabika dapat menyebabkan kerusakan hingga 80% dan dapat mengakibatkan kematian pada umur kurang dari 3 tahun.

Nematoda *P. coffeae* merupakan nematoda endoparasit, yang mampu menyerang akar tanaman kopi dan menyebabkan luka akar (*root lesion*) sehingga dapat menghambat pengangkutan hara tanaman. Luka yang disebabkan karena nematoda *P. coffeae* dapat menginfeksi jalan masuknya patogen lain seperti jamur dan bakteri. Gejala kerusakan lain yang disebabkan oleh nematoda ini adalah ukuran tanaman kerdil, kurus, daun kecil, menguning dan gugur hingga kematian secara perlahan.

Salah satu upaya pengendalian nematoda *P. coffeae* adalah dengan cara pengendalian biologis atau pengendalian hayati. Bentuk pengendalian ini merupakan pengendalian yang pada akhir-akhir ini banyak digunakan, upaya pengendalian tersebut berbasis pada pengendalian yang ramah lingkungan dan sejalan dengan konsep *Green Economy*. Salah satu komponen pengendalian yang ramah lingkungan adalah dengan menggunakan agen hayati (musuh alami). Pemanfaatan agen hayati yaitu dengan memanfaatkan bakteri parasit *Pasteuria penetrans*, maupun bakteri saprofit yang berasal dari rizhosfer seperti *Bacillus subtilis*, *Pasteuria fluorescens*, *Agrobacterium radiobacter*. Demikian pula pengendalian hayati dengan menggunakan kelompok cendawan seperti *Paecilomyces lilacinus*, *Arthrobotrya oligospora* (Munif, 2009).

Implementasi pengendalian biologi secara tidak langsung dengan aplikasi agensia hayati dari golongan cendawan dan bakteri mampu meningkatkan toleransi tanaman, serta mampu menekan populasi nematoda sekitar 80% (Wiryadiputra, 1986; Wiryadiputra, 1997). Salah satu mekanisme bakteri dalam pengendalian nematoda *P. coffeae* adalah dengan cara menginduksi ketahanan tanaman (Hallmann, 2001). Induksi ketahanan tanaman terhadap nematoda dapat melalui peningkatan asam salisilat, peroksidase, fitoaleksin, patogenesis *Related Protein* (PR) dan senyawa fenolik (Tian et al. 2007).

Dalam mengendalikan nematoda *P. coffeae* agensia hayati dari golongan cendawan dan bakteri tidak mampu bekerja dengan sendiri, keduanya melakukan interaksi dengan sinergis untuk menstimulasi pertumbuhan tanaman terutama pada tanaman kopi. Dalam menjalankan fungsi tersebut keduanya harus mampu bersimbiosis. Sehingga populasi nematoda *P. coffeae* mampu dikendalikan secara optimal.

*Biofertilizer* sebagai produk yang mengandung mikroba hidup atau sel mikroba yang tersembunyi mampu mengaktifkan proses biologis untuk membuat pupuk maupun unsur yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Komponen yang harus tersedia dalam pembuatan tersebut meliputi perumusan mikroba pengikat nitrogen, mikroba pelarut fosfat dan mikroba selulolitik (Boonkerd, 2008). Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) merupakan bakteri yang berperan dalam penyuburan tanah karena bakteri tipe ini mampu melakukan mekanisme pelarutan fosfat dengan mengekskresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, fumarat, malat.

Bentuk *biofertilizer* dalam pengendalian hama *P. coffeae* adalah Fungi Mikoriza Arbuscular (FMA) yang berfungsi dalam penyediaan dan penyerapan unsur hara tanaman, membantu dekomposisi bahan organik, mencegah serangan penyakit, serta mampu mendukung pertumbuhan dalam meningkatkan produksi tanaman.

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) berperan dalam penyerapan unsur hara dalam tanah sehingga mampu meningkatkan produksi tanaman. Salah satu cara untuk

menjalankan fungsi tersebut keduanya berasosiasi dengan cendawan mikoriza Arbuskula (CMA).

Mosse, (1981) menerangkan bahwa cendawan mikoriza mampu berkolonisasi dan berkembang secara simbiose mutualistik dengan akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta membantu menekan perkembangan beberapa patogen tanah. Cendawan mikoriza merupakan cendawan obligat, dan melalui sporanya mampu berasosiasi langsung dengan akar tanaman. Spora berkecambah dengan membentuk *apressoria* sebagai alat infeksi, hasil infeksi cendawan ini mampu digunakan oleh bakteri untuk mempermudah dalam penyerapan hara tanaman.

Kelompok CMA yang umum ditemukan adalah genus *Gigaspora*, *Scutellospora*, *Glomus*, *Sclerocystis* dan *Acaulospora*. Keseluruhan genus tersebut memiliki kemampuan untuk membentuk arbuskula dalam mengidentifikasi adanya infeksi pada akar tanaman. Hasil penelitian Munir (2010), menerangkan bahwa genus *Glomus* spp. mampu meningkatkan akar tanaman lebih panjang dibandingkan genus *Gigaspora* maupun *Scutellospora*. *Glomus* spp. memiliki kemampuan lebih tinggi dalam penyerapan hara maupun air yang berfungsi dalam meningkatkan laju fotosintesis tanaman.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana keduanya yaitu (Bakteri Pelarut Fosfat) bersinergis dengan cendawan mikoriza Arbuskula (CMA) dalam mengendalikan Nematoda *P. coffeae*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan judul **“Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)”**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Apakah Inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) mampu mengendalikan nematoda *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)?;
- b. Apakah Inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) ?.

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan dan mengurangi kerancuan dalam menafsirkan masalah yang digunakan dalam penelitian ini maka diberi batasan masalah sebagai berikut:

- a. Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) yang digunakan adalah *Glomus* spp. yang diperoleh dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
- b. Tanaman kopi yang digunakan adalah bibit kopi jenis Arabika yang berasal dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember dan berumur 2 bulan.
- c. Bakteri Pelarut Fosfat yang digunakan adalah *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*
- d. Nematoda *Pratylenchus coffeae* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari akar tanaman kopi pada bedengan bibit tanaman kopi di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember dan berada dalam stadium juvenil dan dewasa.
- e. Perbanyakan Cendawan Mikoriza Arbuskular *Glomus* spp. dilakukan dengan menggunakan tanaman jagung dalam media tumbuh berupa bantuan zeolit steril ukuran 2 – 3 mm.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menguji kemampuan inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.);
- b. Menguji kemampuan inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- a. Bagi peneliti, dapat membuktikan secara ilmiah bahwa Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) mampu meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika serta menurunkan populasi nematoda parasit *P. coffeae*
- b. Bagi ilmu pengetahuan, menambah wawasan keilmuan dan pengetahuan tentang pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) melalui penerapan inokulasi ganda dalam mengendalikan nematoda parasit *P. coffeae* serta meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika.
- c. Bagi peneliti lain, dapat memberikan sumbangan pemikiran baru sebagai bentuk motivasi dalam rangka meneliti lebih lanjut mengenai segala sesuatu yang berkenaan dengan Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) serta digunakan sebagai bahan perbandingan dan acuan untuk penelitian sejenis,
- d. Bagi masyarakat, memberikan informasi baru mengenai teknik pengendalian secara hayati dalam menurunkan nematoda parasit *P. coffeae* pada tanaman Kopi Arabika dengan menggunakan Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*).

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

#### 2.1.1 Deskripsi Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Kata “Kopi” berasal dari pembentukan kata dari kingdom “*Kaffa*” (sekarang disebut sebagai bagian dari Ethiopia). Kopi (*Coffea* sp.) pertama kali ditanam sekitar pada tahun 15-18 abad yang lalu. Dua jenis spesies kopi yang ditanam adalah Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dan kopi robusta (*Coffea canephora*), yang secara botani dapat dibedakan (Vieira, 2008:3). Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) merupakan salah satu tanaman kopi yang berasal dari Ethiopia, tumbuh di Afrika Barat, India Barat, dan Jawa. Penyebaran kopi ini ke Indonesia dibawa oleh seorang kebangsaan Belanda pada abad ke-17 sekitar Tahun 1646 yang mendapatkan biji Arabika Mocca dari Arabika. Karena tanaman ini mati akibat banjir, pada tahun 1699 Gubernur Jenderal Belanda mendatangkan kembali bibit-bibit baru, yang kemudian berkembang disekitar Jakarta dan Jawa Barat, dan akhirnya menyebar ke berbagai daerah di Indonesia (Gandul, 2010).

#### 2.1.2 Klasifikasi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Kedudukan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : Plantae  
Phylum : Tracheophyta  
Subphylum : Spermathophyta  
Class : Magboliopsida  
Order : Gentianales  
Family : Rubiaceae  
Genus : Coffea  
Species : *Coffea arabica* L

Sumber : ITIS.gov

### 2.1.3 Morfologi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) merupakan tanaman perdu tahunan yang memiliki akar tunggang, batangnya berkayu, keras, dan tegak dengan warna putih keabu-abuan, tingginya antara 7-12 m dan mempunyai cabang. Tanaman ini dapat tumbuh mencapai 12 meter, memiliki percabangan sekunder yang sangat aktif bahkan pada cabang primer yang ada dipermukaan tanah membentuk kipas berjuntai menyentuh tanah. Panjang cabang primer rata-rata mencapai 123 cm sedangkan ruas cabangnya pendek-pendek (Soediby, 1998).

Meskipun kopi merupakan tanaman tahunan dan memiliki sistem perakaran tunggang agar tidak mudah rebah, kopi memiliki sistem perakaran yang dangkal yaitu pada kedalaman 0-30 cm, sehingga mudah mengalami kekeringan pada saat kemarau panjang. Susunan akar kopi seperti halnya sistem perakaran tanaman dikotil (tanaman yang memiliki dua keping kotiledon) lainnya terdiri atas akar utama yang merupakan akar tunggang, akar lebar, akar rambut dan bulu akar serta adanya tudung akar. Panjang akar kurang lebih 45- 50 cm (Yahmadi, 1976).

Adapun distribusi akar Kopi Arabika dalam lapisan tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Distribusi akar Kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah

Lapisan tanah (cm)	Berat rata – rata / tanaman	% terhadap berat total
0-30	195,85	94,13
30-60	10,54	5,07
60-90	1,45	0,69
90-120	0,12	0,05
<b>Jumlah</b>	<b>207,96</b>	<b>100</b>

*Sumber* : Sub – Balai Penelitian Budidaya Jember

Batang kopi memiliki percabangan yang banyak dan dapat dikatakan sedikit unik jika dibandingkan dengan tanaman lain, karena tanaman kopi memiliki berbagai jenis percabangan. Antara percabangan yang satu dengan yang lain memiliki jenis dan fungsi yang berbeda. Cabang-cabang tersebut diantaranya adalah : 1) Cabang

Reproduksi (cabang *orthotrop*); 2) Cabang Primer (cabang *Plagiotrop*); 3) Cabang Sekunder; 4) Cabang balik; 5) Cabang air; 6) Cabang kipas; dan 7) Cabang pecut (Najiyati dan Danarti, 1998)

Daun kopi pada cabang ataupun batang, tumbuh secara berhadapan dan berpasangan. Cabang pasangan daun tersebut terletak dalam satu bidang sedangkan pada batang dan bagian wiwilan, pasangan daun tersebut tidak terletak dalam satu bidang akan tetapi pada bidang yang bersilangan atau berlawanan. Jumlah stomata pada daun Kopi Arabika (*Coffea arabica* L) sekitar 148-185 per mm<sup>2</sup>. Jumlah stomata pada tanaman kopi ini dipengaruhi oleh banyak atau sedikitnya intensitas cahaya yang diterima. Semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima, maka jumlah stomatanya juga akan semakin banyak. Daun kopi memiliki kepekaan yang tinggi terhadap intensitas cahaya yang diterimanya sehingga diperlukan suatu perlakuan naungan karena daun kopi akan menjadi lebih lebar, tipis dan lembek apabila terkena intensitas cahaya yang tinggi (Yahmadi,1976)

Bunga tanaman *Coffea arabica* L. merupakan bunga majemuk (muncul secara berkelompok). Tumbuh dibagian aksilar daun cabang primer dengan bentuk seperti payung. Mahkota bunga berbentuk bintang dan berwarna putih. Masing-masing bunga mempunyai diameter sekitar 1-1,5 cm. Tanaman kopi umumnya akan mulai berbunga setelah berumur  $\pm 2$  tahun. Tumbuhnya bunga pada ketiak cabang primer tersusun secara berkelompok, tiap kelompok terdiri atas tiga sampai empat kuntum bunga. Tiap buku dapat tumbuh kurang lebih 30 kuntum bunga. Bunga kopi akan mekar pada permulaan kemarau (Raharjo,2012).

Buah tanaman kopi tumbuh berkelompok atau bergerombol, memiliki ukuran yang cukup besar. Buah yang masih muda berwarna hijau sedangkan yang sudah masak akan berwarna merah cerah. Bentuk buah bulat telur dengan diameter kurang lebih 10-15 mm (Soedibyo, 1998). Bagian-bagian dari buah kopi, meliputi : epicarp (kulit buah), mesocarp (jaringan buah), endosperm (keping biji) dan Embrio (lembaga). Buah kopi umumnya mengandung dua butir biji dalam satu buahnya, akan

tetapi terkadang hanya mengandung satu butir dan bahkan ada yang tidak berbiji (Najiyati, 2001: 13-14).



Gambar 2.1 Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.), A) Batang Kopi Arabika, B) Daun Kopi Arabika, C) Bunga Kopi Arabika, D) Buah Kopi Arabika (Sumber: Koleksi Pribadi, 2014)

#### 2.1.4 Syarat Tumbuh Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Pada umumnya kopi di Indonesia dapat tumbuh secara optimal pada ketinggian tempat diatas 700 mdpl (di atas permukaan laut). Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dapat tumbuh dengan baik dengan menghasilkan cita rasa yang bermutu pada ketinggian tempat diatas 1000 m dpl. Curah hujan yang sesuai dengan tanaman kopi untuk dapat tumbuh optimal adalah 1500 – 2500 mm per tahun, dengan rata-rata bulan kering. Suhu optimal pertumbuhan Kopi Arabika adalah 15-25°C dengan kecepatan angin tenang (Prastowo *et al*, 2010:4-6).

Tabel 2.2 Syarat tumbuh Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Syarat Tumbuh	Kopi Arabika
<b>Iklim</b>	
Tinggi tempat (m dpl)	700 – 1400
Suhu Udara Harian (°C)	15- 24
Curah Hujan Rata – rata ( mm/ th)	2000- 4000
Jumlah bulan kering (bl / th)	1-3
<b>Tanah</b>	
Derajat keasaman (pH)	5,3-6,0
Kandungan B.O(%)	>3
Kedalaman efektif (cm)	>100
Kemiringan Maksimum (%)	40

Sumber : *Teknologi Budidaya Kopi Poliklonal*.

Untuk mengurangi intensitas cahaya yang diterima, tanaman kopi memerlukan suatu naungan dari tanaman lain. Naungan tersebut tidak boleh terlalu berat karena dapat mengurangi proses pembuahan. Tanaman naungan dapat dibagi menjadi dua yaitu penaungan sementara dan penaungan tetap (Puslitkoka, 2006). Tanaman lain yang biasanya digunakan sebagai tanaman penaung adalah tanaman Lamtoro (*Leucaena glauca*), Ambas/gamal (*Gliricidia* sp.), dan tanaman Ka'ne atau dadap (*Erythrina subumbrans*) serta pohon kayu-kayuan yang ditanam hanya di tepi batas kebun seperti Tanaman Sengon, Suren, Mahoni dan Jati (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, 2013).

#### 2.1.5 Organisme Pengganggu Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Indonesia sebagai negara produsen kopi terbesar ketiga dunia setelah negara Brazil dan Vietnam, akan tetapi peringkat tersebut tidak diimbangi dengan usaha produksi yang seimbang sehingga produktivitas kopi Indonesia di pasar kopi dunia cenderung menurun, jika dibandingkan negara Brazil dan Vietnam. Secara garis besar penurunan produktivitas kopi disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu faktor penyebabnya adalah adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Berdasarkan jenis OPT utama penyerang tanaman kopi, dapat dikelompokkan menjadi tiga (3)

diantaranya yaitu : (1) hama (Hama Penggerek Buah Kopi atau PBKO); (2) penyakit (Penyakit Karat Daun Kopi); dan (3) nematoda parasit (*Pratylenchus coffeae*) (Prastowo, *et al*, 2010:40)

Menurut Puslitkoka (2006), penyakit utama pada tanaman kopi adalah nematoda parasit. Dua jenis nematoda yang utama menyerang tanaman kopi adalah *Pratylenchus coffeae* (*P. coffeae*) dan *Radopholus similis* (*R. similis*). Menurut Harni (2013), serangan *P. coffeae* pada kopi Robusta mampu menurunkan produksi hingga 57 %, sedangkan serangan *R. similis* dan *P. coffeae* pada Kopi Arabika dapat menyebabkan kerusakan hingga 80% dan dapat mengakibatkan kematian pada umur kurang dari 3 tahun.

Kedua jenis nematoda ini merupakan jasad pengganggu yang sangat berbahaya pada kopi jenis Robusta terutama pada jenis Arabika (*Coffea arabica* L.). Secara umum, serangan nematoda parasit menyebabkan kerusakan pada akar karena nematoda parasit menghisap sel-sel penyusun akar. Akibat kerusakan sel-sel akar tersebut dapat membuat pembuluh jaringan akar akan terganggu, sehingga translokasi air dan hara akan terhambat (Nadiah, 2014). Selain itu nematoda parasit mampu mempengaruhi proses fotosintesis dan transpirasi pada tanaman kopi, sehingga pertumbuhan kopi sangat terhambat, warna daun menguning seperti gejala kekurangan unsur hara yang penting bagi tanaman (klorosis), mudah layu hingga akhirnya tanaman akan mati. Selain itu mampu menurunkan produksi dari kopi baik secara kuantitas maupun kualitas (Evans, 1982; Melakeberhan *et al.*, 1987 dalam Mustika, 2005).

Hampir seluruh provinsi produsen kopi di Indonesia seperti Sumatera Utara, Sumatra Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT dan Sulawesi Selatan terinfeksi nematoda parasit *P. coffeae*. Penurunan produksi *P. coffeae* pada Kopi Robusta berkisar antara 28,7%-78,4%. Sedangkan pada Kopi Arabika biasanya tanaman hanya mampu bertahan selama 2 tahun (Wiryadiputra dan Atmawinata, 1998).

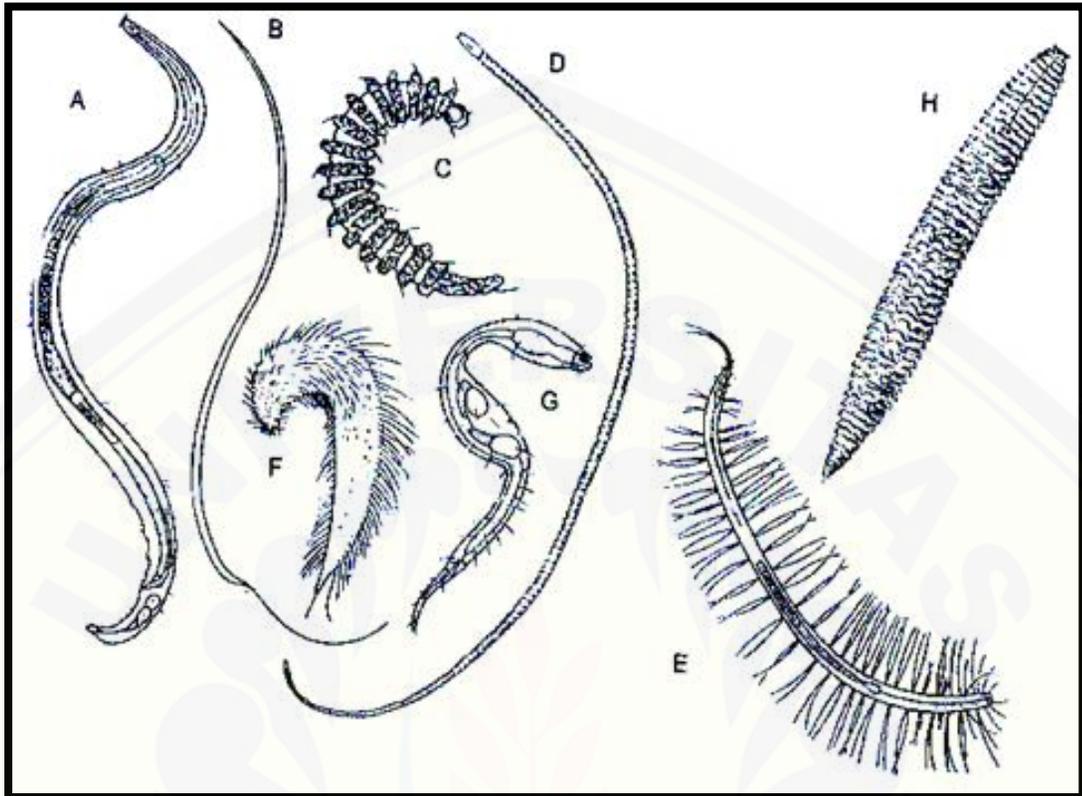
## 2.2 Nematoda

### 2.2.1 Deskripsi Nematoda

Nematoda merupakan salah satu mikroorganisme yang berbentuk seperti cacing, memiliki bentuk tubuh bilateral simetris, dan bersifat parasit pada tumbuhan, memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu antara 300 – 1000 mikron, memiliki panjang hingga 4 mm dan lebar 15 – 35 mikron. Tubuh nematoda tidak beruas, tidak berwarna dan ditutupi oleh dinding tubuh yang berfungsi untuk melindungi dari tekanan. Dinding tubuh tersebut terdiri atas kutikula bagian luar, lapisan antara, hipodermis dan bagian dalam berupa otot-otot yang membujur. Kutikula merupakan struktur yang aktif terdiri dari protein dan enzim. Selama siklus hidupnya nematoda mengalami empat kali pergantian kutikula. Di bawah kutikula terdapat epidermis (Mustika, 2003).

Berdasarkan ekologi nematoda dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu : (a) ektoparasit yang bermigrasi (*migratory ectoparasitic*) yang hidup di dalam tanah dengan memakan sel jaringan akar; (b) semi endoparasit yang bermigrasi (*semi endoparasitic*) dan hidup di dalam tanah, hanya dengan bagian depan (anterior) badannya berada di dalam akar inang; (c) endoparasit yang menetap (*sedentary endoparasitic*), yang daur hidupnya dapat mengalami modifikasi, betinanya hilang daya gerak karena badannya menjadi seperti kantong. Nematoda endoparasit hanya hidup sebentar di dalam tanah dan masuk ke dalam akar, dan disini mereka dapat ditemukan. Sebaliknya nematoda ektoparasit akar seluruh hidupnya berada di dalam tanah sambil memakan akar tumbuhan (Semangun, 2001: 142-144)

Nematoda memiliki siklus hidup yang sangat sederhana yaitu betina meletakkan telur kemudian telur-telur tersebut menetas menjadi larva. Siklus hidup nematoda parasit umumnya berlangsung selama 25-35 hari, bergantung pada jenis nematoda, tanaman inang, dan lingkungan tanah seperti suhu, kelembaban, tekstur. Umumnya tempat hidup nematoda parasit berada di dalam lapisan tanah hingga kedalaman tanah  $\pm 30$  cm. Beberapa spesies dari nematoda diantara yaitu *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, dan *Rotylenchus* (Mustika, 2003).



Gambar 2.2 Aneka bentuk tubuh Nematoda : A), *Echinotheristus*; B), *Halalaimus*; C), *Desmocolex*; D), *Pselionema*; E), *Trichotheristus*; F), *Richtersia*; G), *Dracograllus*; H), *Criconema*, *Pratylenchus* memiliki bentuk tubuh tipe A (Sumber : Whitehead, 1998)

Ciri khusus dari nematoda parasit *P. coffeae* pada tanaman kopi adalah adanya stilet tipe *Tylenchid* pada bagian kepalanya yang berfungsi sebagai alat untuk masuk atau menginfeksi jaringan tanaman dan makan cairan sel. Ciri khusus ini merupakan perbedaan morfologi utama antara nematoda parasit *P. coffeae* dengan kelompok nematoda lainnya (Mustika, 2003).

### 2.2.2 Nematoda Peluka akar (*Pratylenchus* spp.)

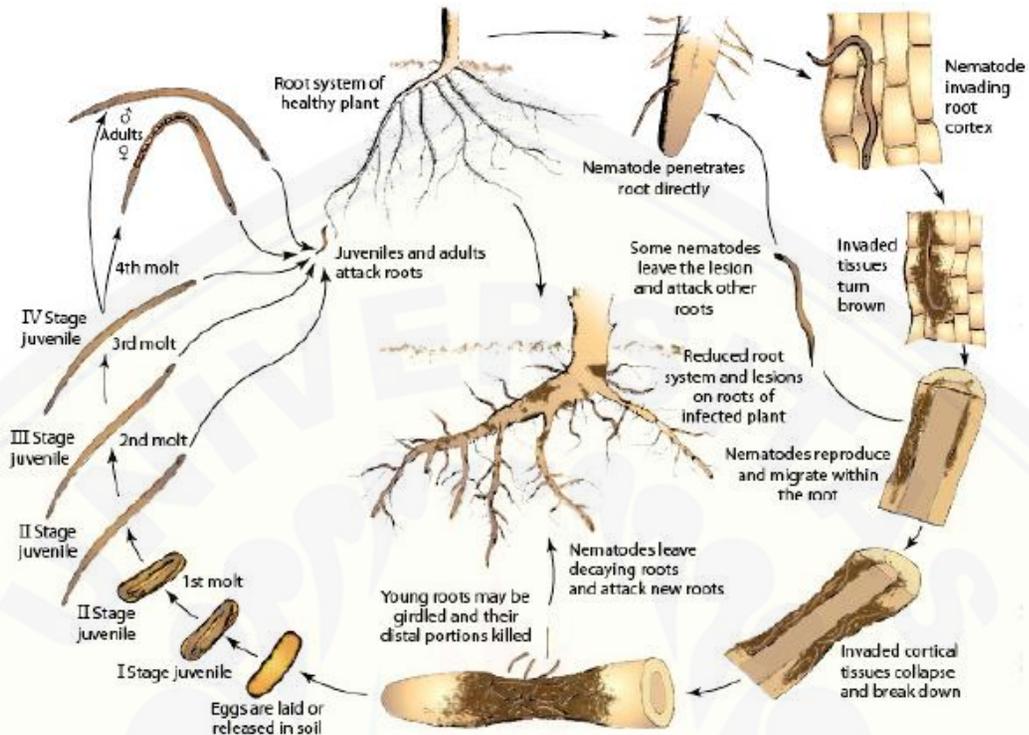
#### a. Biologi dan Ekologi *Pratylenchus* spp.

Secara umum nematoda *Pratylenchus* dikenal dengan sebutan umum “*Root Lesion Nematodes*” atau nematoda peluka akar. Semua jenis *Pratylenchus* dikenal

sebagai nematoda endoparasit berpindah (*migratory endoparasitic*). Hidup dan melakukan migrasi didalam jaringan akar, rhizoma, atau umbi sehingga mengakibatkan kerusakan pada jaringan korteks, serta sebagai tempat predeposisi infeksi patogen tanah lain seperti golongan jamur. Adakalanya pula nematoda *Pratylenchus* ditemukan di permukaan tanah seperti batang dan buah. Telur diletakkan di dalam jaringan akar dan seluruh siklus hidupnya berlangsung didalamnya (Nickle,1991).

Nematoda *Pratylenchus* memiliki ukuran tubuh yang relatif kecil yaitu berkisar antara 300–900 mikron, dengan panjang rata-rata 500 mikron. Kepala relatif datar, dan ekor meruncing dengan ujung membulat. Pada daerah bibir seringkali digunakan untuk identifikasi spesies. Populasi nematoda *Pratylenchus* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya temperatur, yaitu berkisar antara 20-30°C, kelembapan, tipe tanah, kandungan tanah dan pH tanah yaitu berkisar antara 5,5-5,8 (Thames, 1982).

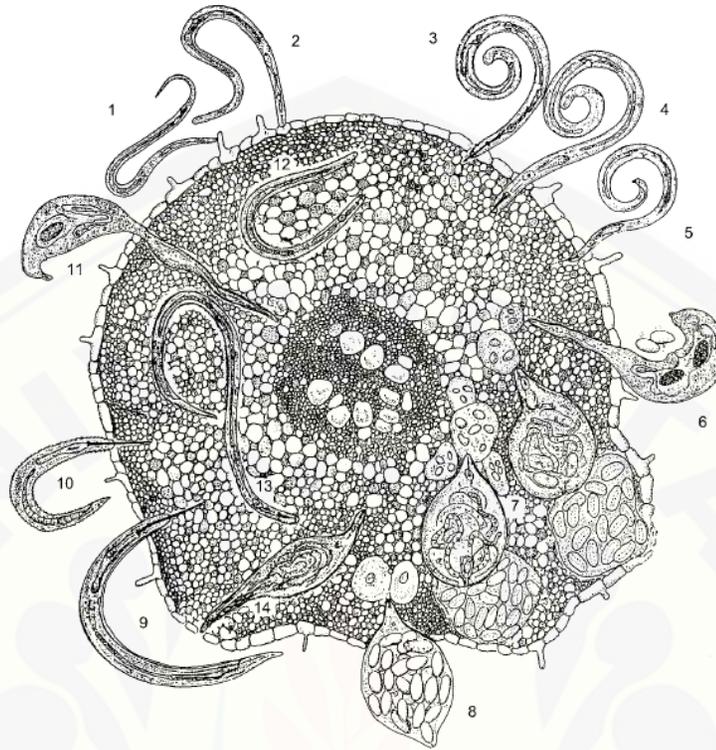
Spesies *Pratylenchus* memiliki penyebaran yang cukup luas. Spesies yang memiliki persebaran paling luas adalah *P. brachyurus*, *P. coffeae*, *P. crenatus*, *P. neglectus*, *P. penetrans*, *P. scribneri*, *P. thornei*, dan *P. zae* (Corbett,1969 dalam Thames 1982). Nematoda peluka akar mempunyai kisaran inang yang luas dan tercatat lebih dari 500 spesies tanaman khususnya di daerah tropis dan subtropis (Shurtleff dan Averre, 2000). Nematoda yang menyebabkan kerusakan utama pada akar tanaman kopi yaitu *Pratylenchus coffeae* (Mustika, 2003).



Gambar 2.3 Siklus hidup dan siklus penyebaran penyakit nematoda peluka akar (*Pratylenchus* spp.). (Sumber : Agrios, 2005 dalam Tuyet, 2010)

b. Gejala penyakit yang ditimbulkan species *Pratylenchus* spp.

*Pratylenchus* merupakan spesies endoparasit migratori yang dapat merusak jaringan korteks akar, berpindah antar sel, kemudian membunuh sel ketika nematoda *Pratylenchus* makan dan meletakkan telur. Menyebabkan klorosis pada daun, menghambat pertumbuhan tanaman, kehilangan vigor (daya tumbuh), ranting mati, layu dan mengalami penurunan produksi bunga dan buah. Tanaman yang mendapat serangan berat dari nematoda *Pratylenchus* dapat menyebabkan kematian serta mudah dicabut dari tanah. Nematoda *Pratylenchus* ditemukan di dalam akar dan tanah dalam semua stadium. Telur yang menetas dan menghasilkan stadium juvenil dua, kemudian meletakkan secara berkelompok dalam akar atau tanah. Ketika kondisi tidak mendukung, nematoda pindah ke dalam akar (Shurtleff dan Averre, 2000).



Gambar 2.4 Berbagai tipe makan atau cara makan nematoda di dalam jaringan akar. 1. *Ditylenchus*; 2. *Tylenchorhynchus*; 3. *Rotylenchus*; 4. *Hoplolaimus*; 5. *Helicotylenchus*; 6. *Rotylenchulus*; 7. *Meloidogyne*; 8. *Heterodera*; 9. *Hemicycliophora*; 10. *Criconemoides*; 11. *Tylenchulus*; 12. *Pratylenchus*; 13. *Hirschmanniella*; 14. *Nacobbus*. (Sumber : Modifikasi Siddiqi, 1986 dalam Luc *et al*, 2005:25)

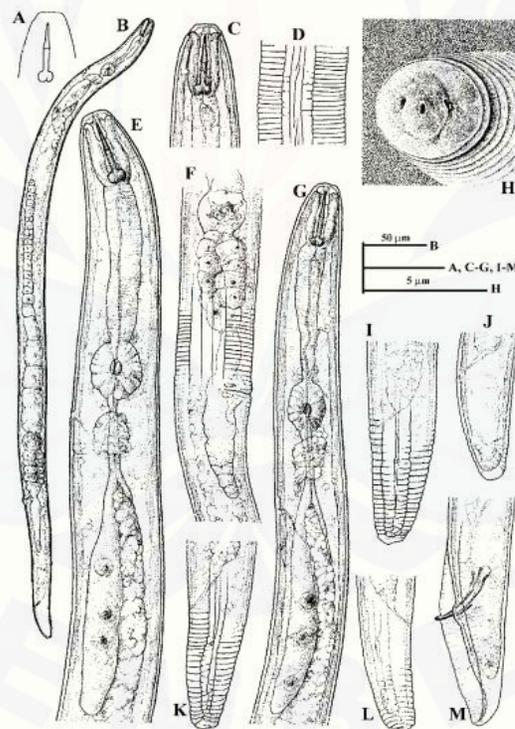
### 2.2.3 Nematoda *Pratylenchus coffeae* pada Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

#### a. Bioekologi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Nematoda *Pratylenchus coffeae* merupakan spesies Nematoda *Pratylenchus* spp. yang menyerang atau sebagai nematoda peluka akar tanaman kopi terutama Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) nematoda ini berkembangbiak secara biseksual dan termasuk dalam nematoda endoparasit migratori tubuh tersusun atas kutikula, epidermis, dan otot-otot somatik. Kutikula tersebut dibentuk oleh ornamen dangkal yang terdiri dari cincin-cincin melintang. Kutikula ini terdiri dari 3 zona yaitu kortikal, matrix, dan lapisan dasar. Fungsi dari kutikula ini untuk perlindungan dan

sarana interaksi dari lingkungan luar, pergerakan, dan juga untuk mencegah agar tidak terjadi distorsi tubuh selama kontraksi otot (Castilo dan Vovlas, 2007).

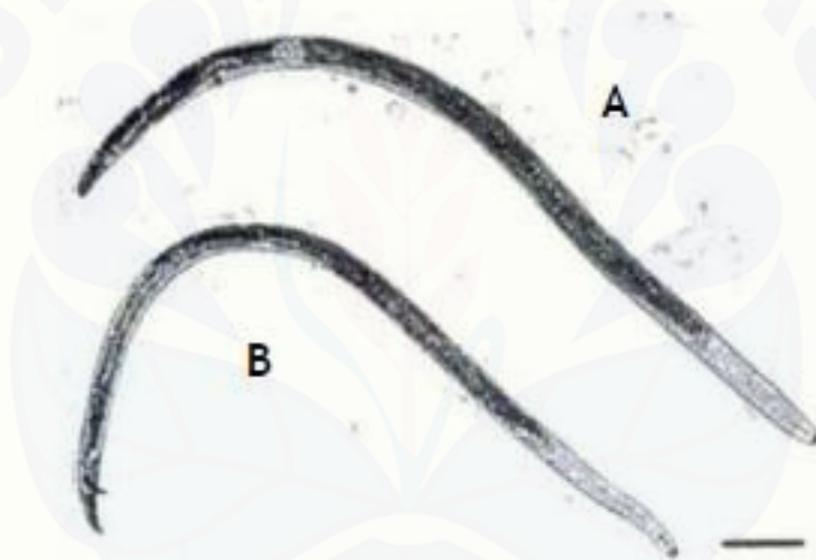
Seluruh siklus hidup *P. coffeae* berada di dalam akar dan bertelur di dalam jaringan akar. Daur hidupnya berkisar antara 45-48 hari dengan rincian sebagai berikut: inkubasi telur selama 15-17 hari, perkembangan larva hingga menjadi dewasa sekitar 15-16 hari dan perkembangan nematoda dewasa hingga meletakkan telur sekitar 15 hari. Nematoda ini memiliki lebar tubuh antara 40  $\mu\text{m}$  hingga 160  $\mu\text{m}$  dengan panjang tubuh antara 0,4-0,7 mm, sedangkan diameter tubuh 20-25  $\mu\text{m}$ . Bentuk nematoda ini pada umumnya memanjang, bagian ujung anterior kepala mendatar, dengan kerangka kepala yang kuat, mempunyai stilet pendek dan kuat, panjangnya 14-20  $\mu\text{m}$  dengan basal knob yang jelas (Dropkin, 1992).



Sumber: Castilo dan volvas, 2007: 86

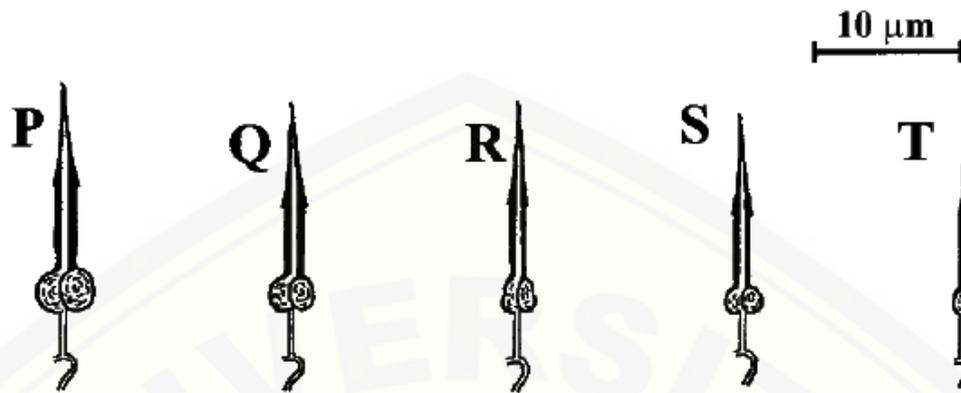
Gambar 2.5 Bagian-bagaian morfologi *P. coffeae*, A) Stilet betina; B) Tubuh betina Keseluruhan; C) Bagian depan tubuh betina; D) Daerah paringeal betina; F) Daerah vulva; G) Daerah paringeal jantan; : Bentuk kepala betina; I-L; Variasi ekor betina; M) Ekor jantan.

Nematoda *P. coffeae* jantan dan betina memiliki karakteristik yang berbeda. Nematoda jantan memiliki ukuran sekitar 0,42 mm sampai 0,61 mm sedangkan betina 0,46 mm sampai 0,65 mm. Nematoda betina memiliki karakteristik diantaranya adalah bagian vulva posteriornya mencapai 70-80% panjang tubuhnya, bagian anteriornya bercabang secara tidak langsung (*monoprodelphic*), sistem genitalia yang tunggal, memiliki spermateca yang besar yang berisi sperma jantan jika ada, bentuk ekor sub-silinder atau ekor meruncing tetapi kecil dengan ujung lebar, membulat dan berbentuk persegi. Sedangkan untuk nematoda jantan memiliki karakteristik ekor pendek, tubuh bagian dorsalnya lebih cembung, memiliki spikula yang lunak, dan ujung ekor memanjang (Tuyet, 2010:4)



Gambar 2.6 *Pratylenchus coffeae* dari pengamatan bawah mikroskop cahaya, A) *P. coffeae* Betina; B) *P. coffeae* Jantan dengan skala 23  $\mu\text{m}$  (Sumber: Timmer and Graham, 2002)

Ciri khusus dari nematoda parasit *P. coffeae* pada tanaman kopi adalah adanya stilet tipe *Tylenchid* pada bagian kepalanya yang berfungsi sebagai alat untuk masuk atau menginfeksi jaringan tanaman dan makan cairan sel. Ciri khusus ini merupakan perbedaan morfologi utama antara nematoda parasit *P. coffeae* dengan kelompok nematoda lainnya (Mustika, 2003).



Gambar 2.7 Tipe stylet pada bagian kepala pada *P. coffeae*, P-R: *P. coffeae* Betina; S-T : *P. coffeae* Jantan (Sumber: Castillo, 2007:17)

b. Klasifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

*Pratylenchus coffeae* pertama kali dideskripsikan dari akar kopi di Indonesia terutama di Jawa dengan nama *Tylenchus coffeae* (Zimmerman, 1898). Genus *Pratylenchus* pertama kali diciptakan oleh Filipjev tahun 1936. Filipjev dan Sohuurmans Stekhoven menggantikan *Tylenchus coffeae* ke dalam genus *P. coffeae*. Adapun kedudukan *P. coffeae* dalam sistematika (taksonomi) berdasarkan Siddiqi (2000) dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Phylum : Nematoda  
 Class : Secernentea  
 Subclass : Tylenchia  
 Order : Tylenchida  
 Suborder : Tylenchina  
 Super family : Hoplolaimoidea  
 Family : Pratylenchidae  
 Subfamily : Pratylenchinae  
 Genus : *Pratylenchus*  
 Species : *Pratylenchus coffeae*

Sumber : Zimmermann, 1898, Filipjev and Schuurmans Stekhoven, 1941

- c. Gejala kerusakan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) akibat serangan *Pratylenchus coffeae*.

Pada tanaman kopi, selama periode enam tahun (1981-1986) serangan nematoda *P. coffeae*, menyebabkan kehilangan hasil rata-rata produksi sebesar 56,84%, atau sekitar 150 ton kopi per tahun (Wiryadiputra, 1992). Selain mengurangi kuantitas, serangan nematoda juga dapat mengurangi kualitas produk. Sebagai contoh, pada tahun 1992 ekspor jahe segar Indonesia ke luar negeri mengalami penolakan oleh negara pengimpor (terutama Jepang), karena jahe tersebut terkontaminasi oleh nematoda *R. similis*, sehingga terjadi penurunan kualitas mutu (busuk) sekaligus menyebabkan kerugian bagi petani maupun negara sekitar US\$ 6,8 juta (Puskara, 1994).

*Pratylenchus coffea* menyerang jaringan korteks akar serabut tanaman Kopi Arabika terutama akar-akar serabut yang aktif menyerap unsur hara dan air. Akibatnya akar-akar serabut tersebut menjadi rusak, berwarna coklat dan terdapat luka-luka nekrotik. Luka-luka tersebut secara bertahap akan meluas sehingga mengakibatkan akar serabut menjadi busuk dan mati. Pada saat menyerang nematoda *P. coffeae* mengeluarkan enzim  $\beta$ -Glukosidase, sedangkan akar tanaman kopi memiliki hormon amigladin.  $\beta$ -Glukosidase dan amigladin akan bereaksi sehingga terbentuk senyawa benzaldehida + HCN, senyawa ini merupakan senyawa beracun bagi sel akar, sehingga mengakibatkan kematian atau nekrosis (Luc *at al*, 1995).

Gejala kerusakan oleh nematoda *P. coffeae* pada bagian diatas permukaan tanah umumnya tidak spesifik. Tanaman tampak kerdil, pertumbuhan terhambat, ukuran daun dan cabang primer mengecil, daun tua berwarna kuning yang secara perlahan-lahan akan rontok dan mati. Akar tanaman kopi yang terserang *P. coffeae* warnanya akan berubah menjadi kuning, selanjutnya berwarna coklat dan kebanyakan akar lateralnya membusuk. Luka yang terjadi berakibat merusak sistem perakaran kopi secara keseluruhan (Mustika, 2003).

Daun kopi yang terkena *P. coffeae* akan timbul bercak nekrosis berwarna coklat tua seperti terbakar. Tanaman kopi yang terserang berat *P. coffeae* akan mati sebelum

dewasa atau paling lama setelah berbuah pertama. Hal ini berkaitan dengan sebaran populasi nematoda parasit mulai permukaan tanah hingga kedalaman 30 cm, dimana akar kopi muda sebagian besar berada pada zona kedalaman yang sama. Gejala kerusakan serangan *P. coffeae* akan lebih parah jika tanaman kopi tidak berpenaung serta kekurangan unsur hara sehingga gejala kerusakan yang ditimbulkanpun akan lebih parah (Halupi dan Mulyadi, 2007).



Sumber: Lintas, 2014

Gambar 2.8 Perawakan tanaman kopi akibat serangan nematoda *P.coffeae*, (a) Tanaman tanpa nematoda; (b) tanaman terinfeksi nematoda *P.coffeae*, daun menguning; (c) tanaman mulai mati, daun rontok akibat terinfeksi nematoda *P.coffeae*

#### 2.2.4 Upaya Pengendalian Nematoda *P.coffeae*

Tanaman kopi (*Coffea* sp.) memiliki peranan yang besar dalam perekonomian Indonesia. Letak geografis Indonesia sangat mendukung dalam penciptaan iklim mikro yang ideal untuk pertumbuhan dan produksi kopi. Namun pada kenyataannya produktivitas dan kualitas tanaman sangat ditentukan oleh praktek budidaya tanaman

yang diterapkan oleh petani, seperti pemilihan bibit, pengolahan tanah, pemupukan tanaman dan pengelolaan Organisasi Pengganggu Tumbuhan (OPT).

Hingga saat ini pengendalian nematoda kopi masih dapat dikatakan masih belum dilaksanakan secara optimal. Masih belum ditemukan cara yang efektif dan efisien untuk mengendalikan nematoda pada komoditas perkebunan seperti halnya tanaman kopi. Pengendalian nematoda yang selama ini banyak digunakan adalah melalui pemanfaatan bahan kimia dengan menggunakan pestisida atau nematisida. Namun seiring dengan perkembangan zaman, pengendalian nematoda pada tanaman kopi sudah diarahkan pada pengendalian secara terpadu dengan menggunakan jenis atau klon kopi yang tahan, pestisida nabati, bahan organik, sanitasi, pergiliran tanaman, dan agen hayati (Wiryadiputra, 1998).

Munif (2003) mengatakan bahwa pengendalian nematoda peluka akar kopi dapat dilakukan dengan upaya sebagai berikut : 1) penambahan bahan organik tanah yaitu pupuk kandang atau kompos yang dapat membantu perkembangan dari mikroorganisme tanah yang berperang sebagai musuh alami Nematoda Peluka Akar (NPA); 2) pengendalian berbasis *Green economy* atau pengendalian biologi dengan cara memanfaatkan bakteri parasit seperti *P. penetrans* maupun bakteri saprofit yang berasal dari rhizosfer seperti *Bacillus subtilis*, *Pasteuria fluorescens*, *Agrobacterium radiobacter*, serta bakteri rhizosfer pada kelompok *Pesudomonas* sp. demikian juga agen pengendali dari kelompok cendawan seperti *Paecilomyces lilacinus*, *Arthrobotrys oligospora*, *Dactylella* sp. ; 3) penggunaan bahan perangkap (*trap cropping*); 4) Penggenangan tanah tanaman yang terinfeksi NPA selama beberapa bulan.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengendalian hayati adalah sebagai berikut adalah pemberian bakteri *P. penetrans* mampu membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan kandungan P dalam tanah. Hasil percobaan irfan (2006), menunjukkan bahwa jamur *A. oligospora* umur 15 dan 30 hari yang diinokulasikan dari 600 ekor nematoda *R. Similis* dapat memberikan penekanan terhadap populasi *R. Similis* pada tanaman kopi.

## 2.3 Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA)

### 2.3.1 Deskripsi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA)

Mikoriza merupakan suatu bentuk simbiosis mutualistik antara jamur dan akar tanaman (Brundrett, 1996). Hampir pada semua jenis tanaman terdapat bentuk simbiosis ini. Umumnya mikoriza dibedakan dalam tiga kelompok, yaitu: endomikoriza (pada jenis tanaman pertanian), ektomikoriza (pada jenis tanaman kehutanan), dan ektendomikoriza (Harley and Smith, 1983).

Cendawan mikoriza merupakan cendawan obligat, dimana kelangsungan hidupnya berasosiasi akar tanaman dengan sporanya. Cendawan ini menginfeksi tanaman melalui spora, tumbuh dan berkembang dalam jaringan korteks, dimana morfologi cendawan ini terdiri dari arbuskel, vesikel, miselium internal dan eksternal. Spora berkecambah dengan membentuk apressoria sebagai alat infeksi, dimana infeksinya biasa terjadi pada daerah perpanjangan (*elongation zone*). Proses ini dipengaruhi oleh anatomi akar dan umur tanaman yang terinfeksi. Hifa yang terbentuk pada akar yaitu interseluler dan intraseluler dan terbatas pada lapisan korteks, dan tidak sampai pada stele. Hifa yang berkembang diluar jaringan akar, maka berperan terhadap penyerapan unsur hara tertentu dan air.

Mosse (1981) melaporkan bahwa cendawan mikoriza mempunyai sifat dapat berkolonisasi dan berkembang secara simbiosis mutualistik dengan akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta membantu menekan perkembangan beberapa patogen tanah. Arbuskula adalah struktur hifa yang bercabang-cabang seperti pohon-pohon kecil yang mirip haustorium (membentuk pola dikotom), berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tanaman inang dengan jamur.

### 2.3.2 Manfaat Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA)

Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) mempunyai peran biologis yang cukup penting khususnya bagi tanaman yaitu (1) meningkatkan penyerapan hara, (2) sebagai

pelindung hayati (bioprotektor), (3) meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan, dan (4) berperan sinergis dengan mikroorganisme lain.

De La Cruz *et al.*, (1992); Linderman, (1996) menyebutkan bahwa sebagian besar pertumbuhan tanaman yang diinokulasi dengan cendawan mikoriza menunjukkan hubungan yang positif yaitu meningkatkan pertumbuhan tanaman inangnya. Hal ini dapat terjadi karena infeksi cendawan mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara oleh miselium eksternal dengan memperluas permukaan penyerapan akar atau melalui hasil senyawa kimia yang menyebabkan lepasnya ikatan hara dalam tanah. Tisdall, (1991) melaporkan bahwa miselium ekstra radikal di dalam tanah sekitar akar menghasilkan material yang mendorong agregasi tanah sehingga dapat meningkatkan aerasi, penyerapan air dan stabilitas tanah.

Infeksi mikoriza pada akar, memungkinkan mineral dapat dialirkan langsung dari satu tanaman ke tanaman lain, atau dari bahan organik mati ke akar tanaman, juga membentuk lingkungan mikrorisosfer yang dapat merubah komposisi dan aktivitas mikroba. Hal ini terjadi karena perubahan fisiologi akar dan produksi sekresi oleh mikoriza.

Menurut Aldeman dan Morton, (1986) infeksi mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kemampuannya memanfaatkan nutrisi yang ada dalam tanah, terutama unsur P, Ca, N, Cu, Mn, K, dan Mg. Kolonisasi mikoriza pada akar tanaman dapat memperluas bidang serapan akar dengan adanya hifa eksternal yang tumbuh dan berkembang melalui bulu akar (Mosse, 1981). Tanaman Apel yang terinfeksi mikoriza dapat meningkatkan kandungan P pada tanaman dari 0,04% menjadi 0,19% (Geddeda, *et al.*, 1984 dalam Jawal *et al.*, 2005). Sedangkan Matsubara *et al.*, (1998) mengatakan bahwa tanaman yang terinfeksi mikoriza, maka tinggi, bobot kering, konsentrasi P pada bagian atas maupun akar tanaman mempunyai nilai yang tinggi dibandingkan dengan tanpa mikoriza.

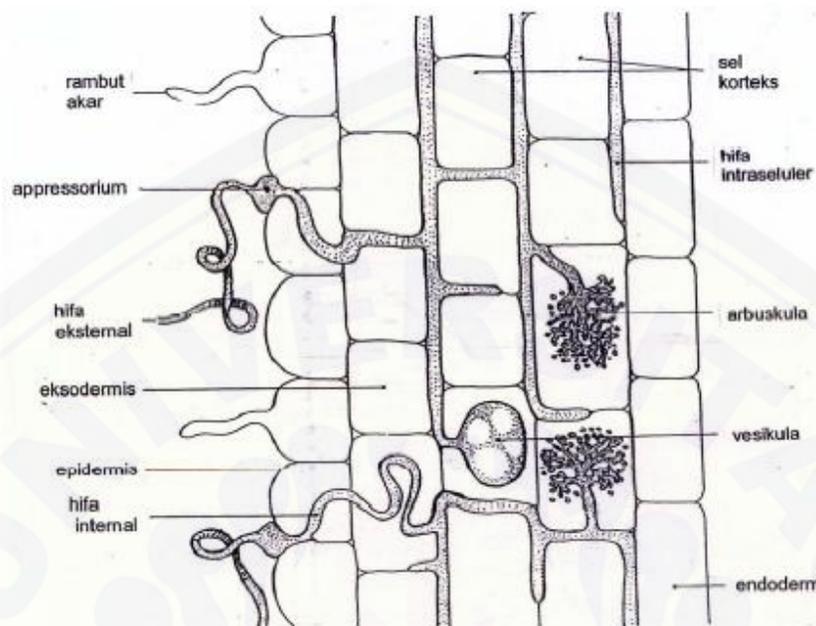
### 2.3.3 Proses infeksi Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA)

Terjadinya infeksi mikoriza pada akar tanaman melalui beberapa tahap, yakni:

1. Pra infeksi : spora dari mikoriza berkecambah membentuk appressoria.
2. Infeksi : dengan alat apressoria melakukan penetrasi pada akar tanaman.
3. Pasca infeksi : setelah penetrasi pada akar, maka hifa tumbuh secara interselluler, arbuskula terbentuk didalam sel saat setelah penetrasi. Arbuskula percabangannya lebih kuat dari hifa setelah penetrasi pada dinding sel. Arbuskula hidup hanya 4-15 hari, kemudian mengalami degenerasi dan pemendekan pada sel inang. Pada saat pembentukan arbuskula, beberapa cendawan mikoriza membentuk vesikel pada bagian interselluler, dimana vesikel merupakan pembengkakan pada bagian apikal atau interkalar dan hifa.
4. Perluasan infeksi cendawan mikoriza dalam akar terdapat tiga fase:
  - a. Fase awal, yaitu saat infeksi primer.
  - b. Fase exponential, yaitu penyebaran, dan pertumbuhannya dalam akar lebih cepat .
  - c. Fase setelah, yaitu pertumbuhan akar dan mikoriza sama.
5. Setelah terjadi infeksi primer dan fase awal, pertumbuhan hifa keluar dari akar dan di dalam rhizosfer tanah. Pada bagian ini struktur cendawan disebut hifa eksternal yang berfungsi dalam penyerapan larutan nutrisi dalam tanah, dan sebagai alat transportasi nutrisi ke akar, hifa eksternal tidak berseptum dan membentuk percabangan dikotom.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa mikoriza mempunyai peranan dalam hal pengendalian penyakit tanaman. Linderman (1988), menduga bahwa mekanisme perlindungan mikoriza terhadap patogen berlangsung sebagai berikut. :

- 1) Cendawan mikoriza memanfaatkan karbohidrat lebih banyak dari akar, sebelum dikeluarkan dalam bentuk eksudat akar, sehingga patogen tidak berkembang;
- 2) Terbentuknya substansi yang bersifat antibiotik yang disekresikan untuk menghambat perkembangan patogen;
- 3) Memacu perkembangan mikroba saprofitik disekitar perakaran.



Gambar 2.9 Penampang longitudinal akar yang terinfeksi fungi mikoriza (Brundrett *et al.*, 1994)

#### 2.3.4 Macam-macam Cendawan Mikoriza Arbuskular

Tabel 2.3 Klasifikasi Cendawan Mikoriza Arbuskula

Order	Sub Order	Family	Genus
Glomeromycota	Glomineae	Glomaceae	<i>Glomus</i>
		Acaulosporaceae	<i>Acaulosporae</i>
			<i>Entrophospora</i>
		Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>
		Paraglomaceae	<i>Paraglomus</i>
	Gigasporineae	Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
			<i>Scutellospora</i>

Sumber : (Linderman,1996)

### 2.3.5 Cendawan Mikoriza Arbuskular *Glomus* spp.

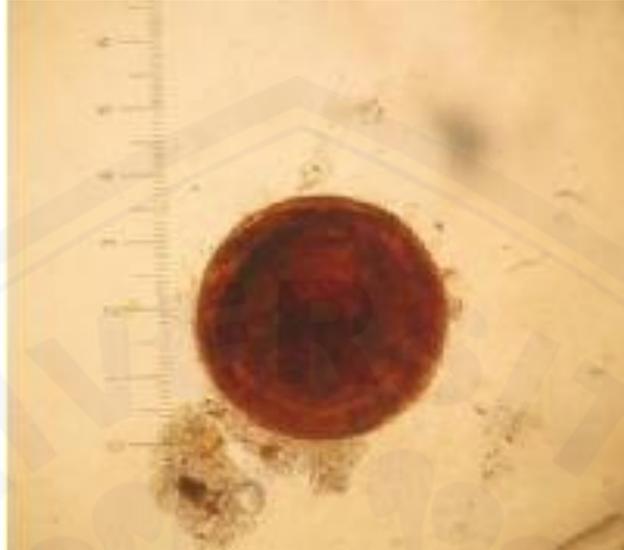
#### a. Bioekologi *Glomus* spp.

Perbedaan lokasi dan rhizosfer menyebabkan perbedaan keanekaragaman spesies dan populasi fungi mikoriza, misalnya yang didominasi oleh fraksi lempung berdebu merupakan tanah yang baik bagi perkembangan *Glomus* spp. (Baon, 1998), begitu juga dengan tanah mangrove yang bercirikan tanah berlumpur dan cenderung liat hanya *Glomus* spp. yang dapat hidup, sedangkan tanah yang berpasir genus *Acaulospora* dan *Gigaspora* ditemukan dalam jumlah yang tinggi.

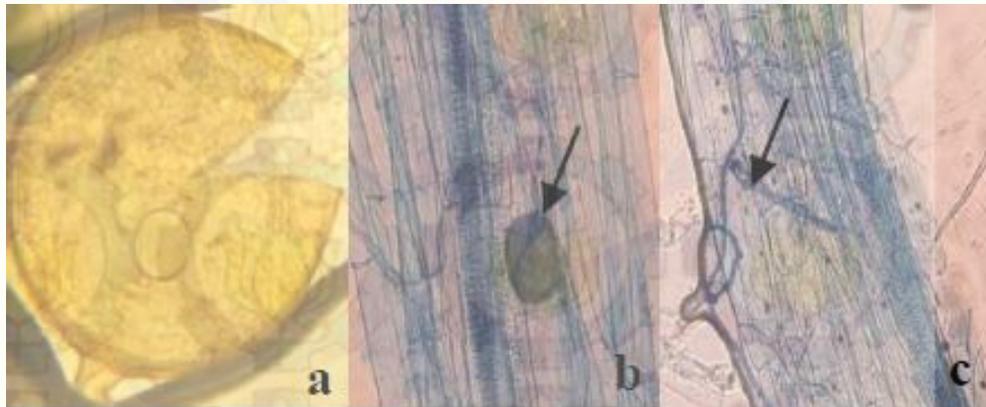
Menurut Moreira (2007), pada ekosistem hutan asli *Acaulospora* mempunyai keanekaragaman jenis yang paling tinggi, selain itu ditemukan juga *Glomus macrocarpum* yang menunjukkan jumlah spora yang paling banyak, sedangkan daerah yang dihutankan kembali jenis yang paling banyak adalah *Glomus macrocarpum* dan *Archeospora gerdemanni*. Jenis-jenis ini menyesuaikan diri pada lingkungan dan menunjukkan toleransi yang tinggi dan adaptasi yang berbeda.

Hasil penelitian Munir (2010), menerangkan bahwa genus *Glomus* spp. mampu meningkatkan akar tanaman lebih panjang dibandingkan genus *Gigaspora* maupun *Scutellospora*. *Glomus* spp. memiliki kemampuan lebih tinggi dalam penyerapan hara maupun air yang berfungsi dalam meningkatkan laju fotosintesis tanaman.

Beberapa karakteristik *Glomus* spp. yaitu spora berwarna coklat berbentuk bulat, berukuran 125-325 $\mu$ m, permukaan spora halus, terdapat bintik hitam pada bagian dalam spora. Serta dinding sporanya jelas dan hanya terdapat satu jenis dinding spora. Lapisan dinding spora pada *Glomus* spp. berasal dari dinding hifa pembawa. Spesies *Glomus* spp. tidak membentuk dinding perkecambahan fleksibel, akan tetapi dinding spora berakhir dengan pori pada daerah melekatnya hifa pembawa (INVAM, 2008 dalam Yovinta, 2008).



Gambar 2.10 Spora *Glomus* spp. (Perbesaran 200 x) (Ulfa, *et al.*, 2011)



Gambar 2.11 Bagian morfologi *Glomus* spp. (a) Spora *Glomus* spp. (b) Vesikula dan (c) Hifa (Yulianitha,*et al.*, 2011)

Siklus hidup *Glomus* spp. sangat relatif pendek yaitu antara 4-6 hari dan setelah itu arbuskula akan mengalami degenerasi kemudian dicerna oleh sel tanaman inang (Hapsoh, 2008). Hasil pengamatan infeksi mikoriza pada akar menunjukkan adanya struktur vesikula dan hifa. Vesikula merupakan suatu struktur berbentuk lonjong atau bulat, mengandung cairan lemak, yang berfungsi sebagai organ penyimpanan

makanan atau berkembang menjadi kladospora, yang berfungsi sebagai organ reproduksi dan struktur pertahanan. Vesikula selain dibentuk secara interseluler ada juga yang secara intraseluler, sedangkan hifa merupakan struktur eksternal dari Cendawan Mikoriza Arbuskula yang berkembang di luar akar. Hifa ini berfungsi menyerap hara dan air di dalam tanah. Adanya hifa eksternal yang berasosiasi dengan tanaman akan berperan penting dalam perluasan bidang adsorpsi akar sehingga memungkinkan akar menyerap hara dan air dalam jangkauan yang lebih jauh (Mosse, 1981).

b. Klasifikasi *Glomus* spp.

Adapun kedudukan *Glomus* spp. dalam sistematika (taksonomi) dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Fungi
Phylum	: Glomeromycota
Class	: Glomeromycetes
Order	: Glomerales
Family	: Glomeraceae
Genus	: <i>Glomus</i>
Species	: <i>Glomus</i> spp.

Sumber : ITIS.gov

### 2.3.6 Peranan Cendawan Mikoriza Arbuskula dalam Meningkatkan Unsur P

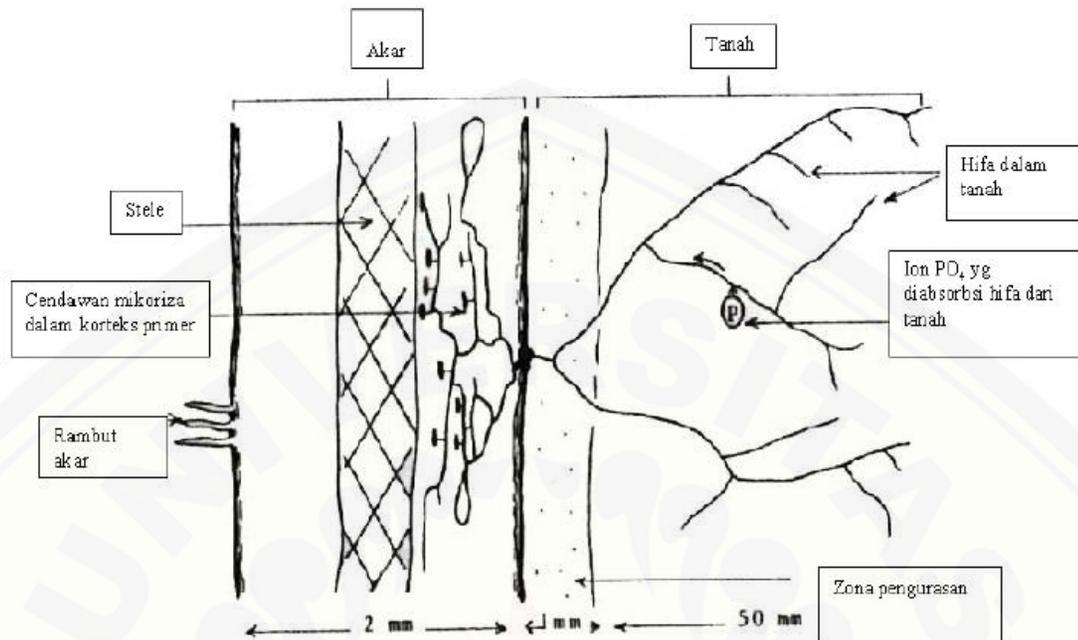
Salah satu manfaat mikoriza bagi tanaman adalah dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kemampuannya memanfaatkan nutrisi yang ada dalam tanah, terutama unsur hara P (*Phosphate*) yang merupakan unsur yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak (*makronutrient*). Mikoriza yang bersimbiosis dengan sistem perakaran tanaman dapat meningkatkan serapan P pada tanah yang kawat unsur hara P. Meningkatnya unsur hara P di dalam tanah, diharapkan tanaman mampu menyerap lebih banyak P pada jaringan, sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap serangan patogen akar (Baon *et al.*, 1998). Mikoriza juga mampu

meningkatkan penyerapan unsur hara lainnya seperti Ca, Mg, K, Zn, dan Cu, meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan dan melindungi tanaman dari keracunan logam-logam berat, sehingga tanaman mampu hidup pada kondisi yang tidak menguntungkan (Setiadi, 1991).

Hipotesis dikemukakan oleh Tinker (1975) dalam Simanungkalit (2006) mengenai mekanisme penyerapan unsur hara P, yaitu:

1. Kolonisasi mikoriza mengubah morfologi akar sedemikian rupa, misalnya dengan menginduksi hipertrofi akar, sehingga mengakibatkan pembesaran sistem akar, dengan demikian luas permukaan akar untuk mengabsorpsi P menjadi lebih besar.
2. Mikoriza memiliki akses terhadap sumber P-anorganik yang relatif tidak dapat larut (seperti apatit), yang tidak dimiliki oleh akar yang tidak bermikoriza.
3. Kolonisasi mikoriza mengubah metabolisme tanaman inang sehingga absorpsi atau pemanfaatan P oleh akar terkolonisasi ditingkatkan, yaitu peningkatan daya absorpsi (*absorbing power*) individu-individu akar.
4. Hifa dalam tanah mengabsorpsi P dan mengangkutnya ke akar-akar yang dikolonisasi, dimana P ditransfer ke inang bermikoriza, sehingga berakibat meningkatnya volume tanah yang dapat dijangkau oleh sistem akar tanaman.
5. Daerah akar bermikoriza tetap aktif dalam mengabsorpsi hara untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza.

Berdasarkan kelima hipotesis tersebut, hipotesis keempat dianggap yang paling penting dalam meningkatkan serapan P, berdasarkan bukti-bukti eksperimental yang ada. Cendawan MA memiliki struktur hifa yang menjalar keluar ke dalam tanah. Hifa meluas di dalam tanah, melampaui jauh jarak yang dapat dicapai oleh rambut akar. Ketika fosfat di sekitar rambut akar sudah terkuras, maka hifa membantu menyerap fosfat di tempat-tempat yang tidak dapat lagi dijangkau rambut akar (Simanungkalit, 2006).



Gambar 2.12 Skema Penyerapan unsur P oleh akar bermikoriza

Rhodes dan Gerdemann (1980) membagi proses bagaimana hara dipasok ke tanaman oleh cendawan MA menjadi tiga fase:

1. Absorpsi hara dari tanah oleh hifa eksternal;
2. Translokasi hara dari hifa eksternal ke miselium internal dalam akar tanaman inang; dan
3. Pelepasan hara dari miselium internal ke sel-sel akar.

P diangkut melalui hifa eksternal dalam bentuk polifosfat. Adanya granula polifosfat dalam vakuola hifa telah dibuktikan melalui mikroskop elektron (Cox *et al.*, 1975).

## 2.4 Unsur Hara Fosfat

### 2.4.1 Deskripsi Unsur Hara Fosfat

Unsur Fosfat (P) adalah unsur esensial kedua setelah N yang berperan penting dalam proses fotosintesis tanaman dan perkembangan akar (Suryadikarta dan Simangkulit, 2006). Ketersediaan fosfor dalam tanah jarang yang melebihi 0,01%

dari total keseluruhan unsur P. Sebagian besar bentuk fosfat terikat oleh koloid tanah sehingga tidak tersedia bagi tanaman. kandungan fosfat dalam organik bervariasi dari 20-80%, bahkan kurang dari 20% bergantung pada tempat dan jenis tanah. Unsur hara P tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh tanaman karena fosfat tersedia dalam bentuk P-terikat di dalam tanah (Suryadikarta dan Simangkulit, 2006 ). Tanaman menyerap fosfat dalam bentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$ . Pada umumnya bentuk  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  inilah yang lebih tersedia bagi tanaman daripada  $\text{HPO}_4^{2-}$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  (Winarso, 2005:94).

Unsur P dalam tanah dapat ditemukan dalam bentuk P anorganik dan P organik. Fosfat dalam bentuk organik adalah unsur hara fosfat yang berasal dari bahan organik, sedangkan fosfat anorganik adalah fosfat yang berasal dari mineral-mineral yang mengandung fosfat (Suryadikarta dan Simangkulit, 2006 ). Unsur P anorganik di dalam tanah sangat beragam seperti contohnya  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{CaHPO}_4$ , dan  $\text{FePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Sedangkan P organik di dalam tanah dapat ditemukan dalam bentuk ester yaitu asam orthofosfat serta berupa monoester dan diester. Organik ester fosfat dibagi dalam lima kelas, yaitu: inositol fosfat, fosfolipid, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat. Namun di dalam tanah yang paling dominan hanya inositol fosfat, fosfolipid serta asam nukleat (Soepardi, 1983).

Pada tanah masam, fosfat akan bersenyawa dalam bentuk Ai-P, Fe-P dan *occluded*-P, sedangkan pada tanah alkali, fosfat akan bersenyawa dengan kalsium (Ca) sebagai Ca-P membentuk senyawa kompleks yang sukar larut (Suryadikarta dan Simangkulit, 2006 ).

#### 2.4.2 Manfaat Unsur Hara Fosfat

Menurut Poerwidodo (1992: 284) fosfat merupakan unsur hara makro yang penting untuk pertumbuhan tanaman, dan peranannya sebagai faktor pembatas pertumbuhan lebih penting daripada potasium (Winarso, 2005:94). Unsur P sering disebut juga kunci untuk kehidupan karena fungsinya yang sangat sentral dalam proses kehidupan. Unsur ini berperan dalam pemecahan karbohidrat untuk energi,

penyimpanan dan peredarannya ke seluruh tanaman dalam bentuk ADP dan ATP. Unsur ini juga berperan dalam pembelahan sel melalui peranan nukleoprotein yang ada dalam inti sel, selanjutnya berperan dalam meneruskan sifat-sifat kebakaan dari generasi ke generasi melalui peranan DNA. Tanpa P proses-proses ini tidak dapat berlangsung. Unsur ini juga menentukan pertumbuhan akar, mempercepat kematangan serta produksi buah dan biji (Leiwakabessy dan Sutandi, 1998).

## 2.5 Mikroba Pelarut Fosfat

### 2.5.1 Deskripsi Mikroba Pelarut Fosfat

Salah satu alternatif dalam meningkatkan rendahnya kandungan fosfat tersedia dalam tanah adalah dengan memanfaatkan mikroorganisme pelarut fosfat, yaitu mikroorganisme yang dapat melarutkan fosfat tidak tersedia menjadi tersedia sehingga dapat diserap oleh tanaman (Sundara Rao dan Shina, 1963; Asea *et al*, 1989).

Mikroba pelarut fosfat bersifat menguntungkan karena mengeluarkan berbagai macam asam organik seperti asam formiat, asetat, propionat, laktat, glikolat, fumarat dan suksinat (Hilda dan Reynaldo, 2000). Asam-asam organik ini dapat membentuk khelat (kompleks yang stabil) dengan kation Al, Fe atau Ca yang mengikat P, sehingga ion  $H_2PO_4$  menjadi bebas dari ikatannya dan tersedia bagi tanaman untuk diserap (Johansson, *et al*, 2004).

Kemampuan Mikroba Pelarut Fosfat (BPF) dalam melarutkan fosfat yang terikat dapat diketahui dengan mengembangkan biakan murninya pada agar *Pikovskaya* yang berwarna putih keruh, karena mengandung P yang tidak larut seperti kalsium fosfat  $Ca_3(PO_4)_2$  (Mieke R, 2005). Pada akhir masa inkubasi (48-72 jam) pertumbuhan BPF dicirikan dengan adanya zona bening disekitar koloni mikroba yang tumbuh, sedangkan mikroba selain pelarut fosfat tidak terbentuk zona bening disekitar koloni mikroba.

### 2.5.2 Macam-macam Mikroorganisme Pelarut Fosfat

Mikroorganisme pelarut fosfat terdiri atas bakteri (Taha *et al*, 1969), fungi (Khan dan Bhatnagar, 1977) dan sedikit aktinomiset (Rao *et al*, 1982; Chen *et al*, 2002). Mikroorganisme pelarut fosfat yang termasuk dalam kelompok bakteri pelarut fosfat adalah *Pseudomonas striata*, *P. diminuta*, *P. Fluorescens*, *P. cerevisia*, *P. mallei*, *P. aeruginosa*, *P. putida*, *P. denitrificans*, *Bacillus* spp. *Brevibacterium* spp., *Serratia* spp., *Alcaligenes* spp. Kelompok bakteri fosfat pada lahan pertanian di Indonesia berasal dari genus *Enterobacter* dan *Mycobacterium*. Bakteri tipe ini mampu melakukan mekanisme pelarutan fosfat dengan mengekskresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, fumarat, malat (Gunarto dan Nurhayati, 1994).

Mikroorganisme pelarut fosfat secara alami berada didalam tanah berkisar antara 0,1-0,5% dari total populasi mikroorganisme (Kucey, 1983). Populasi mikroorganisme pelarut fosfat dari kelompok bakteri jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan kelompok fungi. Jumlah populasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dapat mencapai 12 juta organisme per gram tanah sedangkan fungi hanya berkisar antara 20.000 – 1.000.000 per gram tanah (Alexander, 1977).

### 2.5.3 Bioekologi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF)

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) hidup disekitar perakaran tanaman, yaitu di daerah permukaan tanah hingga kedalaman 25 cm dari permukaan tanah. Keberadaan mikroorganisme ini berkaitan dengan banyaknya jumlah bahan organik yang secara langsung mempengaruhi kehidupan mikroorganise BPF dan secara fisiologis mikroorganisme ini berada dekat dengan daerah perakaran akan lebih aktif daripada yang hidup jauh dari daerah perakaran.

Keberadaan mikroorganisme pelarut fosfat sangat beragam. Salah satu faktor penyebabnya adalah sifat biologis yang dimiliki. Ada yang hidup pada kondisi asam, basa dan pada kondisi netral, ada yang hidup sebagai aerob atau anaerob serta beberapa sifat lain seperti hipofilik, mesofilik dan termofilik. Masing-masing jenis

mikroorganisme tersebut memiliki sifat khusus dengan kondisi lingkungan yang berbeda yang mempengaruhi efektivitasnya dalam melarutkan fosfat (Waksman dan Starkey, 1981).

#### 2.5.4 Mekanisme Bakteri dalam Melarutkan fosfat

Mekanisme pelarutan fosfat dalam tanah berlangsung secara kimiawi dan biologis baik dalam bentuk fosfat organik maupun fosfat anorganik. Mekanisme pelarutan fosfat secara kimiawi adalah merupakan mekanisme pelarutan fosfat utama yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan cara mensekresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat,  $\alpha$ -ketoglutarat, asetat, formiat, propionat, glikolat, glutamat, glioksilat, malat, dan fumarat (Ilmer dan Schinner, 1997). Meningkatnya asam-asam organik tersebut diikuti dengan penurunan pH yang disebabkan karena terbebasnya asam sulfat dan nitrat pada oksidasi kemoautotofik sulfur dan amonium berturut-turut oleh bakteri (Alexander, 1977).

Perubahan pH berperan penting dalam meningkatkan kelarutan P tanah (Thomas, 1985; Asea *et al*, 1988). Selanjutnya asam-asam organik akan bereaksi dengan bahan pengikat fosfat seperti  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$ , atau  $Mg^{2+}$  membentuk khelat organik yang stabil sehingga mampu membebaskan ion-ion fosfat terikat sehingga nantinya dapat dengan mudah diserap oleh tanaman.

Mekanisme dalam melarutkan fosfat secara biologis dilakukan dengan cara menghasilkan enzim antara lain Fosfatase (Lynch, 1983) dan enzim Fitase (Alexander, 1977). Enzim Fosfatase merupakan enzim yang akan dihasilkan apabila ketersediaan unsur P dalam tanah rendah. Fosfatase disekresikan oleh akar tanaman dengan bantuan mikroorganisme tersebut. pada proses mineralisasi bahan organik, senyawa fosfat organik diuraikan menjadi fosfat anorganik yang tersedia bagi tanaman dengan bantuan enzim Fosfatase (Gaur *et al*, 1980; Paul dan Clark, 1989). Enzim Fosfatase mampu memutuskan fosfat terikat oleh senyawa-senyawa organik menjadi bentuk unsur P yang tersedia.

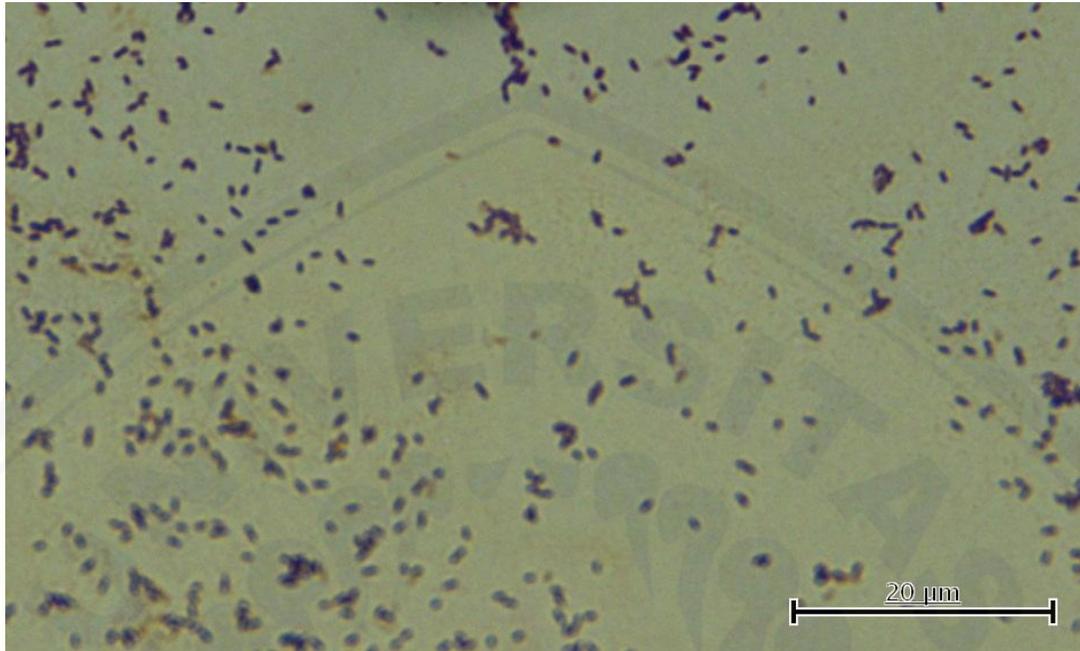
Louw dan Webley (1959) mengatakan bahwa salah satu mekanisme pelepasan P yang terikat pada besi fosfat terkait pada hidrogen sulfida ( $H_2S$ ) yang diproduksi oleh bakteri pelarut fosfat. Hasil penelitian Louw dan Webley (1958) menunjukkan bahwa beberapa isolat BPF yang digunakan mampu melepaskan atau melarutkan P dari bantuan Fosfat Gafsa (Hidroksiapatit) dan kalsium fosfat, tapi tidak satupun dari isolat tersebut mampu melepaskan P dalam bentuk *variscite* ( $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ ), *strengite* ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ) dan *taranakite* ( $2K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 5P_2O_5 \cdot 26H_2O$ ) yang banyak terdapat di tanah masam.

Kecepatan mineralisasi pelarut fosfat bergantung pada pH. Pelepasan fosfat akan meningkat dengan meningkatnya nilai pH dari asam menjadi netral (Soepardi, 1983). Selain itu kecepatan mineralisasi berkorelasi langsung dengan jumlah substrat. Tanah yang kaya fosfat organik merupakan tanah yang paling aktif bagi berlangsungnya proses mineralisasi (Alexander, 1977).

## 2.6 Bakteri Pelarut Fosfat (*Bacillus mycoides* dan *Pseudomonas mallei*)

### 2.6.1 Biologi *Bacillus mycoides*

*Bacillus mycoides* merupakan salah satu mikroorganisme kelompok bakteri yang termasuk dalam Bakteri Pelarut Fosfat (BPF). Kelompok bakteri *Bacillus* termasuk dalam BPF yang memiliki karakteristik sel yang berbentuk batang dan lurus dan sering berpasangan atau berantai dengan bulat atau persegi diakhir. Selnya masuk golongan gram positif dan motil dengan flagela petrichois. Endospora berbentuk oval atau terkadang berbentuk bulat atau silinder oval dan sangat resisten terhadap kondisi buruk. Aerobik atau fakultatif beraneka ragam kemampuan fisiologinya dengan menanggapi kondisi panas, pH, dan sanitasi. Metabolisme kimianya dengan fermentasi atau metabolisme pernafasan. Selalu memiliki katalase positif, memiliki habitat yang luas, dan beberapa spesies patogen di vertebrata atau invertebrata.



Gambar 2.13 Morfologi *Bacillus mycoides* menggunakan pewarnaan gram (Perbesaran 1000 x) (Sumber : Koleksi Pribadi, 2014)

#### 2.6.2 Klasifikasi *Bacillus mycoides*

Adapun kedudukan *Bacillus mycoides* dalam sistematika (taksonomi) dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Order	: Bacillales
Family	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>
Species	: <i>Bacillus mycoides</i> (Sumber : ezbiocloud.net)

#### 2.6.3 Biologi *Pseudomonas mallei*

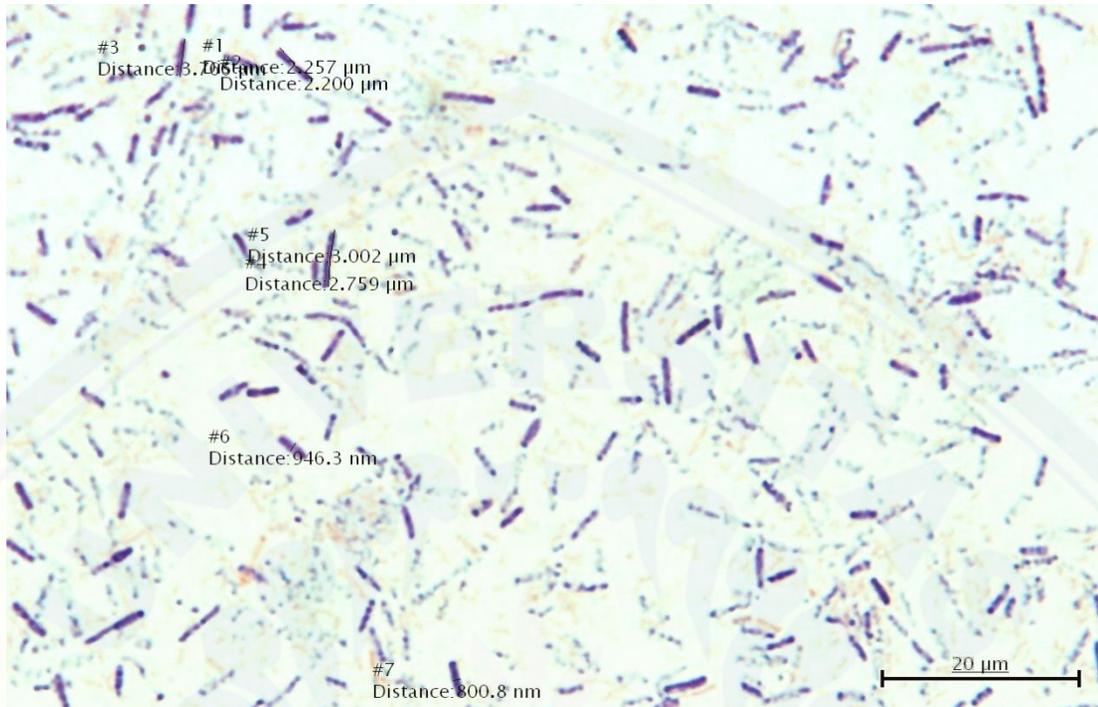
*Pseudomonas mallei* merupakan salah satu mikroorganisme kelompok bakteri yang termasuk dalam Bakteri Pelarut Fosfat. Bakteri ini merupakan kelompok bakteri

*Pseudomonas* sp. Jenis bakteri ini telah berganti nama menjadi *Burkholderia mallei* berasal dari genus *Burkholderia*. Nama tersebut diciptakan setelah W.H Burkholder, pada tahun 1950 terisolasi *B.cepasia* dari bawang dengan kulit asam yang membusuk.

*Pseudomonas mallei* merupakan bakteri berbentuk *coccobacilli* (1-3  $\mu\text{m}$  x 0.3  $\mu\text{m}$ ), gram negatif, aerob bipolar, tidak motil, tidak berflagel (berbeda dengan *B. pseudomallei* dan anggota genus lainnya yang motil), ukuran panjangnya 1,5-3  $\mu\text{m}$  dan 0,5-1  $\mu\text{m}$  diameternya dengan bagian ujungnya bulat (Lin, 2014:302). *Pseudomonas mallei* juga tidak membentuk spora dan katalase positif, menggunakan  $\text{H}_2$ , atau karbon sebagai sumber energinya, beberapa spesies bersifat patogen bagi tanaman, kebanyakan tidak dapat tumbuh pada kondisi masam (pH 4.5) dan pertumbuhan maksimal pada suhu  $37^\circ\text{C}$  (Dewi, 2007). Beberapa mekanisme *Pseudomonas* dalam mempengaruhi tanaman menurut Hanafiah (2005:230) yaitu melalui :

- a. Menghambat pertumbuhan patogen atau patogen minor.
- b. Produksi *Plant Growth Promoting Substance* (PGPS) seperti auksin, giberelin dan vitamin.
- c. Produksi senyawa pelarut fosfat seperti asam  $\alpha$  ketoglukonik.
- d. Bersifat antagonisme terhadap flora biota penyebab penyakit melalui produksi siderophore (senyawa organik pengkkelat  $\text{Fe}^{3+}$  dan antibiotik).

Siderofor berperan penting dalam pengendalian hayati patogen tanaman, khususnya patogen tular tanah, misalnya terhadap *Gaeumannomyces graminis var tritici* dan *Fusarium oxysporum* sp. Hal ini terjadi karena mikroba yang ada pada tanah berpenekanan yang terbatas besi menghasilkan siderofor, yang mengasingkan besi (III) dan membuatnya tidak tersedia pada patogen (Soesanto, 2008:110).



Gambar 2.14 Morfologi *Pseudomonas mallei* menggunakan pewarnaan gram (Perbesaran 1000 x) (Sumber : Koleksi Pribadi,2014)

#### 2.6.4 Klasifikasi *Pseudomonas mallei* atau *Burkholderia mallei*

Adapun kedudukan *Pseudomonas mallei* atau *Burkholderia mallei* dalam sistematika (taksonomi) diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom	: Bacteria
Phylum	: Proteobacteria
Kelas	: Betaproteobacteria
Order	: Burkholderiales
Family	: Burkholderiaceae
Genus	: <i>Burkholderia</i>
Species	: <i>Burkholderia mallei</i> (Sumber : ezbiocloud.net)

## 2.7 Penggunaan Agen Hayati dalam Mengendalikan Nematoda

Bakteri gram negatif khususnya strain *Pseudomonas* telah banyak diteliti sebagai agen biokontrol karena kemampuannya memproduksi metabolit antimikroba. Strain *Pseudomonas* sp. dapat menghasilkan tropolone yang bersifat bioaktif pada tanaman, jamur dan bakteri, selain itu *Pseudomonas fluorescens* pada rhizosphere tanaman kapas sehat dapat memproduksi antibiotik *Pyrrrolnitrat* dan *Pyoluteoren* (Kloepper dalam Setiawati, 2008).

Ketidak konsistenan hasil dan ketidakefektifan aktifitas antagonis dari agen pengendalian biologis yang diaplikasikan secara tunggal merupakan alasan utama mengapa pengendalian secara biologis bukan merupakan pilihan utama dalam manajemen pengendalian penyakit. Satu langkah penting untuk meningkatkan efektifitas biokontrol adalah aplikasi lebih dari satu mikroba antagonis dengan metode penghambatan yang bervariasi. Berbagai laporan adanya efek saling menguatkan antar mikroba antagonis sangat menjanjikan bahwa kombinasi agen pengendalian biologis bisa sangat efektif dalam pengendalian hama terpadu dimasa depan (Asyiah, 2009).

Produk formulasi biopestisida mikroba didefinisikan sebagai produk yang mengandung bioberat agen pengendali hayati dan kandungan lainnya (senyawa pembawa dan perekat) untuk meningkatkan daya hidup dan efektifitas mikroba. Formulasi biopestisida mikroba dapat berupa cair maupun kering. Formulasi cair mengandung suspensi bioberat dalam air, minyak (membentuk tetesan yang tepat dibandingkan bila hanya dengan air) atau kombinasi keduanya (emulsi). Minyak disukai untuk penyemprotan volume ultra rendah, sedangkan air biasanya digunakan untuk pelarut pada volume tinggi. Formula padat dapat berupa butiran dan briket mempunyai keuntungan, yaitu dapat dengan mudah disebarkan dengan tangan (Soesanto, 2008:376).

## 2.8 Inokulasi Ganda Mikoriza Arbuskuler dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Bacillus mycoides* dan *Pseudomonas mallei*) dalam Mengendalikan *P. coffeae*

Cendawan Mikoriza Arbuskuler (CMA), Mikroorganisme Pelarut Fosfat (MPF) terdiri atas bakteri (Taha *et al*,1969), fungi (Khan dan Bhatnagar, 1977) dan sedikit aktinomiset (Rao *et al*,1982; Chen *et al*, 2002) mampu digunakan sebagai biokontrol pengendalian nematoda. Mikroorganisme Pelarut fosfat yang termasuk dalam kelompok BPF salah satunya adalah *Pseudomonas* sp., dan *Bacillus* spp. (Gunarto dan Nurhayati, 1994).

Cendawan mikoriza sebagai agen biokontrol hayati mampu mengendalikan nematoda dengan cara mengurangi infeksi nematoda (Varma,2008:303 ). Selain itu juga berfungsi sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPRs) dengan cara (1) mengontrol dan menambah dalam mikrohabitat yang berhubungan dengan permukaan akar yang berkompetisi dengan microbiota asli; (2) Memiliki kemampuan untuk melakukan kolonisasi akar; (3) memiliki kemampuan untuk menunjang pertumbuhan tanaman secara sistemik (Kloepper, 1994).

PGPRs telah diketahui membawa banyak proses ekosistem yang penting bagi tanaman, seperti dalam mengontrol secara biologi patogen tanaman, mengatur siklus nutrisi, dan mengontrol perkembangan biji (Lemanceau and alabouvette 1993; Broek and Vanderleyden,1995; Probanza *et al*, 2002; Baldock *et al*, 2004). Banyak strains bakteri yang termasuk dalam kelompok PGPRs. Kelompok Genus bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* merupakan kelompok bakteri yang paling umum dijelaskan dan memiliki spesies yang berkemampuan sebagai PGPRs, dan beberapa strain dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* dan yang lain digunakan sebagai inokulasi biji (Bertrand *et al*, 2001;Ziedan, 2006).

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) berperan dalam penyerapan unsur hara dalam tanah sehingga mampu meningkatkan produksi tanaman. salah satu cara untuk menjalankan fungsi tersebut keduanya berasosiasi dengan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA). Beberapa yang termasuk Cendawan mikoriza seperti *Psilothus* dan *Glomus* spp. dapat mengurangi infeksi patogen tanaman dan beberapa dari

hiperparasit patogen tanaman lain seperti *Pasteuria penetrans*, yang menyerang nematoda jaringan akar (Varma,2008).

Hasil penelitian Fitriatin (2008), menunjukkan bahwa terjadi interaksi nyata antara pemberian inokulasi mikroorganisme (bakteri dan jamur) pelarut fosfat dengan mikoriza terhadap kolonisasi mikoriza. Inokulasi ganda bakteri dan jamur pelarut fosfat meningkatkan secara nyata serapan unsur hara P, kolonisasi mikoriza, pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dibandingkan dengan hanya inokulasi bakteri atau jamur pelarut fosfat secara tunggal. Inokulasi ganda mikroorganisme (bakteri dan jamur) pelarut fosfat dan mikoriza takaran 20 g pot<sup>-1</sup> memberikan hasil tanaman jagung tertinggi. Mosse, (1981) menerangkan bahwa cendawan mikoriza mampu berkolonisasi dan berkembang secara simbiosis mutualistik dengan akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta membantu menekan perkembangan beberapa patogen tanah.

## 2.9 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka jawaban sementara (hipotesis) dalam penelitian ini antara lain adalah :

- a. Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) mampu mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.);
- b. Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental lapang. Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Penelitian ini menguji kemampuan Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus spp.*) yang diinokulasikan secara bersamaan dengan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) berupa *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta menurunkan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.2.1 Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di *Green House* milik Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP. Perumahan Istana Tidar, Kaliurang. Tahap persiapan pembenihan tanaman kopi, persiapan nematoda dan mikoriza dilaksanakan di laboratorium perlindungan tanaman dan kebun percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, kecamatan Jenggawah, kabupaten Jember. Sedangkan tahap persiapan bakteri di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Jember.

#### 3.2.2 Waktu penelitian

Penelitian dilakukan selama 4 bulan pada bulan Oktober 2014 – Januari 2015.

### 3.3 Identifikasi Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini

adalah pengaruh inokulasi ganda *Glomus* spp. dengan populasi 100 spora mikoriza dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) berupa *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dengan tingkat kerapatan berbeda yaitu  $1 \times 10^8$  dan  $2 \times 10^8$ .

### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tinggi tanaman (cm), jumlah daun, diameter batang (mm), kandungan fosfat dalam jaringan, skor kerusakan akar, berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan tajuk, derajat infeksi mikoriza serta jumlah nematoda *P. coffeae*.

### 3.3.3 Variabel kontrol atau variabel Kendali

Variabel kontrol atau variabel kendali adalah variabel yang dikendalikan sehingga variabel bebas dan terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kendali dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Media tanam yang digunakan merupakan tanah yang sama yang berasal dari Fakultas Pertanian;
- b. Bibit kopi yang digunakan adalah bibit kopi dengan jenis yang sama dan berasal dari tempat persemaian yang sama yaitu bibit kopi jenis Arabika yang berumur 2 bulan dan berasal dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember;
- c. Sumber Nematoda *P. coffeae* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sumber dan tempat yang sama yaitu dari akar tanaman kopi pada bedengan bibit tanaman kopi di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember dan berada dalam stadium juvenil dan dewasa yang sama;
- d. Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) yang digunakan adalah jenis mikoriza yang sama yaitu *Glomus* spp. yang diperoleh dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta;

- e. Sumber air penyiraman tanaman kopi yang digunakan merupakan sumber air dari daerah yang sama.

### 3.4 Definisi Operasional

Peneliti memberikan pengertian untuk menjelaskan operasional penelitian agar tidak menimbulkan pengertian ganda terhadap pembaca. Adapun definisi operasional dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) merupakan bentuk asosiasi simbiotik antara cendawan dengan sistem perakaran tanaman tingkat tinggi.
- b. Bakteri Pelarut Fosfat (BPF), merupakan kelompok bakteri yang mampu melarutkan fosfat (P) tidak tersedia atau terfiksasi di dalam tanah menjadi tersedia sehingga dapat diserap oleh tanaman dengan bentuk yang lebih sederhana. Dalam penelitian ini digunakan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) hayati yaitu *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*.
- c. Nematoda *P. coffeae* merupakan salah satu nematoda parasit peluka akar pada tanaman kopi. Biasanya hidup dalam akar, rizhoma, atau umbi. Nematoda ini mampu menyerang pada bagian ujung akar, di daerah yang sedang menunjang. Nematoda *P. coffeae* menyerang akar serabut dari tanaman kopi, masuk melalui ujung akar dengan makan jaringan korteks atau kulit akar sehingga menyebabkan kulit akar akan terluka berwarna coklat, dan membusuk (Wiryadiputra *et al*, 2010).
- d. Inokulasi ganda merupakan uji secara bersamaan antara Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) dengan cara menggabungkan fungsi keduanya apakah memiliki pengaruh yang lebih besar dalam mengendalikan nematoda *P. coffeae* pada pertumbuhan Kopi Arabika daripada jumlah total pengaruh masing-masing.
- e. Pertumbuhan tanaman adalah pertambahan ukuran pada parameter tinggi tanaman, diameter batang tanaman, jumlah daun dilakukan setiap 2 minggu

sekali, serta berat basah tajuk, berat basah akar serta berat kering tajuk tanaman Kopi Arabika yang diamati setelah bibit kopi selesai dipanen

- f. Mengendalikan nematoda parasit *P. coffeae* dalam penelitian ini adalah mampu menurunkan populasi nematoda *P. coffeae* yang menginfeksi pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)  $\pm$  70% dari perlakuan kontrol negatif yaitu perlakuan tanpa inokulasi dengan Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat

### 3.5 Desain Penelitian

Penelitian ini berupa percobaan dengan rancangan acak kelompok (RAK) yang terdiri dari 8 perlakuan dengan 5 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 2 tanaman. Sehingga diperoleh jumlah sampel percobaan sebanyak  $(8 \times 5) \times 2 = 80$  tanaman percobaan. Adapun perlakuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. A : Perlakuan tanpa *Glomus* spp. + tanpa nematoda *P. coffeae* (K+)
- b. B : Perlakuan tanpa *Glomus* spp. + nematoda *P. coffeae* (K-)
- c. C : Perlakuan 100 spora *Glomus* spp. + Bakteri *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan  $1 \times 10^8$ /ml + nematoda *P. coffeae*
- d. D : Perlakuan 100 spora *Glomus* spp. + Bakteri *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan  $2 \times 10^8$ /ml + nematoda *P. coffeae*
- e. E : Perlakuan 100 spora *Glomus* spp. + Bakteri *Bacillus mycoides* dengan kerapatan  $1 \times 10^8$ /ml + nematoda *P. coffeae*
- f. F : Perlakuan 100 spora *Glomus* spp. + Bakteri *Bacillus mycoides* dengan kerapatan  $2 \times 10^8$ /ml + nematoda *P. coffeae*
- g. G : Perlakuan 100 spora *Glomus* spp. + nematoda *P. coffeae*
- h. H : Perlakuan 0 spora *Glomus* spp. + nematoda *P. coffeae* + nematisida carbofuran dengan dosis 5 gr per pot.

Adapun Desain Rancangan Acak Kelompok berkaitan dengan tata letak pot dalam penelitian ini terlampir (Lampiran A Halaman 108).

### 3.6 Populasi dan Sampel Penelitian

#### 3.6.1 Populasi Penelitian

Populasi pada penelitian ini adalah seluruh tanaman Kopi Arabika berumur 2 bulan yang diperoleh dari kebun percobaan Kaliwining, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember.

#### 3.6.2 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini adalah tanaman Kopi Arabika berumur 2 bulan yang diperoleh dari kebun percobaan Kaliwining, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember.

### 3.7 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.7.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : pot plastik (diameter 15,3 cm dan volume 1500 gram media tanam), tanah, saringan 325 mesh (0,045 mm) dan 40 mesh, gelas ukur 10 ml, gelas beaker 1000 ml, pipet volume, sentrifuge, mikroskop, *counting disk*, *waterbath*, neraca analitik, camera digital, penggaris, jangka sorong, *refrigerator*, labu erlenmayer, inkubator, lemari es, *autoclave*, *laminar air flow*, gunting, blender, pemanas bunsen, rak tabung, tabung reaksi, kompor listrik, korek api, *vortex mixer*, mikropipet 1 ml, mikropipet 5-50 µl dan 50-200 µl, jarum ose, gigaskrin, *shaker*, cawan petri, pipet volume 10 ml, botol semprot, *thermohigrometer*, kaca benda dan kaca penutup, corong, spatula, sendok, evendrop, tip kuning ukuran 0,1 ml, tip ukuran 1 ml, selotip plastik, *spidol/bolpoint* thermometer klinis, labu erlenmayer, *Aluminium foil*.

#### 3.7.2 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kopi jenis Arabika, bibit Kopi Arabika yang berumur 2 bulan, isolat bakteri *Pseudomonas mallei*, isolat bakteri *Bacillus mycoides*, nematoda *P. coffeae*, media tanam (pasir

steril, tanah steril, kompos steril), mikoriza *Glomus* spp., aquadest, air, air gula, alkohol 70 %, nematisida carbofuran, kertas kayu, kasa, karet, kertas label, kapas, tissue, medium NB (*Nutrient Broth*), medium NA (*Nutrient Agar*), medium *Pikovskaya*, pupuk urea.

### 3.8 Prosedur Penelitian

#### 3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan Alat dan Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian dilakukan di tempat penelitian, antara lain yaitu di *Green House* Perumahan Istana Tidar, Kaliurang. Tahap persiapan pembenihan tanaman kopi, persiapan nematoda dan mikoriza dilaksanakan di laboratorium perlindungan tanaman dan kebun percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, kecamatan Jenggawah, kabupaten Jember. Sedangkan tahap persiapan Bakteri di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Jember.

#### 3.8.2 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah, pasir, dan kompos yang telah dicampur menjadi satu dengan perbandingan masing-masing 1:1:1. Media tanam ini kemudian di sterilisasi dengan menggunakan *autoclave* pada suhu 135°C selama 4 jam untuk menghindari adanya kontaminasi dari nematoda maupun organisme lain yang ada di dalam media tanaman kopi.

#### 3.8.3 Persiapan Penanaman Bibit Kopi Arabika

Sebelum penanaman bibit kopi pada pot plastik, terlebih dahulu benih Kopi Arabika disemaikan pada bak besar yang berisi media tanam pasir yang sudah disterilkan. Tujuannya agar mendapatkan bibit kopi yang homogen. Setelah benih kopi tumbuh dan berumur 2 bulan, bibit kopi dipindahkan ke dalam pot plastik dengan diameter 15,3 cm dan volume 1500 gram yang sudah berisi media tanam.

Lubang tanam dibuat dengan kedalaman 8-10 cm, akar bibit kopi dimasukkan ke dalam lubang tanam, ditimbun dengan tanah dan tekan di sekitar akar tanaman kopi. Tiap pot tanama kopi berisi 1 tanaman.

#### 3.8.4 Persiapan Nematoda *Pratylenchus coffeae*

*P. coffeae* diambil dari lahan bedengan Kopi Arabika di Kebun percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember yang sudah diketahui diserang oleh *P. coffeae*. Pengambilan sampel ini dilakukan pada akar tanaman yang sudah diketahui terserang *P. coffeae*. Metode pengambilan akar dilakukan secara acak kemudian akar dimasukkan ke dalam kantong plastik lalu diekstraksi dengan Metode Baermann yang telah dimodifikasi, adapun tahapan ekstraksi untuk mendapatkan *P. coffeae* adalah sebagai berikut:

- a. Akar yang telah diambil dari tanaman yang terserang nematoda dipisahkan dari sisa-sisa tanah, kotoran lain yang melekat dengan cara mencuci hingga bersih;
- b. Akar dikering anginkan;
- c. Akar dipotong  $\pm 0,5$  cm dengan gunting pangkas hingga diperoleh potongan kecil;
- d. Hasil potongan akar ditimbang sebanyak 10 gram;
- e. Potongan akar dimasukkan ke dalam beaker plastik ditambahkan air sebanyak  $\pm 10$  ml;
- f. Potongan akar dengan air dimasukkan ke dalam blender dan dihaluskan sebanyak 2 kali. Penghalusan pertama dan kedua masing-masing 15 detik;
- g. Hasil penghalusan (f) disaring dengan saringan 40 mesh yang telah dipasang kain panel atau kertas tisu dan ring;
- h. Saringan 40 mesh diletakkan di dalam piring alumunium, kemudiaan diisi air sebanyak 100 ml dan diendapkan selama 24 jam;
- i. Air endapan disaring dengan 2 saringan 325 mesh (0.045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam;

- j. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai  $\pm 100$  ml;
- k. Hasilnya dapat langsung diamati atau disimpan di dalam lemari pendingin (kulkas) apabila belum diamati.

#### 3.8.5 Persiapan *Glomus* spp.

*Glomus* spp. diperoleh dari Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Penghitungan spora dilakukan dengan metode *sentrifuge*, adapun tahapan Penghitungan spora dengan metode sentrifuse adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang 25 gram inokulan kemudian dimasukkan ke dalam beaker glass yang berisi  $\pm 800$  ml air dan diaduk dengan pengaduk sampai rata.
- b. Hasil dari (a) dituangkan ke dalam saringan yang telah disusun menurut ukuran pori yang terbesar sampai terkecil
- c. Pembilasan dengan air diulang beberapa kali hingga diperkirakan tidak ada lagi spora yang tertinggal di dalam media tersebut.
- d. Spora yang menempel pada saringan dituangkan pada beaker glass dengan disemprot air dan di diamkan selama  $\pm 1$  jam.
- e. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai  $\pm 100$  ml.
- f. Hasil pengetapan dituangkan ke dalam tabung sentrifuse yang telah berisi bubuk kaolin sebanyak 1 sendok teh ( $\pm 10$  gram) dan diaduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- g. Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4.000 rpm selama 5 menit.
- h. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu air pada lapisan atas dibuang sedangkan endapan kaolin pada lapisan bawah diproses lebih lanjut.
- i. Larutan gula dengan BJ=1.18 dituangkan ke dalam tabung sentrifuse setinggi endapan kaolin yang terbentuk kemudian di aduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- j. Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4.000 rpm selama 3 menit.

- k. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu larutan gula pada lapisan atas diproses lebih lanjut sedangkan endapan kaolin pada lapisan bawah dibuang.
- l. Lapisan gula yang terdapat pada lapisan atas dituangkan ke dalam beker plastik yang telah berisi air sebanyak  $\pm 700$  ml, kemudian disaring dengan 2 saringan 325 mesh (0.045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam.
- m. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai  $\pm 100$  ml.
- n. Mengamati dibawah mikroskop menggunakan cawan penhitung (*counting disk*).

#### 3.8.6 Perhitungan mikoriza *Glomus* spp.

Perhitungan mikoriza *Glomus* spp. dilakukan dengan menggunakan mikroskop dan secara manual menggunakan bantuan cawan perhitungan (*counting disk*). Perhitungan dimulai dengan memasukkan larutan yang telah homogen dengan cara di hisap dan dikeluarkan lagi dengan 3 kali pengulangan. Pengambilan larutan menggunakan pipet sebanyak 10 ml yang diletakkan ke dalam cawan. Memberi sedikit aquadest steril apabila penutupan dalam cawan tidak merata. Perhitungan dengan menggunakan mikroskop bisa dilakukan secara manual dengan menghitung setiap spora *Glomus* spp. yang ada pada kotak – kotak cawan perhitungan (*counting disk*).

#### 3.8.7 Penimbangan zeolit yang mengandung spora *Glomus* spp.

Penelitian ini menggunakan spora *Glomus* spp. sebanyak 100 spora. Perhitungan tersebut dilakukan dengan cara: diasumsikan bahwa setiap 1 gram zeolit mikoriza *Glomus* spp. terdapat 11 spora sehingga untuk mendapatkan 100 spora maka dapat dilakukan perbandingan yakni 9,09 gr zeolit. Proses penimbangan ini menggunakan timbangan analitik.

#### 3.8.8 Identifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Identifikasi nematoda *P. coffeae* bertujuan untuk memastikan kebenaran spesies dan mempelajari morfologinya. Identifikasi dilakukan dengan cara melakukan pengecatan gram terlebih dahulu kemudian melakukan pengamatan dibawah

mikroskop. Prosedur ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Pendidikan Biologi FKIP dan Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Jember.

### 3.8.9 Identifikasi BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*

Identifikasi bakteri yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) yang digunakan adalah *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*. Identifikasi yang dilakukan meliputi uji fisiologis dan struktur sel bakteri ini bertujuan untuk memastikan kebenaran spesies dan mempelajari morfologinya bakteri yang digunakan dalam penelitian. Adapun uji fisiologis dan struktur sel bakteri yang dilakukan meliputi :

#### a. Hidrolisis dan fermentasi karbohidrat

Uji karbohidrat yang dilakukan meliputi uji glukosa, sukrosa, laktosa, mannitol dan maltosa, Uji karbohidrat dilakukan dengan cara menginokulasikan biakan bakteri pada medium nutrient cair, menginkubasikan pada temperatur 37°C selama  $\pm 72$  jam, menambahkan larutan yodium 3 ml, menambahkan phenol red untuk menunjukkan warna merah, kemudian menggojog suspensi bakteri. Indikator dari uji ini adalah adanya perubahan warna disekitar koloni dari sebelum perlakuan uji dan sesudah perlakuan uji. Indikator pada uji karbohidrat, ditunjukkan dengan adanya warna kuning atau merah yang berarti spesies bakteri tersebut mampu memfermentasi karbohidrat, baik glukosa, sukrosa, laktosa, mannitol maupun maltosa.

#### b. Uji Hidrolisis Pati

Uji hidrolisis pati menggunakan medium pati agar dan juga iodine untuk pewarnaan. Uji hidrolisis pati dilakukan dengan cara biakan murni bakteri dalam nutrient cair umur 24 jam diinokulasikan secara *streak* dalam medium pati agar dalam cawan, menginkubasikan biakan selama  $\pm 48$  jam, kemudian meneteskan dengan larutan yodium. Indikator dari uji ini adalah dengan ditandai oleh terbentuknya zona bening

disekitar pertumbuhan bakteri pada cawan petri yang berarti bahwa bakteri memiliki kemampuan dalam menghidrolisis pati.

c. Uji ketahanan terhadap perbedaan temperatur.

Perbedaan suhu yang digunakan adalah 5°C, 45°C, dan 65°C. Uji perbedaan suhu bertujuan untuk mengetahui tipe spesies bakteri berdasarkan perbedaan suhunya.

d. Uji reduksi nitrat dalam jangka waktu 96 jam.

Uji reduksi nitrat dilakukan dengan menggunakan medium nitrat cair, larutan asam sulfanilat, dan larutan *α-naphthylamin*. Indikator positif dalam uji ini ditandai dengan terbentuknya warna merah setelah penambahan reagen uji, yang berarti bahwa spesies bakteri tersebut memiliki kemampuan dalam mereduksi nitrat menjadi nitrit. Kemudian ditandai ada tidaknya gelembung atau gas, yang berarti bahwa nitrit tereduksi menjadi gas nitrogen. Sedangkan indikator negatif ditunjukkan jika memberikan hasil yang sebaliknya yaitu tidak terjadi perubahan warna dan tidak terbentuk gas.

e. Uji katalase (Reduksi Hidrogen Peroksida)

Uji katalase menggunakan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroksida) 3%. Uji ini dilakukan dengan cara mengambil satu ose bakteri yang akan diuji dan meletakkannya pada kaca benda, kemudian meneteskan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroksida) pada bakteri. Indikator dari uji ini adalah dengan ditandai adanya gelembung O<sub>2</sub> disekeliling pertumbuhan bakteri yang berarti bahwa spesies bakteri tersebut memiliki enzim katalase.

f. Uji indol

Uji Indol menggunakan reagen indol yaitu dengan mengetahui indol triptofan yang terbentuk, jika berwarna merah maka bakteri positif memiliki kemampuan dalam menguraikan protein, sedangkan bila tidak membentuk indol triptofan maka bakteri tidak memiliki kemampuan dalam menguraikan protein.

g. Pewarnaan gram

Adapun prosedur pengecatan Gram yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1) Meletakkan isolat menggunakan jarum ose diatas kaca benda

- 2) Memfiksasi bagian yang terdapat mikroba diatas api bunsen dengan tujuan agar mikroba bisa melekat pada kaca benda
- 3) Menetesi bagian mikroba pada kaca benda menggunakan kristal violet, tunggu hingga kristal violet melekat;
- 4) Memberikan 1 tetes lugol, kemudian serap bagian lugol yang tidak efektif
- 5) Menyerap bagian lugol dengan menggunakan kertas tissue, kemudian melakukan pencucian menggunakan air atau aquadest, menyerap kembali menggunakan tissue.
- 6) Menetesi menggunakan alkohol 95%, kemudian menunggu hingga 10-20 detik, kemudian diserap kembali menggunakan kertas tissue;
- 7) Menetesi menggunakan safranin dan menunggu hingga 10-30 detik, kemudian diserap menggunakan kertas tissue
- 8) Mencuci secara perlahan menggunakan aquadest atau air, kemudian diserap menggunakan kertas tissue
- 9) Mengamati dibawah mikroskop. Jika bakteri berwarna merah maka bakteri tersebut merupakan bakteri gram negatif, sedangkan jika berwarna ungu kebiruan maka disebut gram positif.

h. Identifikasi Bentuk Morfologi

Identifikasi dilakukan dengan cara melakukan pengamatan dibawah mikroskop. Berdasarkan bentuk morfologinya bentuk bakteri dibedakan menjadi bentuk batang (basil), bulat (*coccus*), spiral dan koma (*commae*).

i. Uji Endospora.

Uji endospora dengan menggunakan metode *Schaeffer-Fulton* dengan pewarna safranin O 0,5% dan hijau malakit 5% dalam air. Indikator dari pewarnaan endospora ini adalah menghasilkan spora berwarna hijau, sedangkan sel vegetatifnya berwarna merah muda.

#### 3.8.10 Perhitungan Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Suspensi nematoda *Pratylenchus coffeae* yang diperoleh dari hasil ekstraksi dituangkan kedalam gelas beker. Suspensi diaduk hingga merata dengan cara dihisap dengan menggunakan pipet. Kemudian disemprotkan kembali hingga tiga kali pengulangan. Mengambil 10 ml suspensi dengan menggunakan pipet dan menuangkan kedalam cawan penghitung (*counting disk*). Perhitungan populasi nematoda dilakukan dibawah mikroskop binokuler dengan cara memutar cawan penghitung sesuai dengan jalur yang ada pada cawan penghitung searah jarum jam. Hasil penghitungan nematoda yang telah memenuhi jumlah yang diinginkan diletakkan pada botol. Setiap akan dilakukan pengambilan suspensi 10 ml, dilakukan pengadukan sampai merata. Pada penelitian ini digunakan populasi nematoda *P. coffeae* untuk perlakuan dalam setiap pot adalah 50 ekor *P. coffeae*.

#### 3.8.11 Tahap Pengenceran Bakteri dan Formulasi Bakteri dengan CFU (*Colony Forming Unit*)

Biakan murni bakteri *Pseudomonas mallei* dan bakteri *Bacillus mycoides* diremajakan pada cawan petri yang berisi medium NA dengan menggunakan jarum ose. Hasil peremajaan pada cawan petri diremajakan kembali pada medium NA yang dibuat miring menggunakan tabung reaksi selama  $\pm 24$  jam. Bakteri yang telah diremajakan pada tabung di luruhkan menggunakan jarum ose. Menuangkan 5 ml aquadest kedalam tabung hingga terbentuk suspensi bakteri. Diambil 1 ml suspensi bakteri dimasukkan ke dalam 9 ml aquadest (pengenceran  $10^{-1}$ ). Dari pengenceran  $10^{-1}$  dilakukan pengambilan 1 ml dan menuangkan pada tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades yang berbeda hingga diperoleh pengenceran pada tingkatan  $10^{-9}$ . Kemudian menuangkan masing-masing hasil pengenceran sebanyak 100  $\mu$ l kedalam cawan petri yang telah berisi medium NA  $\pm 20$  ml secara *spread plate* menggunakan mikropipet. Meratakan suspensi menggunakan gigaskrin. Hasil biakan pada cawan inkubasi selama  $\pm 24$  jam. Pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah koloni

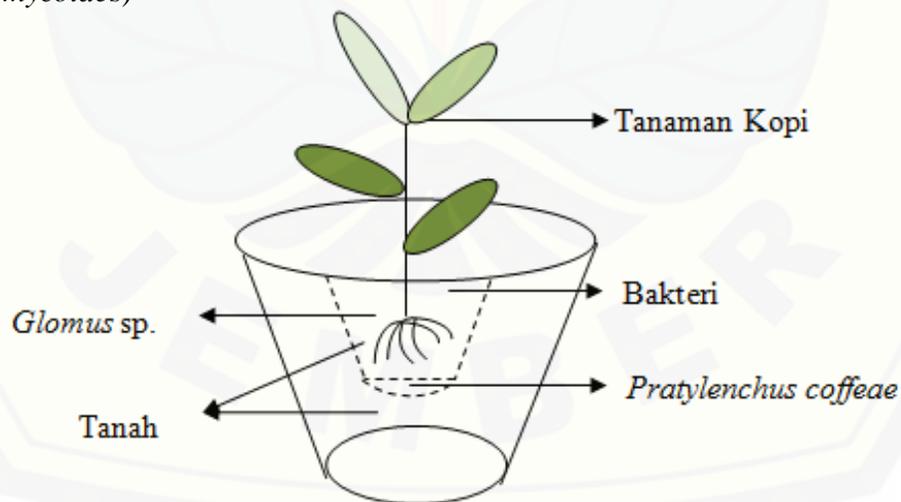
bakteri yang tumbuh. Indikator bahwa bakteri berhasil dapat digunakan dalam uji apabila jumlah koloni bakteri antara 30-300 koloni bakteri.

$$\sum \text{sel} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{\text{Faktor pengenceran}}$$

### 3.8.12 Tahap Formulasi Bakteri

Biakan bakteri murni diremajakan  $\pm 24$  jam pada medium NA miring pada tabung reaksi. Meluruhkan hasil peremajaan pada tabung dengan menggunakan ose. Menuangkan 1 ml aquadest hingga menjadi suspensi bakteri. Mengambil 1 ml suspensi bakteri hingga tingkat pengenceran tertentu. kemudian menuangkan 1 ml hasil pengenceran kedalam labu erlenmayer yang sudah berisi medium NB (*Nutrient Broth*) 100 ml. Suspensi pada labu erlenmayer dishaker hingga homogen selama  $\pm 24$  jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah  $\pm 24$  jam suspensi pada labu erlenmayer siap untuk diaplikasikan pada tanaman kopi.

### 3.8.13 Inokulasi *Pratylenchus coffeae*, *Glomus* spp. dan Bakteri (*P. mallei* dan *B. mycoides*)



Gambar 3.1 Skema penempatan inokulan *Pratylenchus coffeae*, *Glomus* spp. dan Bakteri

Inokulasi *Pratylenchus coffeae*, *Glomus* spp. dan bakteri dilakukan dengan menggunakan metode Baon, *et. Al*, (1988). Penempatan inokulum nematoda, mikoriza *Glomus* spp. dan bakteri dalam pot seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 diatas.

#### 3.8.14 Pemeliharaan Tanaman Kopi

Pemeliharaan tanaman kopi dilakukan dengan penyiraman dengan air secara berkala dengan selang waktu 2-3 hari sekali. Setiap selesai penyiraman, dilakukan pengemburan tanah pada media tanam dengan cara mengaduk tanah dengan menggunakan kawat. Pengolesan batang menggunakan ridomil yang dilarutkan kedalam 100 ml air untuk menghindari serangan *rhizoctonia* pada tanaman kopi.

### 3.9 Parameter penelitian

#### 3.9.1 Tinggi Tanaman (cm)

Tinggi tanaman diukur setiap 2 minggu sekali sampai berumur 4 bulan setelah tanam. Pengukuran dimulai dari pangkal batang sampai ujung tunas yang baru tumbuh. Pengambilan data untuk mengetahui selisih pertumbuhan tanaman kopi yaitu dengan mengetahui perubahan tinggi dari pengukuran sebelumnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan penggaris.

#### 3.9.2 Diameter Batang (mm)

Besar diameter batang diukur setiap 2 minggu sekali sampai berumur 4 bulan setelah tanam. Pengukuran ini dilakukan pada bagian ruas batang yang pertama yaitu pada bagian bawah pasangan daun pertama ( $\pm 5$  cm dari atas permukaan tanah). Pengukuran diameter batang dilakukan dengan menggunakan jangka sorong analitis.

### 3.9.3 Jumlah Daun

Jumlah daun dihitung setiap 2 minggu sekali sampai berumur 4 bulan setelah tanam. Jumlah daun dihitung secara keseluruhan, daun yang masih kuncup atau belum terbuka sempurna tidak turut dihitung.

### 3.9.4 Berat Basah Tajuk

Berat basah tajuk ditimbang pada akhir penelitian, saat tanaman berusia 4 bulan setelah tanam. Bagian tajuk yang di timbang yaitu bagian tanaman mulai dari batas pangkal akar keatas hingga bagian ujung tanaman Kopi Arabika. Penimbangan dilakukan dengan timbangan analitik di Laboratorium Nematologi, Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember.

### 3.9.5 Berat kering tajuk

Berat kering tajuk ditimbang pada akhir penelitian, saat tanaman berusia 4 bulan setelah tanam. Berat kering ini ditimbang setelah tajuk tanaman kopi (bagian atas pangkal akar hingga pucuk atas daun) di oven hingga kadar airnya berkurang selama  $\pm 5$  hari. Penimbangan dilakukan dengan timbangan analitik di Laboratorium Nematologi, Pusat Penelitian Kopi Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember.

### 3.9.6 Kandungan P Jaringan

Analisis kandungan unsur P dalam jaringan dilakukan diakhir penelitian dengan membandingkan tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan. Analisis ini dilakukan dengan metode pengabuan basah dan P-Bray. Pengabuan basah dilakukan dengan menggunakan campuran larutan  $\text{HClO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ . Analisis kandungan unsur P dalam jaringan dilakukan di Laboratorium Tanah Politeknik Negeri Jember.

### 3.9.7 Derajat infeksi mikoriza dan bakteri

Derajat infeksi mikoriza diamati pada akhir penelitian, dengan cara akar tanaman diwarnai terlebih dahulu dengan menggunakan metode Phillips dan Hayman

(1970). Pewarnaan akar dilakukan dengan cara membersihkan akar pada tiap perlakuan seberat 1 gram dengan air mengalir. Proses pewarnaan dimulai dengan mendidihkan larutan *lactophenol* di atas bunsen (penggunaan bunsen ditujukan agar *lactophenol* tidak cepat menguap). Setelah *lactophenol* mendidih, memasukkan akar tersebut selama 2-3 menit. Akar yang telah terwarnai direndam dalam air bersih selama 5 menit. Hal ini ditujukan untuk meluruhkan zat pewarna pada akar tetapi tetap menempel pada mikoriza. Setelah itu akar dimasukkan ke dalam tabung kecil kemudian menambahkan beberapa tetes *gliserin acid* dengan bertujuan agar akar dapat disimpan selama beberapa bulan tetapi tidak mengubah warna mikoriza. Proses pengamatan dilakukan dengan meletakkan 10 potongan akar pada kaca benda kemudian diamati dibawah mikroskop. Perhitungan derajat infeksi mikoriza dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan. Persentasi koloni setiap 10 potongan akar dengan panjang 1 cm dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ colonizaition} = \frac{\text{No. of root segments colonized}}{\text{Total no. of root segments observed}} \times 100$$

### 3.9.8 Skor kerusakan tajuk

Skor kerusakan tajuk ini diukur setiap 2 minggu sekali sampai tanaman berumur 4 bulan. Pengukuran kerusakan skor tajuk dapat di lakukan dengan penyekoran melalui pengamatan secara langsung. Adapun kriteria pengukuran dari kerusakan skor tajuk yaitu:

- 1 = 1-2 daun menguning, belum ada yang gugur.
- 2 = sekitar 25% daun menguning belum ada yang gugur.
- 3 = 25-50% daun menguning, beberapa daun telah gugur.
- 4 = >50% daun menguning, banyak daun yang gugur.
- 5 = tanaman/bibit mati, sebagian daun telah gugur

### 3.9.9 Jumlah Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Populasi nematoda *P. coffeae* dihitung pada akhir penelitian yaitu saat tanaman berumur 4 bulan dengan melakukan prosedur ekstraksi akar dan tanah menggunakan Metode Baermann yang telah dimodifikasi. Adapun Cara menghitung populasi nematoda *Pratylenchus coffeae* sebagai berikut :

- a. Suspensi nematoda yang diperoleh dari hasil ekstraksi dituangkan ke dalam gelas beaker, volumenya dijadikan 100 ml.
- b. Suspensi nematoda diaduk sampai merata dengan cara dihisap dengan menggunakan pipet kemudian disemprotkan kembali dilakukan sampai 3 kali.
- c. Suspensi nematoda diambil sebanyak 10 ml dengan menggunakan pipet diletakkan di dalam cawan penghitung (*counting disk*).
- d. Lakukan penghitungan populasi dan jenis nematoda di bawah mikroskop binokuler dengan mengurutkan sesuai jalur yang ada pada cawan penghitung searah jarum jam. penghitungan dilakukan sebanyak 3 kali. Suspensi nematoda yang telah selesai dihitung dikembalikan lagi ke dalam beker gelas. Setiap akan dilakukan pengambilan suspensi nematoda 10 ml, dilakukan pengadukan sampai merata. Penghitungan populasi per 10 gram contoh akar atau 100 ml contoh tanah adalah sebagai berikut :

$$P = \frac{(p1 + p2 + p3) \times 10}{3}$$

Keterangan :

- P** : Populasi nematoda setiap satuan contoh yang diambil  
**p1, p2, p3** : Perhitungan setiap 10 ml suspensi nematoda dengan tiga ulangan  
**10** : 100 ml

### 3.9.10 Skor kerusakan Akar

Skor kerusakan akar dilihat dari tingkat kerusakan akar pada akhir penelitian yaitu usia kopi 4 bulan setelah tanam dengan asumsi bahwa akar yang rusak berwarna coklat kehitaman dan umumnya akar lateralnya habis. Pengamatan dilakukan

menggunakan metode skoring mengikuti Wiryadiputra (1983), yaitu dengan skala nilai skor 0-5, dengan asumsi 0 berarti tanaman sehat dan nilai 5 tanaman mati. Nilai intensitas serangan dalam bentuk skor dikonversi menjadi presentasi tingkat serangan menggunakan rumus Townsend-Heuberger yaitu:

$$\text{Intensitas serangan} = \left( \frac{\sum(n.v)}{(i.n)} \right) \times 100\%$$

Keterangan :  
v = nilai skor  
i = nilai skor tertinggi  
n = jumlah tanaman masing-masing nilai skor yang diamati  
N = jumlah total tanaman yang diamati

### 3.10 Analisis Data

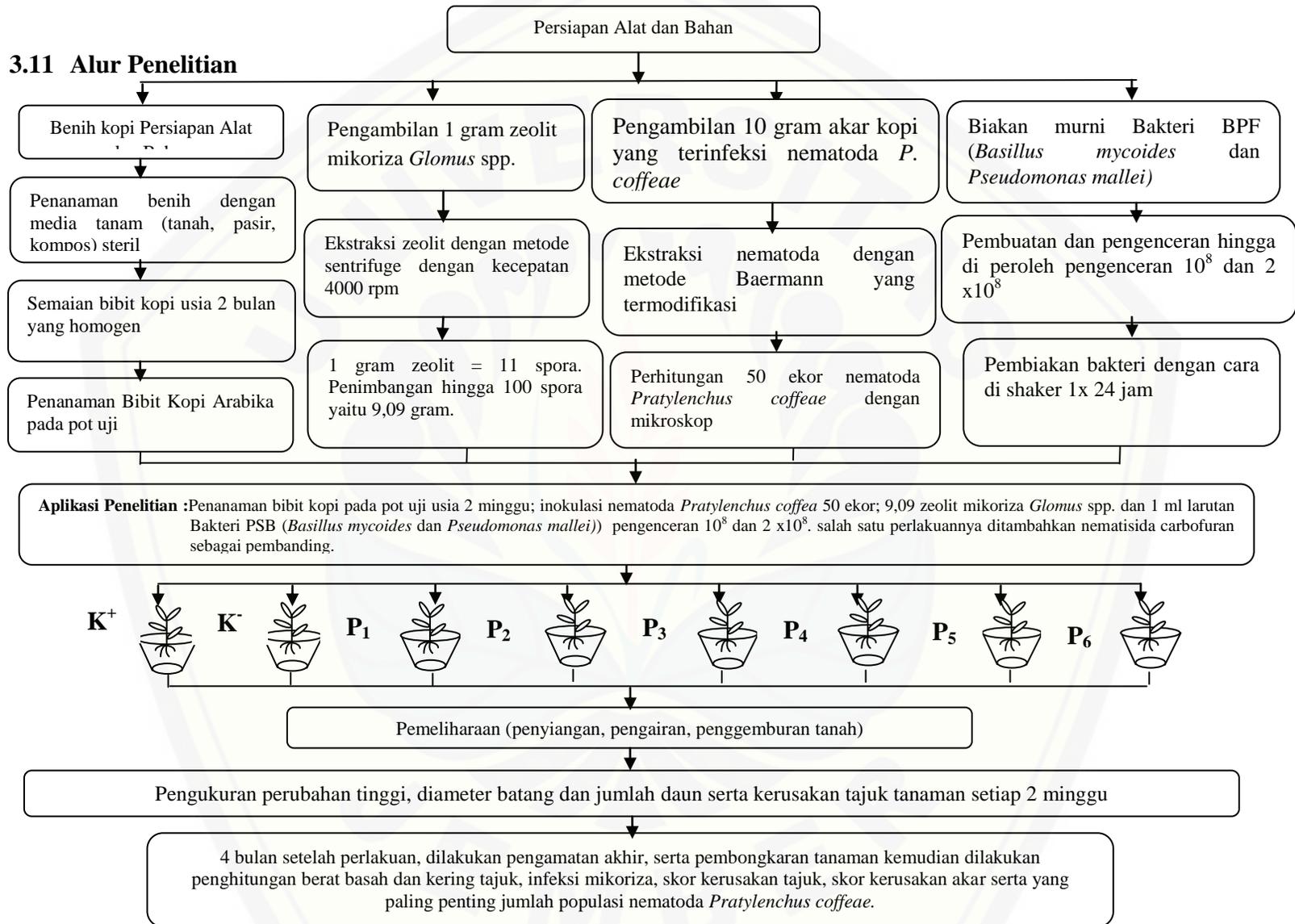
#### 3.10.1 Analisis Data Penelitian

Analisis data yang digunakan adalah analisis data berupa uji ANOVA karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dalam mengendalikan nematoda *Pratylenchus coffeae*. Perbandingan antar perlakuan dengan kontrol dan perbandingan antar perlakuan dianalisis dengan Anova dengan taraf signifikansi 95% ( $p < 5\%$ ) menggunakan SPSS versi 17. Apabila ada beda nyata dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%.

#### 3.10.2 Pengambilan Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis, kemudian dilakukan uji kesimpulan bagaimana pengaruh penerapan inokulasi ganda antara mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dalam mengendalikan nematoda *Pratylenchus coffeae*. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dengan mengaitkan rumusan masalah, tujuan dan hipotesis yang ingin dicapai dalam penelitian ini.

**3.11 Alur Penelitian**



## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan mikoriza jenis *Glomus* spp. dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) yang terdiri dari *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang digunakan untuk mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*, meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika serta meningkatkan ketersediaan unsur hara P (fosfat) dalam jaringan pada tumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) melalui penerapan inokulasi ganda atau secara bersamaan.

Parameter penelitian ini terdiri dari populasi nematoda *Pratylenchus coffeae*, tinggi tanaman (cm), jumlah daun, diameter batang (mm), skor kerusakan tajuk, skor kerusakan akar, berat basah akar dan tajuk, berat kering tajuk, derajat infeksi mikoriza, kandungan P jaringan. Data parameter pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) diambil dengan interval waktu pengamatan setiap 2 minggu sekali. Pengukuran pertama dilakukan tepat sebelum tanaman diberikan perlakuan. Setelah perlakuan dilakukan pengamatan setiap 2 minggu sekali terhadap 4 parameter pertumbuhan yang terdiri dari tinggi tanaman, jumlah daun, skor kerusakan tajuk, dan juga diameter batang tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.). Pengukuran parameter pertumbuhan ini berlangsung selama 4 bulan. Adapun hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

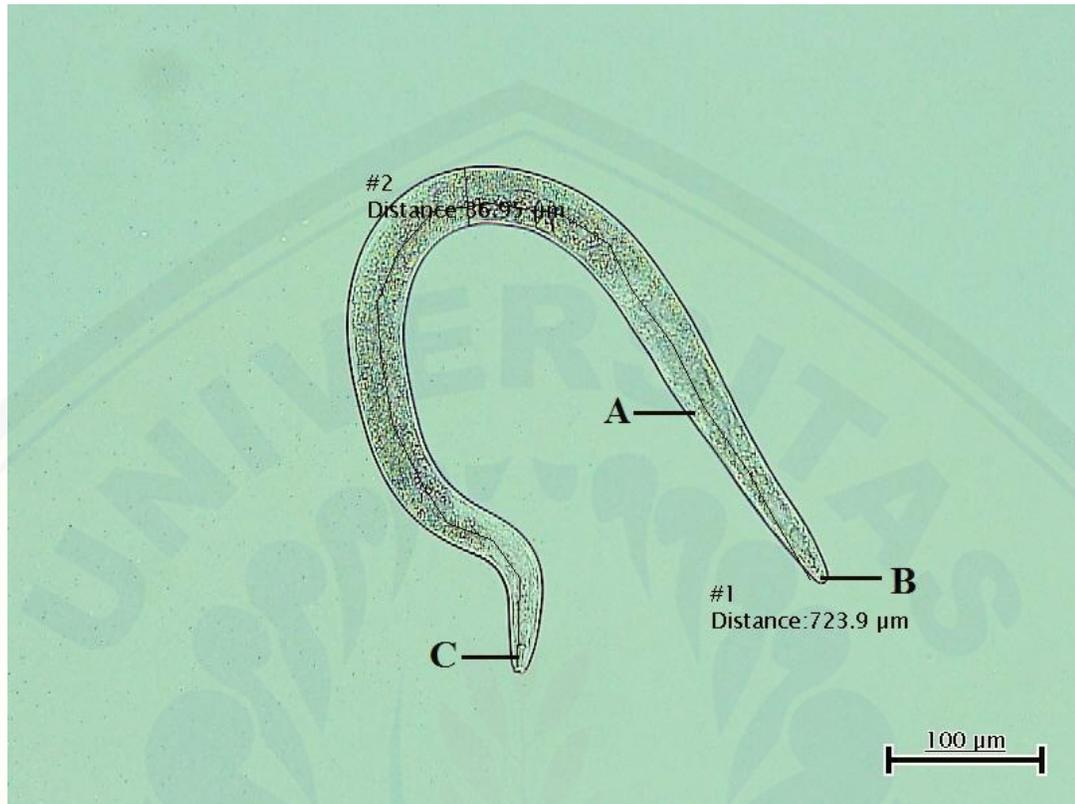
#### 4.1.1 Hasil Identifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Identifikasi *Pratylenchus coffeae* dalam penelitian ini dilakukan untuk mencegah adanya kesalahan terhadap spesies nematoda yang digunakan dalam penelitian yaitu nematoda parasit *P. coffeae*. Agar dapat mengidentifikasi nematoda parasit *P. coffeae* sesuai spesies yang diharapkan dilakukan perbandingan dengan referensi. Hasil pengamatan *P. coffeae* yang digunakan dapat dilihat Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* Jantan, A) Ekor; B) Spikula; C) Stylet (Sumber: Koleksi Pribadi)

Nematoda jantan umumnya memiliki ukuran sekitar 0,42 mm sampai 0,61 mm. Dari Gambar 4.1 nematoda *P. coffeae* yang diamati memiliki diameter tubuh  $\pm 16,73$   $\mu\text{m}$  dan panjang tubuh  $\pm 551,5$   $\mu\text{m}$  pada perbesaran 100  $\mu\text{m}$  dibawah mikroskop, sistem genitalia yang tunggal, memiliki spermateca yang besar saat terisi sperma, memiliki karakteristik ekor pendek dan ujung yang meruncing, tubuh bagian dorsalnya lebih cembung, memiliki spikula yang lunak dan memiliki vulva posterior yang tidak lebih dari 70% panjang tubuhnya.



Gambar 4.2 Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* Betina, A) Vulva; B) Ekor; C) Stylet (Sumber: Koleksi Pribadi)

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan nematoda parasit *P. coffeae* betina yang diperoleh memiliki panjang tubuh 723,9  $\mu\text{m}$  dan diameter tubuh 36,95  $\mu\text{m}$  pada perbesaran 100  $\mu\text{m}$  dibawah mikroskop. Vulva posterior pada *P. coffeae* betina mencapai 70-80% panjang tubuhnya, bagian anteriornya bercabang secara tidak langsung (*monoprodelfic*), bentuk ekor sub-silinder atau ekor meruncing tetapi kecil dengan ujung lebar, membulat dan berbentuk persegi.

Hasil pengamatan ini sesuai dengan deskripsi *P. coffeae* menurut Dropkin (1992), yaitu nematoda *Pratylenchus coffeae* memiliki lebar tubuh antara 40  $\mu\text{m}$  hingga 160  $\mu\text{m}$  dengan panjang tubuh antara 0,4-0,7 mm, sedangkan diameter tubuh 20-25  $\mu\text{m}$ . Bentuk nematoda ini pada umumnya memanjang, bagian ujung anterior kepala mendatar, dengan kerangka kepala yang kuat, mempunyai stilet pendek dan kuat, panjangnya 14-20  $\mu\text{m}$  dengan basal knob yang jelas. Ciri khusus dari nematoda

parasit *P. coffeae* pada tanaman kopi adalah adanya stilet tipe *Tylenchid* pada bagian kepalanya yang berfungsi sebagai alat untuk menginfeksi jaringan tanaman.

#### 4.1.2 Hasil Identifikasi Bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*

Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) yang digunakan dalam penelitian yaitu bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dilakukan dengan tujuan untuk mencegah adanya kesalahan terhadap spesies bakteri yang digunakan dalam penelitian Hasil uji biokimia tentang identifikasi bakteri dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Uji Fisiologis BPF (*Bakteri Pelarut Fosfat*)

Nama Uji	<i>P. mallei</i>		<i>B. mycooides</i>	
	1	2	1	2
<b>Fermentasi kH</b>				
Glukosa	+	+	+	+
Sukrosa	+	+	+	+
Laktosa	-	-	-	-
Mannitol	-	-	-	-
Maltosa	+	+	+	+
<b>Hidrolisis Pati</b>	+	+	+	+
<b>Perbedaan Suhu</b>				
5 <sup>0</sup> C	-	-	-	-
45 <sup>0</sup> C	+	+	+	+
65 <sup>0</sup> C	-	-	-	-
<b>Reduksi Nitrat</b>				
96 Jam	+	+	+	+
Katalase	+	+	+	+
Indol	-	-	-	-
Gram	-	-	+	+
Bentuk	<b>Basil</b>		<b>Basil</b>	
Endospora	-	-	+	+

Hasil uji fisiologis BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) yang terdiri dari *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dalam penelitian ini sesuai dengan deskripsi yang dijabarkan oleh Holt *et al.* (1994) dalam *Bergeys Determinative of Bacteria*.

#### 4.1.3 Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap populasi nematoda parasit *P. coffeae* tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

##### 4.1.3.1 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Derajat Infeksi mikoriza pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

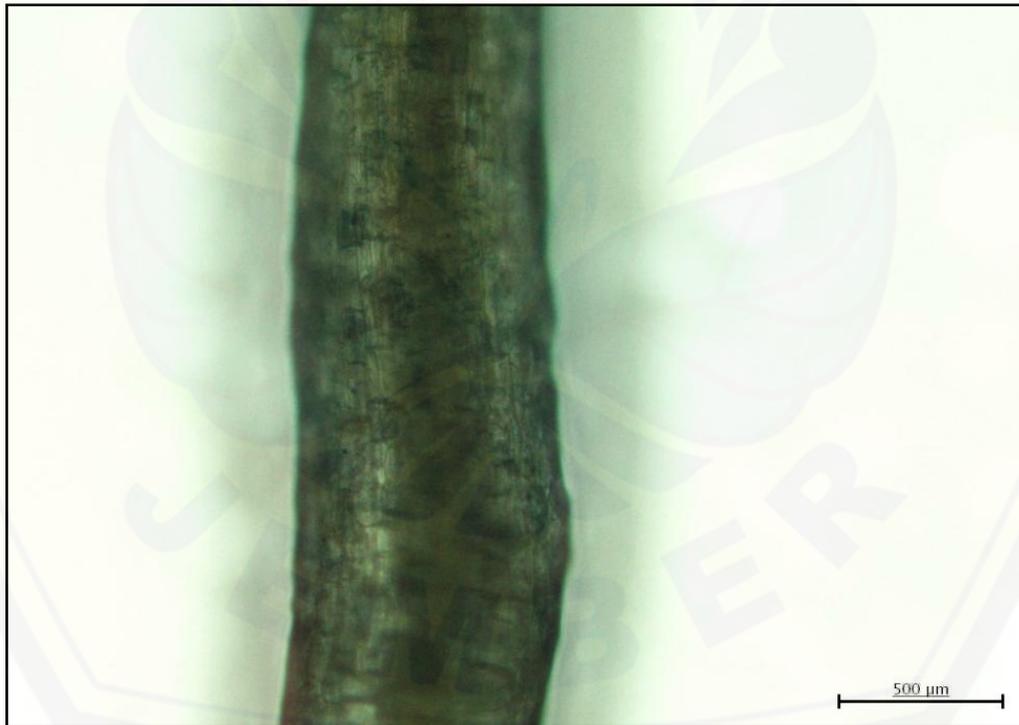
Penghitungan derajat infeksi mikoriza dilakukan pada minggu ke-16 setelah perlakuan (16 msp) yang merupakan pengamatan terakhir pada penelitian ini. Derajat infeksi mikoriza diperoleh melalui rumus jumlah akar yang terinfeksi dibagi dengan jumlah total keseluruhan potongan akar, kemudian dikalikan 100%. Hasil pengamatan dari derajat infeksi mikoriza pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada 16 minggu setelah perlakuan (msp) Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Derajat Infeksi mikoriza pada Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Perlakuan	Rerata Derajat Infeksi mikoriza (%) $\pm$ Std. Devisiasi
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	0 $\pm$ 0,000 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> (K-)	0 $\pm$ 0,000 <sup>a</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	94,4 $\pm$ 0,0240 <sup>c</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	93,2 $\pm$ 0,0191 <sup>c</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	85,6 $\pm$ 0,0496 <sup>b</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	96,8 $\pm$ 0,0078 <sup>c</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i>	90,8 $\pm$ 0,0184 <sup>bc</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	0 $\pm$ 0,0000 <sup>c</sup>

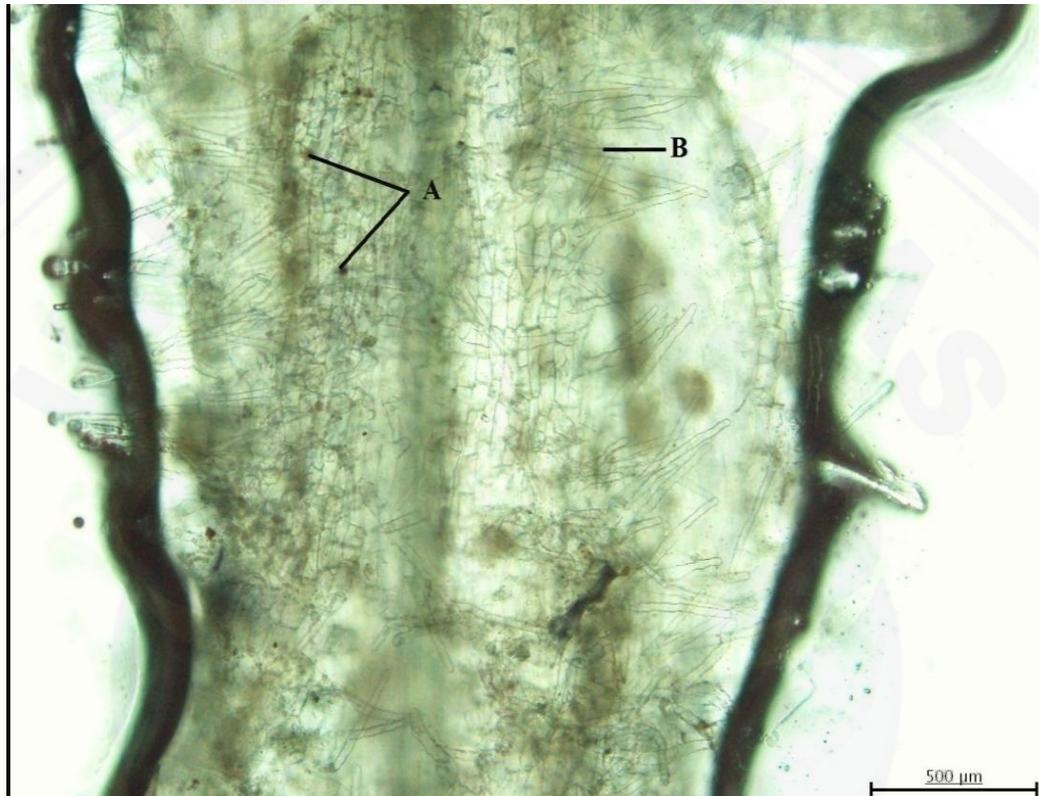
Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa perlakuan A, B dan H yang merupakan tanaman tanpa inokulasi mikoriza memiliki derajat infeksi sebesar 0%, sedangkan tanaman yang diinokulasi *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan prosentase derajat infeksi mikoriza yang berbeda yaitu berkisar antara 85% - 96,8%. Prosentase derajat infeksi mikoriza tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan F (100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*) yaitu 96,8% dan terendah pada perlakuan E (100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*) dengan prosentase derajat infeksi mikoriza sebesar 85,6%. Pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh yang sangat signifikan ( $p = 0,000$ ) terhadap rerata derajat infeksi mikoriza *Glomus* spp. Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. terhadap rerata derajat infeksi mikoriza pada tanaman Kopi Arabika dapat dilihat pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.3 Akar tanpa inokulasi mikoriza *Glomus* spp. (perbesaran 500  $\mu\text{m}$ )  
(Sumber: Koleksi pribadi)

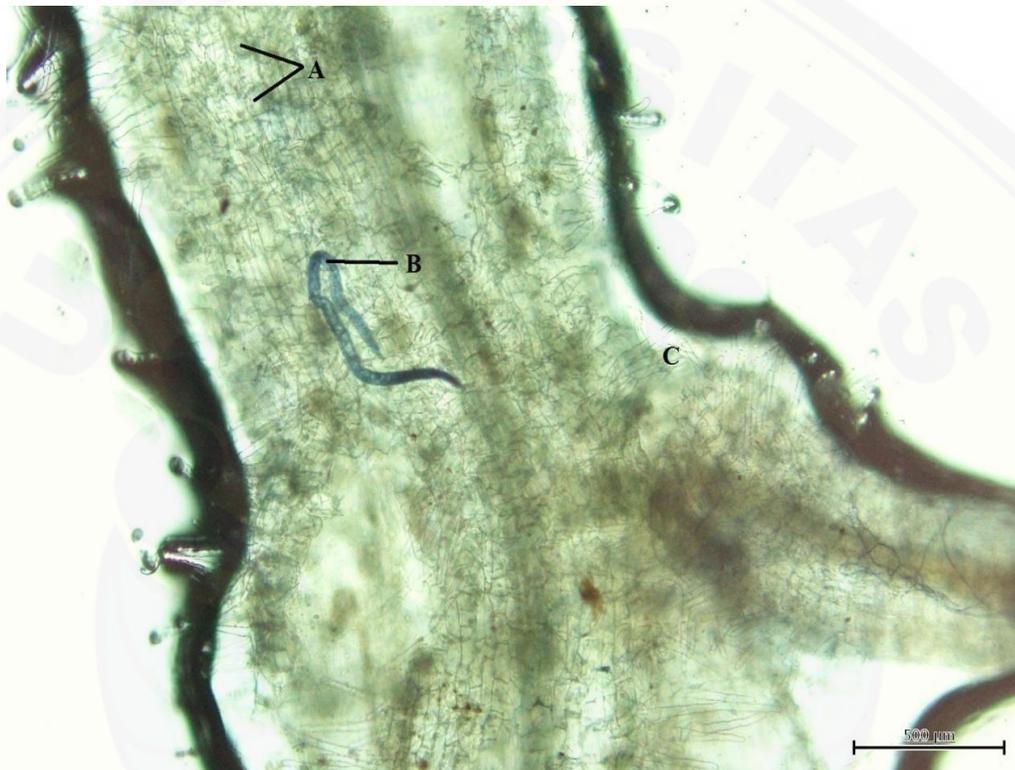
Gambar 4.3 menunjukkan gambar akar tanpa inokulasi mikoriza *Glomus* spp. pada perlakuan A, B maupun H. Pada gambar tidak terdapat hifa maupun nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada akar yang diamati.



Gambar 4.4 Akar dengan inokulasi mikoriza *Glomus* spp., A) vesikula, B) Hifa mikoriza yang menginfeksi akar (perbesaran 500 μm). (Sumber: Koleksi pribadi)

Gambar 4.4 menunjukkan akar yang diinokulasi mikoriza *Glomus* spp.. Akar termodifikasi oleh hifa yang dihasilkan oleh mikoriza *Glomus* spp.. Hifa mikoriza *Glomus* spp. akan bersimbiosis dan memodifikasi akar tanaman, dan mempunyai pengaruh yang luas terhadap mikroorganisme yang bersifat patogen. Akar tanaman kopi yang terinfeksi mikoriza mempunyai eksudat akar yang berbeda dengan eskudat akar yang tidak terinfeksi mikoriza. Perubahan eksudat akar tanaman inang mempengaruhi perubahan dalam rhizosfer yang mengakibatkan meningkatnya

ketahanan, sehingga terhindar dari serangan patogen. Ketahanan ini lebih meningkat karena adanya produksi antibiotik dari mikoriza, sehingga pemberian mikoriza *Glomus* spp. mampu menekan keberadaan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada akar yang diamati.



Gambar 4.5 Akar dengan inokulasi nematoda *P. coffeae* dan mikoriza *Glomus* spp., A) Vesikula, B) Nematoda *P. coffeae*, C) Hifa mikoriza yang menginfeksi akar (perbesaran 500  $\mu$ m). (Sumber: Koleksi pribadi)

Gambar 4.5 menunjukkan penampakan akar secara membujur. Gambar tersebut merupakan akar yang diinokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* tetapi memiliki hifa yang sedikit (prosentase infeksi mikoriza yang kecil) memiliki populasi nematoda yang tinggi. Pada parameter derajat infeksi mikoriza, diketahui bahwa tingginya infeksi mikoriza berbanding terbalik dengan populasi nematoda parasit *P. coffeae*. Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa akar yang diinokulasi dengan mikoriza *Glomus* spp. dan nematoda *Pratylenchus*

*coffea* menunjukkan bahwa adanya hifa eksternal yang berkembang dari mikoriza menyebabkan nematoda *Pratylenchus coffea* akan sulit berkembang di dalam jaringan akar.

#### 4.1.3.2 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata skor kerusakan akar pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Penghitungan skor kerusakan akar dilakukan dengan membandingkan semua akar yang sudah dicuci bersih dan dipisahkan dari tajuk tanaman setelah proses pembongkaran tanaman dalam pot uji yaitu pada saat bulan ke-4 atau pada minggu ke-16 setelah perlakuan. Nilai intensitas serangan dalam bentuk skor dikonversi menjadi presentasi tingkat serangan menggunakan rumus *Townsend-Heuberger*. Hasil pengamatan dari skor kerusakan pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada 16 minggu setelah perlakuan (msp) Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata skor kerusakan akar pada Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Perlakuan	Rerata Skor Kerusakan Akar (%) $\pm$ Std. Devisiasi
A 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffea</i> (K+)	0 $\pm$ 0,000 <sup>a</sup>
B 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffea</i> (K-)	77 $\pm$ 0,0254 <sup>e</sup>
C 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffea</i>	51 $\pm$ 0,0643 <sup>d</sup>
D 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffea</i>	23 $\pm$ 0,0508 <sup>b</sup>
E 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffea</i>	54 $\pm$ 0,0640 <sup>d</sup>
F 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P.coffea</i>	58 $\pm$ 0,0540 <sup>d</sup>
G 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffea</i>	53 $\pm$ 0,1043 <sup>d</sup>
H 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffea</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	37 $\pm$ 0,1062 <sup>c</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Bedasarkan Tabel 4.3 di atas dapat diketahui bahwa adanya penerapan mikoriza *Glomus* spp. dan BPF pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) memberikan pengaruh terhadap rerata skor kerusakan akar pada masing-masing perlakuan. Perlakuan D (100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*) menunjukkan skor kerusakan akar terendah setelah kontrol positif yaitu sebesar 23% dibandingkan perlakuan lainnya. Pada perlakuan B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae*) sebagai kontrol negatif memiliki skor kerusakan akar tertinggi yaitu sebesar 77%. Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh secara sangat signifikan ( $p = 0,000$ ) terhadap rerata skor kerusakan akar tanaman Kopi Arabika dengan dibuktikan bahwa tanaman dengan adanya perlakuan pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan rerata skor kerusakan akar lebih rendah dibandingkan dengan tanaman yang tanpa perlakuan atau tanpa inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF. Adapun kondisi akar untuk tiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Kerusakan akar bibit Kopi Arabika untuk semua perlakuan (A-H) pada usia 4 bulan atau 16 msp (Sumber: Koleksi pribadi).

Gambar 4.6 menunjukkan perlakuan B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* memiliki skor kerusakan akar tertinggi terbukti dengan kondisi penampakan akar untuk perlakuan B memiliki sedikit rambut akar dan akar berwarna coklat, pada saat dipegang akar pada perlakuan B sangat rapuh atau mudah putus. Sedangkan skor kerusakan akar terkecil ditunjukkan oleh perlakuan C (100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*), terbukti dengan kondisi penampakan akar lebih lebat, akar berwarna putih bersih serta kuat. Skor kerusakan akar berbanding lurus dengan populasi nematoda pada tanaman yang di inokulasi, yaitu semakin tinggi tingkat kerusakan tanaman maka dapat diasumsikan bahwa tingkat populasi nematoda yang ada pada tanaman dalam pot uji juga banyak. Dengan adanya penerapan inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF diharapkan mampu menekan atau menurunkan populasi nematoda, terbukti skor kerusakan akar yang mengalami perlakuan inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memiliki tingkat kerusakan akar yang lebih rendah dibanding dengan kontrol negatif.

#### **4.1.4 Pengaruh inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Penghitungan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dilakukan pada bulan ke-4 atau 16 minggu setelah perlakuan yang merupakan pengamatan terakhir pada penelitian ini. Penghitungan populasi nematoda parasit *P. coffeae* dalam penelitian ini diambil dari akar dan tanah sehingga dapat diperoleh jumlah populasi nematoda secara total per pot uji. Untuk akar, jumlah populasi akar adalah per 100 ml air hasil ekstraksi sedangkan untuk jumlah populasi tanah adalah per 1250 ml tanah. Hasil penghitungan populasi nematoda *P. coffeae* pada akar dan tanah dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Pengaruh *Glomus* spp. dan BPF terhadap rerata populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Perlakuan	Rerata Populasi Nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> pada pengamatan akhir (ekor) ± Std. Devisiasi		
	Akar	Tanah	Total
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	0 ± 0,000 <sup>a</sup>	0 ± 0,000 <sup>a</sup>	0 ± 0,000 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> (K-)	625 ± 0,051 <sup>d</sup>	382 ± 0,101 <sup>e</sup>	1007 ± 0,061 <sup>c</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	82 ± 0,953 <sup>b</sup>	73 ± 0,654 <sup>cd</sup>	155 ± 0,351 <sup>b</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	224 ± 0,347 <sup>c</sup>	14 ± 0,575 <sup>bc</sup>	238 ± 0,259 <sup>b</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	234 ± 0,096 <sup>cd</sup>	16 ± 0,595 <sup>bc</sup>	250 ± 0,104 <sup>b</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	241 ± 0,144 <sup>cd</sup>	9 ± 0,518 <sup>b</sup>	250 ± 0,128 <sup>b</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i>	164 ± 0,353 <sup>c</sup>	32 ± 0,307 <sup>bcd</sup>	196 ± 0,200 <sup>b</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> + Nematisida Carbofuran dosis 5gr/pot	114 ± 0,494 <sup>b</sup>	63 ± 0,275 <sup>d</sup>	177 ± 0,359 <sup>b</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas dapat diketahui bahwa perlakuan A (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae*) sebagai kontrol positif tidak terdapat nematoda baik di akar maupun di tanah karena tidak diinokulasi nematoda. Perlakuan B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*) sebagai kontrol negatif memiliki populasi nematoda total terbanyak sebesar 1007 ekor per pot, dibandingkan dengan perlakuan yang diinokulasi *Glomus* spp. dan BPF, dan perlakuan C (100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei* 1x10<sup>8</sup>/ml + 50 *P. coffeae*) memiliki populasi nematoda total yang paling

rendah diantara perlakuan yang lain, yaitu sebesar 155 ekor per pot. Pemberian inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh yang sangat signifikan ( $p = 0,000$ ) terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) terbukti dengan sedikit atau rendahnya populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang ada pada perlakuan C, D, E, F, dan G populasi secara keseluruhan dalam satu pot uji.

#### **4.1.5 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Pengukuran parameter pertumbuhan ini dilakukan selama 4 bulan setelah tanam atau sebanyak 9 kali yang diambil dengan interval waktu pengamatan setiap 2 minggu sekali. Sebelum pengambilan data setiap 2 minggu, dilakukan pengambilan data awal sebelum pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF untuk mengetahui perbandingan sebelum dan setelah perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp). Setiap kali pengamatan dilakukan pengukuran terhadap 4 parameter, yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang dan juga skor kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika. Adapun hasil pengamatan pertumbuhan bibit Kopi Arabika adalah sebagai berikut:

##### **4.1.5.1 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Tinggi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Tinggi tanaman dalam penelitian ini diukur setiap 2 minggu sekali sampai berumur 4 bulan setelah tanam. Hasil pengamatan tinggi tanaman sebelum perlakuan dan 16 minggu setelah perlakuan (msp) dapat dilihat pada Tabel 4.5, sedangkan untuk data tinggi tanaman setiap pengamatan ada pada Gambar 4.7.

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa perlakuan dengan inokulasi mikoriza dan BPF menunjukkan kenaikan rerata tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan A (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae*) sebagai kontrol positif dan perlakuan B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*) sebagai

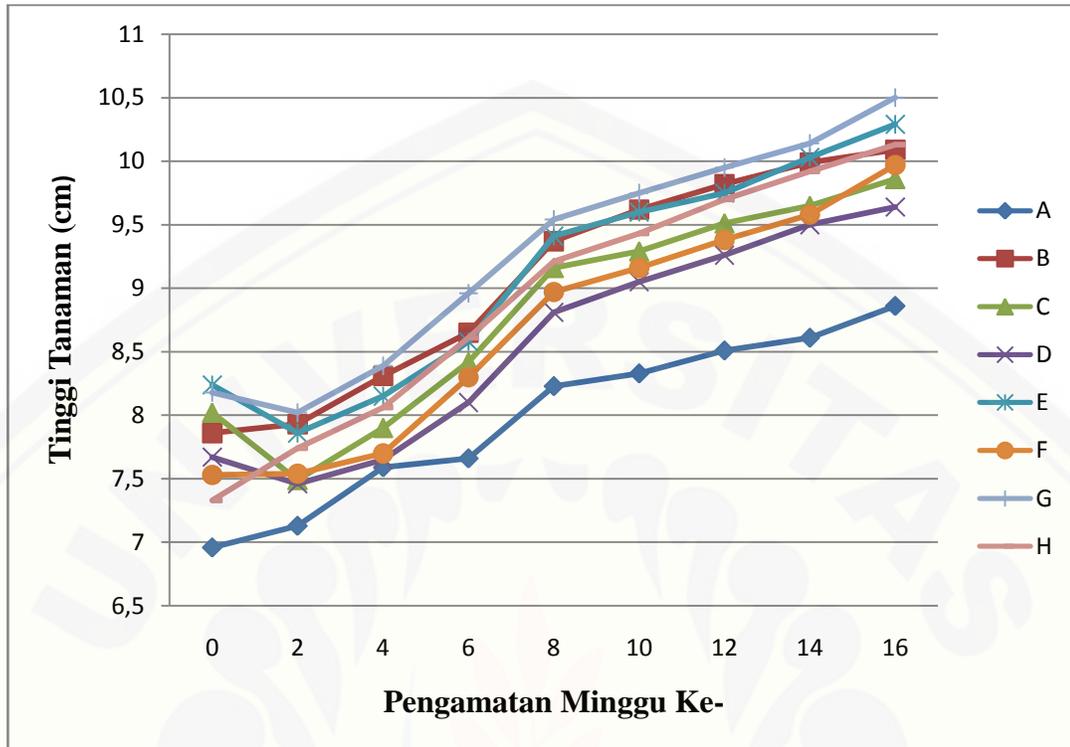
kontrol negatif. Inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF dengan tingkat kerapatan berbeda memberikan pengaruh sangat nyata atau signifikan terhadap rerata tinggi tanaman ( $p = 0.000$ ). terbukti pada perlakuan F yaitu 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*.

Tabel 4.5 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Tinggi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sebelum perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Rerata tinggi tanaman (cm) $\pm$ Std. Devisiasi	
	Sebelum perlakuan	16 Minggu setelah perlakuan
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	6,96 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	8,86 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> (K-)	7,86 $\pm$ 0,05 <sup>ab</sup>	10,09 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	8,02 $\pm$ 0,06 <sup>ab</sup>	9,86 $\pm$ 0,06 <sup>ab</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	7,67 $\pm$ 0,04 <sup>ab</sup>	9,64 $\pm$ 0,03 <sup>ab</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	8,24 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	10,29 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	7,53 $\pm$ 0,03 <sup>ab</sup>	9,97 $\pm$ 0,05 <sup>ab</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i>	8,18 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	10,5 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	7,33 $\pm$ 0,03 <sup>ab</sup>	10,13 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup>

Keterangan: Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa adanya perlakuan inokulasi mikoriza dan BPF pada perlakuan selain kontrol positif maupun negatif yaitu pada perlakuan C, D, E, F, G dan H menunjukkan peningkatan tinggi tanaman dibandingkan dengan perlakuan A sebagai kontrol positif dan B sebagai kontrol negatif. Peningkatan tinggi tanaman ini mulai dari pengamatan minggu ke 2 sampai dengan minggu ke 16.



Gambar 4.7 Grafik pertambahan tinggi tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp).

Keterangan:

A : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae* (K+)

B : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* (K-)

C : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*

D : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*

E : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*

F : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*

G : 100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*

H : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* + Nematicida Carbofuran dosis 5gr/pot.

#### 4.1.5.2 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

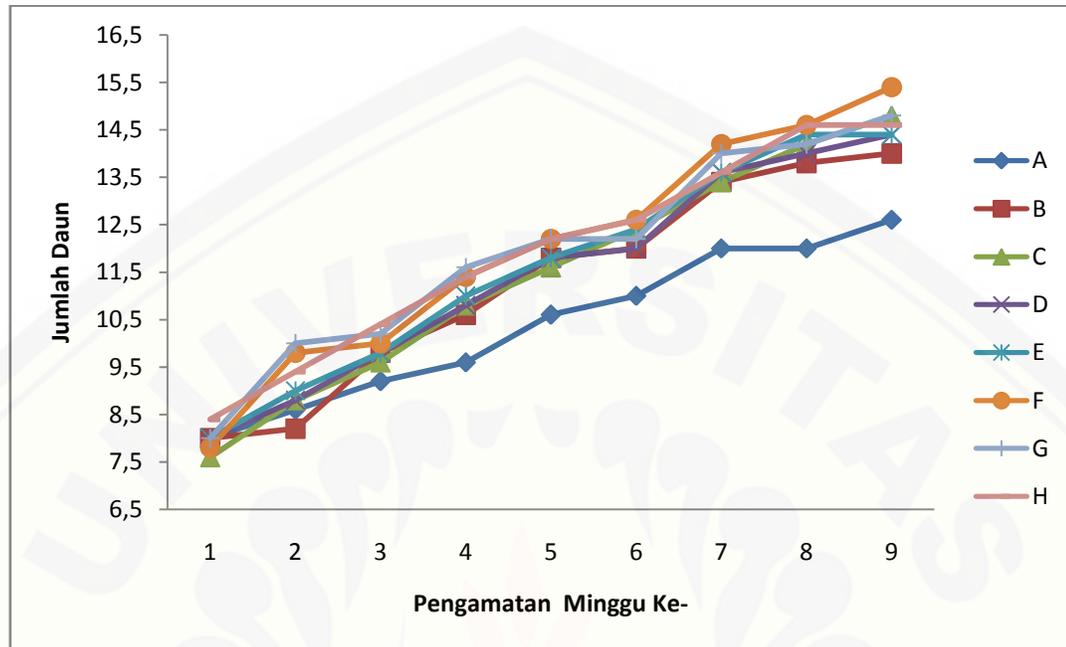
Jumlah daun yang digunakan pada awal penelitian sebanyak 6-8 daun. Hasil pengamatan dari parameter rerata jumlah daun mulai dari pengamatan sebelum perlakuan sampai dengan 16 minggu setelah perlakuan (msp) dapat dilihat pada Tabel 4.6. Sedangkan untuk data jumlah daun setiap pengamatan ada pada Gambar 4.8.

Tabel 4.6 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sebelum perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Rerata Jumlah Daun (helai) ± Std. Deviasi	
	Sebelum perlakuan	16 Minggu setelah perlakuan
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	8 ± 0,04 <sup>a</sup>	12,6 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> (K-)	8 ± 0,00 <sup>a</sup>	14 ± 0,02 <sup>b</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	7,6 ± 0,02 <sup>a</sup>	14,8 ± 0,02 <sup>bc</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	8 ± 0,04 <sup>a</sup>	14,4 ± 0,01 <sup>bc</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	8 ± 0,00 <sup>a</sup>	14,4 ± 0,01 <sup>bc</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	7,8 ± 0,04 <sup>a</sup>	15,4 ± 0,02 <sup>c</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i>	8 ± 0,00 <sup>a</sup>	14,8 ± 0,02 <sup>bc</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	8,4 ± 0,02 <sup>a</sup>	14,6 ± 0,03 <sup>bc</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa perlakuan dengan pemberian inokulasi ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan kenaikan jumlah daun lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan A (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae*) sebagai kontrol positif, B (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.*) sebagai kontrol negatif, maupun perlakuan H (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot). Rerata jumlah daun tertinggi terdapat pada perlakuan F, yaitu 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides* 2x10<sup>8</sup>/ml + 50 *P. coffeae*. Perlakuan inokulasi ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap penambahan jumlah daun pada hingga akhir pengamatan atau 16 minggu setelah perlakuan (msp) yaitu menunjukkan kenaikan jumlah daun sebesar 97,43% dari tanpa perlakuan.



Gambar 4.8 Grafik rerata jumlah daun tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp).

Keterangan:

- A : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae* (K+)
- B : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* (K-)
- C : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*
- D : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*
- E : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*
- F : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*
- G : 100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*
- H : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae* + Nematisida Carbofuran dosis 5gr/pot.

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa perlakuan C, D, E, F dan G menunjukkan peningkatan rerata jumlah daun secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan K- dan K+ maupun dengan perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5 gr per pot, pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh kepada tumbuhan bibit Kopi Arabika untuk cepat membentuk daun baru. dari Gambar 4.8 dapat diketahui perlakuan F yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus*

*mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae* memiliki rerata jumlah daun tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya.

#### 4.1.5.3 Pengaruh pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Diameter batang tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Diameter batang diukur menggunakan jangka sorong analitis dengan tingkat ketelitian 0,01 cm. Hasil pengamatan rerata diameter batang tanaman sebelum perlakuan dan 16 msp dapat dilihat pada Tabel 4.7 sedangkan untuk data rerata diameter batang setiap pengamatan ada pada Gambar 4.9.

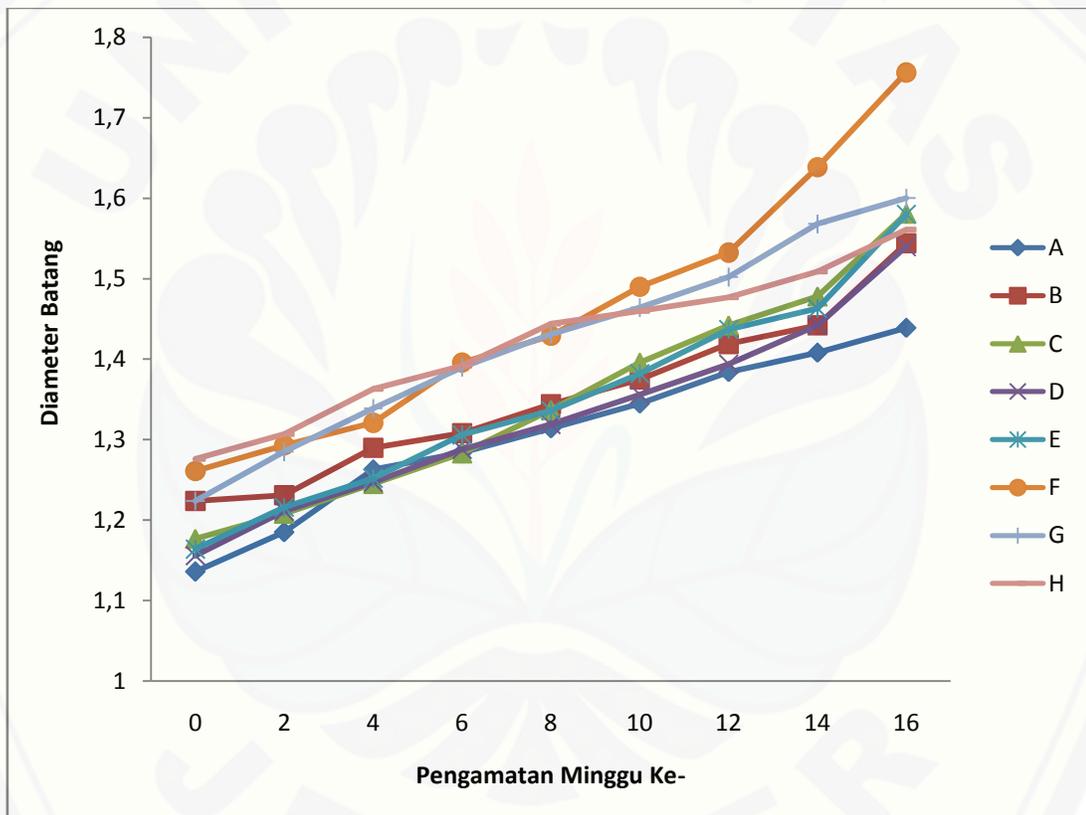
Tabel 4.7 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Diameter Batang Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) Sebelum perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Rerata Diameter Batang (mm) ± Std. Devisiasi	
	Sebelum perlakuan	16 Minggu setelah perlakuan
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	1,13 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,44 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> (K-)	1,22 ± 0,01 <sup>abc</sup>	1,54 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	1,17 ± 0,02 <sup>abc</sup>	1,58 ± 0,03 <sup>ab</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	1,15 ± 0,01 <sup>ab</sup>	1,54 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	1,16 ± 0,01 <sup>abc</sup>	1,58 ± 0,02 <sup>ab</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	1,26 ± 0,01 <sup>bc</sup>	1,76 ± 0,03 <sup>b</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i>	1,22 ± 0,01 <sup>abc</sup>	1,60 ± 0,02 <sup>ab</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	1,27 ± 0,01 <sup>c</sup>	1,56 ± 0,02 <sup>ab</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%.

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa penerapan inokulasi ganda berupa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan kenaikan diameter

batang yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. maupun BPF. Prosentase peningkatan diameter tanaman berkisar antara 30,08% - 39,68%. Rerata diameter batang tanaman yang tertinggi terdapat pada perlakuan F yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae* perlakuan F dengan selisih diameter sebesar 0,50 cm dari diameter sebelum adanya perlakuan. Peningkatan diameter batang tanaman Kopi Arabika dengan inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF mulai minggu pertama hingga minggu ke-16, dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Grafik Peningkatan Diameter Batang Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (msp).

Keterangan:

A : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae* (K+)

B : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* (K-)

C : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*

- D : 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*  
 E : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*  
 F : 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*  
 G : 100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae*  
 H : 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot

#### 4.1.5.4 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap skor kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Pengukuran skor kerusakan tajuk dimasukkan sebagai nilai tingkat kerusakan tajuk dengan beberapa kriteria. Hasil pengamatan dari skor kerusakan tajuk mulai pengukuran sebelum perlakuan dan 16 msp dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Skor Kerusakan Tajuk Tanaman Kopi Arabika Sebelum Perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Rerata Skor Kerusakan Tajuk ± Std. Devisiasi	
	Sebelum perlakuan	16 Minggu setelah perlakuan
A 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	0	1,8 ± 0,24 <sup>a</sup>
B 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> (K-)	0	1,2 ± 0,26 <sup>a</sup>
C 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0	1,2 ± 0,32 <sup>a</sup>
D 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0	1,5 ± 0,21 <sup>a</sup>
E 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0	1,8 ± 0,09 <sup>a</sup>
F 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycoides</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0	1,6 ± 0,3 <sup>a</sup>
G 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i>	0	1,8 ± 0,24 <sup>a</sup>
H 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot	0	2,5 ± 0,12 <sup>a</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Tabel 4.8 menunjukkan pada akhir pengamatan (16 msp) diketahui bahwa tingkat kerusakan tajuk yang terjadi pada semua perlakuan. Dari keseluruhan tanaman

yang digunakan menunjukkan rerata skor kerusakan tajuk yang hampir sama yaitu pada stadium atau nilai 1 dan 2, yaitu nilai 1 berarti terdapat kurang lebih satu atau dua daun tanaman kopi menguning, tetapi belum ada yang gugur. Nilai 2 berarti terdapat  $\pm 25\%$  daun tanaman kopi yang menguning, tetapi belum ada yang gugur. Sedangkan skor kerusakan tajuk tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan H yaitu 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* + Nematocida Carbofuran dosis 5gr/pot. Pada perlakuan H menunjukkan tingkat kerusakan tertinggi yaitu pada stadium 3, dimana jumlah daun yang ada tinggal sedikit, hampir seluruhnya menguning. Hanya beberapa daun yang masih memperlihatkan warna hijau segar. Pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa pemberian inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF tidak memberikan pengaruh yang signifikan ( $p = 0.681$ ) terhadap rerata skor kerusakan tajuk tanaman bibit Kopi Arabika. Tingginya nilai (skor) kerusakan tajuk menunjukkan terjadinya infeksi nematoda pada akar.

#### **4.1.6 Pengaruh *Glomus* spp. dan BPF terhadap Berat Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Pada akhir pengamatan minggu ke-16 (msp) dilakukan pembongkaran tanaman dalam pot, untuk mengukur berat akar, berat basah tajuk dan berat kering tajuk. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.9. Berat basah dan kering tajuk digunakan untuk mengetahui tingkat pertumbuhan tanaman berdasarkan perlakuan pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF yang sudah dilakukan. Berat basah tajuk digunakan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam setiap tanaman yang ada di perlakuan. Sedangkan berat kering digunakan untuk mengetahui pengaruh dari pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap pertumbuhan tanaman yang berkaitan dengan nutrisi yang diserap tanaman sehingga tanaman menjadi berat. Berat basah akar digunakan untuk mengetahui perbandingan berat akar dan juga populasi nematoda yang ada didalamnya.

Tabel 4.9 Pengaruh Pemberian Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Rerata Berat Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Perlakuan	Berat Basah Tajuk ± Std. Devisiasi		Berat Kering tajuk ± Std. Devisiasi
	Akar	Tajuk	
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	0,45 ± 0,051 <sup>a</sup>	0,74 ± 0,027 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,014 <sup>a</sup>
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> (K-)	0,29 ± 0,053 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,066 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,030 <sup>b</sup>
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	0,54 ± 0,068 <sup>a</sup>	1,38 ± 0,052 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,022 <sup>b</sup>
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	0,42 ± 0,017 <sup>a</sup>	1,35 ± 0,048 <sup>b</sup>	0,39 ± 0,030 <sup>b</sup>
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus</i> <i>mycooides</i> 1x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	0,44 ± 0,029 <sup>a</sup>	1,28 ± 0,033 <sup>b</sup>	0,31 ± 0,01 <sup>ab</sup>
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus</i> <i>mycooides</i> 2x10 <sup>8</sup> /ml + 50 <i>P. coffeae</i>	0,46 ± 0,024 <sup>a</sup>	1,54 ± 0,085 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,047 <sup>b</sup>
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i>	0,43 ± 0,046 <sup>a</sup>	1,55 ± 0,031 <sup>b</sup>	0,41 ± 0,026 <sup>b</sup>
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P. coffeae</i> + Nematisida Carbofuran dosis 5gr/pot	0,46 ± 0,029 <sup>a</sup>	1,49 ± 0,055 <sup>b</sup>	0,38 ± 0,032 <sup>b</sup>

Keterangan: Rerata yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan  $\alpha$  5%

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa, perlakuan dengan 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei* 1x10<sup>8</sup>/ml + 50 *P. coffeae* memiliki berat basah akar dan berat kering tajuk tertinggi yaitu 0,54 gram dan 0,42 gram. Sedangkan pada berat basah tajuk tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan G (100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*) yaitu sebesar 1,55 gram. Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh secara signifikan terhadap rerata berat basah tajuk ( $p = 0,000$ ) dan berat kering tajuk ( $p = 0,034$ ) tetapi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap rerata berat basah akar ( $p = 0,314$ ).

#### 4.1.7 Hasil Analisis ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan setelah Pemberian *Glomus* spp. dan BPF

Analisis kandungan fosfat serapan dalam jaringan menggunakan metode *Spectofotometer*. Pemberian *Glomus* spp. dan BPF mampu meningkatkan kandungan P dalam jaringan untuk masing-masing perlakuan. Hasil analisis fosfat jaringan pada tanaman Kopi Arabika dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 pemberian *Glomus* spp. dan BPF terhadap ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan tanaman Kopi Arabika

Perlakuan	P Jaringan (%)
<b>A</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 0 <i>P. coffeae</i> (K+)	0,32
<b>B</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> (K-)	0,37
<b>C</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0,45
<b>D</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Pseudomonas mallei</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0,57
<b>E</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> $1 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0,65
<b>F</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + <i>Bacillus mycooides</i> $2 \times 10^8$ /ml + 50 <i>P.coffeae</i>	0,73
<b>G</b> 100 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i>	0,79
<b>H</b> 0 <i>Glomus</i> spp. + 0 BPF + 50 <i>P.coffeae</i> + Nematisida Carbofuran dosis 5gr/pot	0,83

Berdasarkan Tabel 4.10 menunjukkan bahwa penerapan inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh terhadap serapan unsur P (Fosfat) pada jaringan. Hal tersebut dapat diketahui melalui adanya perbedaan prosentase dari masing-masing perlakuan. Berdasarkan data yang tertera pada Tabel 4.10, pengaruh penerapan inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF terhadap serapan unsur P (Fosfat) pada jaringan tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan F, yaitu perlakuan dengan menggunakan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*, perlakuan G dan H memiliki prosentase serapan unsur P (Fosfat) pada jaringan lebih tinggi, akan tetapi perlakuan keduanya adalah 100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50

*P.coffeae* dan 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* + Nematisida Carbofuran dosis 5gr/pot. Perlakuan F memiliki kenaikan serapan unsur P (Fosfat) pada jaringan lebih tinggi jika dibandingkan dengan kontrol positif (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P.coffeae*) maupun kontrol negatif (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae*), yaitu lebih dari 30% dari kontrol positif maupun negatif.

#### 4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian inokulasi ganda mikoriza dan bakteri terhadap pertumbuhan tanaman Kopi Arabika yang meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, berat basah tajuk dan akar, serta berat kering tajuk, meningkatkan ketersediaan unsur P (Fosfat) pada jaringan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) melalui alternatif sebagai agen hayati pengendali nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*. Penggunaan kedua agen hayati ini digunakan sebagai alternatif pemakaian pupuk kimia dalam meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika. Mikoriza yang digunakan adalah *Glomus* spp. sedangkan untuk bakteri yang digunakan adalah Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) yang terdiri dari *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*. Tanaman Kopi Arabika yang akan diuji adalah tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) berumur 2 bulan yang telah dibibitkan dalam bak plastik besar di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Waktu 2 bulan dapat diasumsikan cukup untuk menunjukkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) yang akan diberikan perlakuan sehingga mudah dalam menunjukkan pengaruh dari perlakuan yang akan diberikan terhadap tanaman tersebut. Selain itu, akar bibit kopi yang masih muda dapat dengan mudah diserang oleh nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* sehingga setelah perlakuan nantinya dapat dengan mudah dilihat pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* baik yang berada di dalam akar maupun tanah.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian. Tahap persiapan merupakan tahap mempersiapkan alat dan bahan yang

dibutuhkan selama penelitian berlangsung sedangkan tahap pengujian merupakan tahapan pengamatan mulai dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan (16 msp). Adapun pembahasan dari hasil pengamatan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 4.2.1 Hasil Identifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Mustika (2003) menjelaskan bahwa nematoda merupakan salah satu mikroorganisme yang berbentuk seperti cacing, memiliki bentuk tubuh bilateral simetris, dan bersifat parasit pada tumbuhan, memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu antara 300 – 1000 mikron, memiliki panjang hingga 4 mm dan lebar 15 – 35 mikron. Berdasarkan hasil identifikasi nematoda yang digunakan dalam penelitian ini diketahui bahwa nematoda yang digunakan sebagai variabel kendali adalah nematoda *Pratylenchus coffeae* yang diambil dari sumber dan tempat yang sama yaitu dari akar tanaman kopi pada bedengan bibit tanaman kopi di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kaliwining, Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember dan berada dalam stadium juvenil dan dewasa yang sama. Nematoda *Pratylenchus coffeae* merupakan nematoda peluka akar yang dikenal sebagai nematoda endoparasit berpindah (*migratory endoparasitic*). Hidup dan melakukan migrasi didalam jaringan akar, rhizoma, atau umbi sehingga mengakibatkan kerusakan pada jaringan korteks, serta sebagai tempat predeposisi infeksi patogen tanah lain seperti golongan jamur. Adakalanya pula nematoda *Pratylenchus* ditemukan di permukaan tanah seperti batang dan buah. Telur diletakkan didalam jaringan akar dan seluruh siklus hidupnya berlangsung didalamnya (Nickle,1991). Nematoda *Pratylenchus coffeae* merupakan yang menyebabkan kerusakan utama pada akar tanaman kopi terutama Kopi Arabika.

Perbedaan antara nematoda *Pratylenchus coffeae* jantan dan betina dapat dilihat pada hasil penelitian ini (Gambar 4.1 dan 4.2). Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 (halaman 66-67) diketahui bahwa Nematoda *P. coffeae* jantan dan betina memiliki karakteristik yang berbeda. Nematoda jantan memiliki ukuran sekitar 0,42 mm sampai 0,61 mm sedangkan betina 0,46 mm sampai 0,65 mm. Nematoda betina

memiliki karakteristik diantaranya adalah bagian vulva posteriornya mencapai 70-80% panjang tubuhnya, bagian anteriornya bercabang secara tidak langsung (*monoprodelphic*), sistem genitalia yang tunggal, memiliki spermateca yang besar yang berisi sperma jantan jika ada, bentuk ekor sub-silinder atau ekor meruncing tetapi kecil dengan ujung lebar, membulat dan berbentuk persegi. Sedangkan untuk nematoda jantan memiliki karakteristik ekor pendek, tubuh bagian dorsalnya lebih cembung, memiliki spikula yang lunak, dan ujung ekor memanjang (Tuyet, 2010:4).

#### **4.2.2 Hasil Identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides***

Berdasarkan hasil identifikasi bakteri yang dilakukan, dapat diketahui bahwa BPF yang digunakan adalah *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*. Uji kandungan senyawa yang dilakukan meliputi uji fermentasi karbohidrat, uji hidrolisis pati, uji perbedaan suhu, uji reduksi nitrat, uji katalase, uji indol dan uji pewarnaan gram. Selain itu dilakukan juga pengambilan foto untuk bakteri yang digunakan untuk mengetahui bentuk bakteri dan juga endospora yang terbentuk oleh bakteri.

Pada uji fermentasi karbohidrat, pada uji glukosa baik *P. mallei* dan *B. mycooides* menunjukkan warna kuning yang berarti kedua bakteri tersebut memfermentasi glukosa. Hasil uji sukrosa menunjukkan hasil yang sama seperti uji glukosa yaitu baik *P. mallei* dan *B. mycooides* mampu memfermentasi sukrosa. Sedangkan Pada uji laktosa dan mannitol baik *P. mallei* maupun *B. mycooides* tidak merubah warna laktosa dan mannitol sehingga diketahui bahwa keduanya tidak memfermentasi laktosa. Uji fermentasi karbohidrat yang terakhir adalah uji maltosa yang menunjukkan bahwa baik *P. mallei* dan *B. mycooides* memfermentasi maltosa.

Hasil uji hidrolisis pati, bakteri *P. mallei* dan *B. mycooides* mampu membentuk zona bening pada cawan petri yang mengindikasikan bahwa kedua bakteri tersebut mampu menghidrolisis pati. Hasil identifikasi uji ketahanan terhadap perbedaan temperatur, bakteri *P. mallei* dan *Bacillus mycooides* termasuk bakteri mesofil karena mampu tumbuh dengan baik pada suhu 45°C. Pada hasil identifikasi uji reduksi nitrat

dalam jangka waktu 96 jam bakteri yang digunakan dalam penelitian *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* menunjukkan adanya perubahan warna dan terbentuknya gelembung nitrogen pada permukaan, hal ini diindikasikan bahwa baik *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* mampu mereduksi nitrat. Kemudian uji katalase menggunakan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (peroksida) menunjukkan bahwa kedua bakteri muncul gelembung. Uji selanjutnya adalah uji indol, hasil uji biokimia indol *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* tidak membentuk indol. Uji berikutnya pewarnaan gram, diketahui *Pseudomonas mallei* termasuk gram negatif sedangkan *Bacillus mycoides* termasuk bakteri gram positif. Selanjutnya identifikasi secara bentuk morfologi kedua bakteri, berdasarkan hasil identifikasi yang dilakukan *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* memiliki bentuk basil. Kemudian uji terakhir yaitu uji endospora. Berdasarkan hasil identifikasi diperoleh bahwa bakteri *Bacillus mycoides* memiliki endospora, sedangkan *Pseudomonas mallei* tidak memiliki endospora. Dari semua uji biokimia, hasil tersebut cocok dengan literatur *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* untuk ciri dari bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*.

#### **4.2.3 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) yang dapat dilihat dari parameter derajat infeksi mikoriza, skor kerusakan akar, skor kerusakan tajuk dan perhitungan jumlah populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang ada dalam masing-masing pot uji yaitu pada akar dan tanah.

Hasil pengamatan derajat infeksi (Tabel 4.2 Halaman 69) merupakan pengamatan pola tanggapan infeksi mikoriza pada akar tanaman yang diinokulasi mikoriza. Derajat infeksi mikoriza jika dibandingkan dengan kontrol positif dan

kontrol negatif mencapai 85,6%-96,8%. Hasil uji Anova menunjukkan bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh sangat signifikan terhadap derajat infeksi mikoriza dengan signifikansi 0,000 ( $p < 0,05$ ).

Pada Tabel 4.6 tentang hasil pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap rerata skor kerusakan akar pada Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.), peningkatan kerusakan akar tertinggi ada pada perlakuan B yaitu tanpa adanya perlakuan mikoriza *Glomus* spp. dan BPF. Sedangkan pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap rendahnya rerata kerusakan akar ada pada perlakuan D yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*. dalam hal ini pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF mampu menekan adanya kerusakan akar akibat nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*.

Linderman (1994), menjelaskan bahwa terjadinya penekanan tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti peningkatan status nutrisi tanaman, perubahan mikroba pada rhizosfer, kompetisi nutrisi dan tempat penetrasi serta perubahan anatomi dan biokimia dalam akar akibat infeksi mikoriza, kondisi ini membuat lingkungan yang tidak cocok untuk kehidupan nematoda. Hasil uji Anova menunjukkan bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh sangat signifikan terhadap skor kerusakan akar dengan signifikansi 0,000 ( $p < 0,05$ ). Infeksi mikoriza pada akar tanaman dapat menyebabkan perubahan morfologi, terjadi lignifikasi pada bagian sel endodermis dan mikoriza akan menggantikan peran akar melalui hifa eksternalnya dalam penyerapan air dan unsur hara.

Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF juga berpengaruh cukup baik pada ketahanan tanaman. Pada parameter skor kerusakan tajuk dilakukan menggunakan metode skoring dengan nilai skor 0-5. Skor kerusakan tajuk akan menunjukkan gejala pertama yang muncul akibat infeksi *Pratylenchus coffeae* pada bibit kopi yang diteliti. Tanaman yang terserang nematoda *Pratylenchus coffeae* akan tampak kerdil, pertumbuhan terhambat, ukuran daun kecil, daun tua berwarna kuning yang secara perlahan-lahan akhirnya rontok dan tanaman mati (Mustika, 2003). Hasil pengamatan mulai 0 minggu setelah tanam hingga 16 minggu dapat dilihat pada Tabel 4.8. Skor

kerusakan tajuk tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan H yaitu 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* + Nematicida Carbofuran dosis 5gr/pot. Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap skor kerusakan akar yang terendah ditunjukkan oleh perlakuan C yaitu 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*. Hasil uji Anova parameter skor kerusakan tajuk menunjukkan bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF tidak berpengaruh secara signifikan ( $p < 0,05$ ) yaitu sebesar  $p = 0,681$ .

Berdasarkan hasil pengamatan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* (Tabel 4.8), populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* mengalami penambahan untuk semua perlakuan, tetapi penambahan yang paling banyak terdapat pada perlakuan B yaitu 0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae* dimana perlakuan ini digunakan sebagai kontrol negatif dari penelitian. Sedangkan perlakuan yang paling baik dalam mengendalikan populasi nematoda parasit adalah perlakuan C yaitu dengan pemberian 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*. Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF dalam satu pot memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap rerata jumlah populasi nematoda parasit *P. coffeae* ( $p = 0,000$ ).

Mikoriza yang menginfeksi akar tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) menghasilkan hifa banyak dan menekan pertumbuhan nematoda (Gambar 4.4), sedangkan pada akar Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) yang memiliki sedikit hifa cenderung memiliki populasi nematoda yang banyak (Gambar 4.5), Baon, *et.al.* (1994) menjelaskan bahwa mikoriza mampu merangsang proses lignifikasi atau mengembangkan kallosit maupun lignituber di dalam sel sehingga menciptakan halangan fisik terhadap penetrasi patogen.

Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF yang diinokulasi pada tanaman berpengaruh nyata dalam menekan perkembangan dan menghambat serangan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada bibit Kopi Arabika (*coffea arabica* L.). Hal ini dapat diketahui dengan adanya perbedaan yang nyata terhadap populasi nematoda dan

prosentase kerusakan akar antara tanaman yang tidak diberi perlakuan (kontrol) dengan semua tanaman yang diberi perlakuan.

Perubahan biokimia sel akar akibat infeksi mikoriza meningkatkan enzim kitinase, peroksidase, asam amino, dan senyawa fitoaleksin/fenol, serta terjadinya lignifikasi pada sel endodermis akar (Elsen *et al.*, 2001). Akar kopi yang terinfeksi mikoriza memiliki kandungan senyawa glyceolin (senyawa dari golongan fenol yang bersifat dapat menurunkan efek patogenitas) yang meningkat karena adanya pengaruh akumulasi dari fitoaleksin dibanding yang tidak terinfeksi jamur mikoriza dan peningkatan senyawa fenol ini pada setiap tanaman berbeda. Senyawa ini membuat suatu lingkungan yang toksik untuk perkembangbiakan nematoda yang dibuktikan dengan adanya akumulasi awal senyawa tersebut dekat dengan saluran migrasi nematoda, perubahan pola dan organisasi ultrastruktur nematoda, serta menurunnya jumlah telur dan individu yang terbentuk di dalam akar pada tanaman yang mengandung senyawa fenol yang lebih tinggi (Valette, *et al.*, 1998).

#### **4.2.4 Pengaruh Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap Pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)**

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman Kopi Arabika, menurunkan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan ketersediaan P (fosfat) dalam jaringan tanaman Kopi Arabika. Mikoriza *Glomus* spp. dan BPF bekerjasama dalam menginfeksi akar tanaman kopi sebagai tanaman inang. Perakaran tanaman yang terinfeksi mikoriza mempunyai daya serap yang lebih besar terhadap air dan unsur hara lainnya, khususnya P dibandingkan dengan tanaman tanpa adanya perlakuan inokulasi dengan mikoriza *Glomus* spp. dan BPF. Mikoriza yang menginfeksi perakaran tanaman akan memproduksi jaringan hifa eksternal (Gambar 4.4 dan 4.5 Halaman 70-73) yang tumbuh keluar dari akar sehingga daya jangkauan dan luas permukaan perakaran meningkat, sehingga meningkatkan kapasitas akar dalam

penyerapan air dan unsur hara. Hifa eksternal mikoriza menyerap ion secara intersepsi melalui pertukaran kontak langsung, sehingga penyerapan ion oleh tanaman menjadi lebih besar, sedangkan penyerapan unsur hara lainnya yang dilakukan secara difusi dan aliran berat tetap berlangsung, pada ketersediaan P yang sama, maka tanaman bermikoriza dapat menyerap P yang lebih besar apabila dibandingkan dengan tanaman tanpa mikoriza. Pengaruh yang menguntungkan dari mikoriza untuk pertumbuhan tanaman, yang menunjukkan bahwa tanaman yang bermikoriza mempunyai parameter pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, berat tanaman) yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak bermikoriza. Dalam melakukan fungsi inilah mikoriza *Glomus* spp. dibantu oleh BPF yang diinokulasikan pada tanaman uji dengan tingkat kerapatan yang berbeda.

Pada hasil rerata tinggi tanaman, perlakuan yang diinokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan kenaikan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF (Tabel 4.5 Halaman 78). Hasil uji Anova menunjukkan bahwa pemberian inokulasi *Glomus* spp. dan BPF tidak berpengaruh secara nyata ( $p > 0,05$ ), perbedaan tinggi tanaman pada awal penanaman dapat menjadi faktor yang menyebabkan analisis tinggi tanaman tidak signifikan, tetapi apabila ditinjau dari peningkatan (delta) tinggi tanaman pada setiap pengamatan, hasil pengamatan pada Gambar 4.7 menunjukkan pertambahan tinggi tanaman yang tertinggi terdapat pada perlakuan G yaitu 100 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P.coffeae*. Namun pengaruh pemberian inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF terhadap rerata tinggi tanaman ditunjukkan oleh perlakuan E yaitu dengan menggunakan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycoides*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae*. Pemberian mikoriza mampu meningkatkan penyerapan air dan unsur hara yang lebih baik. Mikoriza juga berperan dalam menstimulus pembentukan hormon-hormon pertumbuhan tanaman, seperti sitokinin dan auksin yang berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel sehingga menyebabkan peningkatan tinggi tanaman.

Pada hasil rerata jumlah daun (Tabel 4.6 Halaman 79), perlakuan yang diinokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan kenaikan jumlah jumlah

daun lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang tidak diinokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF atau dibandingkan dengan kontrol negatif. Hasil uji Anova menunjukkan bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF hingga pada 16 minggu setelah pengamatan (msp) berpengaruh secara sangat signifikan ( $p < 0,05$ ) terhadap jumlah daun tanaman, yaitu  $p = 0,001$ . Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah daun tanaman ditunjukkan mulai pengamatan pada minggu ke-3 ( $p = 0,020$ ), minggu ke-4 ( $p = 0,001$ ), minggu ke-5 ( $p = 0,003$ ), minggu ke-6 ( $p = 0,002$ ), dan minggu ke-7 ( $p = 0,000$ ). Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF hingga pada 16 minggu setelah pengamatan (msp) tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan F yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*.

Pada hasil rerata diameter batang tanaman (Tabel 4.7 Halaman 82), tanaman yang diinokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan kenaikan diameter batang yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa inokulasi mikoriza maupun BPF. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa pertambahan diameter batang tanaman yang tertinggi terdapat pada perlakuan perlakuan F yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae*. Hasil pengamatan (Gambar 4.9 Halaman 82) dan uji Anova menunjukkan bahwa perlakuan F yaitu dengan 100 *Glomus* spp. + *Bacillus mycooides*  $2 \times 10^8$ /ml + 50 *P. coffeae* pada pengamatan minggu ke-8 tidak berpengaruh secara signifikan terhadap diameter batang tanaman ( $p > 0,005$ ) yaitu ( $Pp = 0,092$ ), tetapi pada hasil uji Anova untuk delta pertambahan diameter batang tanaman menunjukkan hasil yang sangat signifikan, hal ini dikarenakan tidak homogenya diameter batang tanaman penelitian yang digunakan saat awal dimulainya penelitian.

Parameter pertumbuhan selanjutnya adalah berat basah tajuk dan akar serta berat kering tajuk tanaman. berat basah dan kering menunjukkan efisiensi hasil fotosintesis sehingga semakin besar fotosintat yang diperoleh, maka semakin besar juga berat kering yang dihasilkan oleh tanaman (Sudaryanto, *et al.*, 2007). Oleh karena itu, semakin berat tajuk suatu tanaman tinggi maka nutrisi yang diperoleh

tanaman untuk tumbuh pun semakin banyak sehingga pertumbuhan tanaman pun semakin baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF meningkatkan berat kering tajuk secara signifikan dibandingkan perlakuan kontrol (Tabel 4.8 Halaman 83). Perlakuan dengan inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan nilai berat kering yang tinggi sekitar 71,11% - 74,49% dibandingkan dengan kontrol positif (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 0 *P. coffeae*) dan kontrol negatif (0 *Glomus* spp. + 0 BPF + 50 *P. coffeae*).

Perlakuan dengan inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan hasil peningkatan yang sangat signifikan dan berbeda terhadap pertumbuhan bibit Kopi Arabika, rerata jumlah daun menunjukkan hasil yang sangat signifikan sebagai tolak ukur pengaruh dari perlakuan inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF dibandingkan dengan parameter pertumbuhan yang lain. Pemilihan jumlah daun untuk bibit Kopi Arabika yang digunakan saat awal sebelum penelitian adalah bibit daun dengan jumlah daun rata-rata 8 daun, pada akhir pengamatan, jumlah daun pada masing-masing perlakuan memiliki jumlah daun yang berbeda. Tanaman yang diinokulasi dengan perlakuan mikoriza *Glomus* spp. dan BPF menunjukkan rerata jumlah daun tertinggi dibandingkan dengan kontrol positif maupun kontrol negatif.

Pemberian mikoriza dapat meningkatkan penyerapan unsur hara makro dan beberapa unsur mikro (Fitter, 1995). Peningkatan kapasitas penyerapan oleh tanaman yang bermikoriza dapat terjadi secara langsung melalui sistem jalinan hifa eksternal, dan secara tidak langsung diakibatkan oleh adanya perubahan fisiologi akar. Jalinan hifa eksternal memperluas area permukaan penyerapan yang lebih jauh untuk mencari unsur hara dan air yang relatif tidak terjangkau oleh sistem perakaran (Fitriatin, 2009) sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan berat kering tanaman. Pemberian mikoriza juga berpengaruh terhadap berat akar karena tanaman yang terinfeksi mikoriza akan membuat volume dan panjang akar semakin luas, sehingga seiring dengan berkembangnya hifa yang menginfeksi akar, berat akar semakin meningkat.

Berdasarkan hasil pengamatan tumbuhan kopi dengan inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF memiliki pertumbuhan normal dan lebih unggul dibandingkan dengan yang tidak diinokulasi mikoriza maupun BPF. Tanaman bermikoriza mempunyai daya serap yang lebih besar sehingga mengakibatkan unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman juga meningkat. Penyerapan unsur hara oleh tanaman dapat secara aktif dan pasif, pengaruh mikoriza lebih nyata pada unsur hara yang terutama diserap tanaman secara pasif dan ionik, seperti fosfat yang diserap akar secara difusi. Fosfat (fosfor) merupakan unsur penting penyusunan ATP. ATP merupakan bentuk energi tinggi yang sangat berperan dalam penyerapan unsur hara secara aktif, sehingga peningkatan serapan fosfat memungkinkan peningkatan serapan unsur hara lain yang serap aktif oleh perakaran tanaman.

Terjadinya peningkatan pertumbuhan tanaman mulai dari tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang oleh perlakuan mikoriza disebabkan hubungan sistem perakaran kopi yang terbentuk dengan tingkat infeksi akar oleh mikoriza. Infeksi mikoriza akan membentuk sistem perakaran yang baik sehingga tanaman mampu mengeksploitasi unsur hara dan air dari tanah secara optimal sehingga tanaman kopi mampu tumbuh dan berkembang secara baik.

Peran mikoriza bagi tanaman inang adalah daya afinitas yang tinggi terhadap *transporter* fosfat inorganik (Pi). Melalui peran hifa dan Pi tersebut, polifosfat yang terakumulasi pada permukaan hifa diubah menjadi bentuk protein, yang kemudian ditranslokasi ke sepanjang miselium dan masuk ke jaringan tanaman inang (Hijikata *et al.*, 2010). Jaringan hifa yang terbentuk sangat masif pada perakaran tanaman inang dan tanah sekitar akar (rhizosfer) merupakan karakter penting yang memungkinkan mikoriza mampu mengeksploitasi tanah dalam volume besar sehingga memiliki potensi besar untuk menyerap unsur hara dan air.

Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) berperan dalam penyerapan unsur hara dalam tanah sehingga mampu meningkatkan produksi tanaman. salah satu cara untuk menjalankan fungsi tersebut keduanya berasosiasi dengan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA). Dalam penelitian ini BPF diinokulasikan secara bersamaan untuk

mendukung kerja dari mikoriza *Glomus* spp. dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika. Fitriatin (2008), menunjukkan bahwa terjadi interaksi nyata antara pemberian inokulasi mikroorganisme (bakteri dan jamur) pelarut fosfat dengan mikoriza terhadap kolonisasi mikoriza. Inokulasi ganda bakteri dan jamur pelarut fosfat meningkatkan secara nyata serapan unsur hara P, kolonisasi mikoriza, pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dibandingkan dengan hanya inokulasi bakteri atau jamur pelarut fosfat secara tunggal. Dalam penelitian ini pengaruh pemberian inokulasi mikoriza *Glomus* spp. dan BPF ditunjukkan dengan adanya peningkatan yang secara signifikan baik pada parameter tinggi tanaman, diameter batang maupun jumlah daun tanaman Kopi Arabika jika dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan pemberian inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF.

Menurut Hanafiah (2005:230), dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika, BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) memiliki mekanisme dalam mempengaruhi tanaman salah satunya dengan melalui produksi *Plant Growth Promoting Substance* (PGPS) seperti auksin, giberelin dan vitamin. Dalam hal ini adalah unsur hara yang diproduksi oleh mikoriza *Glomus* spp.

#### **4.2.5 Hasil Analisis ketersediaan P (Fosfat) dalam Jaringan setelah Pemberian *Glomus* spp. dan BPF**

Dalam penelitian ini pengendalian nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* tidak hanya menggunakan cendawan mikoriza akan tetapi menggunakan BPF berupa *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang diinokulasikan secara bersamaan sesuai dengan masing-masing perlakuan. BPF merupakan salah satu jenis mikroba pelarut fosfat pada tanaman sehingga mampu meningkatkan serapan P dalam jaringan. Salah satu penyebab kerusakan secara fisiologi tanaman Kopi Arabika adalah karena terganggunya serapan unsur hara dalam tanaman.

Unsur Fosfat (P) adalah unsur esensial kedua setelah N yang berperan penting dalam proses fotosintesis tanaman dan perkembangan akar (Suryadikarta dan Simangkulit, 2006 ). Unsur P sering disebut juga kunci untuk kehidupan karena

fungsinya yang sangat sentral dalam proses kehidupan. Unsur ini berperan dalam pemecahan karbohidrat untuk energi, penyimpanan dan peredarannya ke seluruh tanaman dalam bentuk ADP dan ATP. Tanpa P proses-proses ini tidak dapat berlangsung. Unsur ini juga menentukan pertumbuhan akar, mempercepat kematangan serta produksi buah dan biji (Leiwakabessy dan Sutandi, 1998). Sehingga dalam penelitian ini digunakan BPF berupa *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang diasumsikan mampu bekerjasama dengan mikoriza *Glomus* spp. dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*

Berdasarkan Tabel 4.9 di atas dapat menunjukkan bahwa penerapan inokulasi ganda *Glomus* spp. dan BPF berpengaruh terhadap serapan unsur P (Fosfat) pada jaringan. Uji analisis fosfat yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji P jaringan menggunakan metode *Spectrofotometer*. Hasil analisis P jaringan dapat dilihat pada Tabel 4.9, yang menunjukkan bahwa pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF meningkatkan dosis P hingga taraf optimum dan akan terus meningkatkan ketersediaan P dalam jaringan, sehingga dengan pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF tidak lagi dibutuhkan penambahan pupuk sintetis atau kimia. Hasil penelitian ini sesuai oleh penelitian Cruzz et. Al. (2000); Hameeda et al. (2007) dan Douds et al. (2010) bahwa simbiosis cendawan mikoriza dengan tanaman dapat mengurangi ketergantungan tanaman tersebut pada pupuk dan pestisida sintetis.

Mekanisme pelarutan fosfat dalam tanah berlangsung secara kimiawi dan biologis baik dalam bentuk fosfat organik maupun fosfat anorganik. Mekanisme pelarutan fosfat secara kimiawi adalah merupakan mekanisme pelarutan fosfat utama yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan cara mensekresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat,  $\alpha$ -ketoglutarat, asetat, formiat, propionat, glikolat, glutamat, glioksilat, malat, dan fumarat (Ilmer dan Schinner, 1997). Meningkatnya asam-asam organik tersebut diikuti dengan penurunan pH yang disebabkan karena terbebasnya asam sulfat dan nitrat pada oksidasi kemoautotofik sulfur dan amonium berturut-turut oleh bakteri (Alexander, 1977). Setelah unsur hara terutama P tersedia dalam tanah P diangkut

melalui hifa eksternal mikoriza dalam bentuk polifosfat. sehingga nantinya serapan P yang tersedia dalam jaringan lebih optimal.

Dalam melakukan fungsi tersebut akan lebih optimal dengan bantuan agen hayati lain seperti BPF sehingga penggunaan mikoriza *Glomus* spp. dan BPF merupakan salah satu upaya mengurangi ketergantungan terhadap pupuk ataupun pertisida kimia bahkan pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF pada tanaman tidak lagi memerlukan pemberian pupuk P. Unsur P memegang peranan yang sangat penting terutama dalam proses penyimpanan dan transportasi energi, yaitu sebagai penyusun ADP (*Adenosin Difosfat*) dan ATP (*Adenosin Trifosfat*) yang sangat penting dalam mengatur seluruh metabolisme tanaman. Energi yang diperoleh dari proses fotosintesis dan metabolisme karbohidrat disimpan dalam bentuk senyawa fosfat, selanjutnya digunakan untuk pertumbuhan dan reproduksi (Havlin *et al*, 1999).

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, mikoriza *Glomus* spp. dan BPF mampu menginfeksi akar tanaman yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan ketersediaan serapan P jaringan, dan juga dapat mengendalikan populasi nematoda parasit *P. coffeae* dengan menurunkan populasi nematoda *P. coffeae*  $\pm$  70% dari perlakuan kontrol negatif. Hal ini disebabkan karena mikoriza *Glomus* spp. dan BPF yang bersinergis secara bersamaan mampu menghasilkan hormon pertumbuhan, menghasilkan metabolit yang dapat digunakan dalam pengendalian patogen seperti nematoda parasit *P. coffeae*, sehingga mikoriza *Glomus* spp. dan BPF dapat digunakan sebagai agen hayati yang tidak akan membahayakan pada lingkungan.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

- a. Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF mampu mengendalikan nemaoda parasit *P.coffeae*. Inokulasi ganda keduanya memberikan pengaruh secara signifikan terhadap penurunan populasi nematoda *P. coffeae*  $\pm$  70% dari perlakuan kontrol negatif ( $p=0,000$ ) yaitu pada perlakuan C dengan pemberian 100 *Glomus* spp. + *Pseudomonas mallei*  $1 \times 10^8$ /ml + 50 *P.coffeae* memiliki populasi nematoda total sebanyak 155 ekor.
- b. Pemberian mikoriza *Glomus* spp. dan BPF tidak meningkatkan pertumbuhan tanaman secara nyata terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman tetapi memberikan peningkatan yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol positif maupun kontrol negatif, peningkatan tinggi tanaman mencapai 38,19%, penambahan jumlah daun mencapai 97,43%, peningkatan diameter batang mencapai 39,68,51% dan berat kering mencapai 75,78%.

### 5.2 Saran

- a. Waktu penelitian sebaiknya ditambah untuk mengetahui lebih jauh pengaruh inokulasi ganda mikoriza *Glomus* spp. dan BPF terhadap penurunan populasi nematoda *P. coffeae* dan pertumbuhan Kopi Arabika dikarenakan tanaman kopi merupakan tanaman tahunan;
- b. Parameter pertumbuhan dalam penelitian ini perlu ditambah seperti luas permukaan daun, serta perlu adanya penambahan jumlah tanaman yang digunakan agar dapat diamati per periodik pengamatan;
- c. Penelitian ini perlu dilanjutkan ke pembuatan formulasi Bio-nematisida dengan bahan aktif jenis mikoriza dan mikroba yang tergolong agen hayati sebagai agen pengendali nematoda *Pratylenchus coffeae* sehingga dapat menjadi produk aplikatif yang dapat digunakan untuk masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

- AEKI. 2012. *Luas Areal Dan Produksi Kopi Indonesia Menurut Jenis Tahun 1999 – 2012*. <http://www.aeki-aice.org/>. Diakses 28 Agustus 2014.
- Asyiah, N. I., Soekarto, M. Husain. 2012. *Potensi MYCOFER® dalam Pengendalian Nematoda Sista Kentang (Globodera rostochiensis)*. Dalam Rudi H.M., Tri Joko, Erlina A, Didik I, Nasih W, Eko H, Subejo, Jamhari (eds). Prosiding Semnas Hasil Penelitian Pertanian dan Perikanan 2012, 401-406.
- Basis data dan statistik pertanian. 2012. *Statistik Sekyor Perkebunan Kopi Nasional*. [Online]: [http://aplikasi.deptan.go.id/hasil\\_ind.sp](http://aplikasi.deptan.go.id/hasil_ind.sp). Diakses 30 Juni 2014
- Baon, J.B. dan Wiryadi Putra, S. 1994. *Perkembangan nematoda parasit pada kopi robusta yang diinokulasi jamur mikoriza ber-VA (Parasitic nematode development on robusta coffea inoculated by VAM fungi)* dalam Soetisna, U.; Tappa, B.; Sukara, E.; Sukiman, H.I.; Widyastuti, Y.; Ermayanti, T.M.; Imelda, M.; Prayitno, N.R.; Loedin, I.H.S. (eds.). Prosiding seminar hasil penelitian dan pengembangan bioteknologi kedua, Bogor, 6-7 Sep 1994.
- Baon, J.B., Wiryadi Putra, S., Sulistyowati, E. 1988. *Pengaruh Infeksi Mikoriza terhadap Serangan Nematoda Pratylenchus coffea pada Tanaman Kopi (Infection of Pratylenchus coffea as Affected by Mycorrhizae inoculation)*. Pelita Perkebunan Vol 4(1): 22-30.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2008. *Teknologi Budaya Kopi Poliklonal*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Brundrett MC, Melville L and Peterson L. 1994. *Practical Methods In Mycorrhiza Research. Mycologue Publications. Ontario, Canada. 161 pp*
- Castilo, P. dan Vovlas, N. 2007. *Pratylenchus (Nemoda: Pratylenchidae): Diagnosis Biology, Pathogenecity and Management*. Leiden: Kominklijke Brill NV
- Cox, G., P.B. Tinker, and J.A. Wild. 1975. *Ultrastructural evidence relating to hostendophyte transfer in vesicular-arbuscular mycorrhiza, pp. 279- 312. In F.E. Sanders, B. Mosse, and P.B. Tinker (Eds.). Endomycorrhizas*. London: Academic Press.

- Cruz, A.F., T. Ishii, and K. Kadoya.,2000. *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels, of 1-aminocyclopropoane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water strees conditions.* Mycorrhiza J.10/3: 121-123.
- De la Peña, E., Susana Rodríguez Echeverría, Wim H. van der Putten, Helena Freitas dan Maurice Moens. 2006. *Mechanism of control of root-feeding nematodes by Blackwell Publishing Ltd mycorrhizal fungi in the dune grass *Ammophila arenaria*.* New Phytologist 169: 829-840
- Dew, Intan Ratna. 2007. “*Bakteri Pelarut Fosfat*” Tidak diterbitkan. Makalah Jatinagor: Universitas Padjajaran.
- Dropkin, V.H. 1992. *Introduction to Plant Nematology*. Edisi Bahasa Indonesia, Penerjemah: Supratoyo. Yogyakarta: Gadjah Mada Press.
- Ezbiocloud Report. 2014. *Bacillus mycoides*, Flugge. [on line] <http://www.ezbiocloud.net/eztaxon/hierarchy?m=browse&k=Bacillus+mycoide&d=2> [23 Agustus 2014]
- Fitriatin, BN, B Joy and T Subroto, 2008. *The influence of organic phosphorous substrate on phosphatase activity if soil microbes*. Paper presented on International Seminar of Chemistry. Bandung, 30-31 October, 2008
- Foth, Hendry D. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Alih bahasa Soenartono Adisoemarto. 1994. Jakarta: Erlangga.
- Halupi dan Mulyadi. 2007. *Sebaran populasi nematoda *Radopholus similis* dan *Pratylenchus coffeae* pada lahan per-kebunan kopi*. Pelita Perkebunan, 23, 176–183.
- Hallmann, J. 2001. *Plant interaction with endophytic bacteria*. Dalam : Jeger, M.J. and N.J Spence (eds). *Biotic Interaction Plant-pathogen Associations*.CAM international.
- Hanafiah, Kemas Ali. 2008. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : PT RajaGrafindo
- Hapsoh. 2008. *Pemanfaatan fungi Mikoriza Arbuskula Pada Budidaya Kedelai Di Lahan Kering*. Medan: Pidato Pengukuhan Guru Besar Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.

- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2006. *Pengaruh Metode Aplikasi Bakteri Endofit Terhadap Perkembangan Nematoda Peluka Akar (Pratylenchus brachyurus) Pada Tanaman Nilam. Jurnal Litro*, 12 (4): 161-165.
- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2007. *Potensi Pengendali Nematoda Peluka akar. Journal of Bioscience*, 14 (1): 7-12.
- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2012. *Mekanisme Bakteri Endofit Mengendalikan Nematoda Pratylenchus brachyurus Pada Tanaman Nilam. Jurnal Litro*, 23 (1): 102-114.
- Harni, R. Supramana, M.S. Sinaga, Giyanto dan Supriadi. 2010. *Pengaruh filtrat Bakteri Endofit Terhadap Mortalitas, Penetasan Telur Dan Populasi Nematoda Peluka Akar Pratylenchus brachyurus Pada Nilam. Jurnal Penelitian Tanaman Industri*. 16 : 43-47.
- Inserra, R. N., L. W. Duncan, D. Dunn, D. Kaplan, and D. Porazinska. 1998. *Pratylenchus pseudocoffeae from Florida and its relationship with P. gutierrezii and P. coffeae. Nematologica* 44:683-712.
- INVAM. 2008. *International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. URL:<http://invam.caf.wvu.edu/Myco-info>
- Linderman RG. 1988. *Mychorrizal Interaction With the Rhizosphere microflora the Mychoriza rhizosphere effect. Phytopatology*.78:366-371
- Linderman, R. G. 1994. *Role of VAM Fungi in Biocontrol. in* Pflger F.L., and Linderman R.G (Eds) *Mycorrhizae and Plant Health*. The American Phytopathological Society. St Paul, Minn. P. 1-25
- Luc, M., R.A Sikora., dan J.Bridge. 1995. *Nematoda Parasitik Tumbuhan di Pertanian Subtropik dan Tropik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Leiwakabessy, FM dan A Sutandi. 1998. *Pupuk dan Pemupukan (Diktat Kuliah)*. Departemen Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor
- Munif, A. 2003. *Prinsip-Prinsip Pengelolaan Nematoda Parasit Tumbuhan Di Lapangan Dalam Bahan Pelatihan. Identifikasi Dan Pengolahan Nematoda Parasit Utama Tumbuhan*. Bogor
- Mustika, Ika. 2005. *Konsepsi Dan Strategi Pengendalian Nematoda Parasit Tanaman Perkebunan Di Indonesia. Jurnal Perspektif*, 4 (1): 20-32.

- Mustika, I. dan Y. Nuryani. 2003. *Penyakit-penyakit Utama Tanaman yang Disebabkan Oleh Nematoda*. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. Makalah pada "Pelatihan Identifikasi dan Pengelolaan Nematoda Parasit Utama Tumbuhan". Pusat Kajian Pengendalian Hama Terpadu (PKPHT)-HPT, Institut Pertanian Bogor, 26-29 Agustus 2009. 34 h
- Mosse.B., 1981. *Vesicular-Arbuscular Mychorrhiza Research for Tropical Agriculture*. Res. Bull. 194. Hawaii Institut for Tropical Agriculture
- Nurbaity, Anne; Diyan Herdiyantoro; Oviyanti Mulyani. 2009. *Pemanfaatan Bahan Organik Sebagai Bahan Pembawa Inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula*. Jurnal Biologi XIII (1): 17- 11ISSN : 1410 5292. Laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Najiyati, S., dan Danarti. 1997. *Budidaya Kopi dan Pengolahan Pasca Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Najiyati, Sri & Danarti. 2001. *Kopi, Budi Daya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Pracaya, Ir. 1997. *Hama dan Penyakit Tanaman*. Cetakan V. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Puslitkoka. 2006. *Proses Pengolahan Kopi*. <http://www.aped-project.org>. Diakses 29 juni 2014.
- Prastowo, Karmawati, Rubijo, Siswanto, Indrawanto, dan Munarso. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan
- Rao, N.S.S., 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. Terjemahan H. Susilo. Jakarta: Universitas Indonesia Press
- Semangun, Haryono Prof. Dr. Ir. 2000. *Penyakit-penyakit Tanaman Perkebunan Di Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Semangun, Haryono. 2001. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Syakir, M. Dr., Dkk. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Soedibyo. 1988. *Alam Sumber Kesehatan*. Jakarta: Balai Pustaka.

- Shurtleff dan Charles. 2008. *Diagnosis Plant Diseases Caused by Nematodes*. Minnesota: APS Press.
- Siddiqi, M.R. (2000). *Tylenchida parasites of plants and insects*, 2nd edition. Wallingford, UK, CABI Publishing, 833 pp.
- Siddiqu, A.Z dan Pichtel. 2008. *Mycorrhizae: an Overview, Mychorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Simanungkalit, R. D. M. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati (Organic Fertilizer and Biofertilizer)*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Soedibyo, M. 1998. *Alam Sumber Kesehatan*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Tian, B.J. Yang and K.Zang. 2007. *Bacteria Used in Thecbiological Control Of Plant Parasitic Nemathodes :population, mechanism functions, and futureprospect*. *Fems microbiol ecol.* 61: 197-213.
- Tjitrosoepomo, Gembong. 2002. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tinker P. B. H. 1975. *Effects of Vesicular-arbuscular Mycorrhizas in Higher Plants*. *Symp. Soc. Expt. Biol.* 29:325-349
- Tuyet, N. T. 2010. *A Comparative Polyphasic Study of 10 Pratylenchus coffeae Populations from Vietnam*. ISBN 978-90-8826-137-4. Wettelijk depot D/2010/11.109/15.
- Ulfa, M., Kurniawan, A., Sumardi, dan Sitepu, I., 2011. *Populasi Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA) Lokal pada Lahan Pasca Tambang Batubara*. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* Vol. 8 No.3: 301-309
- Varma,Ajit. 2008. *Mycorrhiza (Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics*.Third-edition. Verlag Berlin Heidelberg. Amity University. Springer.
- Valette, C., C. Andary, J. P. Geiger, J. L. Sarah, and M. Nicole. 1998. *Histochemical and Cytochemical Investigation of Phenol in Roots of Banana Infected by the Burrowing Nematode Radopholus similis*. *Phytopathol.* 88(11): 1141-1148.

- Whitehead, A. G. 1998. *Plant Nematode Control*. CAB International. Cambridge University Press. UK .
- Whitehead, A. G. 1969. *Nematodes Attacking Coffea, Tea, and Cocoa and Their Control*. Dalam: Peachy, J. E. [Ed]. *Nematodes of Tropical crops*. Technical communication No. 40. Commonwealth Bureaux of Helminthology, St.Albans, Hearts, England:238-250
- Wiryadiputra, S. 1991. *Hasil servei nematoda parasit kopi di Indonesia*. Prosiding Kongres Nasional XI dan seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia. Ujung Pandang, 24-26 September. 1991. Hal 10-12.
- Wiryadiputra, S. 1992. *Strategi dan hasil penelitian nematoda parasit pada tanaman kopi di Indonesia*. Makalah pada “Seminar Nematologi Se-Jawa di Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta, 3-5 Agustus 1992. 13 hlm.
- Wiryadiputra, S. dan O. Atmawinata. 1998. *Kopi (Coffea spp.) dalam: Pedoman Pengendalian Hama Terpadu Tanaman Perkebunan*. Puslitbang Tanaman Industri Badan Litbang Pertanian. Deptan. Hal.53-59.
- Wiryadiputra, Anggraini, Waluyo, dan Pujiastuti. 2010. *Pengaruh Ekstrak Biji Sirsak (Anona muricata) Terhadap Perkembangan Nematoda Pratylenchus coffeae Pada Tanaman Kopi Arabika*. Jurnal Pelita Perkebunan, 26 (3): 156-168.
- Wiryadiputra, S. 1997. *Pengaruh nematisida karbofuran dan etoprofos terhadap populasi Pratylenchus coffae pada kopi Robusta*. Risalah Kongres Nasional XIII Dan Seminar Ilmiah PFI, Mataram. Hlm. 229-233.
- Yahmadi, M. 1976. *Budidaya dan Pengolahan Kopi*. Jember: Sub-Balai Penelitian Budidaya jember.
- Yulianitha, Aisiyah. 2012. *Komposisi Jenis Mikoriza Dari Perakaran Tembakau (Nicotina tabaccam) Di Desa Banjur Dan Orai Pamekasan Madura*. Jurnal Skripsi S1, Biologi FMIPA, ITS, Surabaya.

Lampiran A. Matrik Penelitian

MATRIK PENELITIAN

Judul	Latar Belakang	Rumusan Masalah	Tujuan	Variabel	Indikator	Metode Penelitian
Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular ( <i>Glomus</i> spp.) dan BPF ( <i>Bakteri Pelarut Fosfat</i> ) dalam Mengendalikan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> serta Meningkatkan	<p>Kopi merupakan komoditas perdagangan kedua setelah minyak mentah sebagai sumber perekonomian asing negara di dunia, dan merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting dalam meningkatkan perekonomian dan ekspor nonmigas negara-negara di dunia salah satunya di Indonesia. Berdasarkan pada tingkat produksinya, kopi Indonesia menempati pada peringkat ketiga dunia setelah Brazil dan Vietnam. Hal tersebut ditinjau dari semakin meluasnya lahan yang digunakan sebagai perkebunan kopi mulai dari tahun 2010 hingga tahun 2012. (Basis Data Statistik Pertanian, 2012)</p> <p>Dari jenis kopi yang diproduksi, menurut <i>International Coffee Organization</i> (2014) Kopi Arabika merupakan bagian terbesar (sekitar 70%) dari total produksi kopi yang diproduksi dunia dan 30% sisanya adalah Kopi Robusta. Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>) merupakan kopi yang sering dibudidayakan di Indonesia.</p>	<p>a. Apakah Inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (<i>Glomus</i> spp.) dan BPF (<i>Bakteri Pelarut Fosfat</i>) mampu mengendalikan nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> Pada Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)?;</p> <p>b. Apakah Inokulasi</p>	<p>c. Menguji kemampuan inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (<i>Glomus</i> spp.) dan <i>Bakteri Pelarut Fosfat</i> (<i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i>) dalam</p>	<p>a. Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perbedaan infeksi <i>Glomus</i></p>	<p>a. Tinggi tanaman (cm),</p> <p>b. Jumlah daun, diameter batang (mm),</p> <p>c. Kandungan fosfat tanah dan jaringan</p> <p>d. Derajat infeksi mikoriza,</p> <p>e. Skor kerusakan tajuk</p> <p>f. Jumlah</p>	<p>1. Untuk menganalisis data hasil penelitian, dipergunakan rancangan acak kelompok dengan 8 perlakuan, 5 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 2 tanaman.</p> <p>2. Untuk mengetahui adanya sinergisme antara Cendawan</p>

<p>Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)</p>	<p>Dibandingkan dengan kopi Robusta(<i>Coffea Canephora</i>), Kopi Arabika menjadi satu-satunya jenis kopi komersial yang dibudidayakan di Indonesia selama hampir dua abad. Dalam era yang berkelanjutan terhadap pemulihan perekonomian nasional, komoditi kopi jenis Arabika Indonesia diharapkan mampu meningkatkan devisa negara. (Prastowo,2010)</p> <p>Produktivitas Kopi Arabika di Indonesia mengalami fluktuasi dan cenderung mengalami penurunan. Secara garis besar penurunan produktivitas kopi disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu faktor penyebabnya adalah adanya Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Berdasarkan jenis OPT utama penyerang tanaman kopi, dapat dikelompokkan menjadi tiga (3) diantaranya yaitu : (1) hama (Hama Penggerek Buah Kopi atau PBKO); (2) nematoda parasit (<i>Pratylenchus coffeae</i>) ; dan (3) penyakit (Penyakit Karat Daun Kopi).</p> <p>Nematoda <i>P. coffeae</i> merupakan nematoda endoparasit, yang mampu menyerang akar tanaman kopi dan menyebabkan luka akar (<i>root lesion</i>) sehingga dapat menghambat pengangkutan hara tanaman. Luka yang disebabkan karena nematoda <i>P. coffeae</i> dapat menginfeksi jalan masuknya patogen lain seperti jamur dan bakteri. Gejala kerusakan lain</p>	<p>ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (<i>Glomus</i> spp.) dan BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) berpengaruh terhadap pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) ?.</p>	<p>mengendalikan nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> pada tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)</p> <p>d. Menguji kemampuan inokulasi ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (<i>Glomus</i> spp.) dan Bakteri Pelarut Fosfat</p>	<p>spp. dengan populasi 100 spora mikoriza dengan penambahan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) berupa <i>P.mallei</i> dan <i>B. mycooides</i> dengan tingkat kerapatan berbeda yaitu 1 x 10<sup>8</sup> dan 2 x 10<sup>8</sup>.</p> <p>b. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang</p>	<p>nematoda <i>P. coffeae</i>.</p>	<p>Mikoriza Arbuskuler dengan Bakteri Pelarut fosfat (<i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i>) dalam mengendalikan <i>Pratylenchus coffea</i> dan meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) dilakukan uji anova dengan taraf signifikansi 95% (p&lt;5%).</p> <p>3. Apabila terdapat</p>
--	--	---	---	---	------------------------------------	--

<p>yang disebabkan oleh nematoda ini adalah ukuran tanaman kerdil, kurus, daun kecil, menguning dan gugur hingga kematian secara perlahan-lahan.</p> <p>Salah satu komponen pengendalian yang ramah lingkungan adalah dengan menggunakan agen hayati (musuh alami). <i>Biofertilizer</i> sebagai produk yang mengandung mikroba hidup atau sel mikroba yang tersembunyi mampu mengaktifkan proses biologis untuk membuat pupuk maupun unsur yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Komponen yang harus tersedia dalam pembuatan tersebut meliputi perumusan mikroba pengikat nitrogen, mikroba pelarut fosfat dan mikroba selulolitik (Boonkerd, 2008).</p> <p><i>Bakteri Pelarut Fosfat</i> (BPF) berperan dalam penyerapan unsur hara dalam tanah sehingga mampu meningkatkan produksi tanaman. salah satu cara untuk menjalankan fungsi tersebut keduanya berasosiasi dengan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA).</p> <p>Mosse, (1981) menerangkan bahwa cendawan mikoriza mampu berkolonisasi dan berkembang secara simbiosis mutualistik dengan akar tanaman, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta membantu menekan perkembangan beberapa patogen tanah. hasil infeksi dari cendawan ini</p>		<p>(<i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i>) dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.);</p>	<p>menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tinggi tanaman (cm), jumlah daun, diameter batang (mm), kandungan fosfat tanah dan jaringan, skor kerusakan akar, berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan tajuk, derajat infeksi mikoriza serta jumlah nematoda</p>		<p>perbedaan maka dilanjutkan dengan uji Duncan dengan derajat kepercayaan 95%.</p>
---	--	--	--	--	---

<p>mampu digunakan oleh bakteri untuk mempermudah dalam penyerapan hara tanaman</p> <p>Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka perlu untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai bagaimana keduanya yaitu (<i>Bakteri Pelarut Fosfat</i>) bersinergis dengan cendawan mikoriza Arbuskula (CMA) dalam mengendalikan Nematoda <i>P. coffeae</i>. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan judul <b>“Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (<i>Glomus</i> spp.) dan BPF (<i>Bakteri Pelarut Fosfat</i>) dalam Mengendalikan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)”</b></p>			<i>Pratylenchus coffeae</i> .		
---	--	--	-------------------------------	--	--

Lampiran B. Desain Tata Letak Unit Percobaan Penelitian

Desain Tata Letak Unit Percobaan Penelitian

Kelompok 1				Kelompok 2				Kelompok 3				Kelompok 4				Kelompok 5			
A1.1	C1.1	B1.2	C1.2	C2.1	A2.2	E2.1	G2.1	A3.1	C3.2	B3.1	D3.2	F4.1	D4.2	E4.1	E4.2	E5.1	A5.2	C5.1	G5.2
B1.1	A1.2	G1.1	H1.2	H2.1	G2.2	D2.2	F2.2	G3.1	E3.2	H3.1	A3.2	C4.1	G4.2	G4.1	D4.1	A5.1	E5.2	F5.1	B5.2
D1.1	H1.1	F1.2	G1.2	B2.1	C2.2	F2.1	E2.2	D3.1	B3.2	F3.1	F3.2	B4.1	A4.2	H4.2	F4.2	D5.1	H5.2	B5.1	D5.2
F1.1	E1.2	D1.2	E1.1	A2.1	H2.2	B2.2	D2.1	E3.1	G3.2	C3.1	H3.2	H4.1	C4.2	A4.1	B4.2	G5.1	C5.2	H5.1	F5.2

**Lampiran C. Hasil Data Pengamatan Penelitian**

**C.1 Tinggi Tanaman (cm)**

Perlakuan	Blok	Minggu Ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	7,4	7,5	7,85	7,85	8,15	8,25	8,4	8,5	8,5	
	2	7,3	7,4	7,8	8	8,6	8,65	8,75	8,95	9	
	3	6,85	7,2	7,6	7,85	8,4	8,5	8,6	8,5	9	
	4	6,75	6,65	7,2	7,3	8	8,2	8,65	8,85	9,05	
	5	6,5	6,9	7,5	7,3	8	8,05	8,15	8,25	8,75	
B	1	8,45	8,6	9	8,6	10	10,3	10,7	11	11	
	2	7,6	7,55	8	8,2	8,95	9,05	9,15	9,25	9,35	
	3	8,3	8,25	8,4	9,15	9,75	9,85	10	10,1	10,3	
	4	6,2	6,5	6,85	7,2	8	8,5	8,75	8,8	8,75	
	5	8,75	8,75	9,3	10,1	10,1	10,3	10,5	10,8	11,0	
C	1	7,5	7,05	7,5	8	8,5	8,6	8,85	9	9,25	
	2	9,75	8,95	9,35	10,1	11,1	11,3	11,5	11,8	12	
	3	7	6,85	7,25	7,55	8,25	8,45	8,65	8,65	8,85	
	4	6,7	5,95	6,65	6,9	8	8	8,1	8,2	8,3	
	5	9,15	8,65	8,75	9,5	9,95	10,1	10,4	10,6	10,9	
D	1	7,4	7,45	7,4	7,7	8,55	8,8	9,05	9,5	9,6	
	2	7,75	7,4	7,5	8,2	8,75	9,2	9,5	9,65	9,85	
	3	8,25	7,55	8	8,1	8,5	8,7	8,75	8,85	9,05	
	4	6,4	6,75	6,75	7,2	8,25	8,35	8,5	8,75	8,8	
	5	8,55	8,15	8,6	9,3	10	10,2	10,5	10,7	10,9	
E	1	8	7	7,75	7,75	8,6	8,7	8,75	9	9,35	
	2	9	8,55	8,5	9,3	10,1	10,4	10,6	11	10,1	
	3	8,55	8,2	8,25	9	9,5	9,5	9,5	9,85	10,6	
	4	8,6	8,5	8,85	9,15	10,1	10,5	10,7	11	11,6	
	5	7,05	7,05	7,4	7,7	8,65	8,9	9,1	9,3	9,75	
F	1	7,55	7,35	7,75	8,05	9	9,1	9,4	9,75	10,1	
	2	6,75	7	6,75	7,15	7,75	7,9	8,1	8,25	8,35	
	3	8,3	8,1	8,5	8,85	9,65	9,85	10	9,9	10,2	
	4	6,85	6,7	6,75	7,75	8,3	8,45	8,5	8,75	9,6	
	5	8,2	8,55	8,75	9,7	10,1	10,5	10,9	11,2	11,6	

G

	1	8,65	8,05	8,8	9,45	10	10,2	10,5	11,1	11,6
	2	8,4	7,8	8,15	8,65	9,45	9,45	9,5	9,5	9,85
	3	7,8	8,1	8,5	8,8	9,05	9,25	9,45	9,75	9,75
	4	8,7	8,85	8,9	9,5	10,2	10,5	10,8	10,8	11
	5	7,35	7,3	7,6	8,4	8,95	9,25	9,5	9,5	10,2
H	1	8,55	8,3	8,75	9,15	9,65	9,9	10,2	10,5	10,5
	2	7,15	7,55	7,6	8,25	9,15	9,35	9,6	9,9	10
	3	6,65	7,1	7,5	8	8,65	8,85	9,2	9,35	9,8
	4	7,4	8,25	8,7	9,5	10,0	10,1	10,2	10,3	10,5
	5	6,9	7,5	7,75	8,15	8,55	8,9	9,25	9,5	9,85

### C.2 Jumlah Daun (Helai)

Perlakuan	Blok	Minggu Ke-								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	7	8	9	1	10	10	12	12	12
	2	8	8	9	10	11	11	12	12	12
	3	9	10	10	10	11	12	13	13	13
	4	9	9	9	9	11	11	12	12	14
	5	7	8	9	9	10	11	11	11	12
B	1	8	8	10	10	12	12	14	14	14
	2	8	8	9	11	11	12	13	14	14
	3	8	8	10	10	12	12	13	14	14
	4	8	8	10	11	12	12	13	13	13
	5	8	9	10	11	12	12	14	14	15
C	1	8	10	10	12	12	13	14	14	15
	2	8	9	10	11	12	13	14	15	15
	3	7	8	8	10	10	11	12	13	14
	4	8	8	10	10	12	12	13	14	14
	5	7	9	10	11	12	13	14	15	16
D	1	8	8	9	10	11	12	13	14	14
	2	8	9	10	10	12	12	13	14	15
	3	8	9	10	11	12	12	14	14	14
	4	8	9	10	11	12	12	14	14	14
	5	8	9	10	12	12	12	14	14	15
E	1	8	8	9	10	11	12	12	14	14
	2	8	10	10	12	12	13	14	15	15

	3	8	9	10	11	12	12	14	14	14
	4	8	9	10	11	12	12	14	14	14
	5	8	9	10	11	12	13	14	15	15
	1	7	8	9	9	12	12	14	15	16
	2	8	10	10	11	12	13	14	14	16
F	3	8	10	10	12	12	12	14	14	14
	4	7	10	10	12	12	13	14	14	15
	5	9	11	11	13	13	13	15	16	16
	1	8	10	10	11	12	12	14	14	16
	2	8	9	10	11	12	12	14	14	16
G	3	8	10	10	12	12	12	14	14	14
	4	8	10	11	12	13	13	14	15	14
	5	8	11	10	12	12	12	14	14	14
	1	9	9	11	11	12	13	14	16	16
	2	9	10	11	12	13	14	14	16	16
H	3	8	8	10	10	12	12	12	13	13
	4	8	10	10	12	12	12	14	14	14
	5	8	10	10	12	12	12	14	14	14

### C.3 Diameter Batang (mm)

Perlakuan	Blok	Minggu Ke-								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	1,21	1,29	1,36	1,42	1,45	1,46	1,49	1,51	1,55
	2	1,04	1,05	1,24	1,16	1,17	1,19	1,2	1,21	1,24
	3	1,08	1,13	1,15	1,18	1,21	1,24	1,27	1,3	1,31
	4	1,19	1,24	1,29	1,35	1,40	1,44	1,49	1,54	1,56
	5	1,14	1,24	1,27	1,31	1,33	1,38	1,46	1,49	1,55
B	1	1,24	1,26	1,31	1,33	1,36	1,41	1,46	1,48	1,63
	2	1,12	1,17	1,20	1,20	1,24	1,26	1,31	1,34	1,42
	3	1,34	1,31	1,43	1,44	1,49	1,49	1,51	1,51	1,67
	4	1,16	1,18	1,21	1,23	1,26	1,31	1,36	1,38	1,42
	5	1,25	1,26	1,28	1,32	1,36	1,39	1,44	1,52	1,59
C	1	1,2	1,22	1,29	1,34	1,37	1,39	1,47	1,49	1,57
	2	1,29	1,34	1,40	1,42	1,48	1,6	1,62	1,65	1,76
	3	1,01	1,06	1,07	1,09	1,18	1,25	1,28	1,31	1,35
	4	1,07	1,09	1,11	1,13	1,22	1,26	1,30	1,34	1,43

	5	1,31	1,35	1,35	1,42	1,42	1,47	1,53	1,61	1,8
	1	1,12	1,17	1,17	1,21	1,26	1,28	1,34	1,44	1,54
	2	1,22	1,26	1,29	1,32	1,35	1,38	1,40	1,45	1,5
D	3	1,14	1,24	1,26	1,31	1,34	1,35	1,36	1,41	1,48
	4	1,03	1,08	1,13	1,19	1,22	1,27	1,29	1,35	1,4
	5	1,26	1,32	1,37	1,40	1,41	1,49	1,56	1,57	1,79
	1	1,11	1,15	1,19	1,22	1,25	1,3	1,32	1,35	1,41
	2	1,21	1,26	1,28	1,31	1,34	1,42	1,46	1,52	1,66
E	3	1,11	1,16	1,19	1,25	1,28	1,31	1,33	1,37	1,41
	4	1,17	1,23	1,28	1,38	1,41	1,52	1,61	1,64	1,77
	5	1,21	1,29	1,31	1,35	1,38	1,35	1,45	1,46	1,66
	1	1,33	1,36	1,37	1,42	1,45	1,49	1,53	1,59	1,8
	2	1,23	1,26	1,27	1,30	1,33	1,34	1,38	1,46	1,56
F	3	1,18	1,22	1,26	1,36	1,41	1,46	1,48	1,52	1,56
	4	1,25	1,3	1,33	1,36	1,45	1,52	1,6	1,61	1,71
	5	1,31	1,33	1,36	1,52	1,50	1,62	1,67	2,02	2,17
	1	1,21	1,29	1,34	1,46	1,48	1,44	1,51	1,58	1,61
	2	1,18	1,26	1,3	1,36	1,4	1,44	1,53	1,58	1,61
G	3	1,17	1,21	1,22	1,24	1,25	1,28	1,31	1,37	1,39
	4	1,34	1,37	1,44	1,48	1,49	1,53	1,57	1,71	1,72
	5	1,21	1,3	1,35	1,43	1,54	1,58	1,6	1,62	1,68
	1	1,24	1,3	1,34	1,38	1,42	1,44	1,46	1,47	1,51
	2	1,31	1,38	1,44	1,46	1,5	1,5	1,53	1,61	1,71
H	3	1,19	1,16	1,21	1,22	1,33	1,34	1,34	1,34	1,36
	4	1,24	1,31	1,33	1,37	1,42	1,43	1,45	1,44	1,55
	5	1,39	1,39	1,5	1,54	1,57	1,6	1,62	1,7	1,69

#### C.4 Skor Kerusakan Tajuk

Perlakuan	Blok	Minggu Ke-									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	1	0	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	
	4	0	0	0	0	0,5	2	3	3	3	
	5	0	0	0	0,5	1,5	2,5	3	3	3	
B	1	0	0	0	0	0	0,5	1	1	1,5	

	2	0	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	2	2	2,5	3	3
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	2	2	2	3	3
	5	0	0	0,5	1	2	2	2	3	3
D	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	3	0	0	0	0,5	0,5	1	1,5	1,5	1,5
	4	0	0	0	0	1	1,5	2	2,5	3
	5	0	0	0	0	0,5	0,5	1	1,5	1,5
E	1	0	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5
	2	0	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5
	3	0	0	0	0	1	1,5	2	3	3
	4	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	5	0	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5
F	1	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	2	0	0	0	1	2	2,5	2,5	3,5	3,5
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0,5	1,5	2	2	3	3
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	1	0	0	0	0,5	1,5	1,5	2	2,5	3
	2	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	3	0	0	0	1	2	2	3	3	3
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
H	1	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	2	0	0	0	0,5	1	1	1,5	1,5	1,5
	3	0	0	0	0,5	2	2	2,5	3	3
	4	0	0	0	0,5	1,5	2	2,5	3	3
	5	0	0	0,5	1,5	2	2,5	2,5	3,5	3,5

**C.5 Skor Kerusakan Akar (%)**

<b>Perlakuan</b>	<b>Blok</b>	<b>Kerusakan Akar (%)</b>
A	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
B	1	70
	2	80
	3	80
	4	80
	5	75
C	1	60
	2	40
	3	50
	4	55
	5	50
D	1	25
	2	20
	3	25
	4	25
	5	20
E	1	50
	2	50
	3	45
	4	60
	5	65
F	1	55
	2	50
	3	55
	4	60
	5	70
G	1	65
	2	55
	3	65
	4	40
	5	40

	1	35
	2	40
H	3	25
	4	35
	5	50

**C.6 Berat Tanaman (g)**

Perlakuan	Blok	Berat Basah Tajuk	Berat Kering Tajuk	Berat Akar
A	1	0,65	0,26	0,245
	2	0,77	0,265	0,57
	3	0,865	0,27	0,655
	4	0,835	0,25	0,32
	5	0,615	0,17	0,475
B	1	1,43	0,48	0,195
	2	0,795	0,245	0,225
	3	1,215	0,31	0,13
	4	0,925	0,42	0,455
	5	1,575	0,42	0,485
C	1	1,49	0,495	0,375
	2	1,63	0,465	0,435
	3	1,055	0,325	0,48
	4	1,115	0,37	0,4
	5	1,635	0,47	1,01
D	1	1,41	0,41	0,42
	2	1,455	0,36	0,495
	3	1,2	0,37	0,39
	4	1,015	0,27	0,355
	5	1,71	0,54	0,475
E	1	1,08	0,28	0,48
	2	1,34	0,325	0,54
	3	1,17	0,27	0,29
	4	1,545	0,36	0,48
	5	1,275	0,325	0,455
F	1	1,31	0,42	0,37
	2	1,14	0,26	0,56
	3	1,4	0,33	0,445

	4	1,35	0,33	0,42
	5	2,535	0,67	0,55
	1	1,645	0,475	0,545
	2	1,445	0,35	0,25
G	3	1,3	0,3	0,63
	4	1,735	0,51	0,39
	5	1,67	0,395	0,345
	1	1,39	0,4	0,325
	2	1,885	0,52	0,51
H	3	1,045	0,235	0,415
	4	1,495	0,35	0,535
	5	1,645	0,395	0,56

### C.7 Populasi Nematoda (Ekor/Pot)

Perlakuan	Blok	Akar	Tanah	Total (Ekor/Pot)
	1	0	0	0
	2	0	0	0
A	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
	1	530	325	855
	2	620	440	1060
B	3	740	450	1190
	4	630	430	1060
	5	605	265	870
	1	325	5	330
	2	5	120	125
C	3	0	210	210
	4	30	15	45
	5	50	15	65
	1	235	15	250
	2	45	30	75
D	3	245	0	245
	4	245	15	260
	5	350	10	360
	1	195	0	195
E	2	190	15	205

	3	290	30	320
	4	200	15	215
	5	295	20	315
F	1	330	0	330
	2	275	5	280
	3	225	5	230
	4	135	15	150
	5	240	20	260
G	1	140	50	190
	2	210	10	220
	3	310	20	330
	4	35	60	95
	5	125	20	145
H	1	70	145	215
	2	355	55	410
	3	15	30	45
	4	40	55	95
	5	90	30	120

#### C.8 Derajat Infeksi Mikoriza (%)

Perlakuan	Blok	Sampel Diamati	Jumlah Terinfeksi	Derajat Infeksi (%)
A	1	50	0	0
	2	50	0	0
	3	50	0	0
	4	50	0	0
	5	50	0	0
B	1	50	0	0
	2	50	0	0
	3	50	0	0
	4	50	0	0
	5	50	0	0
C	1	50	48	96
	2	50	43	86
	3	50	48	96
	4	50	47	94
	5	50	50	100
D	1	50	48	96

	2	50	47	94
	3	50	44	88
	4	50	45	90
	5	50	49	98
E	1	50	48	96
	2	50	40	80
	3	50	36	72
	4	50	46	92
	5	50	44	88
F	1	50	48	96
	2	50	48	96
	3	50	50	100
	4	50	48	96
	5	50	48	96
G	1	50	43	86
	2	50	48	96
	3	50	46	92
	4	50	46	92
	5	50	44	88
H	1	50	0	0
	2	50	0	0
	3	50	0	0
	4	50	0	0
	5	50	0	0

### C.9 Analisis Fosfat (P) Jaringan (%)

Nomor	Perlakuan	Satuan	P2O5
1	A	%	0,32
2	B	%	0,37
3	C	%	0,45
4	D	%	0,57
5	E	%	0,65
6	F	%	0,73
7	G	%	0,79
8	H	%	0,83

**Lampiran D. Data Hasil Analisis SPSS**

**1. Tinggi Tanaman**

**a. Pengamatan Minggu ke-0**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:T0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.025 <sup>a</sup>	11	.002	1.316	.267
Intercept	35.239	1	35.239	20478.971	.000
Perlakuan	.017	7	.002	1.383	.251
Kelompok	.008	4	.002	1.200	.333
Error	.048	28	.002		
Total	35.312	40			
Corrected Total	.073	39			

a. R Squared = ,341 (Adjusted R Squared = ,082)

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	.900518000	
H	5	.919345759	.919345759
F	5	.929681650	.929681650
D	5	.936332833	.936332833
B	5	.944950064	.944950064
C	5	.951374829	.951374829
G	5		.962119210
E	5		.964462599
Sig.		.097	.145

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**b. Pengamatan ke-8 (16 msp)****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:T8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.023 <sup>a</sup>	11	.002	1.208	.327
Intercept	39.552	1	39.552	23340.042	.000
Perlakuan	.018	7	.003	1.476	.216
Kelompok	.005	4	.001	.738	.574
Error	.047	28	.002		
Total	39.622	40			
Corrected Total	.070	39			

a. R Squared = ,322 (Adjusted R Squared = ,055)

**T8**Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	.947312115	
D	5	.982853042	.982853042
C	5	.989754168	.989754168
F	5	.996261125	.996261125
B	5	1.002082370	1.002082370
H	5	1.005408181	1.005408181
E	5		1.011209225
G	5		1.020176664
Sig.		.057	.223

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

## 2. Jumlah Daun

### a. Pengamatan Minggu ke-0

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JD0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 <sup>a</sup>	11	.000	.635	.784
Intercept	36.274	1	36.274	48780.588	.000
Perlakuan	.004	7	.001	.822	.577
Kelompok	.001	4	.000	.308	.870
Error	.021	28	.001		
Total	36.300	40			
Corrected Total	.026	39			

a. R Squared = ,200 (Adjusted R Squared = -,115)

		JD0	
Duncan <sup>a,b</sup>			
Perlakuan	N	Subset	
		1	
C	5	.933781500	
F	5	.942932998	
A	5	.952084497	
B	5	.954242509	
D	5	.954242509	
E	5	.954242509	
G	5	.954242509	
H	5	.972545505	
Sig.		.061	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

## b. Pengamatan ke-8 (16 msp)

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JD8

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.026 <sup>a</sup>	11	.002	4.355	.001
Intercept	56.232	1	56.232	105281.764	.000
Perlakuan	.020	7	.003	5.432	.001
Kelompok	.005	4	.001	2.470	.068
Error	.015	28	.001		
Total	56.272	40			
Corrected Total	.041	39			

a. R Squared = ,631 (Adjusted R Squared = ,486)

## JD8

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
A	5	1.132809870		
B	5		1.175704359	
D	5		1.187302749	1.187302749
E	5		1.187302749	1.187302749
H	5		1.191841679	1.191841679
G	5		1.197834324	1.197834324
C	5		1.198174281	1.198174281
F	5			1.214311601
Sig.		1.000	.187	.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

### 3. Diameter Tanaman

#### a. Minggu ke-0

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DB0

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 <sup>a</sup>	11	.001	2.077	.058
Intercept	4.693	1	4.693	19247.932	.000
Perlakuan	.004	7	.001	2.115	.075
Kelompok	.002	4	.000	2.010	.120
Error	.007	28	.000		
Total	4.705	40			
Corrected Total	.012	39			

a. R Squared = ,449 (Adjusted R Squared = ,233)

#### DB0

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
A	5	.329410693		
D	5	.333339530	.333339530	
E	5	.335163713	.335163713	.335163713
C	5	.337195112	.337195112	.337195112
B	5	.346865405	.346865405	.346865405
G	5	.346967714	.346967714	.346967714
F	5		.354168548	.354168548
H	5			.356975891
Sig.		.128	.072	.060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**b. Pengamatan ke-8 (16 msp)****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:DB8

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.018 <sup>a</sup>	11	.002	3.019	.009
Intercept	6.720	1	6.720	12721.345	.000
Perlakuan	.007	7	.001	1.990	.092
Kelompok	.010	4	.003	4.819	.004
Error	.015	28	.001		
Total	6.752	40			
Corrected Total	.032	39			

a. R Squared = ,543 (Adjusted R Squared = ,363)

**DB8**Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	.386507564	
D	5	.404253134	
B	5	.405151403	
H	5	.407874294	.407874294
C	5	.410749871	.410749871
E	5	.410911611	.410911611
G	5	.414528063	.414528063
F	5		.438930462
Sig.		.103	.064

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

## 4. Berat basah

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:BB

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.121 <sup>a</sup>	11	.011	4.470	.001
Intercept	5.184	1	5.184	2102.896	.000
Perlakuan	.099	7	.014	5.737	.000
Kelompok	.022	4	.006	2.253	.089
Error	.069	28	.002		
Total	5.374	40			
Corrected Total	.190	39			

a. R Squared = ,637 (Adjusted R Squared = ,495)

## BB

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	.241588928	
B	5		.336050485
E	5		.357281623
D	5		.370347112
C	5		.375011583
H	5		.393746651
F	5		.398738855
G	5		.407180193
Sig.		1.000	.057

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

## 5. Berat kering

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.020 <sup>a</sup>	11	.002	2.526	.023
Intercept	.723	1	.723	1008.241	.000
Perlakuan	.013	7	.002	2.594	.034
Kelompok	.007	4	.002	2.407	.073
Error	.020	28	.001		
Total	.763	40			
Corrected Total	.040	39			

a. R Squared = ,498 (Adjusted R Squared = ,301)

## BK

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	.094272133	
E	5	.117796871	.117796871
B	5		.137455810
H	5		.138909312
D	5		.142160606
F	5		.144615728
G	5		.147324059
C	5		.153346520
Sig.		.176	.077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,001.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**6. Berat Akar****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:BA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.026 <sup>a</sup>	11	.002	1.362	.245
Intercept	.984	1	.984	564.075	.000
Perlakuan	.015	7	.002	1.243	.314
Kelompok	.011	4	.003	1.570	.210
Error	.049	28	.002		
Total	1.059	40			
Corrected Total	.075	39			

a. R Squared = ,349 (Adjusted R Squared = ,093)

**BA**Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B	5	.110634377	
G	5	.153952637	.153952637
D	5	.154135130	.154135130
A	5	.159846590	.159846590
E	5	.160299371	.160299371
H	5	.166236449	.166236449
F	5	.166466611	.166466611
C	5		.182948081
Sig.		.075	.348

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,002.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**7. Skor kerusakan akar**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:SKA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.205 <sup>a</sup>	11	1.200	242.811	.000
Intercept	86.708	1	86.708	17538.610	.000
Perlakuan	13.197	7	1.885	381.333	.000
Kelompok	.008	4	.002	.397	.809
Error	.138	28	.005		
Total	100.051	40			
Corrected Total	13.343	39			

a. R Squared = ,990 (Adjusted R Squared = ,986)

**SKA**

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
A	5	.000000000				
D	5		1.377871727			
H	5			1.569586477		
C	5				1.712288414	
G	5				1.722568723	
E	5				1.736554391	
F	5				1.768106883	
B	5					1.891505400
Sig.		1.000	1.000	1.000	.262	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**8. Skor Kerusakan tajuk**

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
Perlakuan	1	A	5
	2	B	5
	3	C	5
	4	D	5
	5	E	5
	6	F	5
	7	G	5
	8	H	5
Kelompok	1		8
	2		8
	3		8
	4		8
	5		8

**Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Dependent Variable:SKT0

F	df1	df2	Sig.
.	39	0	.

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Perlakuan + Kelompok

**a. Pengamatan Minggu ke-0**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:SKT0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 <sup>a</sup>	11	.000	.	.
Intercept	.000	1	.000	.	.
Perlakuan	.000	7	.000	.	.

Kelompok	.000	4	.000	.	.
Error	.000	28	.000		
Total	.000	40			
Corrected Total	.000	39			

a. R Squared = . (Adjusted R Squared = .)

**b. Pengamatan ke-8 (16 msp)**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:SKT8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.478 <sup>a</sup>	11	.043	.712	.717
Intercept	5.549	1	5.549	90.880	.000
Perlakuan	.294	7	.042	.688	.681
Kelompok	.184	4	.046	.754	.564
Error	1.710	28	.061		
Total	7.737	40			
Corrected Total	2.188	39			

a. R Squared = ,219 (Adjusted R Squared = -,088)

**SKT8**

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset	
		1	
C	5		.240823996
B	5		.279588002
F	5		.330642503
D	5		.359176004
G	5		.400000000
A	5		.400000000
E	5		.438764005
H	5		.530642503
Sig.			.120

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,061.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

## 9. Derajat Infeksi

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DI

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36.326 <sup>a</sup>	11	3.302	6657.372	.000
Intercept	60.526	1	60.526	122017.829	.000
Perlakuan	36.325	7	5.189	10461.191	.000
Kelompok	.001	4	.000	.687	.607
Error	.014	28	.000		
Total	96.866	40			
Corrected Total	36.340	39			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)

### DI

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
A	5	.000000000		
B	5	.000000000		
H	5	.000000000		
E	5		1.935290514	
G	5		1.962529378	1.962529378
D	5			1.973712387
C	5			1.979021540
F	5			1.990281662
Sig.		1.000	.063	.081

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**10. Populasi Nematoda**

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
Perlakuan	1	A	5
	2	B	5
	3	C	5
	4	D	5
	5	E	5
	6	F	5
	7	G	5
	8	H	5
Kelompok	1		8
	2		8
	3		8
	4		8
	5		8

**Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Dependent Variable:NT

F	df1	df2	Sig.
.	39	0	.

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Perlakuan + Kelompok

## a. Nematoda pada Akar

## Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:NA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.585 <sup>a</sup>	11	2.508	13.740	.000
Intercept	141.629	1	141.629	775.968	.000
Perlakuan	26.967	7	3.852	21.107	.000
Kelompok	.618	4	.155	.847	.508
Error	5.111	28	.183		
Total	174.325	40			
Corrected Total	32.696	39			

a. R Squared = ,844 (Adjusted R Squared = ,782)

## NA

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
A	5	.000000000			
C	5		1.298060144		
H	5		1.835730716	1.835730716	
G	5			2.124587001	
D	5			2.272569433	2.272569433
E	5			2.362334039	2.362334039
F	5			2.366080293	2.366080293
B	5				2.794101262
Sig.		1.000	.056	.088	.087

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,183.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**b. Nematoda pada tanah**

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:NT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	20.319 <sup>a</sup>	11	1.847	9.101	.000
Intercept	63.838	1	63.838	314.537	.000
Perlakuan	19.746	7	2.821	13.899	.000
Kelompok	.572	4	.143	.705	.595
Error	5.683	28	.203		
Total	89.839	40			
Corrected Total	26.001	39			

a. R Squared = ,781 (Adjusted R Squared = ,696)

**NT**

Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
A	5	.000000000				
F	5		.816528356			
D	5		.988198869	.988198869		
E	5		1.044364191	1.044364191		
G	5		1.435746257	1.435746257	1.435746257	
C	5			1.518691808	1.518691808	
H	5				1.728690460	
B	5					2.574238328
Sig.		1.000	.055	.098	.341	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,203.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**c. Nematoda Total (per pot)****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable:NAT

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	27.490 <sup>a</sup>	11	2.499	51.010	.000
Intercept	171.871	1	171.871	3508.187	.000
Perlakuan	27.292	7	3.899	79.582	.000
Kelompok	.198	4	.050	1.011	.419
Error	1.372	28	.049		
Total	200.733	40			
Corrected Total	28.862	39			

a. R Squared = ,952 (Adjusted R Squared = ,934)

**NAT**Duncan<sup>a,b</sup>

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
A	5	.000000000		
C	5		2.085356552	
H	5		2.135222002	
G	5		2.258375545	
D	5		2.329114026	
F	5		2.385552750	
E	5		2.389353831	
B	5			2.999966890
Sig.		1.000	.064	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,049.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,000.

b. Alpha = ,05.

**Lampiran E. Alat dan Bahan Penelitian**

No	NAMA	GAMBAR	No.	NAMA	GAMBAR
1.	Autoclave		11.	Sentrifuse	
2.	Piring stainles		12.	Tabung sentrifuse	
3.	Saringan		13.	Blender	
4.	Mikroskop binokular		14.	Beaker glass plastik (1 liter)	
5.	Counting disk		15.	Neraca	
6.	Micro-pipet		16.	Refrigator (kulkas)	

7.	Gunting pangkas tanaman		17.	Pot plastik (tiba ukuran 1/2 galon)	
8.	Beaker glass 120 ml		18.	Counter	
9.	Oven		19.	Semprotan air	
10.	Jangka sorong digital				

**Lampiran F. Gambar Tanaman Bibit Kopi pada Akhir Penelitian**



Bibit Kopi Perlakuan A



Bibit Kopi Perlakuan B



Bibit Kopi Perlakuan C



Bibit Kopi Perlakuan D



Bibit Kopi Perlakuan E



Bibit Kopi Perlakuan F



Bibit Kopi Perlakuan G



Bibit Kopi Perlakuan H

Lampiran G. Foto Kegiatan

FOTO KEGIATAN PENELITIAN



Gambar G.1. Persiapan bibit Kopi Arabika (*Arabica coffea* L.)



Gambar G.2. Penimbangan zeolit untuk persiapan ekstraksi mikoriza *Glomus* sp. dan inokulasi



Gambar G. 3. Pemandahan tanaman pada pot sebelum perlakuan dan pemberian label



Gambar G. 4. Penyiraman tanaman pada pot secara berkala setelah pemindahan bibit dalam pot uji, pemberian label dan setelah perlakuan



Gambar G. 5. Pemberian pupuk Urea pada awal penelitian sebelum perlakuan



Gambar G. 6. Persiapan Formulasi bakteri di Laboratorium sebelum aplikasi



Gambar G. 7. Proses pengetaban air nematoda sebelum perhitungan nematoda yang digunakan dalam penelitian



Gambar G. 8. Inokulasi nematoda mikoriza dan bakteri pada tanaman



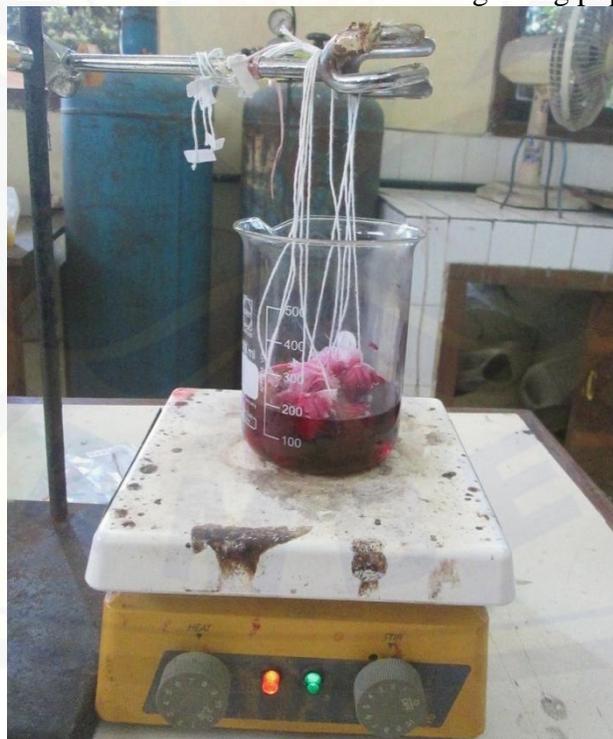
Gambar G. 9. Pemotongan akar dan tajuk diakhir penelitian untuk keperluan ekstraksi



Gambar G. 10. Penimbangan tajuk dan akar setelah panen dan sebelum tajuk dioven



Gambar G. 11. Ekstraksi akar dan tanah untuk menghitung populasi nematoda



Gambar G. 12. Pewarnaan akar di laboratorium setelah panen



Gambar G .13. Perhitungan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* L.



Gambar G .14. Penataan akar pada kaca benda sebelum diamati dibawah mikroskop

Lampiran H. Lembar Konsultasi



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN**  
 Jalan Kalimantan III/3 Kampus Bumi Tegal Boto Telp./Fax. 0331-334988 Jember 68121

**LEMBAR KONSULTASI PENYUSUNAN SKRIPSI**  
**(Dosen Pembimbing I)**

Nama : Rifatul Adabiyah  
 NIM/Angkatan : 110210153002/2011  
 Jurusan/Program Studi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi  
 Judul Skripsi : Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan PSB (*Phosphate Solubilizing Bacteria*) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)  
 Dosen Pembimbing I : Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP  
 Kegiatan Konsultasi :

No.	Hari/Tanggal	Kegiatan	Tanda Tangan Pembimbing
1	Kamis, 19 Juni 2014	Pengajuan Judul	
2	Kamis, 14 Agustus 2014	Konsultasi Matriks Penelitian	
3	Jum'at, 17 Oktober 2014	Penyerahan Bab 1, 2, dan 3	
4	Rabu, 12 November 2014	Revisi Bab 1, 2, dan 3	
5	Selasa, 25 November 2014	Revisi Bab 1, 2, dan 3	
6	Rabu, 3 Desember 2014	ACC Seminar Proposal	
7	Jum'at, 19 Desember 2014	Seminar Proposal	
8	Selasa, 27 Januari 2015	Konsultasi Hasil Uji Akhir	
9	Selasa, 24 Februari 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
10	Selasa, 3 Maret 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
11	Kamis, 12 Maret 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
12	Jum'at, 20 Maret 2015	ACC Ujian Skripsi	

**Catatan:**

1. Lembar ini harus dibawa dan diisi setiap melakukan konsultasi
2. Lembar ini harus dibawa sewaktu seminar proposal skripsi dan ujian skripsi



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN**  
 Jalan Kalimantan III/3 Kampus Bumi Tegal Boto Telp./Fax. 0331-334988 Jember 68121

**LEMBAR KONSULTASI PENYUSUNAN SKRIPSI**  
**(Dosen Pembimbing II)**

Nama : Rifatul Adabiyah  
 NIM/Angkatan : 110210153002/2011  
 Jurusan/Program Studi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi  
 Judul Skripsi : Uji Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskular (*Glomus* spp.) dan PSB (*Phosphate Solubilizing Bacteria*) dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* serta Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)  
 Dosen Pembimbing II : Dra. Pujiastuti, M.Si  
 Kegiatan Konsultasi :

No.	Hari/Tanggal	Kegiatan	Tanda Tangan Pembimbing
1	Kamis, 19 Juni 2014	Pengajuan Judul	
2	Kamis, 14 Agustus 2014	Konsultasi Matriks Penelitian	
3	Jum'at, 17 Oktober 2014	Penyerahan Bab 1, 2, dan 3	
4	Rabu, 12 November 2014	Revisi Bab 1, 2, dan 3	
5	Jum'at, 5 Desember 2014	Revisi Bab 1, 2, dan 3	
6	Rabu, 3 Desember 2014	ACC Seminar Proposal	
7	Jum'at, 19 Desember 2014	Seminar Proposal	
8	Kamis, 29 Januari 2015	Konsultasi Hasil Uji Akhir	
9	Senin, 23 Februari 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
10	Selasa, 3 Maret 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
11	Rabu, 11 Maret 2015	Revisi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
12	Jum'at, 20 Maret 2015	ACC Ujian Skripsi	

**Catatan:**

1. Lembar ini harus dibawa dan diisi setiap melakukan konsultasi
2. Lembar ini harus dibawa sewaktu seminar proposal skripsi dan ujian skripsi