



**PENGARUH INOKULASI GANDA *MYCORRHIZA HELPER BACTERIA*
(MHB) DAN MIKORIZA (*Glomus* spp.) DALAM MENGENDALIKAN
POPULASI NEMATODA *Pratylenchus coffeae* Z. DAN
MENINGKATKAN PERTUMBUHAN
TANAMAN KOPI ARABIKA
(*Coffea arabica* L.)**

SKRIPSI

Oleh
Nur Rohmah Heny Handayani
NIM 110210103046

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



**PENGARUH INOKULASI GANDA *MYCORRHIZA HELPER BACTERIA*
(MHB) DAN MIKORIZA (*Glomus* spp.) DALAM MENGENDALIKAN
POPULASI NEMATODA *Pratylenchus coffeae* Z. DAN
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
Nur Rohmah Heny Handayani
NIM 110210103046

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

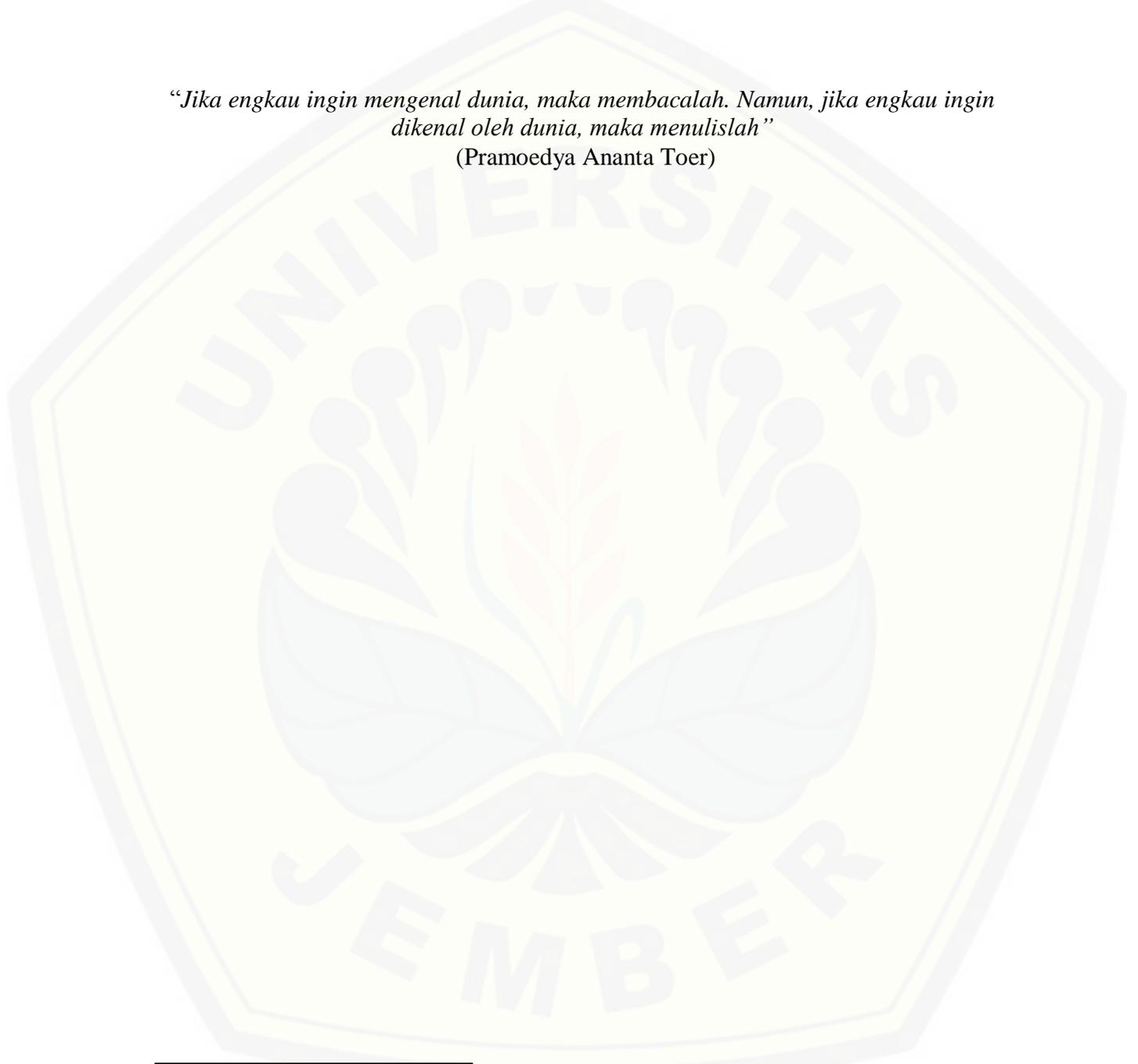
PERSEMBAHAN

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 Iswianto dan Ibunda Sulastri yang selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materil serta dukungan doa yang tiada henti;
2. Dosen pembimbing skripsi yang senantiasa membimbing dan membantu terselesaikannya skripsi ini, Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP dan Moch. Iqbal M.Pd.
3. Bapak dan ibu guru dari TK, SDN, SMPN, SMAN, sampai PTN yang telah memberikan bekal ilmu yang bermanfaat dan bimbingan dengan sepenuh hati
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang kebanggakan.

MOTTO

“Jika engkau ingin mengenal dunia, maka membacalah. Namun, jika engkau ingin dikenal oleh dunia, maka menulislah”
(Pramoedya Ananta Toer)



*http://www.solopos.com/2014/01/07/mimbar-kampus-budaya-literer-untuk-melawan-penjajahan-480121?mobile_switch=mobile

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Rohmah Heny Handayani

NIM : 110210103046

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza (*Glomus* spp.) dalam Mengendalikan Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffeae 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 bertanggung jawab 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, Mei 2015

Yang menyatakan,

Nur Rohmah Heny H

NIM 110210103046

SKRIPSI

**PENGARUH INOKULASI GANDA *MYCORRHIZA HELPER BACTERIA*
(MHB) DAN MIKORIZA (*Glomus spp.*) DALAM MENGENDALIKAN
POPULASI NEMATODA *Pratylenchus coffeae* Z. DAN
MENINGKATKAN PERTUMBUHAN
TANAMANKOPI ARABIKA
(*Coffea arabica* L.)**

Oleh

Nur Rohmah Heny Handayani

NIM 110210103046

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP

Dosen Pembimbing Anggota : Mochammad Iqbal, M. Pd

PERSETUJUAN

**PENGARUH INOKULASI GANDA *MYCORRHIZA HELPER BACTERIA*
(MHB) DAN MIKORIZA (*Glomus spp.*) DALAM MENGENDALIKAN
POPULASI NEMATODA *Pratylenchus coffeae* Z. DAN
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 : Nur Rohmah Heny Handayani
NIM : 110210103046
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Biologi
Angkatan Tahun : 2011
Daerah Asal : Jember
Tempat, Tanggal Lahir : Jember, 20 Juli 1993

Disetujui Oleh

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

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

Mochammad Iqbal, M.Pd
NIP. 19880120 201212 1 001

PENGESAHAN

Skripsi Berjudul “Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza (*Glomus* spp.) dalam Mengendalikan Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)” telah diuji dan disahkan pada:

hari :
tanggal :
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

Mochammad Iqbal M.Pd
NIP. 19880120 201212 1 001

Penguji utama,

Penguji anggota,

Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes
NIP. 19600309 198702 2 002

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

Mengesahkan
Dekan FKIP Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.
NIP. 19540501 198303 1 005

RINGKASAN

Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza (*Glomus* spp.) dalam Mengendalikan Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.); Nur Rohmah Heny H; 110210103046; 2015; 103 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi; Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Indonesia merupakan negara penghasil kopi terbesar di Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam. Indonesia mampu memproduksi sedikitnya 748 ribu ton atau 6,6% dari produksi kopi dunia pada tahun 2012. Terdapat dua jenis kopi yang diperdagangkan oleh Indonesia yaitu Kopi Arabika dan Kopi Robusta. Harga Kopi Arabika di pasar internasional jauh lebih prospektif dibandingkan Kopi Robusta. Hal tersebut diakibatkan oleh ketidakseimbangan antara jumlah permintaan dan jumlah ketersediaan. Kurangnya pasokan Kopi Arabika ini, memberikan peluang besar bagi Indonesia untuk melakukan perluasan lahan dengan konversi lahan Kopi Robusta ke lahan Kopi Arabika untuk meningkatkan produksi Kopi Arabika. Konversi lahan ini ternyata menimbulkan masalah baru yakni munculnya serangan nematoda.

Nematoda parasit merusak akar kopi dan berpotensi besar menurunkan produktivitas kopi. Jenis nematoda yang banyak di temukan ada 2 yaitu *Radopholus* spp. dan *Pratylenchus coffeae*. Melihat potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh *P. coffeae*, banyak dilakukan pengendalian terhadap nematoda ini diantaranya dengan menggunakan nematisida, tetapi hal tersebut berpengaruh terhadap keberlangsungan fungsi lingkungan dalam mendukung daya tanam tumbuhan sehingga menimbulkan berbagai perdebatan di berbagai kalangan. Untuk menciptakan pengendalian yang ramah lingkungan dan sesuai tuntutan konsumen seperti keamanan pangan maka pengendalian biologis dengan menggunakan organism antagonis sangat diperlukan. Organisme antagonis *Pratylenchus* spp yang paling banyak dilaporkan adalah mikoriza. Akibat adanya nematoda ternyata kerapatan mikoriza pun menurun maka diperlukannya pemanfaatan organisme pendukung yang disebut *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) sehingga peranan mikoriza dalam menekan populasi nematoda bisa meningkat. Ternyata di alam, interaksi antara mikoriza dan tanaman inang tidak hanya merupakan interaksi mikoriza dan inang saja melainkan adanya dukungan organisme pendukung mikoriza (MHB) sehingga disebut dengan lingkungan mikorizosfer. MHB yang sering digunakan adalah *Pseudomonas diminuta* dan *Bacillus subtilis* yang telah terbukti mampu menurunkan Populasi Nematoda *P. coffea*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh inokulasi ganda MHB *P. diminuta* dan *B. Subtilis* dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap Pengendalian populasi Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Z. dan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika, untuk mengetahui perlakuan dari Inokulasi ganda yang paling efektif

terhadap pengendalian populasi Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan pertumbuhan tanaman kopi.

Penelitian ini dilakukan di *Green house* milik Dr.Iis Nur Asyiah S.P, M.P. Perum, Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa timur. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK). Penelitian ini mempunyai 8 perlakuan tiap perlakuan terdapat 5 ulangan dan tiap ulangan terdapat 2 sampel tanaman sehingga total tanaman adalah 80 buah. Terdiri dari kelompok kontrol positif tanpa inokulasi (Perlakuan A), kelompok kontrol negatif (K-) dengan inokulasi Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan B), Kelompok MHB *B. Subilis* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml+100 *Glomus* spp+ *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan C). Kelompok MHB *B. Subilis* dengan kerapatan 2×10^8 cfu/ml+ 100 *Glomus* spp+ *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan D), kelompok pemberian MHB *P. diminuta* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml +100 *Glomus* spp+ *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan E), Kelompok MHB *P. diminuta* dengan kerapatan 2×10^8 cfu/ml +100 *Glomus* spp+ *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan F). Kelompok 100 *Glomus* spp+ *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (Perlakuan G). Kelompok Nematisida karbofuran 5 gr/pot (Perlakuan H).

Pengamatan dilakukan selama 4 bulan. Pengukuran parameter pertumbuhan yang meliputi; tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun serta skor kerusakan batang dilakukan setiap 2 minggu, kemudian di akhir pengamatan dilakukan pemanenan tumbuhan untuk diukur berat basah, berat kering, skor kerusakan akar, dan juga ekstraksi nematoda untuk menghitung populasi nematoda parasit.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa inokulasi ganda MHB dan *Glomus* spp. mampu mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*. serta meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi. Terbukti dari hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa inokulasi ganda MHB dan *Glomus* spp. dapat menurunkan populasi *Pratylenchus coffeae* secara signifikan ($P=0.000$) pada semua baik yang diakar, tanah dan total. Penurunan populasi nematoda *Pratylenchus coffeae* berkisar antara 87,4%-97,02%. Selain itu inokulasi ganda ini juga berpengaruh secara signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika. Pengaruh inokulasi ganda terhadap parameter pertumbuhan yang terdiri dari tinggi tanaman ($P=0,037$),Jumlah daun (0,042), Diameter batang (0,013) serta massa tanaman ($P=0,000$) membuktikan bahwa memberikan pengaruh yang signifikan.Kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan adalah Inokulasi Ganda MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dan *Glomus* spp. dapat mengendalikan populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*. dan meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza (*Glomus* spp.) dalam Mengendalikan Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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 *Phosphate Solubilizing Bacteria* (PSB)” yang didanai oleh hibah KKP3N dektan 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 FKIP Universitas Jember;
3. Drs. Suratno, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP., selaku Dosen pembimbing Utama, dan Mochammad Iqbal M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. dan Dra. Pujiastuti selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dalam penulisan skripsi ini;

6. Semua dosen FKIP Pendidikan Biologi, atas semua ilmu yang diberikan selama menjadi mahasiswa Pendidikan Biologi;
7. Ir. Soekadar Wiryadiputra S.U., selaku Kepala Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Ir. Slamet Haryono serta Bapak Rosidi selaku Teknisi Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia;
8. Teknisi laboratorium di Program Studi Pendidikan Biologi, Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian dan Laboratorium Biomedik Farmasi;
9. Keluarga besarku yang selalu memberi semangat, doa, dan dukungan baik moral maupun materi;
10. Saudara-saudaraku kak Eza, Ali Fauzi, Lisa dan Imah serta keponakanku Wildan yang selalu memberiku semangat dan kasih sayangnya.
11. Teman-temanku angkatan 2011 Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, yang telah memberikan dukungan serta motivasi.
12. Seorang sahabat, teman, dan seorang spesial, Dwi Nur Wahyono yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan tiada bosan memberiku motivasi.
13. Sahabat-sahabatku X Frennd Mala, Aji, Meli, Okta, Devina, Kenis, Dabi, Ivon Yuli, Intan, Wontin, Lia, Putri, Binti, Winda dan “*gank kopi*”(Mbk Vica, MbK Pete, MbK Nuy, MbK Novita, Mz Irfan dan Rifa) yang selalu memberiku dukungan dan semangat;
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, Mei 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	8
2.1.1. Sistematika Kopi Arabika	8
2.1.2. Deskripsi Kopi Arabika.....	9
2.1.3. Morfologi Tanaman Kopi Arabika	9
2.1.4. Syarat tumbuh Kopi Arabika.....	11
2.1.5. Patogen penghambat pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.....	12
2.2 Nematoda	13

2.2.1. Deskripsi Nematoda	13
2.2.2. Deskripsi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	14
2.2.3. Morfologi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	14
2.2.4. Klasifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	17
2.2.5. Bioekologi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	18
2.2.6. Siklus Hidup Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	18
2.2.7. Gejala Serangan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	20
2.2.8. Upaya Pengendalian Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	22
2.3 Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp.....	23
2.3.1. Deskripsi <i>Glomus</i> spp	23
2.3.2. Morfologi Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp	24
2.3.3. Klasifikasi Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp.	26
2.3.4. Ekologi Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp.	27
2.3.5. Biologi Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp	28
2.3.6. Peranan Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp.	28
2.3.7. Proses infeksi Mikoriza MVA <i>Glomus</i> spp	30
2.4 <i>Micorrhiza Helper Bacteria</i> (MHB)	33
2.4.1. Deskripsi MHB	33
2.4.2. Jenis-jenis MHB	33
2.4.3. Biologi <i>Pseudomonas diminuta</i>	34
2.4.4. Biologi <i>Bacillus subtilis</i>	35
2.4.5 Peranan bakteri MHB dalam membantu efektifitas peranan mikoriza	36
2.4.6 Peranan bakteri MHB sebagai PGPR	38
2.4.7 Peranan bakteri MHB sebagai Pengendali nematoda.....	39
2.4.8 Inokulasi Ganda MHB dan Mikoriza	40
2.5 Landasan teoritis	41
2.5 Hipotesis	42
BAB 3 METODE PENELITIAN	43

BAB 3 METODE PENELITIAN	43
3.1 Jenis penelitian	43
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.3 Identifikasi Variabel Penelitian.....	43
3.3.1. Variabel Bebas	43
3.3.2. Variabel Terikat	43
3.3.3. Variabel Kontrol	44
3.4 Definisi Operasional	44
3.5 Desain Penelitian	44
3.6 Populasi dan Sampel Penelitian	45
3.6.1. Populasi Penelitian	45
3.6.2. Sampel Penelitian	45
3.7 Alat dan Bahan Penelitian	45
3.7.1. Alat Penelitian	45
3.7.2. Bahan Penelitian.....	46
3.8 Prosedur Penelitian	46
3.8.1. Tahap Persiapan Media Tanam	46
3.8.2. Tahap Persiapan <i>Glomus</i> spp.	47
3.8.3. Tahap Perhitungan Mikoriza <i>Glomus</i> spp.....	48
3.8.4. Tahap kalkulasi Mikoriza <i>Glomus</i> spp.	49
3.8.5. Tahap Persiapan <i>Pratylenchus coffeae</i>	49
3.8.6. Bibit Tahap Identifikasi <i>Pratylenchus coffeae</i>	50
3.8.7. Tahap Perhitungan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	50
3.8.8. Tahap Pembuatan dan Pengenceran Bakteri.....	50
3.8.9. Inokulasi Penelitian	52
3.9 Parameter Penelitian	53
3.9.1 Tinggi tanaman (cm)	53
3.9.2 Diameter batang (mm)	53
3.9.3 Jumlah daun.	53

3.9.4 Kerusakan Tajuk.....	54
3.9.5 Massa basah Tajuk	54
3.9.6 Massa kering Tajuk	54
3.9.7 Populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	54
3.9.8 Derajat Infeksi Mikoriza <i>Glomus</i> spp.....	55
3.10 Analisis Data.....	57
3.11 Alur Penelitian	58
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Hasil Penelitian	60
4.1.1. Identifikasi Sampel	60
4.1.1.1 Identifikasi Bakteri MHB	60
4.1.1.2 Identifikasi <i>Glomus</i> spp.	62
4.1.1.3 Identifikasi <i>Pratylenchus coffeae</i>	63
4.1.2. Pengaruh pemberian inokulasi ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	64.
4.1.2.1 Pengaruh pemberian inokulasi ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp.dalam mengendalikan populasi Nematoda parasit <i>P. coffeae</i> pada akar tanaman Kopi Arabika dan tanah.....	65
4.1.2.2 Pengaruh pemberian inokulasi ganda MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap efektifitas derajat infeksi Mikoriza <i>Glomus</i> spp.....	66
4.1.2. 3 Pengaruh pemberian inokulasi ganda Bakteri MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap kerusakan Akar Tanaman Kopi Arabika.	70
4.1.2.4. Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. Terhadap Skor Kerusakan Tajuk Tanaman Kopi Arabika.....	72

4.1.3 Pengaruh Inokulasi ganda MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.	73
4.1.3.1 Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata tinggi Tanaman Kopi Arabika.	73
4.1.3.2. Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata diameter batang Tanaman Kopi Arabika.	76
4.1.3.3. Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap Rerata Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika.	79
4.1.3.4 Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap massa basah akar, tajuk, serta massa kering tajuk tanaman Kopi Arabika.	81
4.2 PEMBAHASAN	83
4.2.1. Hasil identifikasi sampel	84
4.2.1.1 Pembahasan Hasil Identifikasi Bakteri MHB.....	84
4.2.1.2 Pembahasan Hasil Identifikasi <i>Glomus</i> spp.	86
4.2.1.3 Pembahasan Hasil Identifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	86
4.2.2 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap Populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	87
4.2.3. Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika	93
BAB 5 PENUTUP	100
DAFTAR BACAAN	101

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Distribusi akar Tanaman Kopi Arabika	10
Tabel 2.2 Syarat Tumbuh Kopi Arabika.....	12
Tabel 4.1 Hasil Uji Biokimia untuk identifikasi Bakteri MHB.	61
Tabel 4.2 Pengaruh Inokulasi ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata populasi Nematoda m <i>Pratylenchus coffeae</i> pada akar dan tanah	65
Tabel 4.3 Pengaruh Inokulasi ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata Derajat Infeksi <i>Glomus</i> spp. dan Skor kerusakan akar Tanaman Kopi Arabika	69
Tabel 4.4. Pengaruh Inokulasi ganda antara Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata skor kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika	72
Tabel 4.5 Pengaruh inokulasi ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata tinggi tanaman Kopi Arabika	74
Tabel 4.6. Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata diameter batang tanaman Kopi Arabika	77
Tabel 4.7 Pengaruh Inokulasi ganda antara Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap rerata jumlah daun Tanaman Kopi Arabika	79
Tabel 4.8 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan <i>Glomus</i> spp. terhadap berat basah akar dan tajuk, berat kering tajuk, tanaman Kopi Arabika.	83

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tanaman Kopi Arabika	10
Gambar 2.2 Morfologi Nematoda <i>P. coffeae</i>	15
Gambar 2.3 Bagian Tubuh Nematoda <i>P. coffeae</i>	16
Gambar 2.4 Tipe <i>stylet</i> dan <i>knoob P. coffeae</i>	16
Gambar 2.5 Siklus Hidup dan Penyebaran Penyakit Nematoda	19
Gambar 2.6 Gejala kerusakan akar akibat Nematoda <i>P. coffeae</i>	21
Gambar 2.7 Gejala akibat serangan Nematoda <i>P. coffeae</i>	22
Gambar 2.8 Spora <i>Glomus</i> spp.....	26
Gambar 2.9 Penampang longitudinal akar yang terinfeksi fungi MVA.....	31
Gambar 3.1 Cawan Penghitung.....	48
Gambar 3.2 Skema Penempatan Inokulasi Ganda	52
Gambar 4.1 Mikoriza <i>Glomus</i> spp.....	62
Gambar 4.2 Nematoda parasit <i>P. coffeae</i> Jantan.....	63
Gambar 4.3 Nematoda parasit <i>P. coffeae</i> Betina	64
Gambar 4.4 Akar tanpa infeksi <i>Glomus</i> spp.	67
Gambar 4.5 Akar terinfeksi Nematoda parasit <i>P. coffeae</i>	67
Gambar 4.6 Akar terinfeksi <i>Glomus</i> spp.	68
Gambar 4.7 Skor kerusakan Akar tiap–tiap perlakuan.....	71
Gambar 4.8 Grafik rerata tinggi Tanaman Kopi Arabika	76
Gambar 4.8 Grafik rerata diameter Tanaman Kopi Arabika.	78
Gambar 4.9 Grafik rerata Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Matrik Penelitian	112
Lampiran B. Desain Tata Letak Unit Percobaan	115
Lampiran C. Data Hasil Penelitian	117
Lampiran D. Data Hasil Analisis SPSS	131
Lampiran E. Surat Konsultasi Dosen Pembimbing	172
Lampiran F. Foto Kegiatan	174
Lampiran G. Gambar Tanaman Bibit Kopi pada Akhir Penelitian	178

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Indonesia merupakan negara penghasil kopi terbesar di Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam. Indonesia mampu memproduksi sedikitnya 748 ribu ton atau 6,6% dari produksi kopi dunia pada tahun 2012 (*International Coffee Organization*, 2012). Terdapat dua jenis kopi yang diperdagangkan oleh Indonesia yaitu Kopi Arabika dan Kopi Robusta (Hartono, 2013). Harga Kopi Arabika di pasar internasional lebih prospektif dibandingkan Kopi Robusta. Hampir 75% kebutuhan kopi di dunia merupakan jenis Kopi Arabika. Kebutuhan jenis Kopi Arabika ini ternyata tidak seimbang dengan produksi Kopi Arabika dari para negara produsen kopi dunia sehingga memiliki harga yang lebih tinggi dengan daya saing yang tergolong lebih rendah jika di bandingkan dengan Kopi Robusta (Siahaan, 2013).

Setiap tahun kebutuhan akan kopi semakin meningkat terlebih Kopi Arabika sehingga tidak heran harga kopi di pasaran pun relatif naik per tahunnya. Seperti dua bulan terakhir ini, harga kopi jenis Robusta berangsur naik tetapi hanya 20 persen dari harga semula, dari Rp 20 ribu per kilogram menjadi Rp 24 ribu per kilogram. Sementara harga kopi jenis Arabika mengalami kenaikan hingga 80 persen, dari Rp 45 ribu per kilogram menjadi Rp 80 ribu per kilogram (Adliyanto, 2014).

Selisih harga yang 4 kali lipat itu membuktikan bahwa nilai permintaan Kopi Arabika jauh lebih besar dibandingkan Kopi Robusta dan produksi Kopi Arabika jauh lebih kecil dibandingkan Kopi Robusta. Kurangnya pasokan kopi jenis ini mengakibatkan budidaya Kopi Arabika di Indonesia masih terbuka lebar. Banyak petani kopi melakukan konversi lahan dari lahan Kopi Robusta menjadi lahan Kopi Arabika sebagai upaya untuk meningkatkan nilai produksi Kopi Arabika yang lebih menguntungkan dan efisiensi lahan. Di Jawa Timur program konversi lahan ini, Pemerintah menargetkan hingga mencapai 2000 hektar (Adliyanto, 2014).

Peluang konversi lahan yang telah dicanangkan oleh pemerintah untuk meningkatkan produksi Kopi Arabika ternyata tidak mudah dilakukan. Program konversi Kopi Robusta menjadi Kopi Arabika dalam meningkatkan pendapatan hasil perkebunan ini sebagian besar menemui beberapa kendala. Kegiatan yang banyak dilakukan pada lahan ketinggian menengah, yaitu suatu lahan yang terletak pada ketinggian tempat 700-900 mdpl tersebut ternyata menimbulkan masalah baru, yaitu munculnya serangan nematoda yang semula tidak menimbulkan gejala kerusakan terhadap Kopi Robusta yang ditanam sebelumnya. Setelah ditanami Kopi Arabika tanaman tumbuh meranggas dengan ranting mengering tanpa daun setelah pembuahan pertama. Tanaman akhirnya mati karena akarnya habis, sedangkan yang masih bertahan hidup kondisinya lemah dan berubah menjadi sangat rentan terhadap serangan penyakit (Hulupi, 2007). Nematoda parasit ini merusak pada bagian akar tanaman kopi dan berpotensi besar menurunkan produktivitas kopi (Siahaan, 2013).

Pratylenchus coffeae adalah salah satu nematoda yang paling umum dan membahayakan tanaman kopi khususnya Kopi Arabika. Di Indonesia, nematoda ini banyak ditemukan hampir di semua provinsi penghasil kopi, pada ketinggian antara nol sampai lebih dari 1.000 mdpl. *P. coffeae* ini menyebabkan kerusakan akar lebih besar terhadap Kopi Arabika dibandingkan dengan Kopi Robusta (Wiryadiputra, 2010). *P. coffeae* mampu menyebabkan kerugian total dalam budidaya tanaman Kopi Arabika. *P. coffeae* dapat menyebabkan kematian pada tanaman Kopi hal itu diakibatkan rusaknya akar tanaman. Persebaran populasi *P. coffeae* sangat optimal pada kedalaman kurang dari 30 cm, kedalaman tanah tersebut hampir mendekati sebaran kepadatan akar Kopi Arabika yang hanya mencapai 50 cm, dengan 70% akar kopi terinfeksi *P. coffeae* dan tersisa 29% saja dari total akar (Kumar, 1982; Hulupi dan Mulyadi, 2007).

P. coffeae mampu menginfeksi akar tanaman inang pada fase juvenil dan dewasa. Kumar (1982) menyebutkan bahwa *P. coffeae* ini menyerang jaringan kortek akar akibatnya akar serabut menjadi rusak. Kerusakan akar ini mengakibatkan tidak berfungsinya penyerapan unsur hara dan mineral oleh rambut akar. Kerusakan pada

akar ini pastinya juga akan mempengaruhi proses fotosintesis dan transpirasi (Melakeberhan, *et.al.*, 1987 dalam Mustika, 2005), sehingga pertumbuhan tanaman terhambat dan akhirnya produktivitas tanaman pun menjadi menurun, apabila berlanjut maka akan mengakibatkan kematian.

Melihat potensi kerusakan yang ditimbulkannya maka pengendalian *P. coffeae* mutlak diperlukan. Pengendalian Nematoda *P. coffeae* di Indonesia saat ini, masih cenderung menggunakan nematisida kimia karena sejauh ini studi tentang pengendalian biologis nematoda parasit kopi belum menghasilkan produk yang siap digunakan oleh petani. Padahal penggunaan nematisida kimia yang tinggi dapat mempengaruhi keberlangsungan fungsi lingkungan dalam mendukung daya tanam tumbuhan sehingga menimbulkan berbagai perdebatan di berbagai kalangan. Adanya kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh penggunaan nematisida kimia menuntut adanya pengendalian Nematoda *P. coffeae* secara biologis. Pengendalian biologis ini bertujuan menjadi pengendalian yang ramah lingkungan dan berdampak terhadap kualitas kopi yang sesuai dengan tuntutan konsumen seperti keamanan pangan, pelestarian lingkungan serta peningkatan kesejahteraan petani dan nilai sosial lainnya yang sesuai dengan ideologi *Green economy*.

Pengendalian agen hayati secara biologis dapat dilakukan dengan penggunaan organisme antagonis. Organisme antagonis *Pratylenchus* spp. yang paling banyak dilaporkan adalah populasi jamur tanah, nematoda entomopatogen, bakteri dan tanaman yang bersifat nematicidal (Castillo, 2007). Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa dengan adanya inokulasi mikoriza mampu menghambat penetrasi dan perkembangan nematoda (Jumjunidang, 2009; Serfoji, 2010; Asyiah *et al.*, 2012).

Menurut Song (2011) ada lima mekanisme ketahanan tanaman yang diinfeksi mikoriza, salah satunya mengaktifasi sejumlah molekul signal ketahanan seperti *Hydrogen peroxidase*, *Salicylic acid* (SA), dan *Jasmonic acid* (JA) pada tanaman inang. Hal ini untuk membantu mengaktifkan gen yang berhubungan dengan ketahanan yaitu *Pathogenesis related protein* (PR), dan senyawa fenolik.

Efektivitas infeksi setiap jenis mikoriza tergantung dari jenis mikoriza itu sendiri, jenis tanaman dan jenis tanah serta interaksi antara ketiganya (Brundrett *et al.*,1996). MVA dan Ektomikoriza adalah yang paling banyak diteliti (Nunang, 2011). Endomikoriza banyak mendapat perhatian karena penyebarannya lebih luas dan dapat berasosiasi dengan hampir 90% spesies tanaman tingkat tinggi, salah satunya adalah Endomikoriza MVA. Beberapa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan peranan MVA ternyata mampu menekan reproduksi *Radophilis similis* yang merupakan salah satu nematoda akar serupa dengan *P.coffeae* (Jumjunidang, 2009). Pemberian *Glomus* spp. dapat menurunkan infeksi *Meloidogyne incognata* dan *P. penetrans* (Talavera, 2001). *Glomus* spp. juga telah terbukti mampu menurunkan Populasi Nematoda *P. coffeae* (Noviana, 2014).

Kerapatan mikoriza dalam tanah menurun secara nyata dengan adanya nematoda (Baon,1994). Kerapatan mikoriza sebenarnya bisa ditingkatkan dengan adanya bakteri pendukung *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) sehingga peranan mikoriza dalam menekan populasi nematoda bisa meningkat. Di alam, simbiosis mikoriza dan akar tanaman tidak hanya sebagai sebuah interaksi antara tanaman dan fungi saja, tetapi juga harus mengikut sertakan bakteri pendukung. Hubungan bakteri antagonis ini dengan tanaman menghasilkan lingkungan “*mycorrhizosphere*” (Frey-Klett dan Garbaye, 2005).

Pengaruh lingkungan mikorizosfer dapat menyebabkan peningkatan nutrisi, pertumbuhan, dan ketahanan penyakit tanaman (Linderman, 1988; Frey-Klett dan Garbaye, 2005). Beberapa peneliti menemukan bahwa bakteri yang diisolasi dari fungi mikoriza dapat menstimulasi infeksi mikoriza, produksi spora dan juga perlawanan terhadap patogen tanaman (Garbaye, 1994; Von, 1993; Barea, 1998).

Penggunaan bakteri jenis MHB diantaranya dari genus *Pseudomonas* dan *Bacillus*. *Pseudomonas diminuta* dan *Basillus subtilis* adalah beberapa dari Bakteri MHB yang telah diteliti mampu mengendalikan populasi nematoda *P.coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (Fauzi, 2014). Bakteri *Basillus subtilis* dan Bakteri *Pseudomonas* sp. menghasilkan sekresi berupa enzim protease,

selulase, kitinase dan juga sebagai pelarut fosfat. Enzim-enzim ini berguna untuk mengendalikan nematoda khususnya Nematoda *Pratylenchus coffeae* (Harni, 2007). Bakteri mampu menginduksi mekanisme pertahanan tanaman yang dikenal dengan *induced systemic resistance* (ISR) (Figuiredo, 2010). Bakteri ini bukan hanya membantu peranan mikoriza dan pengendalian perkembangan nematoda saja melainkan juga menghasilkan hormon zat pengatur tumbuh (ZPT) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sehingga di sebut dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR). Bakteri ini dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan cara meningkatkan ketersediaan hara terutama fosfat dan merangsang pertumbuhan dengan memproduksi hormon pertumbuhan yaitu *auxin*, dan sitokinin. Kompleksitas interaksi di dalam mikorizosfer dapat diilustrasikan dengan rancangan penelitian inokulasi ganda.

Berdasarkan latar belakang di atas maka perlu dilakukan penelitian lebih kompleks dari penelitian tunggal sebelumnya yakni pengaruh mikoriza *Glomus* spp. saja (Noviana, 2014) dan Pengaruh MHB saja (Fauzi, 2014). Guna mewujudkan kompleksitas interaksi pemanfaatan mikroba di alam secara alamiah yang membentuk suatu mikorizosfer kompleks yang kuat menekan populasi Nematoda *P. coffeae* dan mampu meningkatkan pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika maka dilakukan penelitian lanjutan yang berjudul “Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza (*Glomus* spp.) dalam Mengendalikan Populasi Nematoda *P. coffeae*, dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika”. Penelitian ini juga merupakan bagian dari penelitian besar Dr Iis Nur Asyiah SP.,MP yang berjudul “Optimalisasi Peranan Mikoriza dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* (>80%) dan Meningkatkan Ketersediaan P Tanah Pada Tanaman Kopi Dengan Penambahan *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan *Phosphate Solubilizing Bacteria* (PSB)”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah inokulasi ganda antara Bakteri MHB dan *Glomus* spp. mampu mengendalikan Populasi Nematoda *P. coffeae*?
2. Apakah inokulasi ganda antara Bakteri MHB dan *Glomus* spp. mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan dan mengurangi kerancuan dalam menafsirkan masalah yang terkandung di dalam penelitian ini, maka permasalahan yang dibahas, dibatasi seperti berikut:

- a. *Glomus* spp. dalam fase spora yang diperoleh dari UGM Yogyakarta.
- b. Jenis MHB yang dipakai *P. diminuta* dan *B. subtilis* yang digunakan untuk penelitian yang diperoleh koleksi Laboratorium Mikrobiologi Tanah UNPAD.
- c. Bibit Kopi Arabika yang digunakan harus memiliki daun 8, yang diambil dari semai bibit Kopi Arabika yang berusia 2 bulan di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember.
- d. Nematoda *P. coffeae* yang digunakan berasal dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember dari *juvenile* hingga dewasa.
- e. Pengamatan pertumbuhan bibit Kopi Arabika meliputi pengukuran terhadap diameter batang, tinggi tanaman, jumlah daun serta massa basah maupun massa kering.
- f. Pengendalian Nematoda *P. coffeae* diamati dari perhitungan jumlah populasi Nematoda *P. coffeae* di dalam tanah dan akar tanaman, skor kerusakan tajuk, serta skor kerusakan akar pada saat 16 minggu setelah inokulasi.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh inokulasi ganda antara *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dalam mengendalikan Populasi Nematoda *P. coffeae*.

2. Mengetahui pengaruh inokulasi ganda antara *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dalam meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memperoleh beberapa manfaat, yaitu:

- a. Bagi peneliti, dapat membuktikan secara ilmiah bahwa ada pengaruh yang signifikan terhadap kombinasi *Glomus* spp. dan MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dalam mengendalikan Nematoda *P. coffeae* pada Kopi Arabika dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.
- b. Bagi peneliti lain, dapat memberikan sumbangan pemikiran sebagai motivasi dalam meneliti lebih lanjut mengenai formulasi yang berkaitan dengan pemanfaatan *Glomus* spp. dan MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*).
- c. Bagi masyarakat, dapat mengetahui formulasi yang tepat dalam efektifitas mengendalikan Nematoda *P. coffeae* dengan menggunakan bionematisida yang lebih ramah lingkungan.
- d. Manfaat bagi lembaga adalah dapat memberikan tambahan pengetahuan dan wawasan tentang adanya efek positif dari kombinasi salah jenis endomikoriza MVA (*Glomus* spp.) dan salah satu MHB yaitu (*P. diminuta* atau *B. subtilis*) dalam mengendalikan Nematoda Parasit *P. coffeae* dan memberi alternatif cara pengendalian dengan menggunakan pengendalian biologis sehingga dapat terjadi pengurangan penggunaan pupuk anorganik dan menghasilkan bionematisida yang ramah lingkungan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kopi Arabika.

Tanaman Kopi Arabika berasal dari Ethiopia kemudian pengembangan teknik pengolahannya dilakukan oleh Bangsa Arab. Bangsa Arab yang di kala itu melakukan perdagangan nusantara berhasil membuat kopi masuk Di Indonesia. Cita rasa yang khas dari kopi mengakibatkan mulailah terjadinya penyebaran bibit kopi terutama Kopi Arabika oleh Pemerintah Belanda di nusantara terutama Di Pulau Jawa (Najiyanti dan Danarti, 2007).

2.1.1 Sistematika Kopi Arabika.

Klasifikasi dari Tanaman Kopi Arabika dalam sistematika tumbuhan adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridaeplantae
Infrakingdom	: Streptophyta
Divisi	: Tracheophyta
Subdivisi	: Spermatophytina
Infradivisi	: Angiospermae
Kelas	: Magnoliopsida
Super ordo	: Asteranae
Ordo	: Gentianales
Famili	: Rubiaceae
Genus	: <i>Coffea</i>
Spesies	: <i>Coffea arabica</i> L.

(Plantamor, 2012)

2.1.2 Deskripsi Kopi Arabika.

Tanaman ini Kopi Arabika termasuk dalam familia *Rubiaceae* (kopi-kopian) dan genus *Coffea*. Kopi arabika merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Konsumsi dunia mencapai 70% berasal dari jenis Kopi Arabika dan 26% dari Robusta sedangkan yang 1% merupakan jenis kopi yang lain (Raharjo, 2012).

Di Indonesia, produksi kopi jenis ini masih tergolong rendah karena proses budidaya Kopi Arabika ini cenderung lebih sulit jika dibandingkan Kopi Robusta. Kopi ini hanya dapat tumbuh optimal pada daerah dengan ketinggian 1000-2.250 meter dari permukaan laut.

2.1.3 Morfologi Tanaman Kopi Arabika.

Kopi Arabika merupakan tanaman dikotil yaitu tanaman yang memiliki biji berkeping dua sehingga susunan akar kopi merupakan jenis akar tunggang apabila ditanam dari bibit semain. Susunan akar kopi terdiri atas akar utama yang merupakan akar tunggang, akar lebar, akar lateral dan bulu atau rambut akar serta adanya tudung akar. Panjang akar kurang lebih 45-50cm (Yahmadi, 1976). Sistem perakaran pada kopi jenis ini tergolong unik karena meskipun merupakan akar tunggang tetapi sistem perakarannya dangkal yakni 0-30cm saja. Berat akar pada kedalaman tersebut juga merupakan konsentrasi terbanyak yaitu sekitar 90% (Yahmadi, 1976). Distribusi akar Kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah dapat diamati di dalam Tabel 2.1.

Distribusi akar dangkal mengakibatkan tanaman menahun ini tak bisa dikatakan pohon seperti kebanyakan tanaman dikotil lainnya. Kopi Arabika hanya merupakan tanaman perdu tahunan yang termasuk family *Rubiaceae* dan genus *Coffeae*. Batang tumbuh tegak dengan tinggi antara 7-12 m dan mempunyai cabang. Percabangan sekunder sangat aktif bahkan pada cabang primer di atas permukaan tanah membentuk kipas berjuntai menyentuh tanah. Panjang cabang primer rata-rata mencapai 123 cm sedangkan ruas cabangnya pendek-pendek. Batang tanaman Kopi Arabika berkayu, keras dan tegak dengan warna putih keabu-abuan. Batang tumbuh

dengan 2 macam cabang yaitu cabang orthotrop yang dapat menggantikan kedudukan batang bila dalam keadaan patah dan cabang plagiotrop sebagai tempat tumbuh bunga atau buah (Soedibyo, 1998).

Tabel 2.1. Distribusi akar Tanaman Kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah.

Lapisan tanah (cm)	Berat rata – rata / tanaman (gram)	% 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
Jumlah	207,96	100

(Yahmadi, 1976)



Gambar 2.1 Tanaman Kopi Arabika. A: Daun Kopi Arabika; B: Buah Kopi Arabika.
(Sumber: Jamaluddin, 2012)

Daun pada tanaman Kopi Arabika berbentuk bulat telur, ujungnya agak meruncing. Tumbuh pada batang, cabang dan ranting- ranting. Daun kopi pada cabang maupun batang tumbuh secara berhadapan. Pasangan daun pada cabang

terletak di dalam satu bidang sedangkan pasangan daun pada batang atau wiwilan tidak terletak pada satu bidang melainkan pada bidang yang bersilangan. Umumnya jumlah stomata pada daun ini sekitar 148-185 per mm² tetapi tergantung dari intensitas cahaya dalam lingkungannya (Yahmadi, 1976).

Bunga tanaman *Coffea arabica* L. merupakan bunga majemuk (muncul secara berkelompok). Bunga ini tumbuh di ketiak daun dengan bentuk menyerupai 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 ± 2 tahun. Awalnya bunga tanaman kopi ini keluar dari ketiak daun yang terletak pada batang utama atau cabang reproduksinya. tetapi bunga yang keluar dari kedua tempat tersebut biasanya tidak berkembang menjadi buah, jumlahnya terbatas, dan hanya dihasilkan oleh tanaman-tanaman yang masih muda. Bunga yang jumlahnya banyak akan keluar dari ketiak daun yang terletak pada cabang primer. Bunga ini berasal dari kuncup-kuncup sekunder dan reproduktif yang berubah fungsinya menjadi kuncup bunga. Kuncup bunga kemudian berkembang menjadi bunga secara serempak dan bergerombol (Soedibyo, 1998).

Struktur buah Kopi terdiri dari dua bagian yakni biji dan kulit buah. Kulit Kopi terdiri dari tiga bagian yaitu: 1) Lapisan bagian luar "*Exocarp*" yakni lapisan terluar buah yang akan berubah warna merah apabila masak, 2) Lapisan daging buah "*Mesocarp*" yaitu bagian daging buah yang mengandung serabut yang bila masak akan berlendir. Lapisan kulit tanduk atau kulit dalam "*Endocarp*" merupakan lapisan tanduk yang menjadi batas kulit dan biji yang keadaanya agak keras (AAK, 1988). Biji Kopi terdiri dari 2 bagian yaitu embrio "*endosperm*" dan Kulit ari atau kulit biji.

2.1.4 Syarat tumbuh Kopi Arabika.

Di Indonesia, Kopi Arabika tumbuh optimal pada ketinggian 700-1400 mdpl. Curah hujan yang optimal sekitar 1.500-2.250 mm per tahun. Masa perkembangan pembungaan terjadi ketika terdapat musim kering 2-3 bulan dengan suhu 15-25⁰C dengan kecepatan angin yang cenderung tenang. Tanaman kopi sangat dipengaruhi

oleh iklim dan tanah karena dapat mengubah morfologi, pertumbuhan tanaman serta timbulnya penyakit dan patogen (Prastowo, *et al.* 2010)

Kopi Arabika hanya dapat menghasilkan produksi dengan baik apabila ditanam pada tanah yang sesuai, yaitu tanah dengan kedalaman efektif yang cukup dalam (>100 cm), gembur, berdrainase baik, cukup tersedia air, unsur hara dan tersedianya bahan organik yang tercantum di dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Syarat tumbuh Kopi Arabika.

Syarat Tumbuh	Kopi Arabika
Iklim	
Tinggi Tempat (m dpl)	700 – 1.400
Suhu Udara Harian (°C)	15 – 24
Curah Hujan Rata-rata (mm/th)	2.000 – 4.000
Jumlah Bulan Kering (bl/th)	1 – 3
Tanah	
Derajat Keasaman (pH)	5,3 – 6,0
Kandungan B.O (%)	>3
Kedalaman Efektif (cm)	>100
Kemiringan Maksimum (%)	40

(Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008).

2.1.5 Patogen penghambat pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.

Rendahnya produktivitas kopi di Indonesia salah satunya disebabkan oleh Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT). Terdapat banyak gangguan pada budidaya kopi yang disebabkan oleh hama (penggerek buah kopi, penggerek cabang, kutu hijau, dan nematoda dan juga penyakit seperti karat daun, bercak daun, jamur (Direktorat Perlindungan Perkebunan, 2002). Serangan nematoda pada akar menjadi ancaman penting pada tanaman kopi karena nematoda termasuk dalam hama penting pada kopi. Nematoda parasit ini dapat menyebabkan kerusakan pada akar kopi sehingga berpotensi besar menurunkan produktivitas kopi (Siahaan, 2013).

Serangan nematoda ini tersebar hampir di semua provinsi produsen kopi di Indonesia, antara lain Sumatera Utara, Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT, dan Sulawesi Selatan. Kerugian yang diakibatkan

oleh serangan nematoda ini dapat dilihat dalam sebuah penelitian dalam enam tahun (1981-1986). Serangan Nematoda *P. coffeae* menyebabkan kehilangan hasil rata-rata sebesar 56,84% atau sekitar 150 ton kopi pertahun (Wiryadiputra, 2008).

Nematoda *P. coffeae* dapat menyebabkan tanaman kopi menjadi kerdil, kurus, batang mengecil daun tampak tua dan menguning kemudian lama kelamaan akan gugur. Gejala tersebut terjadi dikarenakan tanaman kekurangan zat hara dan nutrisi dari tanah akibat dari kerusakan akar yang di sebabkan oleh nematoda. Tingginya pertumbuhan nematoda di dalam akar akan mengakibatkan kerusakan yang semakin tinggi hingga mengakibatkan kebusukan pada akar (Nugrohorini, 2012).

2.2 Nematoda

2.2.1 Deskripsi Nematoda

Nematoda adalah organisme berbentuk seperti cacing kecil. Panjangnya $\pm 200-1000$ milimikron. Ada beberapa pengecualian yang panjangnya melebihi 1 cm. Nematoda bisa hidup di dalam atau di atas tanah, di dalam tanaman (endoparasit) atau di luar tanaman (ektoparasit). Nematoda umumnya hidup dalam lapisan tanah hingga sedalam ± 30 cm. Beberapa nematoda ada yang makan tanaman yang masih hidup ada juga yang memakan tanaman yang telah mati. Nematoda yang seperti itu disebut nematoda jenis saprofit yakni nematoda yang makan tanaman yang sudah mati. Nematoda ini menguntungkan bagi tanaman inang karena dapat mempercepat tanaman menjadi tanah, biasanya nematoda saprofit tidak memiliki stilet (alat runcing seperti tombak), sedangkan nematoda jenis parasit memiliki stilet (Pracaya, 1997).

Nematoda parasit dibagi sesuai ekologi, 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 kehilangan daya geraknya karena badannya menjadi seperti kantong. Nematoda endoparasit hanya hidup sebentar di dalam tanah

dan masuk ke dalam akar, dan di sini mereka dapat ditemukan. Sebaliknya nematoda ektoparasit akar seluruh hidupnya berada di dalam tanah sambil memakan akar tumbuhan (Semangun, 2001).

2.2.2 Deskripsi Nematoda *P. coffeae*.

P. coffeae merupakan endoparasit yang bermigrasi atau berpindah-pindah. Hidup sebagai endoparasit di dalam akar tanaman, makan dan merusak pada bagian korteks sehingga terbentuk luka-luka pada akar. *P. coffeae* mengakibatkan luka pada akar sehingga termasuk dalam Nematoda yang terdapat di India dan Pulau Jawa. Secara umum, Semua jenis *Pratylenchus* dikenal sebagai nematoda endoparasit berpindah (*migratory endoparasitic*).

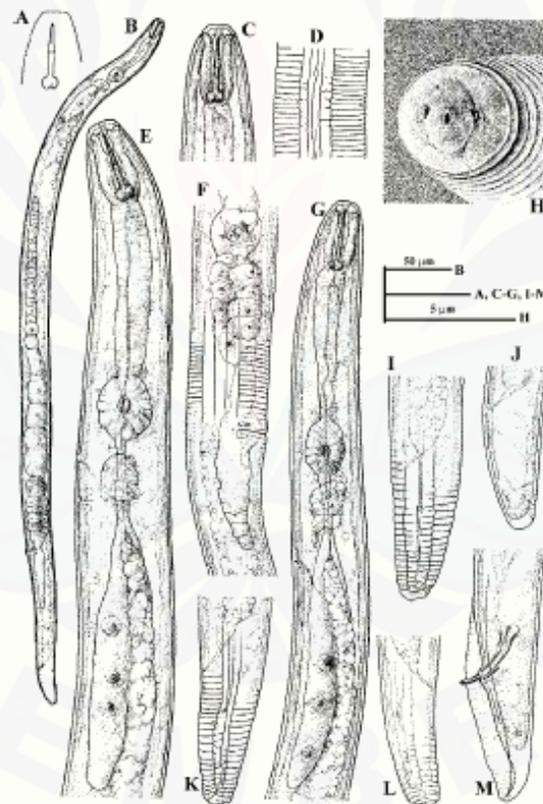
Hidup dan melakukan migrasi di dalam jaringan akar, rhizoma, atau umbi sehingga mengakibatkan kerusakan pada jaringan korteks, serta sebagai tempat predeposisi infeksi patogen tanah lain seperti golongan jamur. Kebanyakan Nematoda memperoleh makanannya pada sel-sel korteks dan membentuk suatu rongga yang berisi sarang atau koloni nematoda dengan berbagai stadium. (Luc *et al*, 1995). Semua stadia dapat ditemukan dalam tanah dan akar. *P. coffeae* bertelur di dalam jaringan akar. Daur hidupnya berkisar antara 45-48 hari (Mustika, 2003).

2.2.3 Morfologi Nematoda *P. coffeae*

Nematoda *P. coffeae* mempunyai lebar tubuh antara 40 μm hingga 160 μm (Whitehead, 1998), dengan panjang tubuh antara 0,4-0,7 mm, sedangkan diameter tubuh 20-25 μm . Bentuk nematoda ini pada kerangka kepala yang kuat, mempunyai stilet pendek dan kuat, panjangnya 14-20 μm dengan basal knop yang jelas (Dropkin, 1992).

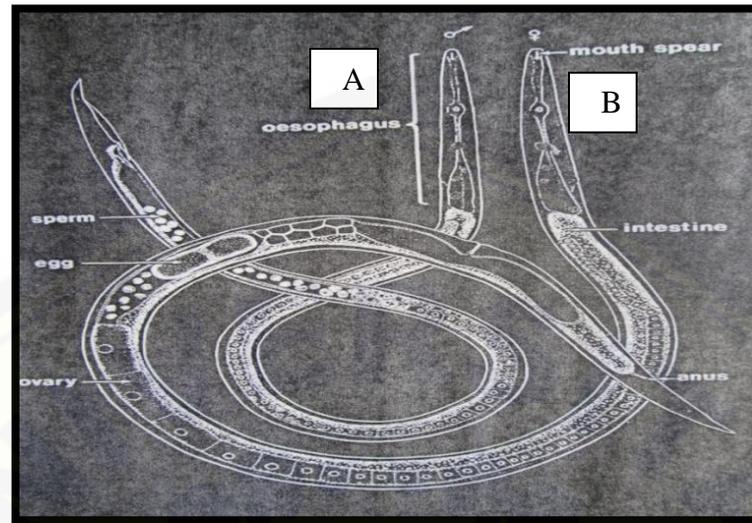
Tubuh Nematoda *P. coffeae* disusun oleh kutikula, epidermis dan otot-otot somatik. Fungsi utama kutikula adalah sebagai pelindung dan sarana interaksi dengan lingkungan di sekitarnya. Kutikula juga sangat penting dalam menjaga nematoda ini dari distorsi tubuh selama kontraksi otot. Nematoda ini bertubuh kecil (panjangnya

kurang dari 1 mm). Tidak terdapat adanya tanda-tanda seksual dimorfisme pada bagian anterior tubuhnya. Bagian kepalanya rendah dan datar, apabila diamati di bawah mikroskop stereokopis tampak ujung anterior tersebut seperti topi hitam yang datar. Bagian bibirnya terbagi atas 2, 3, atau 4 anulus dan lurus dengan garis tubuh, serta mengalami sklerotinisasi yang kuat. Panjang stiletnya 20 μm (kurang lebih 2x lebar kepala), mengalami sklerotinisasi sedang, dengan basal knob berbentuk bulat dan bagian anteriornya konkaf. Esofagusnya tumbuh baik pada kedua jenis kelamin, median bulbusnya berkembang baik dan lobus kelenjar esofagus dorsal menonjol ke usus pada bagian ventral (Luc, 1995).

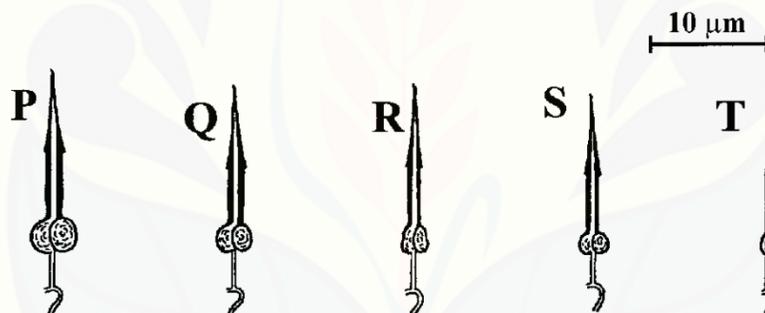


Gambar 2.2 Morfologi Nemaptoda *P. coffeae* A: Stilet betina; B: tubuh betina secara keseluruhan; C: Bagian dari tubuh betina; D: Daerah paringal betina; F: Daerah vulva; G: Daerah paringal jantan; H : Bentuk kepala betina; I-L: Variasi ekor betina; M: Ekor jantan

Sumber : Castilo, 2007



Gambar 2.3: a) Bagian-bagian tubuh nematoda *P. coffeae* jantan dan b) Bagian-bagian tubuh nematoda *P. coffeae* betina berdasarkan skema perbesaran mikroskop (sumber: Whitehead, 1998)



Gambar 2.4 Tipe stylet dan knob *P. coffeae*, P-R: stylet dan knob betina, S-T: stylet dan knob jantan (Castilo, 2007).

Stylet dari *Pratylenchus* berukuran pendek dan gemuk, dengan basal knob yang berkembang dengan baik dalam mendukung *stylet*. Bagian kerucut (konus atau metenchium) sangat kuat dan keras untuk menghancurkan dinding sel akar. Rata rata ukuran dari stylet pada genus *Pratylenchus* adalah 16 μm tetapi, tergantung pada spesies nya, ukuran stylet dapat pendek sekali dengan ukuran 11,5 μm atau sepanjang 23 μm . *P. coffeae* memiliki ukuran panjang *stylet* rata rata 15 μm dengan bentuk *stylet knob* yang membulat hingga bentuk yang lebih menyempit seperti gambar 2.4. (Castilo, 2007).

Nematoda *P. coffeae*. betina vulvanya terletak di bagian posterior yaitu 70-80% panjang tubuhnya, sistem genitalnya mempunyai saluran tunggal yang mengarah ke bagian anterior tubuh. Adanya berbagai variasi post-vulva, yang menunjukkan adanya berbagai diferensiasi yang tidak berfungsi. Spermatekanya berbentuk oval atau bulat berisi sperma pada spesies nematoda biseksual, ekornya sub-silindris atau kurang lebih seperti seperti kerucut dengan ujungnya lebar atau sempit dan tumpul atau terpancung dan kadang-kadang halus atau beranulasi (Luc,1995).

Anulasinya halus dan mempunyai empat garis lateral, tetapi terdapat juga jenis yang memiliki garis lateral sampai berjumlah delapan. ekornya lebar dan ujungnya membulat dan runcing, panjangnya antatra 3,5-9% dari panjang tubuh (Dropkin, 1996). Nematoda jantan ekornya pendek. Bagian dorsalnya seperti kerucut yang melengkung. Bursanya tumbuh sampai ke ujung ekor, spikulanya silindris memanjang dan melengkung (Luc, 1995).

2.2.4 Klasifikasi Nematoda *P. coffeae*.

Kedudukan *Pratylenchus coffeae* dalam taksonomi hewan sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Nematoda
Kelas	: Chromadorea
Sub Kelas	: Chromadoria
Ordo	: Rhabditida
Sub Ordo	: Tylenchina
Super Famili	: Tylenchoidea
Famili	: Pratylenchidae
Sub Famili	: Pratylenchinae
Genus	: Pratylenchus
Spesies	: <i>Pratylenchus coffeae</i> Z.

(Ferris, 2012).

2.2.5 Bioekologi dari Nematoda *P. coffeae*

P. coffeae dapat berkembang biak secara optimal pada suhu 30°C. Nematoda luka akar ini mempunyai empat stadi juvenil dan dewasa. Siklus hidup juvenil dan dewasa seluruhnya berada di akar dan makan pada jaringan akar. Pada umumnya, populasi *P. coffeae* meningkat pada musim hujan dan mencapai puncaknya ketika 7-8 bulan setelah masa tanam. Populasi *P. coffeae* menurun pada kondisi tanah yang mempunyai pH 3,85-6. Nematoda *P. coffeae* tersebar di daerah tropis antara lain Jepang, Australia, Afrika selatan, Brazil, dan Amerika Serikat sehingga termasuk Indonesia (Nurmahayu, 2008).

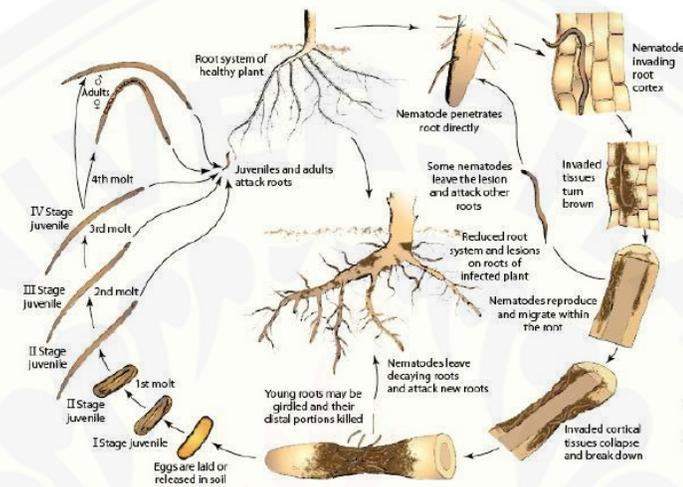
P. coffeae menyukai tanah yang memiliki struktur kasar atau tanah berpasir. *P. coffeae* bersifat endoparasitik yang semua stadiumnya terdapat di dalam korteks jaringan inangnya. Populasi nematoda di dalam tanah yang rendah berasosiasi dengan populasi yang tinggi di dalam akar. Nematoda ini memperoleh makanannya dari dalam sel-sel korteks akar oleh sebab itu nematoda membentuk suatu rongga yang berisi sarang atau koloni nematoda dengan berbagai stadium hidupnya (Luc, 1995).

2.2.6 Siklus hidup Nematoda *P. coffeae*

P. coffeae 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. *P. coffeae* berkembang biak cepat sekali. Bila keadaan menguntungkan, seekor betina mampu bertelur 50-60 butir. Setelah 15-17 hari kemudian mereka menetas menjadi larva, dan menjadi dewasa dalam waktu 15-16 hari. Selanjutnya 15 hari lagi yang betina sudah mulai bertelur (Inserra, 1998).

P. coffeae bersifat sebagai nematoda endoparasitik yang obligat, nematoda hidup dan makan di dalam akar. Perkembangbiakan *P. coffeae* mencapai tingkat yang tertinggi apabila suhu tanah relatif tinggi (26-30°C). Pada suhu tersebut populasi nematoda dapat menyelesaikan daur hidupnya kurang dari satu bulan dan dapat mencapai tingkat populasi sebanyak 10.000 ekor nematoda dalam tiap gram akar.

Nematoda tersebut dapat hidup di dalam akar dan tanah paling sedikit 4 bulan. Perpindahan nematoda ini melalui tanah berjalan sangat lambat yaitu sekitar satu meter tiap tahun. Nematoda juga bersifat patogenik pada kisaran tanah dari tanah pasiran sampai tanah debu pasiran (Luc *et al.* 1995).



Gambar 2.5 Siklus hidup dan siklus penyebaran penyakit nematoda (Sumber: Agrios, 2005 dalam Tuyet, 2010)

Umumnya perkembangan nematoda parasit tanaman terdiri dari tiga fase yaitu fase larva I sampai larva IV dan nematoda dewasa. Larva tingkat II menetas dari telur yang kemudian bergerak menuju tanaman inang untuk mencari makanan, terutama bagian ujung akar di daerah meristem, larva kemudian menembus korteks akibatnya pada tanaman yang rentan terjadi infeksi dan menyebabkan pembesaran sel-sel. Di dalam akar larva menetap dan menyebabkan perubahan sel-sel yang menjadi makanannya, larva menggelembung dan melakukan pergantian kulit dengan cepat untuk kedua dan ketiga kalinya, selanjutnya menjadi jantan atau betina dewasa yang berbentuk memanjang di dalam kutikula, stadium ke empat muncul dari jaringan akar dan menghasilkan telur secara terus menerus selama hidupnya (Anafzhu, 2009).

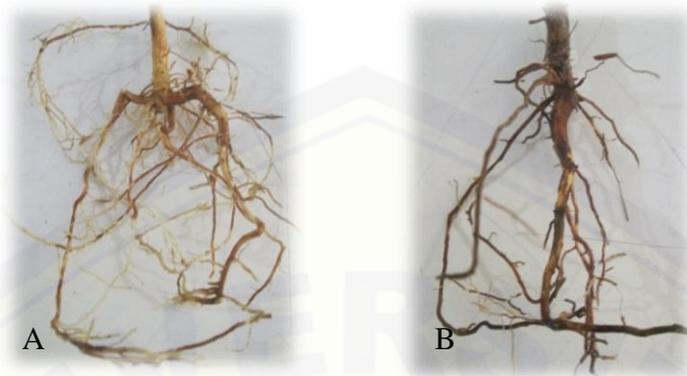
Nutrisi yang tersedia serta jumlah larva perunit area di dalam jaringan inang mempengaruhi jenis kelamin nematoda. Larva jantan akan lebih banyak jika larva akar di dalam korteks dan zat makanan kurang, jika sedikit larva dan sumber makanan banyak pada jaringan inang maka hampir semua menjadi betina. Jenis

kelamin pada nematoda tidak berpengaruh dalam proses reproduksinya karena kebanyakan nematoda parasit adalah partenogenesis, walaupun eksudat akar mampu memacu penetasan telur, tetapi senyawa tersebut tidak diperlukan untuk keberhasilan siklus hidupnya (Anafzhu, 2009).

2.2.7 Gejala Serangan Nematoda *P. coffeae*

P. coffeae menyerang jaringan kortek akar serabut terutama akar-akar serabut yang aktif menyerap unsur hara dan air. Akibatnya akar serabut menjadi rusak, berwarna coklat dan terdapat luka-luka nekrotik. Luka-luka tersebut secara bertahap meluas, sehingga akhirnya seluruh akar serabut membusuk. Pada waktu menyerang akar, nematoda mengeluarkan enzim β glukosidase. Akar tanaman mempunyai hormon amigdalin. β glukosidase dan amigdalin akan bereaksi sehingga terbentuk senyawa benzaldehida + HCN, senyawa ini merupakan racun bagi sel-sel yang terkena, sehingga sel-sel akar akan mati. β glukosidase + amigdalin \rightarrow benzal dehida + HCN. Karena serangan terjadi di luar akar maka akan tampak bercak-bercak, oleh karena itu *P. coffeae* disebut juga sebagai *Root lesion nematodes* (Nematoda peluka akar) (Nadiah, tanpa tahun).

Akar akan bereaksi membentuk *hyperplasia* (tumor atau bisul) yang cukup besar seperti bonggol. Nematoda tinggal di dalam akar bersama-sama dengan telurnya. Serangan nematoda kematian ujung akar tanaman dan nekrosis. Kalau serangan hanya terjadi dibagian satu sisi maka akar akan tumbuh membengkok kemudian berbelit-belit. Luka akar yang ditimbulkan oleh stilet merangsang datangnya cendawan dan bakteri yang menyebabkan penyakit sekunder, akan menjadi busuk, dan bisa menjadi sumber penyakit tanaman (Pracaya, 1997). Rendahnya berat akar tanaman yang diinokulasi nematoda, disebabkan oleh kerusakan akibat penusukan stilet dan sekresi enzim yang dikeluarkan nematoda sewaktu nematoda makan. Luka-luka tersebut secara bertahap meluas, sehingga akhirnya seluruh akar serabut membusuk. Hal itu terlihat pada Gambar 2.6.



Sumber: Dokumentasi pribadi

Gambar 2.6 Akar tanaman kopi: (a) Akar kopi yang masih sehat sedangkan (b) Akar kopi yang terinfeksi nematoda *P. coffeae*.

Nematoda *P. coffeae* menyebabkan terjadinya luka akar yang bersifat endoparasit karena Nematoda *P. coffeae* memakan kulit akar sehingga akar menguning dan akhirnya berwarna ungu coklat. Luka berkembang melingkari akar, dan pada tingkat lanjut kulit akar dapat lepas. Nematoda yang masuk ke dalam akar tumbuh di dekat ujung akar, di daerah yang sel-selnya sedang memanjang. Akar tumbuhan dapat terpengaruh oleh tusukan stilet nematoda, sehingga terjadi sel-sel yang membesar dan berinti banyak, karena mitosis yang terjadi berulang-ulang tanpa disertai pembelahan sel (Semangun, 2001).

Menurut Agrios dalam Harni (2007), melaporkan bahwa nematoda yang mengkonsumsi sel akar mampu menurunkan kemampuan tumbuhan menyerap air dan hara dari tanah sehingga menyebabkan gejala seperti kekurangan air dan hara Seperti pada Gambar 2.7. Disamping itu, nematoda juga menyebabkan berkurangnya konsentrasi zat pengatur tumbuh tanaman seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang banyak terdapat di ujung akar. Berkurangnya zat pengatur tumbuh dapat terjadi karena nematoda mengeluarkan enzim selulase dan pektinase yang mampu mendegradasi sel sehingga ujung akar luka dan pecah, hal ini menyebabkan auksin tidak aktif. Tidak aktifnya auksin menyebabkan pertumbuhan primer akar terhambat.

Gejala kerusakan oleh nematoda pada bagian tanaman Pada Gambar 2.7 permukaan tanah umumnya tidak spesifik. Tanaman tanaman tampak kerdil,

pertumbuhan terhambat, ukuran daun dan cabang primer mengecil, daun tua berwarna kuning yang secara perlahan-lahan akhirnya rontok dan tanaman mati. Akar tanaman kopi yang terserang oleh *P. coffeae* warnanya berubah menjadi kuning, selanjutnya berwarna coklat dan kebanyakan akar lateralnya busuk. Luka yang terjadi pada akar berakibat merusak seluruh sistem perakaran tanaman kopi. Tanaman yang terserang berat akan mati sebelum dewasa (Nugorhorini, 2012)



Sumber : Lintas, 2014.

Gambar 2.7:(a) Tanaman tidak terinfeksi Nematoda *P. coffeae*; (b) tanaman terinfeksi Nematoda *P. coffeae*, terlihat mulai daun menguning; (c) Tanaman mulai mati terlihat daun rontok akibat terinfeksi nematoda *P. coffeae*.

2.2.8 Upaya pengendalian Nematoda *P. coffeae*.

Pengendalian *P. coffeae* harus sejalan dan mendukung prioritas penelitian di Puslitbang Perkebunan khususnya mengarahkan agribisnis kopi ke depan pada *green economy nasional* guna memenuhi tuntutan pasar internasional yang mensyaratkan adanya keamanan pangan, pelestarian lingkungan dan peningkatan kesejahteraan

petani. Salah satu cara pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) yang sejalan dengan konsep *green economy* adalah pengendalian biologis.

Agen biokontrol nematoda parasit tanaman tidak hanya mencakup parasit dan predator, tetapi juga tanaman inang (kultivar tahan) dan tanaman lain yang digunakan baik sebagai tanaman perangkap atau sebagai antagonis. Beberapa organisme antagonis diketahui mampu mengurangi kemampuan *Pratylenchus* spp. untuk bertahan hidup dan bereproduksi. Organisme antagonis *Pratylenchus* spp. yang paling banyak dilaporkan adalah populasi jamur tanah, nematoda dan bakteri dan tanaman yang bersifat nematicidal (Castillo dan Nicola, 2007).

Mikoriza adalah asosiasi saling menguntungkan antara fungi dan akar tanaman yang membentuk struktur simbiotik dan menghasilkan sifat morfologi yang baru. Melalui hubungan simbiosis dengan tanaman, mikoriza berperan penting dalam pertumbuhan tanaman, perlindungan penyakit, dan peningkatan kualitas tanah secara keseluruhan. Mikoriza mempunyai kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan sistem perakaran tanaman, meningkatkan vigor tanaman dan kualitas tanah. Hifa dari mikoriza memperluas bidang perakaran serta mengeluarkan enzim, membantu penyerapan nutrisi secara efisien dan dapat berperan sebagai kontrol patogen. Dengan demikian, mikoriza sangat berperan dalam produktivitas tanaman (Siddiqui dan Pichtel, 2008).

2.3 Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) *Glomus* spp.

2.3.1 Deskripsi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Glomus spp. merupakan cendawan atau jamur yang berjenis endomikoriza, jaringan hifa cendawan masuk ke dalam sel kortek akar dan membentuk struktur yang khas berbentuk oval yang disebut vesicle dan sistem percabangan hifa yang disebut arbuscule, sehingga endomikoriza disebut juga *Vesicular Arbuscular Micorrhizae* (MVA) adalah struktur sistem perakaran yang terbentuk sebagai manifestasi adanya simbiosis mutualistik antara cendawan (*myces*) dan perakaran (*rhiza*). Endomikoriza banyak mendapat perhatian karena penyebarannya lebih luas dan dapat berasosiasi

dengan hampir 90% spesies tanaman tingkat tinggi, salah satunya adalah MVA (Cruz, dkk., 2000). Jamur endomikoriza masuk ke dalam sel korteks dari akar serabut (*feeder roots*). Jamur ini tidak membentuk selubung yang padat, namun membentuk miselium yang tersusun longgar pada permukaan akar. Jamur juga membentuk vesikula dan arbuskular yang besar di dalam sel korteks, sehingga sering disebut dengan MVA (Thorn, 1997).

2.3.2 Morfologi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Terdapat 4 bagian penting di dalam MVA *Glomus* spp. yakni arbuskula, vesikel, hifa eksternal dan spora. 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. Struktur ini mulai terbentuk 2-3 hari setelah infeksi, diawali dengan penetrasi cabang hifa lateral yang dibentuk oleh hifa ekstraseluler dan intraseluler ke dalam dinding sel inang. Arbuskula dengan cepat mengalami desintegrasi atau terjadi lisis/pecah dan membebaskan fosfat ke tanaman inang. Luas permukaan arbuskula aktif secara metabolik per meter akar berkurang dengan waktu, sedangkan hifa mempunyai area permukaan lebih besar sesudah 63 hari setelah tanam (Smith, 2008).

Arbuskula berfungsi menyediakan area permukaan yang lebih luas untuk pertukaran metabolik. Arbuskula merupakan struktur MVA yang bersifat labil di dalam akar tanaman. Sifat kelabilan tersebut sangat tergantung pada metabolisme tanaman, bahan makanan dan intensitas radiasi matahari. Pembentukan struktur tersebut dipengaruhi jenis tanaman, umur tanaman, dan morfologi akar tanaman (Brundrett, 1994).

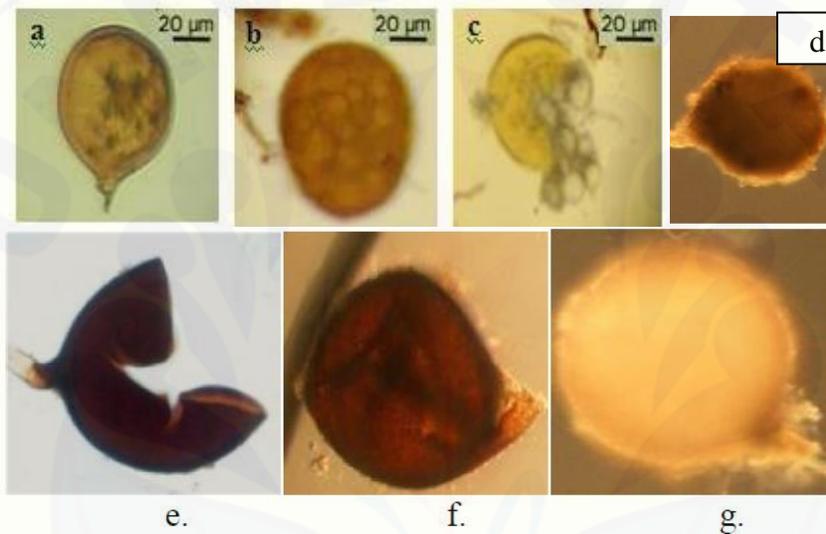
Vesikel merupakan suatu struktur berbentuk lonjong atau bulat, mengandung cairan lemak, yang berfungsi sebagai organ penyimpanan makanan atau berkembang menjadi klamidospora, yang berfungsi sebagai organ reproduksi dan struktur tahan. Vesikel selain dibentuk secara interseluler ada juga yang secara intraseluler.

Pembentukan vesikel diawali dengan adanya perkembang sitoplasma hifa yang menjadi lebih padat, multinukleat dan mengandung partikel lipid dan glikogen. Sitoplasma menjadi semakin padat melalui proses kondensasi, dan organel semakin sulit untuk dibedakan sejalan dengan akumulasi lipid selama maturasi. Vesikel biasanya dibentuk lebih banyak di luar jaringan korteks pada daerah infeksi yang sudah tua, dan terbentuk setelah pembentukan arbuskul. Jika produksi metabolik dari tanaman inang berkurang, cadangan makanan itu akan digunakan oleh cendawan sehingga vesikula mengalami degenerasi. Pada ordo Glomales tidak semua genus memiliki vesikula. *Gigaspora* dan *Scutellospora* adalah dua genus yang tidak membentuk vesikula di dalam akar sehingga disebut Fungi Mikoriza Arbuskular (FMA). Nama vesikula dan arbuskula tampaknya berdasarkan karakteristik struktur arbuskula yang terdapat di dalam sel-sel korteks dan vesikula yang terdapat di dalam atau di antara sel-sel korteks akar tanaman (Brundrett, 1994).

Hifa Eksternal merupakan struktur lain dari MVA 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. Distribusi hifa eksternal ini sangat dipengaruhi oleh lingkungan abiotik (Mosse, 1981).

Spora merupakan propagul yang bertahan hidup dibandingkan dengan hifa yang ada di dalam akar tanah. Spora terdapat pada ujung hifa eksternal dan dapat hidup selama berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun. Perkecambahan spora bergantung pada lingkungan seperti pH, temperatur, dan kelembaban tanah serta kadar bahan organik (Mosse, 1981). MVA 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 (Mosse, 1981).

Beberapa karakteristik Spora *Glomus* spp. yaitu spora berwarna coklat berbentuk bulat, berukuran 125-325 μ 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).



Gambar 2.8 : a-c merupakan tipe spora *Glomus* spp. dengan perbesaran 100X dan gambar d-g dengan perbesaran 200X (Sumber : Suamba, 2014) dengan menggunakan mikroskop.

2.3.3 Klasifikasi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Kedudukan *Glomus* spp. dalam sistematika diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Fungi
Filum	: Glomeromycota
Kelas	: Glomeromycetes.
Ordo	: Glomorales
Famili	: Glomeraceae
Genus	: <i>Glomus</i>
Spesies	: <i>Glomus</i> sp.

Sumber: Uniprot.org.

2.3.4 Ekologi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Mikoriza MVA dapat ditemukan hampir pada semua ekosistem, termasuk pada lahan masam dan alkalin. Mikoriza MVA dapat berasosiasi dengan hampir 90% jenis tanaman. Walaupun demikian, tingkat populasi dan komposisi jenis MVA sangat beragam dan dipengaruhi oleh karakteristik tanaman dan faktor lingkungan seperti suhu, pH tanah, kelembapan tanah, kandungan fosfor dan nitrogen, serta konsentrasi logam berat (Daniels dan Trappe, 1980).

Menurut Sundari (2011) keberadaan MVA pada suatu daerah dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan jenis tanah. Baon (1998) melaporkan tanah yang didominasi oleh fraksi lempung berdebu merupakan tanah yang baik bagi perkembangan genus *Glomus* dan tanah yang berpasir genus *Acaulospora* dan *Gigaspora* ditemukan dalam jumlah yang tinggi. Sejalan dengan hasil penelitian mengenai keberadaan spora MVA, seperti yang dilaporkan oleh Ragupathy dan Mahadevan (1991) yang mempelajari MVA pada hutan pantai juga menyimpulkan bahwa *Glomus* adalah jenis MVA yang paling dominan penyebarannya, yaitu 25 spesies dari 37 spesies yang ditemukan adalah tipe *Glomus*, dan Husin *et al.* (2007) juga telah mengobservasi dan mengidentifikasi spora MVA jenis *Glomus* spp. dalam jumlah dominan pada berbagai *rhizosfer* di lahan kritis. Hal tersebut menunjukkan bahwa *Glomus* memiliki adaptasi yang sangat luas, sehingga hampir ditemukan di berbagai kondisi lingkungan.

Faktor lingkungan mempengaruhi perkecambahan spora mikoriza. Kondisi lingkungan yang cocok untuk perkecambahan biji dan pertumbuhan akar tanaman biasanya juga cocok untuk perkecambahan spora cendawan. Cendawan pada umumnya memiliki ketahanan cukup baik pada rentang faktor lingkungan fisik yang lebar. Mikoriza tidak hanya berkembang pada tanah berdrainase baik, tapi juga pada lahan tergenang seperti pada padi sawah (Solaiman dan Hirata, 1995). Bahkan pada lingkungan yang sangat miskin atau lingkungan yang tercemar limbah berbahaya, cendawan mikoriza masih memperlihatkan eksistensinya (Aggangan, 1998). Sifat cendawan mikoriza ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam upaya bioremediasi lahan kritis.

2.3.5 Biologi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Glomus spp. hidup pada tanah yang di dominasi oleh fraksi lempung. Kondisi tanah ini sangat sesuai untuk perkembangan spora *Glomus* spp. (Hapsoh, 2008). Spora *Glomus* spp. memiliki ukuran 125-325 μm , hanya memiliki satu dinding yakni dinding spora. Mikoriza *Glomus* spp. tidak membentuk dinding perkecambahan fleksibel. Dinding spora berakhir dengan pori pada daerah melekatnya hifa pembawa (Yovita, 2008). Siklus hidup *Glomus* spp. relatif pendek yaitu berkisar 4-6 hari dan setelah itu arbuskula akan mengalami degenerasi kemudian dicerna oleh sel tanaman inang (Hapsoh, 2008).

2.3.6 Peranan Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Hubungan timbal balik antara cendawan mikoriza dengan tanaman inangnya mendatangkan manfaat positif bagi keduanya sehingga di sebut simbiosis mutualistik. Inokulasi cendawan mikoriza dapat dikatakan sebagai "biofertilization" karena baik untuk tanaman pangan, perkebunan, kehutanan maupun tanaman penghijauan (Killham, 1994). Bagi tanaman inang adanya asosiasi ini, dapat memberikan manfaat yang sangat besar bagi pertumbuhannya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara tidak langsung, cendawan mikoriza berperan dalam perbaikan struktur tanah, meningkatkan kelarutan hara dan proses pelapukan bahan induk. Sedangkan secara langsung, cendawan mikoriza dapat meningkatkan serapan air, hara dan melindungi tanaman dari patogen akar dan unsur toksik. Nuhamara (1994) mengatakan bahwa sedikitnya ada hal yang dapat membantu perkembangan tanaman dari adanya mikoriza ini yaitu:

- a. Mikoriza dapat meningkatkan absorpsi hara dari dalam tanah
- b. Mikoriza dapat berperan sebagai penghalang biologi terhadap infeksi patogen akar.
- c. Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembaban yang ekstrim.
- d. Meningkatkan produksi hormon pertumbuhan dan zat pengatur tumbuh lainnya seperti *auxin*.

e. Menjamin terselenggaranya proses biogeokemis.

Tanaman yang berasosiasi dengan MVA akan mengalami perubahan dalam morfologi dan fisiologi untuk menahan serangan patogen akar. Meningkatnya ketahanan tumbuhan terhadap infeksi patogen dan parasit akar disebabkan oleh kemampuan MVA memproduksi antibiotika guna menghadang patogen tanah (Quimet, 1996). Lignifikasi dinding sel tanaman inang akan menghambat serangan patogen akar dan perubahan secara fisiologis pada tanaman yang bermikoriza meningkatkan konsentrasi P dan K serta hara lain. sehingga akan menurunkan kepekaan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Pada tanaman yang bermikoriza, mengandung isoflavonoid lebih tinggi sehingga tanaman lebih tahan terhadap serangan karena senyawa tersebut dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen tanah (Nuhamara, 1994).

Kontrol biologis terhadap penyakit tanaman mungkin sangat dipengaruhi oleh MVA melalui satu atau lebih mekanisme antara lain: meningkatkan hara tanaman, kompetisi pada fotosintat inang dan daerah infeksi, perubahan morfologi pada akar dan jaringan akar, perubahan pada unsur kimia dan jaringan tanaman inang, pengurangan stress abiotik, dan perubahan mikroorganisme pada rizosfer.

Akar tanaman yang terbungkus oleh mikoriza akan menyebabkan akar tersebut terhindar dari serangan hama dan penyakit. Infeksi patogen atau hama akar akan terhambat, disamping itu mikoriza akan menggunakan semua kelebihan karbohidrat dan eksudat akar lainnya, sehingga tercipta lingkungan yang tidak cocok bagi pertumbuhan patogen. Dipihak lain, jamur mikoriza ada yang dapat melepaskan antibiotik yang dapat mematikan patogen.

Mikoriza dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui perlindungan tanaman dari patogen akar dan unsur toksik. Imas *et al* (1993) menyatakan bahwa struktur mikoriza dapat berfungsi sebagai pelindung biologi bagi terjadinya patogen akar. Mekanisme perlindungan dapat diterangkan sebagai berikut:

1. Adanya selaput hifa (mantel) dapat berfungsi sebagai barier masuknya patogen.

2. Mikoriza menggunakan hampir semua kelebihan karbohidrat dan eksudat lainnya, sehingga tercipta lingkungan yang tidak cocok untuk patogen.
3. Cendawan mikoriza dapat mengeluarkan antibiotik yang dapat mematikan patogen.
4. Akar tanaman yang sudah diinfeksi cendawan mikoriza, tidak dapat diinfeksi oleh cendawan patogen yang menunjukkan adanya kompetisi. Namun demikian tidak selamanya mikoriza memberikan pengaruh yang menguntungkan dari segi patogen.

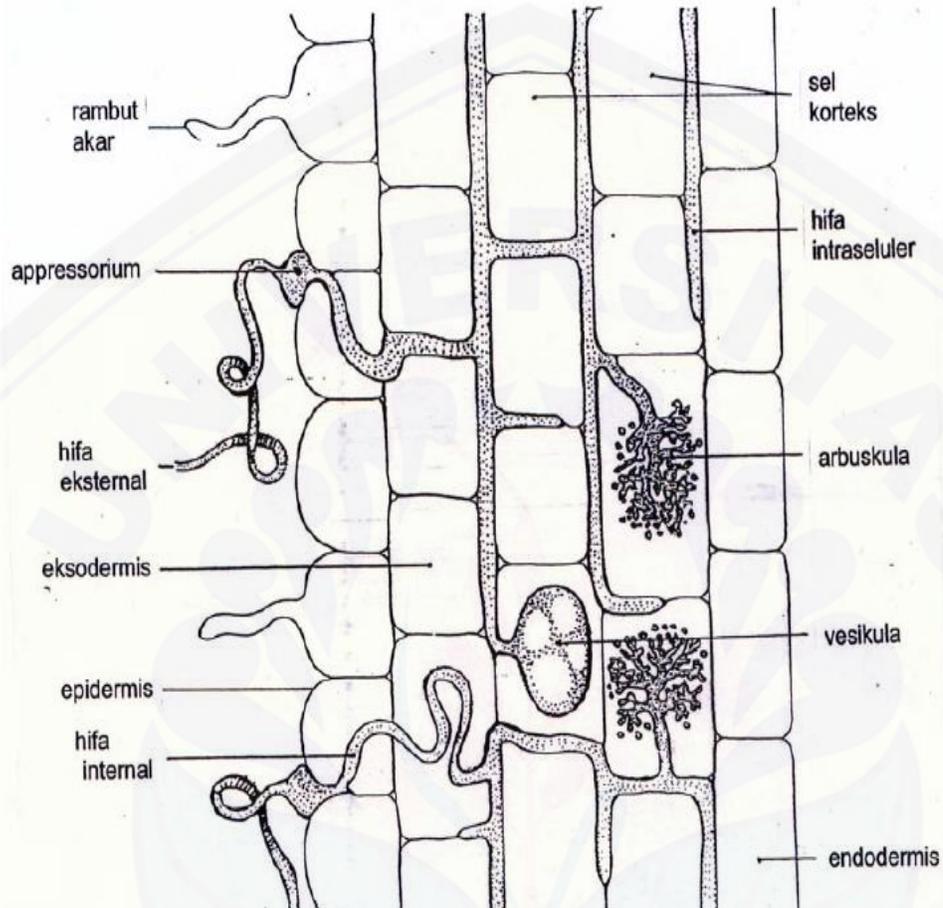
Mikoriza juga dapat melindungi tanaman dari eksekusi unsur tertentu yang bersifat racun seperti logam berat (Killham, 1994). Mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur beracun yang diberikan mikoriza dapat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi atau penimbunan unsur tersebut dalam hifa cendawan.

Disamping mampu mengendalikan serangan patogen Fungi MVA juga berpotensi besar sebagai pupuk hayati karena salah satu mikroorganisme yang memiliki peranan yang sangat penting bagi tanaman seperti dapat memfasilitasi penyerapan hara dalam tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, sebagai penghalang biologis terhadap infeksi patogen akar, meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman dan meningkatkan hormon pemacu tumbuh (Prihastuti, 2007).

2.3.7 Proses Infeksi Mikoriza MVA *Glomus* spp.

Menurut Bonfante dan Bianciotto (1995), fase kontak dan proses infeksi MVA dengan akar tanaman dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada keadaan tidak ada tanaman inang, hifa yang terbentuk dari spora sebelum simbiosis (*presimbiotik*) berhenti tumbuh dan akhirnya mati. Adanya akar tanaman inang, jamur melalui hifanya akan kontak dengan tanaman inang dan mulai proses simbiotik. Fase kontak dimulai dengan kejadian seperti pertentangan pertumbuhan jamur dengan akar

tanaman, pola percabangan akar baru, dan pada akhirnya terbentuk apresorium.



Gambar 2.9: Penampang longitudinal akar yang terinfeksi fungi MVA.

Sumber : Brundret et al., 1994

Apresorium merupakan struktur penting dalam siklus hidup MVA . Hal ini diinterpretasikan sebagai kejadian kunci bagi pengenalan interaksi yang berhasil dengan bakal calon tanaman inang. Fase kontak akan diikuti dengan fase simbiotik. Sejak fase itu, jamur menyempurnakan proses morfogenesis kompleks dengan memproduksi hifa interseluler dan intraseluler, vesikula, dan arbuskula. Aspek morfologi fase itu secara luas dapat dilacak dengan menggunakan kombinasi mikroskop sinar dan elektron (McGonigle, 1993).

Selanjutnya menurut Linderman (1988), hifa jamur mengisi korteks akar, bercabang-cabang diantara sel-sel dan titik penetrasinya. Bentuk yang khusus pada jamur adalah struktur seperti *haustorium* (arbuskula atau kumparan hifa) di dalam sel korteks, dipisahkan dari sitoplasma inang oleh membran sel inang dan dinding sel jamur.

Akar hifa eksternal berasal dari spora atau akar tanaman yang memiliki MVA didalam tanah. Hifa dari apresorium kemudian menembus sel-sel epidermis dan menjalar diantara sel ataupun di dalam sel menembus korteks, tetapi tidak meluas ke endodermis. Akar bermikoriza dapat membentuk hifa eksternal yang merupakan kelanjutan dari hifa internal kemudian vesikula terbentuk pada ujung hifa. Proses infeksi itu terlihat pada Gambar 2.9.

MVA bersimbiosis dengan akar tanaman dan merupakan cendawan simbiotik obligat yang termasuk ke dalam kelas *Zygomycetes* dan ordo *Glomales*. Glomales mencakup dua sub ordo yaitu *Glomineae* dan *Gigasporineae*. Sub ordo *Glomineae* terdiri dari dua famili yaitu *Glomaceae* dengan genus *Glomus* dan *Sclerosystis*, dan *Acaulosporaceae* dengan genus *Acaulospora* dan *Entrophospora*. Sub ordo *Gigasporineae* terdiri atas satu famili, yaitu *Gigasporaceae* dengan genus *Gigaspora* dan *Scutellospora* (Smith, 2008). Setiap spesies MVA berbeda dalam kemampuannya untuk merangsang pertumbuhan tanaman inang. Hal ini diduga disebabkan oleh perbedaan dalam ukuran spora dan dikaitkan dengan pembentukan hifa eksternal yang berperan dalam efisiensi penyerapan unsur hara. Perkembangan kolonisasi MVA dimulai dengan pembentukan suatu apresorium pada permukaan akar oleh hifa eksternal yang berasal dari spora yang berkecambah. Apresorium tersebut masuk ke dalam akar melalui celah antar epidermis, kemudian membentuk hifa intraseluler di sepanjang epidermis akar. Setelah proses itu berlangsung, terbentuk arbuskula dan vesikula (Anas, 1993). Aktivitas metabolisme sel tanaman yang telah terinfeksi fungi MVA pada permukaan.

Di alam, Kompleksitas simbiosis mikoriza bukan hanya sebagai sebuah interaksi antara tanaman dan fungi saja, tetapi juga harus mengikut sertakan

organisme pendukung. Organisme pendukung dan mikoriza ini diketahui saling memberikan pengaruh secara mutualisme, yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai “*mycorrhizosphere*” (Garbaye, 1994). Mikorizosfer tersusun atas mikoriza, miselium eksternal, dan organisme pendukung (Barea *et al.* 2005). Pengaruh mikorizosfer ini dapat menyebabkan peningkatan nutrisi, pertumbuhan, dan ketahanan penyakit tanaman (Linderman, 1988; Frey-Klett dan Garbaye, 1994).

Kerapatan mikoriza dalam tanah juga menurun secara nyata dengan adanya nematoda (Baon, 1998). Kerapatan mikoriza ternyata masih bisa ditingkatkan dengan memanfaatkan organisme pendukungnya dan bakteri organisme pendukung ini berpotensi untuk diaplikasikan sebagai biofertiliser. Bakteri yang mampu meningkatkan perkembangan mikoriza ini diberi nama *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) (Garbaye, 1994). Beberapa peneliti menemukan bahwa bakteri yang diisolasi dari fungi mikoriza dapat menstimulasi infeksi mikoriza, produksi spora dan juga perlawanan terhadap patogen tanaman (Garbaye, 1994; Von Alten *et al.*, 1993, Barea *et al.*, 1998,).

2.4 *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB)

2.4.1 Deskripsi *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB).

MHB merupakan istilah yang digunakan bagi bakteri yang dapat membantu mikoriza menjalankan perannya. Bakteri dikatakan MHB ketika bakteri itu bersifat endofit dengan kata lain bakteri tersebut harus berada di salah satu bagian tubuh mikoriza, dan berperan terhadap perkembangan mikoriza. Simbiosis mikoriza bukan hanya hubungan antara fungi pembentuk mikoriza dan tanaman inang namun melibatkan organisme pendukung lainnya seperti bakteri (Garbaye, 1994).

2.4.2 Jenis-jenis *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB).

Hasil penelitian Nunang (2011) menunjukkan bahwa ada 12 bakteri yang berhasil diisolasi dari spora MVA, 7 bakteri dari *Gigaspora* sp. dan 5 bakteri dari *Glomus* spp. Delapan jenis bakteri yaitu: *P. diminuta*, *B. licheniformis*, *B.*

laterosporus, *E. hormaechei*, *B. brevis*, *B. subtilis*, *B. cereus* (GG), dan *B. firmus* mampu menstimulir perkembangan hifa mikoriza. Ada 7 bakteri yang mempunyai potensi aktivitas enzimatis selulase dan protease yaitu: *B. subtilis*, *B. cereus* (GG), *B. laterosporus*, *B. pasteurii*, *P. penneri*, *B. firmus*, dan *B. cereus* (GL), dan ada 4 bakteri (*B. subtilis*, *P. diminuta*, *P. penneri*, dan *E. hormaechei*) yang dapat menghambat pertumbuhan patogen *Rhizoctonia* sp., *Sclerotium* sp., dan *Ganoderma* sp.

2.4.3 Biologi *P. diminuta*.

P. diminuta merupakan bakteri gram negatif yang sudah terbukti mampu menurunkan populasi nematoda sista kuning (*Globodera rostochiensis*) pada tanaman kentang (Asyiah *et al.*, 2010). Selain itu *P. diminuta* juga termasuk bakteri pemacu pertumbuhan tanaman *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) karena menghasilkan giberellin dan sitokinin (Asyiah *et al.*, 2010). Serfoji *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa MHB *Bacillus coagulans* bersama dengan *Glomus aggregatum* mampu mereduksi nematoda puru akar (*Meloidogyne incognita*).

Domain	: Bacteria
Phylum	: Proteobacteria
Class	: Alphaproteobacteria
Order	: Caulobacterales
Family	: Caulobacteraceae
Genus	: <i>Brevundimonas</i>
Species	: <i>Brevundimonas diminuta</i>

(Heekyung, 2013)

Klasifikasi *P. diminuta* ternyata ada beberapa perubahan akibat adanya suatu penelitian yang dilakukan oleh Segers, *et al.* (1994) menyatakan bahwa posisi taksonomi dari strain yang sebelumnya disebut *P. diminuta* terdapat kekeliruan, setelah dilakukan melalui pemeriksaan dengan pendekatan polyphasic. Hasil dari studi hibridisasi DNA-rRNA menyatakan bahwa *Pseudomonas diminuta* termasuk

dalam genus yang berbeda dalam α subclass dari proteobacter, sehingga diusulkan nama genus *Brevundimonas*.

Inokulasi ganda *P. diminuta* dan mikoriza MVA dalam mengendalikan nematoda parasit perlu dikaji lebih lanjut pada nematoda parasit lainnya seperti *P. coffeae*. *P. diminuta* selain sebagai agen pengendali nematoda parasit, *P. diminuta* juga merupakan MHB dan PGPR sehingga mempunyai potensi besar dalam mengendalikan nematoda *P. coffeae* yang menyerang akar tanaman kopi. Rizobakteri dari kelompok *Pseudomonas* spp. dapat berfungsi sebagai penyubur, sebagai sarana pengendali hayati patogen tanaman dan mampu meningkatkan ketahanan tanaman (*Induced Systemic Resistance* (ISR) (McMilan, 2007). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *Pseudomonas* spp. dapat meningkatkan hasil dan melindungi tanaman gandum dari patogen *Phytium* spp. melalui perlakuan benih (Cook, 1986). MVA mampu melindungi tanaman kacang tanah dari patogen layu dan akar *Sclerotium rolfsii* (Ganesan dan Gnanamanickam, 1986) dan dapat menginduksi ketahanan tanaman mentimun terhadap serangan patogen *Colletotrichum orbiculare* melalui perlakuan pada akar

2.4.4 Biologi *Bacillus subtilis*.

Bacillus subtilis merupakan bakteri Gram positif, berbentuk batang, dapat tumbuh pada kondisi *aerob* dan *anaerob*. Sporangia tahan terhadap panas (suhu tinggi), mampu mendegradasi Xylandan karbohidrat. *Bacillus* spp mempunyai sifat: (1) mampu tumbuh pada suhu lebih dari 50⁰C dan suhu kurang dari 5⁰C, (2) mampu bertahan terhadap pasteurisasi, (3) mampu tumbuh pada konsentrasi garam tinggi (>10%), (4) mampu menghasilkan spora dan (5) mempunyai daya proteolitik yang tinggi dibandingkan mikroba lainnya. *Bacillus* adalah salah satu genus bakteri yang berbentuk batang dan merupakan anggota dari divisi Firmicutes. *Bacillus* merupakan bakteri yang bersifat aerob obligat atau fakultatif, dan positif terhadap uji enzim katalase (Hatmanti, 2000).

Bacillus secara alami terdapat dimana-mana, dan termasuk spesies yang hidup bebas. Beberapa spesies *Bacillus* menghasilkan enzim ekstraseluler seperti *protease*, *lipase*, *amilase*, dan *selulase*. Kedudukan *B. subtilis* dalam sistematika (taksonomi) Bacteria diklasifikasikan sebagai berikut:

Domain	: Bacteria
Phylum	: Firmicutes
Class	: Bacili
Order	: Bacillales
Family	: Bacillaceae
Genus	: Bacillus
Species	: <i>Bacillus subtilis</i>

(Heekyung, 2013)

2.4.5 Peranan bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dalam membantu efektifitas peranan mikoriza.

Eksudat MHB sering kali merangsang perkecambahan spora fungi. Xavier dan Germida (2003) mengamati bahwa sebagian besar bakteri dari dinding sel spora MVA mampu meningkatkan perkecambahan spora *G. clarum* ketika terjadi kontak langsung antara spora dan bakteri, sementara sebagian isolat bakteri menghambat perkecambahan spora dengan menghasilkan *volatile antagonistic*.

Duponnois dan Garbaye (1990) telah mampu menganalisis bagaimana MHB mempengaruhi konsentrasi senyawa antagonistik yang diproduksi oleh fungi mikoriza. Mereka mendapati bahwa bakteri tersebut mampu mendetoksifikasi media cair dari metabolit fungi yang bersifat menghambat. Bakteri MHB kemungkinan juga dapat menekan produksi senyawa toksik oleh mikroba tanah. Vivas *et al.* (2005) melaporkan bahwa bakteri MHB memiliki dampak positif yang kuat terhadap perkecambahan spora dan pertumbuhan fungi prasimbiosis dalam larutan yang terkontaminasi logam berat.

Bakteri MHB memiliki efek yang mendasar pada daerah perakaran (Rhizosfer). Bakteri MHB mempunyai empat teknik dalam membantu efektifitas infeksi mikoriza terhadap tanaman Kopi Arabika. Empat teknik tersebut adalah:

a. Efek MHB pada daya penerimaan akar

Pada teknik ini, bakteri yang berkembangbiak di rhizosfer sebelum ada campuran dari jamur simbiosis, dapat meningkatkan tingkat penerimaan dari akar ke pembentukan mikoriza. Penjelasan dari hipotesis yaitu ada 2 kemungkinan dari *Helper Bacteria Effect* yaitu bakteri menginisiasi pembentukan IAA untuk membentuk akar pendek agar memungkinkan meningkatnya kemungkinan interaksi. Selanjutnya adalah bakteri mampu menghasilkan enzim yang mampu melunakkan dinding sel sehingga endomikoriza arbuskular dapat berinteraksi dengan baik oleh akar.

b. Efek MHB pada pengenalan akar dengan jamur

Berdasarkan teknik ini, MHB memberikan efek berupa mediasi terhadap biomolekul akar dan juga jamur, seperti yang kita ketahui bisa juga akar dan jamur melakukan pengenalan dari enzim atau zat kimia yang dihasilkan masing masing oleh jamur atau akar, tetapi MHB disini dapat berperan mempermudah pengenalan tersebut dengan menghasilkan senyawa senyawa tertentu seperti auksin dan enzim lainnya.

c. Efek MHB pada pertumbuhan jamur

Efek MHB lebih ditekankan pada pertumbuhan jamur pada teknik ketiga ini karena bakteri berinteraksi dengan jamur lebih baik karena keterkaitan pada saat pengkulturan jamur dan bakterium sama sama menggunakan media sederhana yang hampir sama. MHB disini memberikan stimulasi nutrisi pada jamur sehingga dapat mendapatkan pertumbuhan yang lebih baik dengan nutrisi yang lebih baik.

d. Modifikasi tanah rizosfer oleh MHB

Mekanisme ini dianggap mekanisme secara tidak langsung karena MHB mempengaruhi tanah rizosfer dimana jamur dan akar tersebut berada. Bakteri

akan memodifikasi komponen psiko-kimia dari tanah untuk memfasilitasi pembentukan interaksi antara jamur dan akar (Garbaye, 1994).

Menggunakan modal 4 teknik tersebut bakteri MHB mampu membantu meningkatkan infeksi mikoriza di akar tanaman. Semakin efektifnya infeksi mikoriza maka akan mengakibatkan optimalnya MVA dalam mengendalikan nematoda di dalam akar. Berkurangnya nematoda menyebabkan kerusakan akar berkurang sehingga suplai air dan hara untuk kebutuhan tanaman dapat terserap baik (Harni, 2012). Apabila kebutuhan tanaman terpenuhi maka mengakibatkan hasil dari fotosintesisnya pun tinggi dan mampu disebarkan ke seluruh organ tanaman sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman tersebut.

2.4.6 Peranan bakteri MHB sebagai *Growth Promoting Rhizobacteria*.

Bakteri MHB ternyata bukan hanya memiliki peranan sebagai membantu dalam efektifitas infeksi mikoriza terhadap akar tanaman tetapi Bakteri MHB juga sebagai agen pengendali hayati, dan sebagai agen biokontrol. Beberapa diantaranya yakni bakteri dari Genus *Bacillus* dan Genus *Pseudomonas* juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman yang dikenal dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), karena mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan hormon pertumbuhan (Bacon dan Hinton, 2007) serta dapat menginduksi ketahanan tanaman yang dikenal dengan *induced systemic resistance* (ISR).

Bakteri PGPR mampu meningkatkan pertumbuhan, seperti berat tajuk dan akar, disebabkan oleh karena bakteri endofit dapat merangsang pembentukan akar lateral dan jumlah akar sehingga dapat memperluas penyerapan unsur hara. Bacon dan Hinton (2007) melaporkan bahwa bakteri endofit ini dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan cara meningkatkan ketersediaan nutrisi tanaman, seperti nitrogen, fosfat, fosfor, dan mineral lainnya, serta merangsang pertumbuhan dengan memproduksi hormon pertumbuhan, seperti auksin, dan sitokinin.

2.4.7 Bakteri MHB sebagai pengendali perkembangan nematoda dengan menginduksi ketahanan sistemik tanaman (ISR).

Induksi ketahanan tanaman adalah fenomena dimana terjadi peningkatan ketahanan tanaman terhadap infeksi oleh patogen setelah terjadi rangsangan (Tian et al. (2007). Induksi ketahanan tanaman terhadap nematoda dapat melalui peningkatan asam salisilat, peroksidase, fitoaleksin, *patogenesis related protein* (PR), dan senyawa fenolik. Respon sistemik dapat terjadi saat terinduksinya senyawasenyawa tersebut, selanjutnya ditransfer secara intraselluler ke seluruh bagian tanaman (Vuurde dan Requanto, 2005).

Mekanisme Bakteri MHB dalam menginduksi ketahanan sistemik dengan mengkolonisasi jaringan dalam tanaman inang sehingga menstimulasi tanaman untuk meningkatkan produksi senyawa metabolit yang berperan dalam ketahanan tanaman, di antaranya enzim peroksidase, peningkatan aktifitas kitinase, β -1,3 glukanase, dan pathogenesis related protein, fitoaleksin. Enzim peroksidase dibutuhkan oleh tanaman untuk menghasilkan senyawa-senyawa pertahanan tanaman seperti lignin, kitin, dan beberapa senyawa penyusun dinding sel (Hallman, 2001).

Mekanisme peroksidase dalam mengendalikan nematoda adalah dengan menginduksi *Hipersensitif Reaksi* (HR) yaitu reaksi cepat melokalisasi sel, kemudian terbentuk nekrosis pada jaringan di daerah infeksi dan akhirnya jaringan tersebut mati. Matinya jaringan akan menyebabkan nematoda tidak mendapat makanan dari jaringan tersebut. (Liharska dan Williamson, 1997).

Bakteri *B. subtilis* dan Bakteri *Pseudomonas* sp. juga menghasilkan sekresi berupa enzim protease, selulase, kitinase dan juga sebagai pelarut fosfat. Enzim - enzim ini berguna untuk mendegradasi dinding sel nematoda dan dapat mendegradasi lapisan telur nematoda. Dengan kematian dan kerusakan dinding sel nematoda maka bakteri ini mampu mengendalikan perkembangan nematoda khususnya nematoda *P. coffeae* (Harni, 2007).

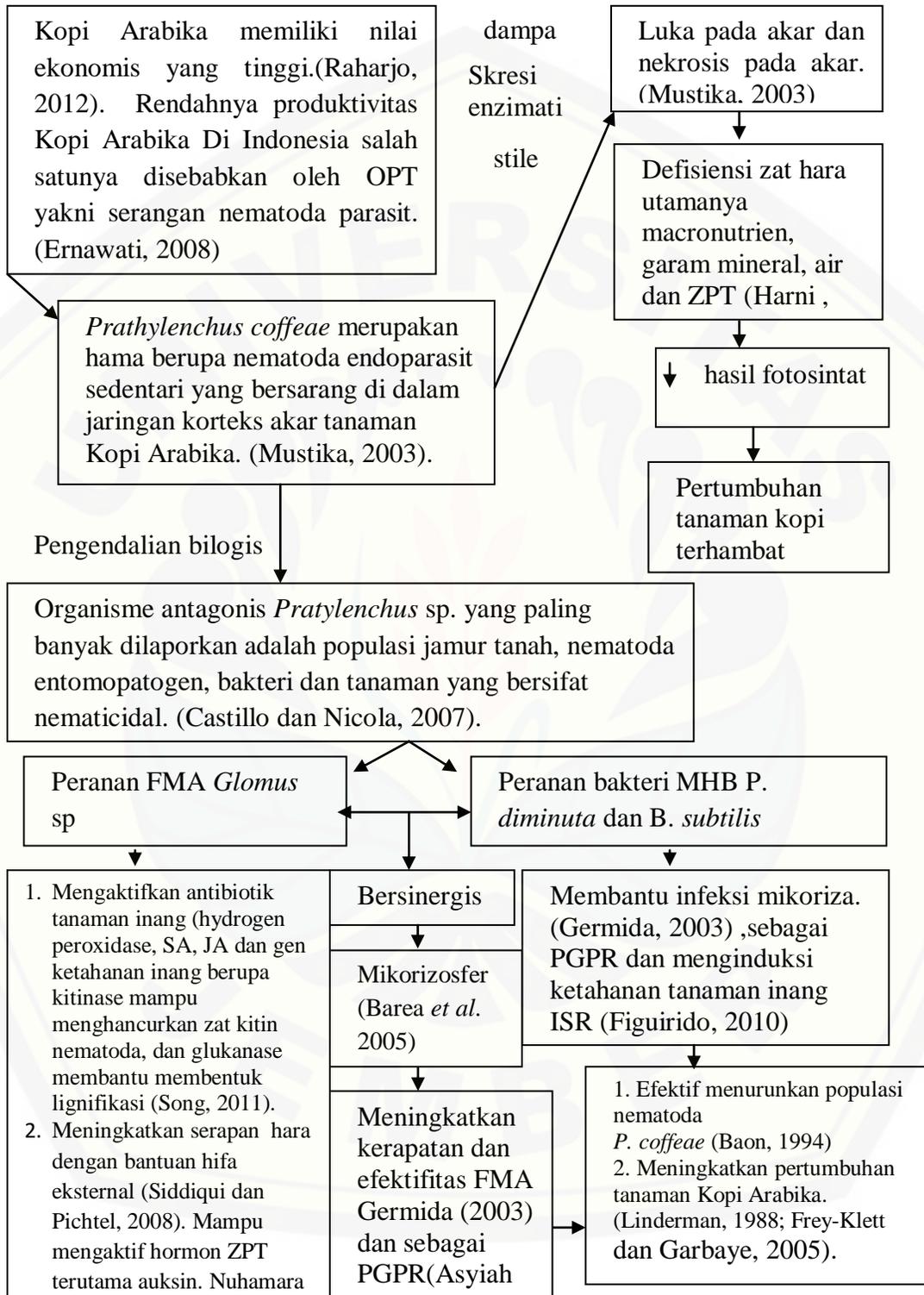
2.4.8 Inokulasi ganda MHB dan *Glomus* spp. sebagai *Mycorrhizosphere*.

Di alam, simbiosis MVA dan akar tanaman tidak hanya sebagai sebuah interaksi antara tanaman dan fungi saja, tetapi juga harus mengikut sertakan organisme pendukung. Organisme pendukung yang berupa bakteri MHB dan mikoriza ini diketahui saling memberikan pengaruh secara mutualisme, yang kemudian menghasilkan apa yang disebut sebagai “*mycorrhizosphere*” (Garbaye 2005).

Kompleksitas interaksi di dalam mikorizosfer, Gamalero *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penggunaan dua strain bakteri bersama dengan satu MVA secara kuat meningkatkan pertumbuhan tomat. Strain MHB *P. fluorescens* 92 digunakan bersama dengan strain PGPB *P. Fluorescens* P190r, dan kombinasi kedua bakteri ini dengan *G. mossaeae* BEG12 menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman secara nyata.

Telah diketahui bahwa mikoriza mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi dan mengendalikan nematoda *P. Coffeae*, tetapi kerapatan mikoriza dalam tanah menurun secara nyata dengan adanya nematoda (Baon, 1994). Kerapatan mikoriza bisa ditingkatkan dengan memanfaatkan *Mycorrhiza helper bacteria* (MHB) sehingga peranan mikoriza dapat berjalan optimal.

2.5 Landasan Teoritis yang Mendasari Hipotesis.



2.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Inokulasi ganda antara Bakteri MHB (*Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas diminuta*) dan Mikoriza *Glomus* spp. mampu mengendalikan populasi *Pratylenchus coffeae*.
- b. Inokulasi ganda antara Bakteri MHB (*Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas diminuta*) dan Mikoriza *Glomus* spp. mampu meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica*).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental lapang dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok. Penelitian ini melakukan pengujian dengan 1 jenis mikoriza (*Glomus* spp.) dan 2 Bakteri *Mychoriza Helper Bacteria* (MHB) yang diwakili oleh bakteri *Pseudomonas diminuta* dan *Bacillus subtilis* untuk mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman Kopi Arabika.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Pada penelitian ini dilaksanakan di *Green house* milik Dr.Iis Nur Asyiah S.P, M.P. Perum, Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa timur. Pembuatan ekstraksi akar kopi dilakukan di Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Kecamatan Jenggawa, Kabupaten Jember, Jawa timur. Tahap persiapan bakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi MIPA dan FKIP Biologi Universitas Jember. Identifikasi bakteri di Laboratorium MIPA Biologi Universitas Jember. Waktu penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Oktober 2014-Januari 2015.

3.3. Identifikasi Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas adalah variabel yang sengaja dilakukan dengan perbedaan formulasi sehingga dapat mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah formulasi bionematisida meliputi pemberian bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan jamur endofit mikoriza (*Glomus* spp.).
- b. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah populasi Nematoda Parasit *P. coffeae* dan tingkat pertumbuhan Kopi Arabika.

- c. Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan sehingga variabel bebas dan terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: media tanam yang digunakan merupakan tanah steril yang sama, pot yang digunakan dengan ukuran yang sama, tanaman bibit kopi usia 2 bulan di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia di Jember. Jumlah *P. coffeae* yang diinokulasikan sejumlah 50 ekor. Mikoriza yang digunakan pada fase spora dalam setiap perlakuan digunakan sebanyak 100 spora. Pemberian 1 gr pupuk urea dan Sumber air penyiraman tanaman tanaman kopi yang digunakan merupakan sumber air dari daerah yang sama.

3.4. Definisi Operasional Variabel

Peneliti memberikan pengertian untuk menjelaskan operasional penelitian agar tidak menimbulkan pengertian ganda yaitu sebagai berikut.

- a. Mikoriza (*Glomus* spp.) merupakan Endomikoriza Vesikula Arbuskula (MVA) yang merupakan jamur simbiosis mutualisme antar jamur dan akar dan hifa jamur MVA mampu menginfeksi hingga menembus jaringan kortek akar tanaman inang dan mampu membentuk vesikula serta arbuskula.
- b. Bakteri MHB adalah kumpulan bakteri yang mampu membantu mikoriza bersimbiosis dengan sel-sel korteks akar tanaman kopi.
- c. Nematoda parasit *P. coffeae* adalah kelompok organisme parasit yang hidup di korteks akar tumbuhan kopi (Wiryadiputra, *et al.*2010).

3.5 Desain penelitian.

Penelitian ini merupakan percobaan dengan jenis percobaan RAK dengan 8 perlakuan, 5 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 2 sampel tanaman bibit Kopi Arabika. Aplikasi dilakukan setelah usia bibit 2 minggu setelah *transplanting* atau penanaman di dalam pot. 8 perlakuan itu sebagai berikut.

1. Kontrol positif (K+) tanpa mikoriza, nematoda dan bakteri (A)

2. Kontrol negatif (K-) dengan menggunakan nematoda saja (B)
3. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml (C).
4. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 2×10^8 cfu/ml (D).
5. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml (E)
6. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 2×10^8 cfu/ml (F)
7. Perlakuan mikoriza 100 spora *Glomus* spp. (G)
8. Perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5g/pot (H).

3.6. Populasi dan Sampel

3.6.1 Populasi

Populasi penelitian ini adalah bibit tanaman Kopi Arabika yang ditanam Di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Di Kecamatan Jenggawah, Jember Jawa Timur.

3.6.2 Sampel

Sampel dalam penelitian adalah bibit tanaman Kopi Arabika yang dibibitkan kira-kira berusia 2 bulan tepatnya ketika muncul daun 8 Di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Kecamatan Jenggawah Jember.

3.7. Alat dan Bahan Penelitian

3.7.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah saringan 325 mesh (0,045 mm) dan 40 mesh, neraca/timbangan Ohaus, timbangan analitik, *refrigerator*, labu erlemeyer, pengaduk/spatula, silet/pisau, gunting, *autoclave*, blender, pemanas, bunsen, kamera digital, gelas ukur 10 ml (3 buah), mikro pipet 1 ml , mikro pipet 1

µm, pipet tetes, jarum ose, *beaker glass* 400 cc (2 buah) dan 100 cc (1 buah), shaker, pot plastik, mikroskop, *counting disk*, cawan petri, tabung reaksi, *Laminar Air Flow* (LAF), rak tabung reaksi, penggaris, jangka sorong analitis, pipet volume 10 ml dengan penghisap, piringan aluminium, cincin penjepit, alat penghitung (*counter*), *stopwatch*, gelas beker, plastik volume 1000 ml, selang plastik diameter 3 mm, botol semprot, thermohigro.

3.7.2 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bibit Kopi Arabika dengan usia 2 bulan dengan 4 daun dan Nematoda *P. coffeae* yang diperoleh dari Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kecamatan Jenggawah, Kabupaten Jember Jawa Timur. Jamur mikoriza *Glomus* spp. berasal dari UGM, Yogyakarta. Bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis* yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember. Tanah kompos steril dengan perbandingan pasir: tanah: pupuk kandang = 1:1:1, aquades, alkohol 70%, nematisida carbofuran, *aluminium foil*, medium NA (*Nutrient Agar*) dan NB (*Nutrient Broth*), asam laktat, asam fuchsin, *liquid nitrogen*, *glyserol*, NaCl, HCl, KOH 80%, Metanol, *lactofenol blue solution*, kertas label dan kapas.

3.8. Prosedur Penelitian

3.8.1 Tahap Persiapan Media Tanam.

Pertama persiapan media tumbuh yang berupa tanah, pupuk kandang dan pasir dengan perbandingan 1:1:1 yang telah disterilkan pada alat modifikasi autoclave pada suhu 135 °C selama 4 jam untuk menghindari adanya kontaminasi dari nematoda maupun organisme lain dalam tanah yang akan dijadikan medium. Penanaman bibit Kopi Arabika pada bak plastik hingga umur 2 bulan hingga muncul daun ke empat sehingga bibit berjumlah 8 daun. Penanaman bibit kopi pada bak besar ini menggunakan pasir yang sudah disterilkan, tujuannya untuk mendapatkan bibit kopi yang homogeny dan tidak terkontaminasi. Setelah bibit kopi berumur 2 bulan dan

muncul daun keempat, dipindahkan ke dalam pot plastik yang memiliki diameter 15,3 cm dan diisi tanah kompos yang volumenya 1100 gram.

3.8.2 Tahap persiapan mikoriza *Glomus* spp.

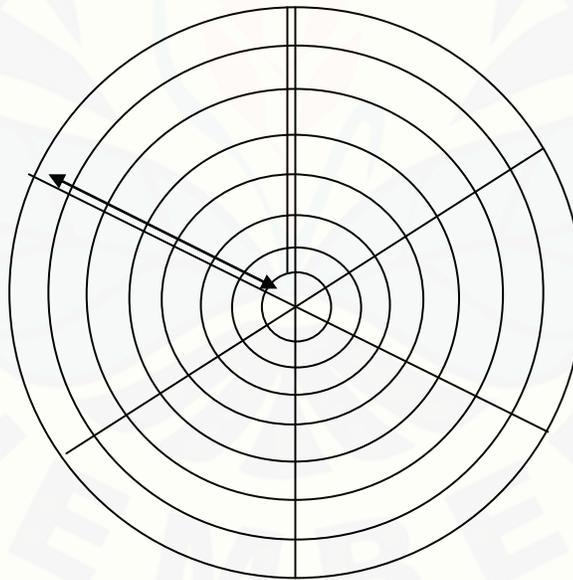
Tahap persiapan mikoriza *Glomus* spp. ini dilakukan dengan cara ekstraksi mikoriza. Langkah yang dilakukan dalam ekstraksi mikoriza ini adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang zeolit yang mengandung spora mikoriza sebanyak 25 gram.
- b. Memasukkan zeolit ke beker plastik ukuran 1000 ml dengan ditambahkan air sebanyak 500 ml kemudian mengaduknya hingga rata.
- c. Menuang ke dalam beker plastik dan melakukannya sebanyak 4 kali dan kemudian menyaringnya lagi dengan saringan 40 mesh yang diletakkan di atas wadah aluminium.
- d. Mengendapkan hasil saringan tersebut hingga 0,5-1 jam.
- e. Pengurangan volume dengan cara pengetapan hingga 100 ml.
- f. Menuangkan hasil pengetapan ke dalam tabung sentrifuge yang berisi bubuk kaolin sebanyak 10 gram dan mengaduknya hingga rata.
- g. Memutar alat sentrifuge dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit.
- h. Alat sentrifuge ini menghasilkan 2 larutan yakni larutan kaolin di bagian bawah dan air di bagian atas.
- i. Membuang air hingga hanya tersisa larutan kaolin.
- j. Memasukkan larutan gula dengan berat jenis 1,18 (dengan ketinggian larutan harus sama seperti sebelum dimasukkan ke dalam sentrifuge. kemudian mengaduk hingga rata.
- k. Pemutaran dengan sentrifuge selama 3 menit.
- l. Kemudian diperoleh 2 lapisan larutan. Lapisan bagian atas adalah gula sedangkan endapan kaolin di bawah.
- m. Mengambil larutan gula saja untuk dilakukan lebih lanjut.

- n. Menuang lapisan gula ke dalam gelas beker yang telah terisi air 400 ml kemudian disaring dengan saringan 325 mesh (0,045 mm) dan mengendapkannya selama 1 jam.
- o. Pengetapan hingga 100 ml dan hasilnya bisa langsung diamati.

3.8.3 Tahap Perhitungan Mikoriza *Glomus* spp.

Perhitungan Mikoriza *Glomus* spp. dilakukan dengan menggunakan mikroskop. Perhitungan Mikoriza *Glomus* spp. ini dilakukan secara manual dengan bantuan *counting disk* atau cawan perhitungan di bawah mikroskop. Perhitungan dimulai dengan memasukkan larutan yang telah homogen dengan cara dihisap dan dikeluarkan lagi dengan 3 kali pengulangan. Pengambilan larutan menggunakan pipet sebanyak 10 ml yang diletakkan ke dalam cawan. Memberi sedikit aquades steril apabila penutupan dalam cawan tidak merata. Perhitungan dengan menggunakan mikroskop bisa dilakukan secara manual dengan menghitung setiap Nematoda *P. coffeae* yang ada pada kotak-kotak cawan.



Gambar 3.1 : Cawan penghitung (*Counting disk*), terdiri dari 8 lingkaran dan garis lurus dan garis ganda sebagai tanda pembatas untuk memudahkan dalam perhitungan populasi nematoda

3.8.4 Tahap kalkulasi Mikoriza *Glomus* spp.

Setelah dilakukan perhitungan dengan *counting disk* dapat 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 analitis.

3.8.5 Tahap Persiapan Nematoda *P. coffeae*.

Persiapan Nematoda *P. coffeae* diperoleh dari pengambilan sampel beberapa akar tanaman kopi yang terinfeksi nematoda yang ada di daerah kebun Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Setelah didapatkan akar yang cukup maka dilakukan ekstraksi nematoda menggunakan metode Baermann yang telah dimodifikasi sehingga didapatkan Nematoda *P. coffeae* yang hidup dengan jumlah yang telah 50 ekor Nematoda *P. coffeae* untuk menginfeksi setiap tanaman kopi. Langkah ekstraksi dengan metode Baerman yang dimodifikasi adalah sebagai berikut:

- a. Mencuci akar tanaman Kopi Arabika yang telah terinfeksi nematoda *P. coffeae* dan memisahkannya dari sisa-sisa tanah dan kotoran lain yang melekat dan dicuci hingga bersih, dikering anginkan untuk menghilangkan sisa-sisa air yang menempel pada permukaan akar.
- b. Memotong akar sepanjang $\pm 0,5$ cm dengan gunting pangkas. Pengambilan akar secara random sebanyak 10 gram. Kemudian masukkan ke dalam beker plastik ditambahkan air sebanyak ± 100 ml.
- c. Potongan akar di dalam air 100 kemudian dimasukkan ke dalam blender dengan 2 kali penyaringan. Tiap penyaringan dilakukan selama 15 detik.
- d. Hasil halusan akar disaring dengan saringan 40 mesh yang telah dipasang kain panel dengan bantuan *ring*. Saringan 40 mesh diletakkan di dalam piringan alumunium, kemudian diisi air sebanyak 100 ml dan diendapkan selama 24 jam.

- e. Air endapan disaring dengan 2 saringan 235 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam.
- f. Pengurangan volume ditap dengan selang plastik sampai \pm 100 ml. Hasilnya dapat langsung diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 40 x 10 atau disimpan di dalam lemari pendingin (refrigerator) apabila belum diamati. Nematoda dapat bertahan sampai 3 hari.

3.8.6 Identifikasi Nematoda *P. coffeae*.

Identifikasi Nematoda *P. coffeae* bertujuan untuk memastikan kebenaran spesies dan mempelajari morfologinya. Identifikasi dilakukan setelah dilakukan proses baermann yang termodifikasi dilanjutkan dengan pengamatan di bawah mikroskop.

3.8.7 Tahap perhitungan Nematoda *P. coffeae*

Perhitungan nematoda *P. coffeae* dengan menggunakan mikroskop dengan manual langsung dengan bantuan *counting disk* atau cawan perhitungan. Perhitungan dimulai dengan memasukkan larutan yang telah homogen dengan cara dihisap dan dikeluarkan lagi dengan 3 kali pengulangan. Pengambilan larutan menggunakan pipet sebanyak 10 ml yang diletakkan ke dalam cawan. Memberi sedikit aquades steril apabila penutupan dalam cawan tidak merata. Perhitungan dengan menggunakan miroskop bisa dilakukan secara manual dengan menghitung setiap nematoda *P. coffeae* yang ada pada kotak-kotak cawan hitung seperti gambar skema cawan perhitungan.

3.8.8 Tahap Pembuatan dan Pengenceran Bakteri

Biakan murni Bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis* yang diperoleh dari Laboratorium Mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember diremajakan pada media cawan petri dengan medium NA. Pengambilan bakteri menggunakan jarum ose steril. Pertama pengambilan isolat bakteri kemudian diremajakan pada medium NA

miring selama ± 24 jam. Kemudian bakteri yang telah diremajakan tadi diluruhkan menggunakan jarum ose dan ditambahkan 5 ml aquadest sehingga menjadi suspensi bakteri. Diambil 1 ml dari suspensi bakteri dimasukkan ke dalam 9 ml aquadest (pengenceran 10^{-1}). Dilakukan sampai pengenceran hingga 10^{-8} kemudian dituangkan ke dalam medium NA ± 20 ml yang disediakan di cawan petri secara *spread plate* sebanyak 100 μ m dengan menggunakan mikropipet dan diratakan dengan gigaskrin, setelah itu diinkubasi ± 24 jam. Pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah koloni yang tumbuh, indikator bakteri berhasil dapat digunakan dalam uji jika jumlah koloni bakteri antara 30-300 koloni bakteri.

a. Tahap Formulasi Bakteri dengan CFU

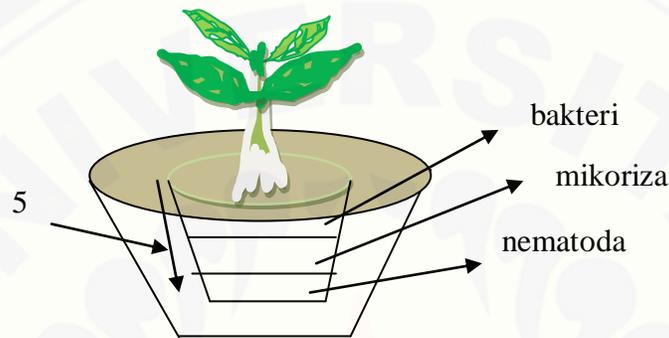
Bakteri biakan murni diremajakan ± 24 jam pada medium miring. Kemudian bakteri yang telah diremajakan tadi diluruhkan menggunakan jarum ose dan ditambahkan 1 ml aquadest sehingga menjadi suspensi bakteri. Diambil 1 ml dari suspensi bakteri dimasukkan pada medium NB 100 ml di labu erlenmeyer. Kemudian dishaker selama 24 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah 24 jam, baru diaplikasikan ke tanaman Kopi Arabika sesuai dengan yang diperlakukan. Cara menghitung sel relatif / CFU per ml sebagai berikut :

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

b. Dilakukan perhitungan koloni, hasilnya kurang dari 300 koloni. dalam penelitian ini bakteri yang digunakan populasinya tidak lebih dari 300 koloni. Setelah itu bakteri ditanam pada medium NA miring diinkubasi selama 24 jam. Bakteri yang diambil dari media miring dengan menggunakan jarum ose kemudian ditanam pada medium NB yang disiapkan di dalam gelas *erlenmeyer*, *dishaker* selama 24 jam. Sesudah *dishaker* selama 24 jam bakteri bisa digunakan sesuai kebutuhan penelitian.

3.8.9 Penanaman bibit kopi

Inokulasi *P. coffeae* diberikan dengan menggunakan botol yang sudah berisi nematoda dengan jumlah yang sama untuk tiap pot yaitu 50 ekor nematoda. Penempatan inokulum nematoda dan mikoriza dalam pot dilakukan 2 minggu setelah *transplanting* bibit kopi di dalam pot seperti yang di tunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 3.2 : Skema penempatan inokulum mikoriza, bakteri dan nematoda dalam pot.

- a. Pengujian dilakukan pada tanaman kopi arabika dengan 8 perlakuan, yaitu :
1. Perlakuan mikoriza 100 spora *Glomus* spp.
 2. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 10^8 /ml (P_2)
 3. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 2×10^8 /ml (P_3)
 4. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 10^8 /ml (P_4)
 5. Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 2×10^8 /ml (P_5)
 6. Perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5g/pot (P_6)
 7. Kontrol positif (K^+) tanpa mikoriza, nematoda dan bakteri (P_7)
 8. Kontrol negatif (K^-) dengan menggunakan nematoda saja (P_8)
- b. Perlakuan tersebut dilakukan dengan pengulangan sebanyak 5 kali. Pengamatan pertumbuhan Kopi Arabika dilakukan selama 4 bulan dengan pengambilan data pertumbuhan tanaman (perubahan diameter batang, perubahan tinggi tanaman, skor

kerusakan tajuk dan jumlah daun) setiap 2 minggu sekali. Selain itu juga dilakukan pengamatan gejala serangan nematoda yang timbul juga dicatat setiap 2 minggu sekali.

c. Pada akhir percobaan, diamati berat kering tumbuhan, akar tanaman, populasi mikoriza dan populasi nematoda pada tanah dan akar, serta skor kerusakan akar.

3.9 Parameter Penelitian.

Parameter dilakukan terhadap pertumbuhan bibit kopi setiap 2 minggu sekali sejak awal inokulasi hingga diakhir pengamatan yakni selama 4 bulan dan pengamatan pada akhir percobaan, yakni sebagai berikut.

3.9.1 Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman dilakukan pada awal aplikasi dan setiap 2 minggu sekali. Pengukuran dimulai dari ruas batang yang pertama yakni dua daun awal yang ada di atas tanah hingga ujung tunas yang baru tumbuh. Pengambilan data untuk mengetahui pertumbuhannya yakni perubahan tinggi dari pengukuran sebelumnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan penggaris jika tanaman tumbuh secara tegak tetapi jika tidak tegak maka dilakukan dengan bantuan tali sehingga akurasi terjaga.

3.9.2 Diameter batang (mm)

Pengukuran diameter batang dengan menggunakan jangka sorong analitis dengan satuan milimeter. Pengambilan data diukur dari batas ruas batang yang pertama yakni di atas ruas daun pertama yang dilakukan setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan pengamatan.

3.9.3 Jumlah daun.

Jumlah daun dihitung setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan pengamatan. Jumlah daun dihitung secara keseluruhan daun yang masih kuncup atau belum terbuka sempurna tidak dihitung.

3.9.4 Kerusakan tajuk.

Kerusakan tajuk dalam penelitian ini diukur setiap 2 minggu sekali hingga tanaman berusia 4 bulan. Pengukuran kerusakan skor tajuk dapat dilakukan dengan penyekoran dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

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

3.9.5 Massa basah tajuk.

Massa basah tajuk ditimbang di akhir penelitian, saat pengamatan ke-4 bulan setelah inokulasi. Bagian tajuk yang ditimbang yaitu bagian tanaman dengan batasan pangkal akar (garis perbedaan warna antara warna batang dan akar) hingga bagian ujung tanaman kopi arabika. Penimbangan dilakukan dengan timbangan analitik Di Laboratorium FKIP Biologi Universitas Jember.

3.9.6 Massa kering tajuk

Massa kering ini dilakukan setelah usia 4 bulan setelah inokulas atau setelah pengamatan. Penimbangannya dilakukan setelah tajuk tanaman kopi (bagian atas pangkal akar) dioven hingga kadar airnya berkurang selama 5 hari. Penimbangan dilakukan dengan timbangan analitik di Laboratorium FKIP Biologi Universitas Jember.

3.9.7 Populasi Nematoda *P. coffeae*.

Jumlah populasi Nematoda *P. coffeae* dihitung pada saat tanaman berumur bulan inokulasi. Perhitungan jumlah populasi *P. coffeae* ini menggunakan metode

Baermann yang telah dimodifikasi. Cara menghitung populasi nematoda *P. coffeae* sebagai berikut :

- a. Suspensi nematoda yang diperoleh dari hasil ekstraksi dituangkan ke dalam beker gelas, volumenya dijadikan 100 ml.
- b. Suspensi nematoda diaduk sampai merata dengan cara dihisap dengan menggunakan pipet kemudian disemprotkan kembali dan 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 mengamati garis-garis sesuai jalur yang ada pada cawan penghitung searah jarum jam. penghitungan dilakukan sebanyak 3 kali. Suspensi nematoda yang telah selesai dihitung, kemudian dikembalikan lagi ke dalam gelas beker. 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

3.9.8 Derajat infeksi mikoriza *Glomus* spp.

Pengamatan infeksi mikoriza akar *Glomus* spp. Pada akar diawali dengan pembongkaran tanaman saat tanaman berumur 4 bulan setelah perlakuan, tanaman beserta akar dimasukkan kedalam kantong plastik dan diberi label. Akar dan tanah dipisahkan terlebih dahulu, kemudian akar yang telah bersih diletakkan pada alas kertas dan akar dipotong sepanjang ± 5 cm. Setelah pengguntingan selesai, sebanyak 1-2 gram akar disiapkan untuk proses pewarnaan akar.

Pewarnaan akar dilakukan dengan cara membersihkan akar pada tiap perlakuan seberat 1 gram dengan air mengalir. Kemudian akar tersebut dimasukkan ke dalam kain kasa untuk memulai proses pewarnaan. Proses pewarnaan dimulai dengan mendidihkan larutan lactophenol di atas bunsen. Setelah lactophenol mendidih, memasukkan akar tersebut selama 20-30 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. Proses pengamatan dilakukan dengan meletakkan akar dalam cawan petri kemudian diamati dibawah mikroskop. Penambahan gliserin acid ini bertujuan agar akar dapat disimpan selama beberapa bulan tetapi tidak mengubah warna mikoriza.

Perhitungan akar yang terinfeksi mikoriza dilakukan dengan metode slide (Giovanneti dan Mosse, 1980). Prosedur kerja adalah sebagai berikut: (1) Potongan-potongan akar sepanjang 1cm yang telah diwarnai diambil secara acak; (2) Potongan-potongan akar tersebut disusun pada gelas objek, satu slide mikroskop untuk 10 potong akar; (3) Mencatat jumlah akar yang terinfeksi mikoriza; (4) Mengambil contoh akar yang lain dan ulangi prosedur diatas.

Akar yang terinfeksi mikoriza ditandai dengan adanya hifa, vesikel atau arbuskula dalam korteks akar tanaman. Persentase infeksi mikoriza tersebut dihitung berdasarkan rumus Philip & Haymen (Hapsah, 2006) :

$$\% \text{ Infeksi akar} = \frac{\text{Jumlah contoh akar yang terinfeksi}}{\text{Jumlah Seluruh Akar yang diamati}} \times 100 \%$$

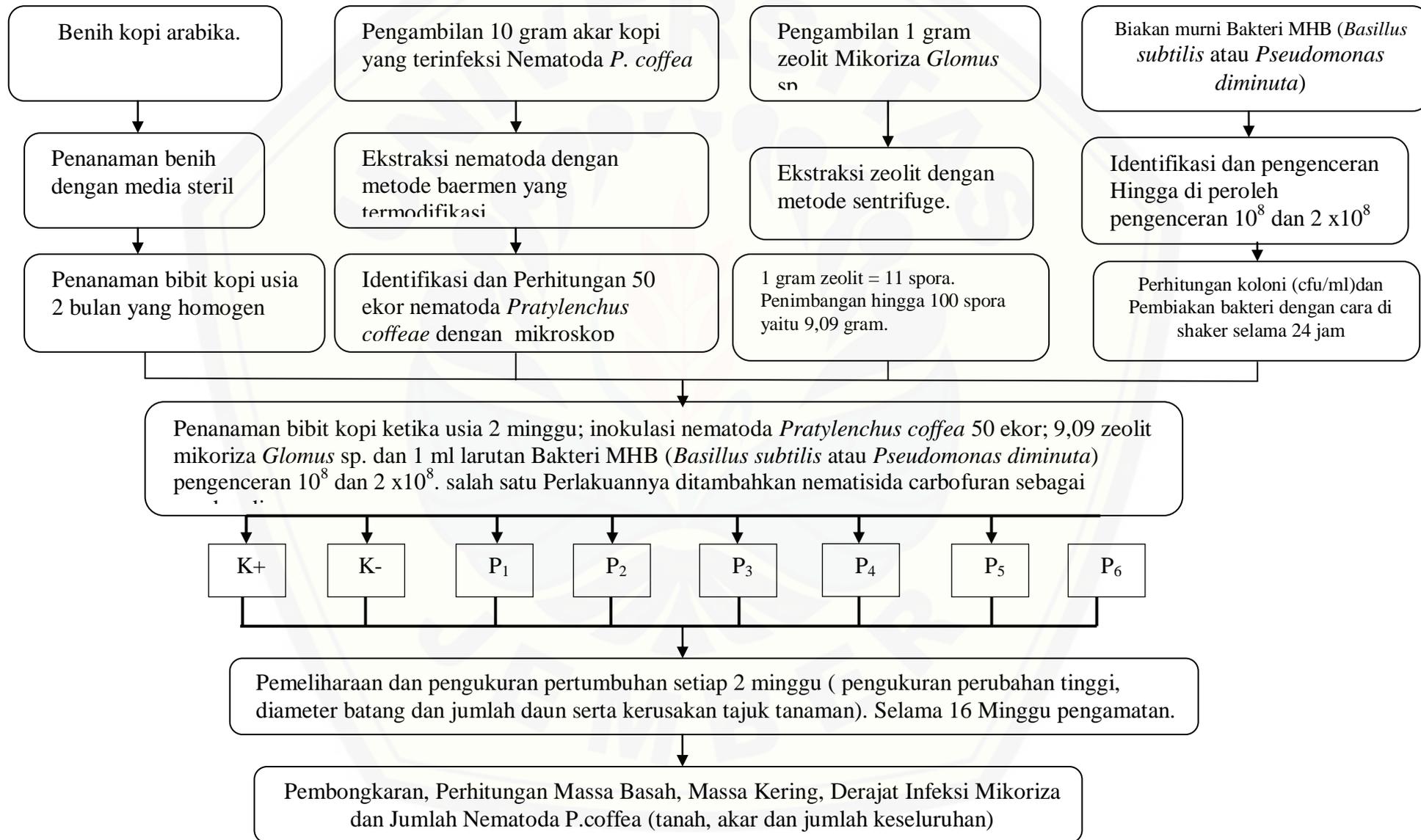
Klasifikasi kelas infeksi akar (The Institute of Mycorrhizal Research and Development, USDA Forest Service Athena, Georgia):

- a. Kelas 1, bila infeksi akar 0-5%
- b. Kelas 2, bila infeksi akar 6-26%
- c. Kelas 3, bila infeksi akar 27-50%
- d. Kelas 4, bila infeksi akar 51-75%
- e. Kelas 5, bila infeksi akar 76-100%

3.10 Analisa Data

Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan ANOVA untuk uji Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan tingkat kepercayaan 95% untuk mengetahui signifikansi pengaruh inokulasi ganda antara mikoriza (*Glomus* spp.) dan bakteri *P. diminuta* atau *B. subtilis* terhadap penurunan populasi *P. coffeae* serta meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika. Jika terdapat pengaruh yang signifikan maka akan dilanjutkan pada uji Duncan pada taraf kepercayaan 95% untuk melihat perbedaan antar perlakuan dengan kontrol.

3.11 Alur Penelitian.



KETERANGAN

- A : Kontrol negatif (K-) dengan menggunakan nematoda saja (P₈).
- B: Kontrol positif (K+) tanpa mikoriza, nematoda dan bakteri (P₇)
- C: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 10⁸cfu/ml (P₄)
- D: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 2x 10⁸ cfu /ml (P₅)
- E: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 10⁸ cfu /ml (P₂)
- F: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 2 x10⁸ cfu /ml (P₃)
- G: Perlakuan mikoriza 100 spora *Glomus* spp.
- H : Perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5g/pot (P₆)

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan mikoriza *Glomus* spp. dan *Mychorrhiza Helper Bacteria* (MHB) yang diwakili oleh dua bakteri yakni Bakteri *Pseudomonas diminuta* L. dan *Bacillus subtilis* C. Pemberian inokulasi ganda antar *Glomus* spp. dan Bakteri MHB digunakan sebagai alternatif mengendalikan secara biologis Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) yang telah dilaksanakan mulai 9 September 2014 sampai 24 Januari 2015 di *Green house* milik Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP. Di Perumahan Istana Tidar, Kaliurang, Jember dan Laboratorium Perlindungan Tanaman, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember. Hasil pengamatan awal sebelum dilakukannya proses inokulasi perlakuan adalah hasil dari proses identifikasi.

Identifikasi dilakukan terhadap Bakteri MHB, Mikoriza *Glomus* spp. dan Nematoda *P. coffeae*. Bakteri MHB yang dipakai dalam penelitian ini yakni *P. diminuta* dan *B. subtilis*. Identifikasi ini bertujuan untuk mencegah adanya kesalahan terhadap spesies Mikoriza *Glomus* spp., Bakteri MHB maupun nematoda yang dipakai, sehingga dengan adanya proses identifikasi ini, hasil yang diperoleh bisa dibandingkan dengan literatur sehingga tidak terjadi kesalahan dan menyebabkan ketidakakuratan hasil penelitian. Hasil identifikasi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

4.1.1 Identifikasi sampel Penelitian.

4.1.1.1 Identifikasi Bakteri MHB

Identifikasi Bakteri MHB dalam penelitian ini terdiri dari Bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis*. Identifikasi dilakukan Di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Jember. Uji yang dilakukan adalah pengujian biokimia

yang meliputi uji fermentasi karbohidrat (uji glukosa, sukrosa, laktosa, manitol dan maltosa), uji hidrolisis pati, uji perbedaan suhu, uji reduksi nitrat, uji katalase, uji indol, pewarnaan gram dan pengamatan endospora. Hasil dari uji biokimia yang telah dilakukan tersebut dicocokkan dengan *Bergeys Determinative Biology* untuk mengetahui spesies bakteri yang digunakan. Hasil uji biokimia tentang identifikasi bakteri dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Biokimia untuk identifikasi Bakteri MHB.

Nama Uji	<i>P. diminuta</i>		<i>B. subtilis</i>	
	1	2	1	2
Fermentasi kH				
Glukosa	+	+	+	+
Sukrosa	+	+	+	+
Laktosa	+	+	-	-
Mannitol	-	-	+	+
Maltosa	+	+	+	+
Hidrolisis Pati	-	-	+	+
Perbedaan Suhu				
5⁰C	-	-	-	-
45⁰C	+	+	+	+
65⁰C	-	-	-	-
Reduksi Nitrat				
96 Jam	-	-	+	+
Katalase	+	+	+	+
Indol	-	-	-	-
Gram	-	-	+	+
Bentuk	Basil		Basil	
Endospora	-	-	+	+

Setelah dicocokkan dengan literatur, diketahui bahwa bakteri yang digunakan sudah sesuai yaitu *Pseudomonas diminuta* L. dan *Bacillus subtilis* C. sesuai dengan deskripsi yang dijabarkan oleh Holt *et al.* (1994) dalam *Bergeys Determinative of Bacteria*.

4.1.1.2 Identifikasi Mikoriza *Glomus* spp.

Identifikasi pada spora *Glomus* spp. dilakukan dengan menggunakan ekstraksi Baerman yang telah dimodifikasi. Proses identifikasi ini di gunakan guna memastikan bahwa jenis mikoriza yang digunakan benar-benar *Glomus* spp. Proses identifikasi ini menggunakan bantuan mikroskop karena spora *Glomus* spp. sangat kecil dan tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Hasil yang diperoleh melalui mikroskop seperti pada Gambar 4.1.



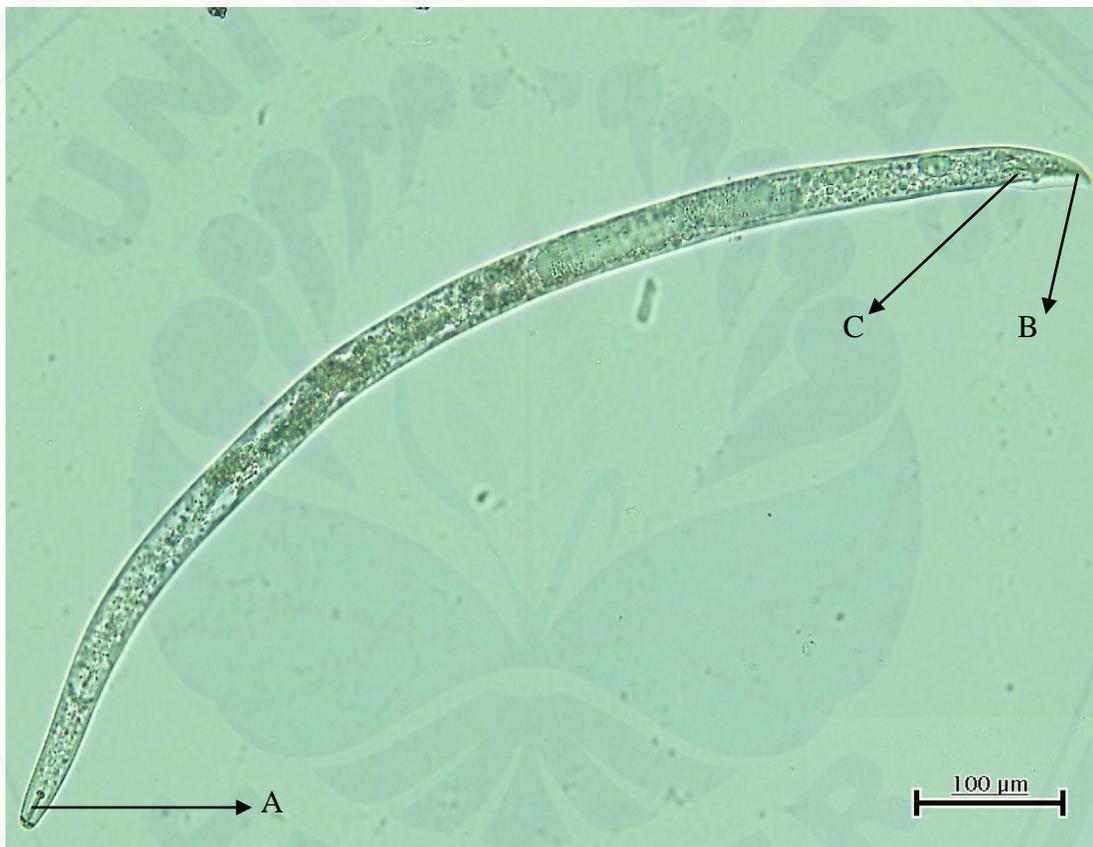
Gambar 4.1 Spora *Glomus* spp. dengan perbesaran 500 μm (Sumber: Koleksi Pribadi).

dilakukan pengamatan Setelah dengan menggunakan bantuan Mikroskop kemudian proses identifikasi dilakukan dengan membandingkan pada literur yang digunakan.

4.1.1.3 Identifikasi *P. coffeae*.

Identifikasi *P. coffeae* ini dilakukan di Laboratorium Perlindungan Tanaman, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jenggawah, Jember dan Laboratorium Biomedik, Fakultas Farmasi Universitas Jember. Identifikasi Nematoda *P. coffeae* dilakukan dengan membandingkan hasil pengamatan gambar dari mikroskop dan

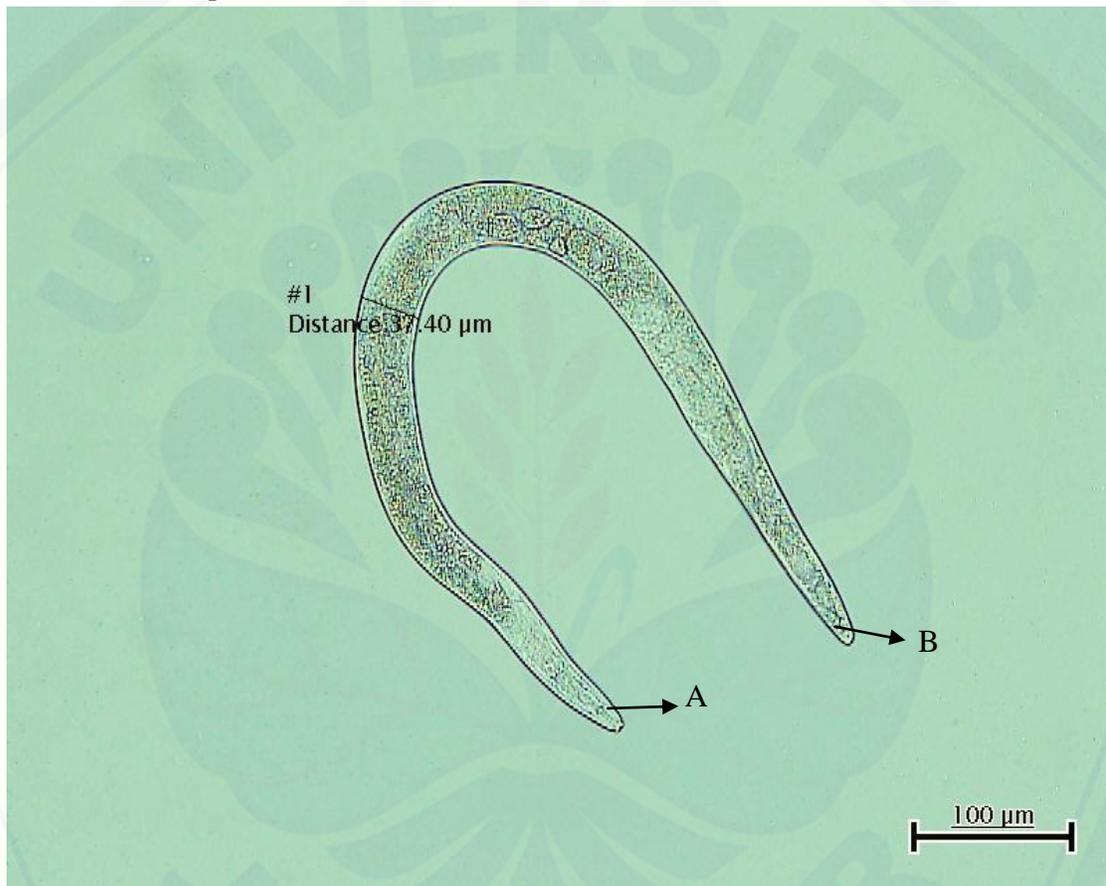
dengan gambar dari literatur. Gambar yang diperoleh saat pengamatan dibawah mikroskop salah satunya sebagai berikut.



Gambar 4.2 Nematoda parasit *P. coffeae* Jantan dengan perbesaran 100 μm , a) *Styler*; b) Ekor *P. coffeae* Jantan dan c) kait berguna sebagai alat reproduksi (Sumber: Koleksi Pribadi).

Gambar 4.2 menunjukkan Nematoda *P. coffeae* jantan ekornya pendek. Bagian dorsalnya seperti kerucut yang melengkung. Bursanya tumbuh sampai ke ujung ekor, spikulanya silindris memanjang dan melengkung (Luc, 1995). Bentuk

nematoda ini pada umumnya memanjang, bagian ujung anterior kepala mendatar, dengan kerangka kepala yang kuat, mempunyai stilet pendek dan kuat, panjangnya 14-20 μm dengan basal knop 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 masuk atau menginfeksi jaringan tanaman dan makan cairan sel (Dropkin, 1992).



Gambar 4.3 Nematoda parasit *P. coffeae* betina dengan perbesaran 100 μm , a) Stylet; b) Ekor *P. coffeae* betina (Sumber: Koleksi Pribadi).

Nematoda betina seperti pada Gambar 4.3 menunjukkan vulvanya terletak di bagian posterior yaitu 70-80% panjang tubuhnya, sistem genitalnya mempunyai saluran tunggal yang mengarah ke bagian anterior tubuh. Spermatekanya berbentuk oval atau bulat berisi sperma pada spesies nematoda biseksual, ekornya sub-silindris

atau kurang lebih seperti seperti kerucut dengan ujungnya lebar atau sempit dan tumpul atau terpancung dan kadang-kadang halus atau beranulasi (Luc,1995).

4.1.2. Pengaruh pemberian inokulasi ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan *Glomus* spp. dalam mengendalikan populasi Nematoda parasit *P. coffeae*.

Penghitungan populasi Nematoda *P. coffeae* bulan ke-4 atau pada minggu ke-16. Proses perhitungan Nematoda *P. coffeae*. dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi sentrifuge.

4.1.2.1 Pengaruh pemberian inokulasi ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan *Glomus* spp. dalam mengendalikan populasi Nematoda parasit *P. coffeae* pada akar tanaman Kopi Arabika dan tanah.

Hasil penghitungan populasi nematoda parasit *P. coffeae* pada akar dan tanah dapat dilihat pada Tabel 4.2. Pemaparan dalam Tabel 4.2 berupa jumlah Nematoda *P. coffeae* yang ada ditanah dan ada yang di dalam jaringan akar serta total keseluruhan jumlah Nematoda *P. coffeae*.

Tabel 4.2 Pengaruh Inokulasi ganda antara Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan *Glomus* spp. terhadap rerata penghitungan populasi Nematoda *P. coffeae* pada akar dan tanah serta total.

Perlakuan	Rerata Populasi <i>P. coffeae</i> ± std.		
	Akar	Tanah	Total
(A) Tanpa perlakuan (K+)	0 ± 0,00 ^a	0 ± 0,00 ^a	0 ± 0,00 ^a
(B) Inokulasi <i>P. coffeae</i> (K-)	626 ± 0,05 ^e	382 ± 0,10 ^d	1008 ± 0,06 ^e
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 10 ⁸	76 ± 0,36 ^d	51 ± 0,27 ^c	127 ± 0,30 ^d
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 2x10 ⁸	22 ± 0,65 ^{bc}	10 ± 0,68 ^b	32 ± 0,72 ^{bc}
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	65 ± 0,20 ^d	45 ± 0,11 ^c	110 ± 0,12 ^d
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	22 ± 0,86 ^b	8 ± 0,63 ^b	30 ± 0,93 ^b
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	134 ± 0,07 ^d	60 ± 0,08 ^c	194 ± 0,04 ^d
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i>	41 ± 0,09 ^{cd}	23 ± 0,08 ^c	64 ± 0,09 ^{cd}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

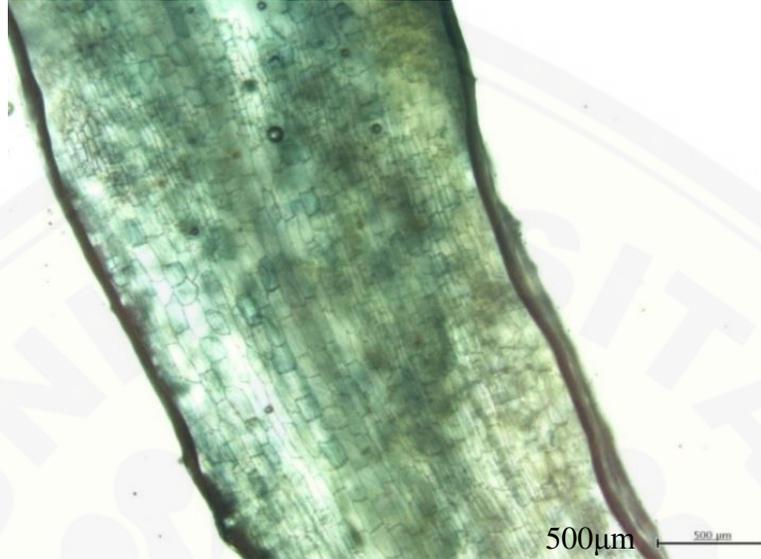
-**Pc* : *P. coffeae*.

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pemberian inokulasi ganda ini berpengaruh secara signifikan terhadap populasi Nematoda *P. coffeae*, baik di dalam akar, di dalam tanah maupun jumlah keseluruhannya. Perlakuan A yang merupakan kontrol positif tidak terdapat nematoda baik di akar maupun di tanah karena tidak diberikan inokulasi nematoda. Pada perlakuan B terdapat jumlah nematoda total yang terbanyak dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Perlakuan inokulasi ganda yang paling efektif mengendalikan populasi nematoda (30 ekor) adalah Perlakuan F kemudian diikuti oleh perlakuan D, E, dan C. Hasil uji ANOVA membuktikan inokulasi ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB berpengaruh secara signifikan ($P=0,000$) terhadap penurunan populasi Nematoda *P. coffeae*. Penurunan populasi Nematoda *P. coffeae* berkisar antara 80,75%-96,8% dibandingkan kontrol negatif. Peranan inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB juga mampu menurunkan populasi nematoda lebih efektif dari Perlakuan inokulasi tunggal yang hanya menggunakan mikoriza saja (Perlakuan G). Kefektifitas peranan inokulasi ganda dalam mengendalikan Nematoda *P. coffeae* ternyata tidak terlepas dari tingkat efektifitas infeksi *Glomus* spp terhadap jaringan akar. Inokulasi ganda ini berpotensi meningkatkan infeksi mikoriza seperti di dalam Tabel 4.3.

4.1.2.2 Pengaruh pemberian inokulasi ganda MHB (*P.diminuta* dan *B. Subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap derajat infeksi Mikoriza *Glomus* spp.

Penghitungan derajat infeksi dan skor kerusakan akar tanaman dilakukan pada bulan ke-4 atau pada minggu ke-16. Proses pengamatan derajat infeksi mikoriza dilakukan dengan meletakkan akar yang telah diwarnai dengan pewarnaan menggunakan safranin sehingga diperoleh hasil warna dominansi merah dan *Tryptanblue* sehingga memberikan penampakan hijau kebiruan. pada kaca benda sebanyak 10 potong kemudian diamati dibawah mikroskop. Pengamatan derajat infeksi mikoriza ini dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan setiap perlakuan. Pengamatan hanya menitik beratkan pada ada tidaknya infeksi mikoriza terhadap potongan-potongan akar tidak sampai perhitungan vesikula. Hasil pengamatan di

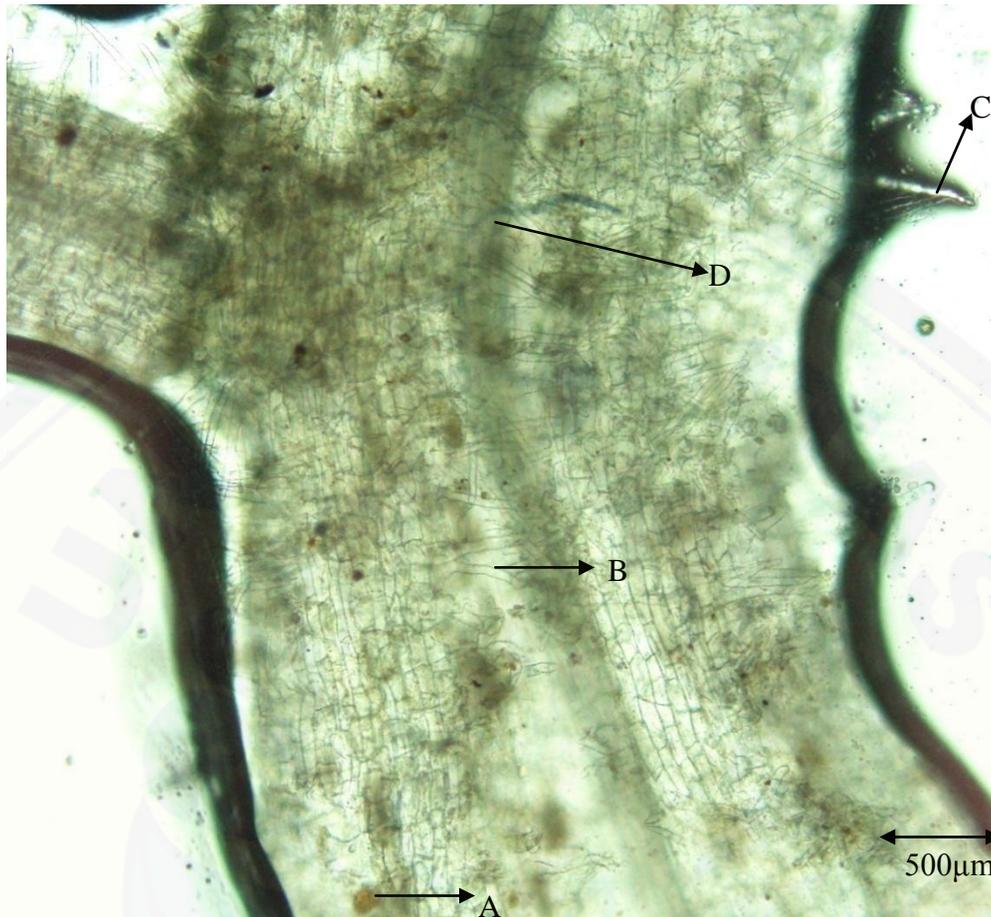
bawah mikroskop beberapa potong akar tanaman dapa terlihat pada Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.4: Akar tanpa infeksi *Glomus* spp dengan pewarna *Trypanblue*. (perbesaran 500 μ m). (Sumber: Koleksi pribadi).



Gambar 4.5: Akar terinfeksi *P. coffeae* dengan pewarna *Trypanblue* (perbesaran 500 μ m). (Sumber: Koleksi pribadi).



Gambar 4.7 Akar dengan inokulasi mikoriza *Glomus* spp., A) vesikula, B) Hifa internal, C) Hifa eksternal dan D) Nematoda *P. coffeae* (perbesaran 500 μm). (Sumber: Koleksi pribadi)

Beberapa Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 terdapat beberapa ciri-ciri ada tidaknya infeksi mikoriza. Pengamatan hanya menitik beratkan ada tidaknya infeksi mikoriza pada setiap potongan akar yang ada di kaca benda tanpa memperhitungkan banyak tidaknya jumlah infeksi. Hasil dari pengamatan tersebut setelah di prosentasekan seperti di dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa respon terhadap setiap perlakuan berbeda-beda hal itu membuktikan adanya pengaruh terhadap pemberian inokulasi ganda ini. Perlakuan A, B dan H merupakan perlakuan tanaman tanpa inokulasi mikoriza

sehingga memiliki derajat infeksi sebesar 0%. Perlakuan G merupakan perlakuan inokulasi tunggal dengan dengan pemberian Mikoriza *Glomus* spp. hanya memiliki derajat infeksi 78,8% yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan Inokulasi Ganda. Perlakuan C mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 89,6%. Perlakuan D mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 97,2%. Perlakuan E mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 93,6%. Perlakuan F mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 98,4% yang merupakan infeksi mikoriza tertinggi. Hasil analisis ANOVA juga menunjukkan bahwa Inokulasi ganda ini memberikan pengaruh yang signifikan ($P=0,000$) terhadap Derajat Infeksi Mikoriza. Hasil derajat infeksi ini, menunjukkan keterkaitan dengan jumlah infeksi Nematoda *P. coffeae*. Semakin optimalnya derajat infeksi maka daya hambat terhadap populasi nematoda pun semakin kuat dan mengakibatkan penurunan terhadap populasi Nematoda *P. coffeae*.

Tabel 4.3 Pengaruh Inokulasi ganda antara *Glomus* spp. dan Bakteri MHB *P. diminuta* dan *B. subtilis* terhadap rerata Derajat Infeksi *Glomus* spp.

Perlakuan	Derajat Infeksi Mikoriza (%) \pm Std.	Skor Kerusakan Akar (%) \pm Std.
(A) Tanpa perlakuan (K+)	0 \pm 0,00 ^a	0 \pm 0,00 ^a
(B) Inokulasi <i>P. coffeae</i> (K-)	0 \pm 0,00 ^a	67 \pm 0,058 ^c
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 10 ⁸	89,6 \pm 0,031 ^c	13 \pm 0,089 ^{cd}
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 2x10 ⁸	97,2 \pm 0,019 ^d	8 \pm 0,457 ^{bc}
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	93,6 \pm 0,017 ^{cd}	14 \pm 0,121 ^{cd}
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	98,4 \pm 0,009 ^d	5 \pm 0,533 ^b
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	78,8 \pm 0,018 ^b	27 \pm 0,107 ^d
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i>	0 \pm 0,00 ^a	39 \pm 0,089 ^{cd}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

-**Pc* : *P. coffeae*

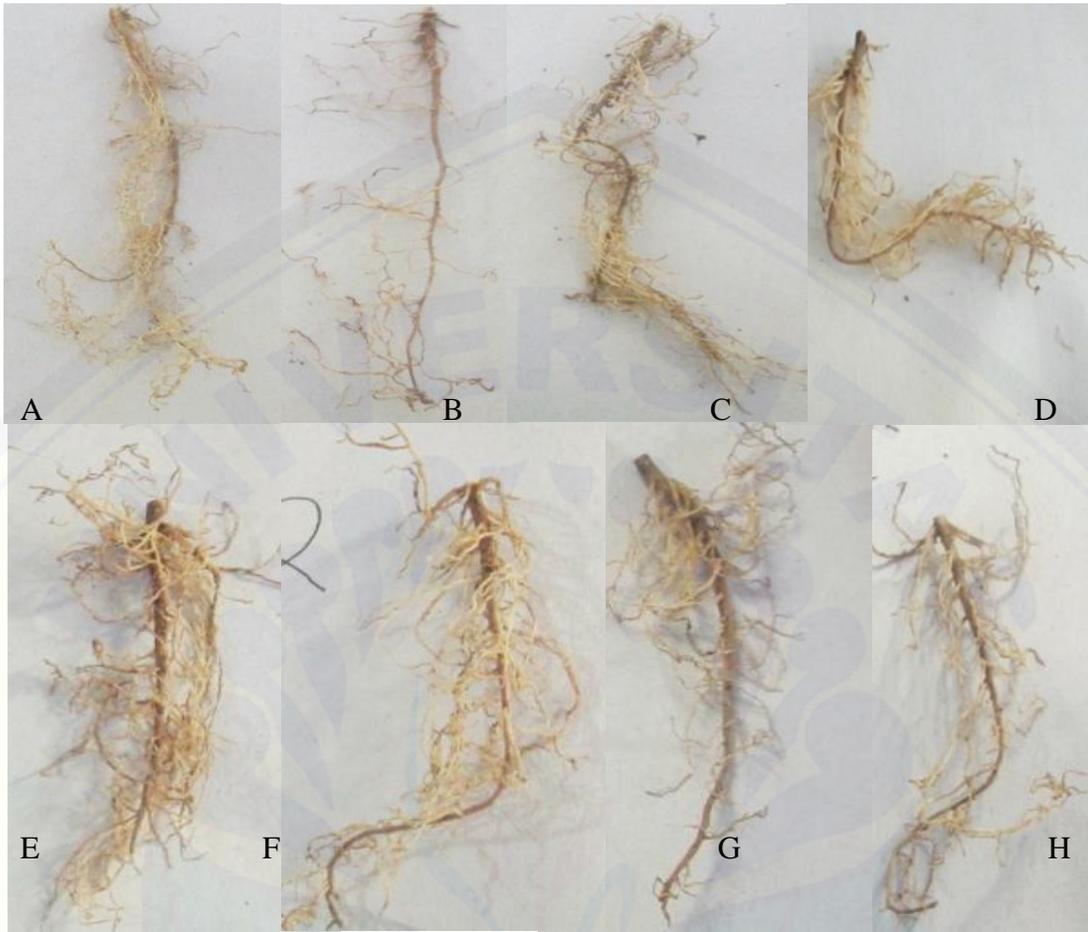
Penurunan *P. coffeae* yang terlihat pada Tabel 4.2 yang diakibatkan oleh optimalnya hasil dari derajat infeksi mikoriza (Tabel.4.3). Inokulasi ganda ini

ternyata mampu menyebabkan respon terhadap penampakan kerusakan akar yang menurun pula seperti di dalam Tabel 4.3. telah diketahui adanya jumlah populasi Nematoda *P. coffea* ini ditandai dengan rusaknya akar-akar serabut pada tanaman kopi dan mengakibatkan nekrosis.

4.1.2.3 Pengaruh pemberian inokulasi ganda MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap skor kerusakan akar.

Pengamatan skor kerusakan akar dilakukan dengan membandingkan semua akar perlakuan dengan kontrol positif (Perlakuan A). Beberapa Gambar 4.6 berperan sebagai pembanding pemberian skor terhadap kerusakan akar yang terjadi. Hasil pengamatan dari skor kerusakan akar pada tanaman Kopi Arabika pada 16 minggu setelah inokulasi (msi).

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa berkurangnya infeksi *P. coffeae*. di dalam akar bibit Kopi Arabika maka akan mempengaruhi skor kerusakan akar bibit Kopi Arabika. Pada perlakuan B memiliki skor kerusakan tertinggi, dengan nilai 67% dibandingkan kontrol positif atau Kontrol A. Akibat dari kerusakan pada jaringan kortek tanaman mengakibatkan rusaknya akar lateral pada tanaman kopi pada perlakuan B (Gambar 4.7). Perlakuan inokulasi ganda mampu mengurangi dampak kerusakan akar yang diakibatkan oleh Nematoda *P. coffeae* Hal itu terbukti pada penampakan akar perlakuan inokulasi (Perlakuan C, D, E dan F) memiliki lebih banyak akar serabut jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Perlakuan A, B, G dan H). Hasil analisis ANOVA juga membuktikan bahwa perlakuan inokulasi ganda Bakteri MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. berpengaruh secara signifikan ($P=0,000$) terhadap skor kerusakan akar Tanaman Kopi Arabika. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan jumlah Nematoda *P. coffeae* akan meningkatkan pula kerusakan terhadap organ akar dan sebaliknya penurunan Jumlah Nematoda *P. coffeae* maka akan menurunkan tanda-tanda kerusakan akar yang ditimbulkan. Kerusakan terhadap akar akibat serangan Nematoda *P. coffeae* terlihat dari rusaknya akar lateral pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kerusakan akar bibit Kopi Arabika. Masing-masing bibit Kopi Arabika diberi perlakuan (A) 0 *Glomus* spp. + 0 MHB + 0 *P.coffeae*; (B) 0 *Glomus* spp. + 0 MHB + 50 *P. coffeae*; (C) 100 *Glomus* spp. + Bakteri MHB (*B. subtilis* 10^8) + 50 *P. coffeae*; (D) 100 *Glomus* spp. + Bakteri MHB (*B. subtilis* 2×10^8) + 50 *P. coffeae*; (E) 100 *Glomus* spp. + Bakteri MHB (*P. diminuta* 10^8) + 50 *P. coffeae*; (F) 100 *Glomus* spp MHB (*P. diminuta* 2×10^8); (G) 100 *Glomus* spp.+ 50 *P. coffeae*; (H) Carbofuran 1 gr +50 *P. coffeae*.

Kerusakan organ akar ini mampu menimbulkan permasalahan dalam aktivitas Tanaman Kopi Arabika. Akar merupakan organ yang sangat penting bagi tanaman karena akarlah yang memiliki fungsi untuk menyuplai kebutuhan zat hara dan bahan fotosintesis sehingga apabila kebutuhan zat hara dan bahan fotosintesis yakni air, tidak terpenuhi air dan zat hara ini maka akan berdampak pula terhadap aktivitas

pertumbuhan tanaman Kopi Arabika. Apabila penyerapan air dari dalam tanah berkurang maka hasil dari fotosintesis (fotosintatnya) pun akan berkurang pula.

4.1.2.3 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dan *Glomus* spp. Terhadap skor kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika.

Tanaman yang terinfeksi oleh Nematoda *P. coffeae* mengalami kerusakan bukan hanya pada organ akar tanaman saja. Rusaknya akar tanaman mengakibatkan menurunnya fungsi akar tanaman dalam menunjang kebutuhan makanan baik makro-mikro nutrient serta bahan fotosintesis yakni penyerapan air. Tanaman yang menghasilkan fotosintat yang kurang dari kebutuhannya atau kekerungan zat hara akibat rusaknya akar tanaman mengakibatkan suatu gejala defisiensi yang ditandai dengan kerusakan dibagian tajuk tanaman. Hasil pengamatan skor kerusakan tajuk sebelum inokulasi dan 16 minggu setelah inokulasi (msi) dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengaruh Inokulasi ganda antara *Glomus* spp dan Bakteri MHB *P. diminuta* dan *B. subtilis* terhadap rerata skor kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika pada pengamatan sebelum perlakuan dan 16 msi.

Perlakuan	Rerata skor kerusakan tajuk (stadium) \pm std.	
	Sebelum inokulasi	16 minggu setelah inokulasi
(A) Tanpa perlakuan (K+)	0	0 \pm 0,0000 ^a
(B) Inokulasi <i>P.coffeae</i> (K-)	0	2,8 \pm 0,1689 ^c
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 10 ⁸	0	1 \pm 0,1721d ^b
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 2x10 ⁸	0	0,2 \pm 0,1346d ^{ab}
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	0	0,6 \pm 0,1649b ^{ab}
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	0	0,8 \pm 0,20974 ^{ab}
(G) <i>Glomus</i> spp.100 + <i>Pc</i> .	0	1,2 \pm 0,2737 ^b
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot + <i>Pc</i>	0	0,8 \pm 0,2097 ^{ab}

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

-**Pc* : *P. coffeae*

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pada parameter kerusakan tajuk tanaman Kopi Arabika Perlakuan A sebagai kontrol positif tidak mengalami kerusakan tajuk berada di stadium 0 sedangkan Perlakuan B yang merupakan kontrol negatif mengalami kerusakan tertinggi hingga berada di stadium 2,8. Hal itu membuktikan bahwa semakin banyaknya kerusakan tajuk membuktikan bahwa tanaman mengalami defisiensi zat hara. Kekurangan zat hara juga akan menurunkan hasil fotosintesis tanaman yang akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman tersebut.

4.2.3 Pengaruh Inokulasi ganda MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.

Parameter pertumbuhan dalam penelitian ini terdiri dari tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, massa basah akar dan tajuk, massa kering tajuk, derajat infeksi mikoriza, populasi Nematoda *P. coffeae*. Pengamatan pada parameter ini berbeda dengan pengamatan terhadap dampak adanya nematoda *P. coffeae* yakni dilakukan selama 9 kali pengamatan beserta pengukuran hari pertama sebagai data awal sebelum aplikasi. Data parameter pertumbuhan tanaman Kopi Arabika 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 yakni terdiri dari tinggi tanaman, jumlah daun, skor kerusakan tajuk, dan juga diameter batang tanaman Kopi Arabika. Pengukuran parameter pertumbuhan ini dilakukan selama 16 minggu (4 bulan).

4.1.3.1 Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Antara Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap rerata tinggi tanaman Kopi Arabika.

Pengamatan tinggi tanaman dilakukan menggunakan penggaris, dengan pengukuran dimulai dari pangkal batang hingga ujung batang yang ditandai pucuk daun terakhir. Hasil pengamatan dari parameter tinggi tanaman dimulai dari

pengamatan sebelum perlakuan Minggu ke-0 hingga 16 minggu setelah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.7. Perlakuan inokulasi ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) menunjukkan kenaikan yang tinggi jika dibandingkan dengan kontrol negatif yaitu dengan inokulasi *P. coffeae* saja. Kenaikan tersebut dapat diperinci dengan penambahan tinggi antara sebelum inokulasi dan 16 msi sehingga dapat diperoleh informasi seperti di dalam Tabel 4.5.

Data Tabel 4.5 menunjukkan bahwa sebelum aplikasi perlakuan inokulasi ganda, rerata tinggi tanaman cenderung sama antara perlakuan satu dan perlakuan lainnya (homogen). Persamaan itu membuktikan homogenitas tanaman uji sebelum dilakukannya perlakuan sehingga diharapkan hasil perbedaan kenaikan tinggi pada 16 minggu setelah inokulasi merupakan hasil dari pengaruh perbedaan setiap jenis perlakuan. Hasil pengaruh perlakuan inokulasi ini, terlihat pada 16 minggu setelah inokulasi pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Pengaruh inokulasi ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan *Glomus* spp. terhadap rerata tinggi tanaman Kopi Arabika sebelum inokulasi dan 16 minggu setelah inokulasi.

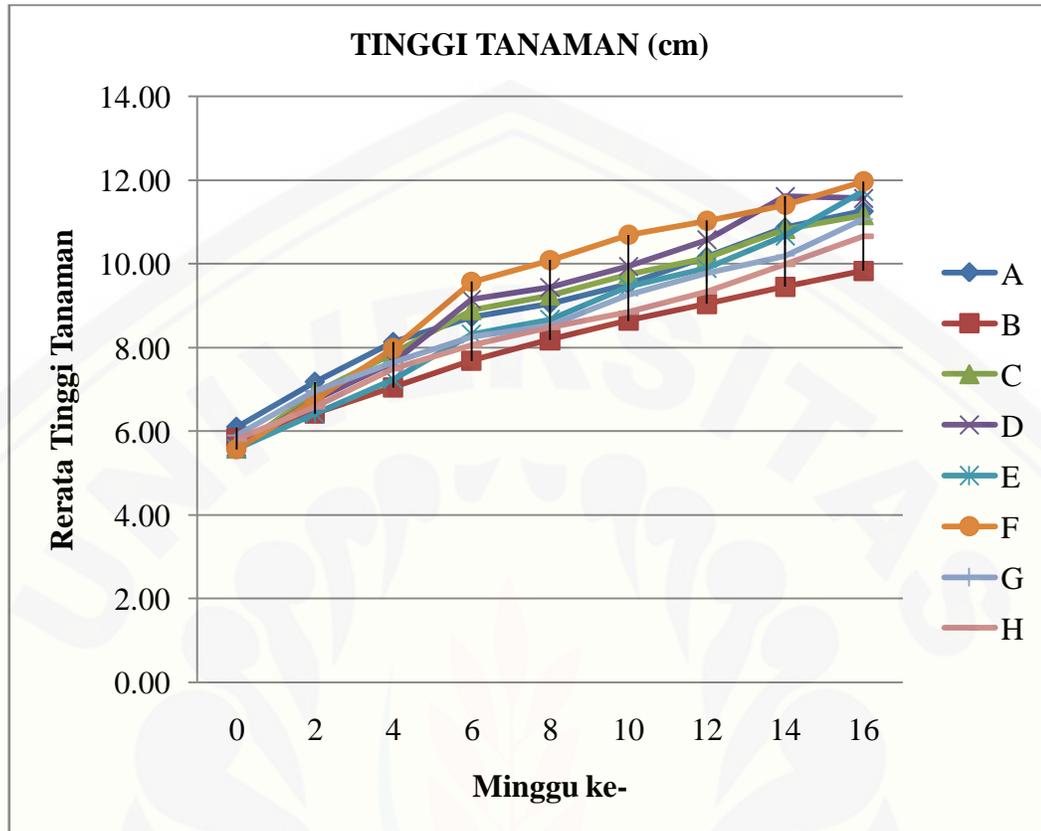
Perlakuan	Rerata tinggi tanaman (cm)	
	Sebelum Perlakuan	16 minggu setelah inokulasi (msi)
(A) Tanpa perlakuan (K+)	6,10 ± 0,00 ^c	11,26 ± 0,0260 ^b
(B) Inokulasi <i>P. coffeae</i> (K-)	5,83 ± 0,0073 ^b	9,83 ± 0,0669 ^a
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 10 ⁸	5,58 ± 0,0059 ^a	11,16 ± 0,0234 ^b
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 2x10 ⁸	5,63 ± 0,0102 ^a	11,56 ± 0,0313 ^b
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	5,58 ± 0,0029 ^a	11,73 ± 0,0368 ^b
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	5,57 ± 0,0068 ^a	11,97 ± 0,0384 ^b
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	5,89 ± 0,0056 ^b	11,07 ± 0,0313 ^b
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i>	5,80 ± 0,0093 ^b	10,66 ± 0,0253 ^{ab}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

-* *Pc* : *P. coffeae*.

Data pada pengamatan ke-16 msi pada Tabel 4.5 menunjukkan kenaikan tanaman yang bervariasi. Perbedaan tinggi tanaman setiap perlakuan menandakan adanya pengaruh inokulasi ganda ini. Rerata Perubahan tinggi tanaman dengan Perlakuan A yang merupakan kontrol positif tanpa pemberian inokulasi apapun mengalami kenaikan dari minggu sebelum inokulasi hingga setelah inokulasi sebesar 5,16 cm atau 84,6%. Rerata pertambahan tinggi tanaman Perlakuan B yang merupakan kontrol negatif karena tanpa MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. tetapi diinokulasi dengan Nematoda *P.coffeae* mengalami kenaikan yang paling kecil yaitu hanya 4 cm sekitar 68,6%. Rerata Perlakuan C, D, E dan F mengalami kenaikan yang lebih tinggi yang merupakan perlakuan inokulasi ganda yaitu antara MHB dan *Glomus* spp. Sebesar 5,58-6,40cm atau 100-114, 90%. Pada Perlakuan G yang merupakan inokulasi tunggal Mikoriza *Glomus* spp. saja hanya mengalami kenaikan 5,18 cm atau 87,9%. Perlakuan H sebagai pembanding dengan penggunaan nematisida kimia *carbofuran* hanya mengalami kenaikan 4,86 cm atau setara 83,79%. Dari data tersebut dapat terlihat perbedaan kenaikan dan kenaikan tertinggi terjadi pada saat inokulasi ganda dilakukan.

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 4.8 dapat diketahui tentang kenaikan parameter tinggi tanaman selama 16 minggu dengan delapan kali pengamatan. Perlakuan F (Inokulasi *Glomus* spp. + *P. diminuta* 2×10^8) merupakan kenaikan tertinggi sedangkan kenaikan terendah adalah Perlakuan B yang merupakan kontrol negatif. Kemudian hasil analisis ANOVA pada 16 msi membuktikan bahwa inokulasi ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB memberikan pengaruh secara signifikan terhadap tinggi tanaman ($P=0,037$). Pada perlakuan C, D, E dan F berpengaruh secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan K yang merupakan Perlakuan B. Perlakuan Inokulasi ganda ini ternyata mampu menghasilkan kenaikan lebih tinggi jika dibandingkan Inokulasi tunggal dengan mikoriza saja (Perlakuan G). Peningkatan tertinggi tanaman dari perlakuan MHB jika dibandingkan dengan kontrol negatif berkisar antara 13,53%-21,77%.



Gambar 4.8 Grafik rerata tinggi tanaman Kopi Arabika selama 4bulan pengamatan.

4.1.3.2 Pengaruh pemberian Inokulasi Ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. Subtilis*) dan *Glomus* spp. terhadap diameter batang tanaman Kopi Arabika.

Diameter batang diukur dengan menggunakan jangka sorong analitis dengan ketelitian 0,01 mm. Pengukuran diameter batang dilakukan dibawah titik tumbuh atau ketiak daun pertama. Hasil pengukuran diameter batang tanaman Kopi Arabika dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan juga Gambar Grafik 4.9.

Data Tabel 4.6 juga mampu menjabarkan prosentase kenaikan diameter batang tanaman. Setiap perlakuan mengalami kenaikan yang berbeda. Prosentase ini merupakan perbandingan kenaikan diameter ke-16 msi dengan diameter awal sebelum inokulasi. Perlakuan A yang merupakan perlakuan kontrol positif tanpa

adanya inokulasi apapun mengalami kenaikan 62,2% dari kondisi awal. Perlakuan B mengalami kenaikan 47,9% dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan C mengalami kenaikan 69,3% dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan D mengalami kenaikan 79,8% dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan E mengalami kenaikan 73,3% dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan F mengalami kenaikan 101,7 % dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan G mengalami kenaikan 63,7% dari kondisi sebelum inokulasi. Perlakuan H mengalami kenaikan 66,8% dari kondisi sebelum inokulasi. Data-data diatas membuktikan bahwa perlakuan inokulasi ganda memberikan peningkatan yang lebih besar dibandingkan perlakuan lainnya dengan kisaran 69,3-101,7%. Penambahan perlakuan inokulasi ganda ini memiliki prosentase 45,7-50,8% jika dibandingkan dengan kontrol negatif atau Perlakuan B. Peningkatan diameter batang tanaman Kopi Arabika mulai minggu pertama hingga minggu ke-16, juga dapat dilihat di Gambar 4.9.

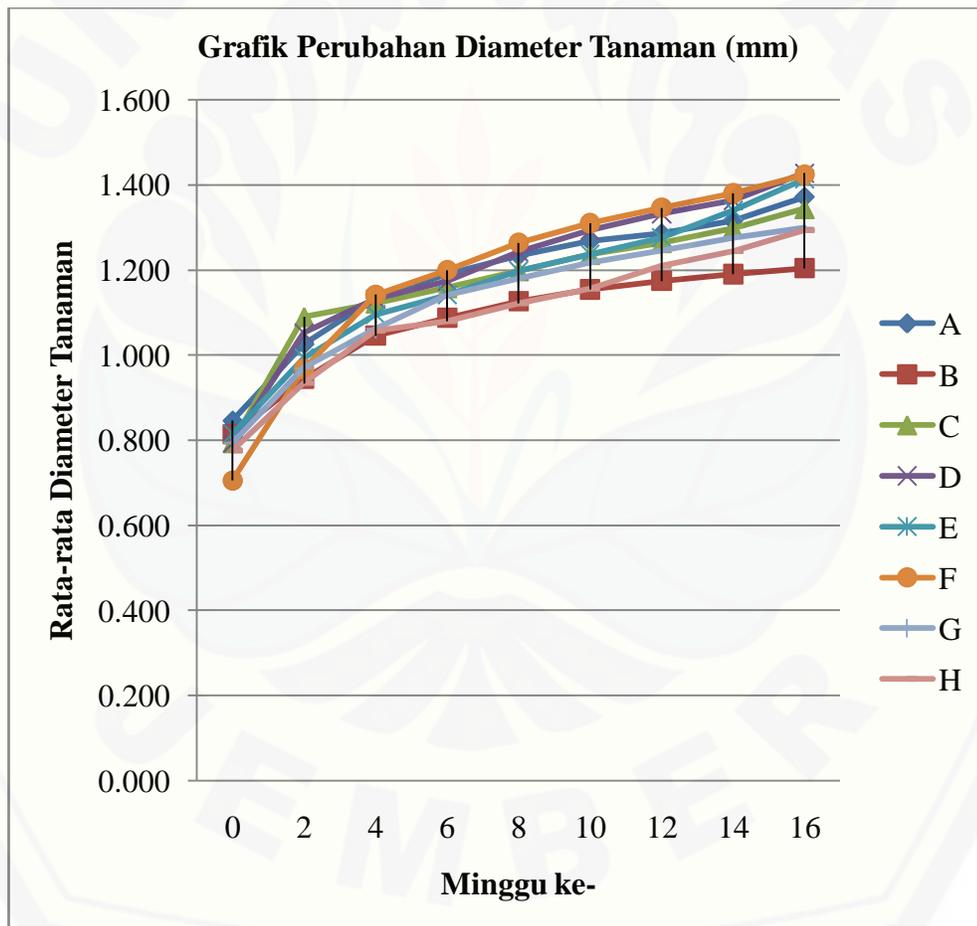
Tabel 4.6 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dan *Glomus* spp. terhadap rerata diameter batang tanaman Kopi Arabika pada pengamatan sebelum perlakuan dan 16 msi.

Perlakuan	Rerata diameter batang (mm) ± std.	
	Minggu Sebelum Inokulasi	16 minggu setelah inokulasi
(A) Tanpa perlakuan (K+)	0,846 ± 0,0775 ^c	1,372± 0,0087 ^b
(B) Inokulasi <i>P.coffeae</i> (K-)	0,814 ± 0,0172 ^{bc}	1,204 ± 0,0195 ^a
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 10 ⁸	0,794 ± 0,0073 ^{bc}	1,344 ± 0,0159 ^b
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 2x10 ⁸	0,794 ± 0,0109 ^{bc}	1,428 ± 0,0134 ^b
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	0,816 ± 0,0084 ^{bc}	1,414 ± 0,0278 ^b
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	0,706 ± 0,0071 ^a	1,424 ± 0,0282 ^b
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	0,794 ± 0,0109 ^{bc}	1,300 ± 0,0192 ^{ab}
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i> .	0,776 ± 0,0078 ^b	1,294 ± 0,0128 ^{ab}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

-**Pc* : *P. coffeae*.

Kenaikan parameter diameter tanaman selama 16 minggu dengan delapan kali pengamatan pada Gambar 4.9 menunjukkan data Pemberian inokulasi ganda mampu meningkatkan diameter yang signifikan. Perlakuan F (Inokulasi Mikoriza *Glomus* spp.+ *P. diminuta* 2×10^8) merupakan kenaikan diameter tertinggi sedangkan kenaikan terendah adalah Perlakuan B yang merupakan kontrol negatif. Kemudian hasil analisis ANOVA pada 16 msi bahwa inokulasi ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB berpengaruh secara signifikan ($P=0,013$) terhadap kenaikan diameter batang tanaman Kopi Arabika. Peningkatan diameter tanaman dari perlakuan MHB jika dibandingkan dengan kontrol negatif berkisar antara 45,7%-50,8%.



Gambar 4.9 Grafik rerata diameter batang tanaman Kopi Arabika selama 16 minggu pengamatan.

4.2.3.3 Pengaruh Inokulasi Ganda antara Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dan *Glomus* spp. terhadap jumlah daun tanaman Kopi Arabika.

Parameter jumlah daun dapat diukur dengan bertambahnya jumlah daun akibat kenaikan tinggi tanaman dan diameternya. Pada masing-masing percobaan penelitian ini digunakan bibit kopi yang mempunyai 8 daun kopi. Jumlah daun yang dihitung dari daun yang paling bawah hingga daun termuda yang sudah mekar menjadi 2 daun, sedangkan daun yang masih mengkatup tidak dihitung. Hasil pengamatan jumlah daun dapat dilihat pada tentang rerata jumlah daun selama 16 minggu pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pengaruh Inokulasi ganda antara *Glomus* spp dan Bakteri MHB *P. diminuta* dan *B. subtilis* terhadap rerata jumlah daun tanaman Kopi Arabika pada pengamatan sebelum perlakuan dan 16 msi.

Perlakuan	Rerata Jumlah daun \pm std. Devisiasi	
	Sebelum inokulasi	16 minggu setelah inokulasi.
(A) Tanpa perlakuan (K+)	8 \pm 0,00	13,4 \pm 0,0277 ^{abc}
(B) Inokulasi <i>P. coffeae</i> (K-)	8 \pm 0,00	11,8 \pm 0,0551 ^a
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 10 ⁸	8 \pm 0,00	13,4 \pm 0,0489 ^{abc}
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B.subtilis</i> 2x10 ⁸	8 \pm 0,00	14,4 \pm 0,0483 ^{bc}
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	8 \pm 0,00	13,8 \pm 0,0527 ^{bc}
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	8 \pm 0,00	14,8 \pm 0,0364 ^c
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	8 \pm 0,00	13,2 \pm 0,0340 ^{abc}
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i>	8 \pm 0,00	12,6 \pm 0,0279 ^{ab}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

-**Pc* : *P. coffeae*

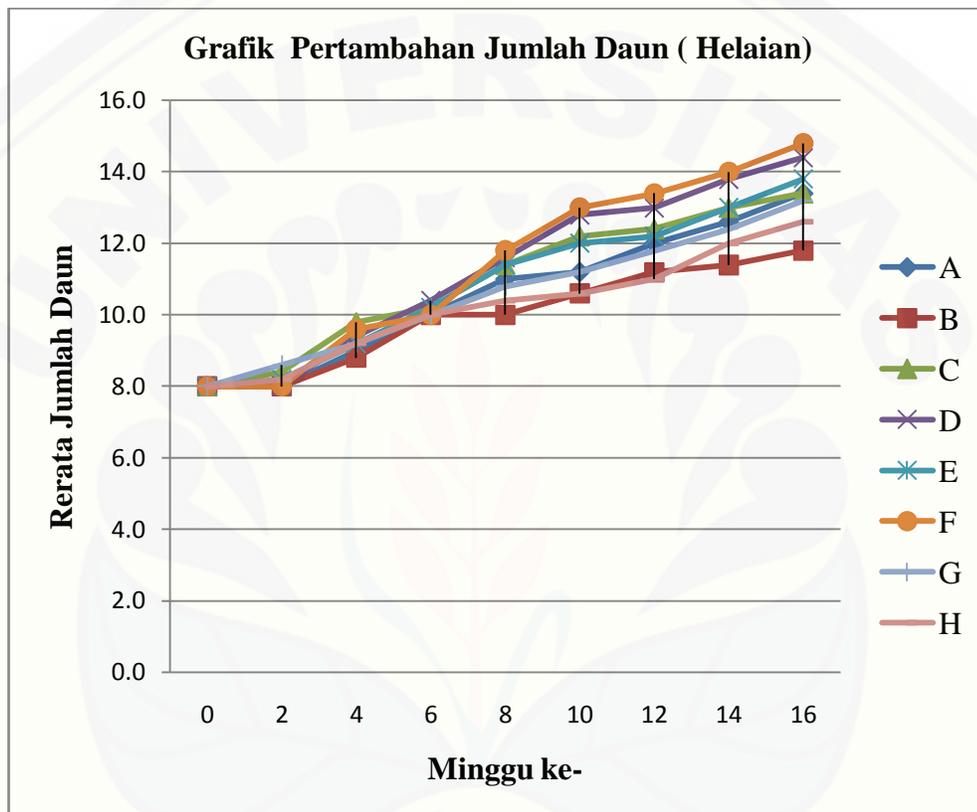
Tabel 4.7 menunjukkan parameter jumlah daun sebelum perlakuan berjumlah sama antara satu perlakuan dengan lainnya yaitu rata-rata 8 daun tetapi pada 16 minggu setelah perlakuan akibat inokulasi ganda berpengaruh terhadap pertambahan jumlah daun sehingga setiap perlakuan menghasilkan perbedaan kenaikan jumlah daun dapat terlihat di dalam Tabel 4.7. Terlihat Perlakuan D dan F mengalami peningkatan yang sangat cepat jika dibandingkan dengan yang perlakuan yang

lainnya. Kenaikan jumlah daun setiap perlakuan dapat diprosentasikan dengan cara membandingkan dengan tinggi semula sebelum inokulasi dan kenaikan setelah 16 minggu dilakukannya inokulasi ganda ini. Perlakuan A setelah 16 msi mengalami kenaikan 67,5% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan B setelah 16 msi mengalami kenaikan 47,5% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan C setelah 16 msi mengalami kenaikan 67,5% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan D setelah 16 msi mengalami kenaikan 80% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan E setelah 16 msi mengalami kenaikan 72,5% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan F setelah 16 msi mengalami kenaikan 85% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan G setelah 16 msi mengalami kenaikan 65% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Perlakuan H setelah 16 msi mengalami kenaikan 57,5% dari jumlah daun sebelum inokulasi. Nilai prosentase di atas menunjukkan bahwa pemberian inokulasi ganda mampu meningkatkan jumlah daun lebih cepat daripada perlakuan yang lain dan kecepatan penambahan jumlah daun inokulasi ganda (C,D,E, dan F) pada 16 msi mengalami kenaikan 13,5-21,73% jika dibandingkan dengan kontrol negatif (Perlakuan B).

Hasil uji ANOVA juga menyatakan bahwa Pada 16 msi, perlakuan inokulasi ganda antara mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB berpengaruh secara signifikan ($P=0,042$) terhadap jumlah daun. Kenaikan setiap 2 minggunya hasil pengamatan mulai sebelum perlakuan sampai minggu ke-16 dapat dilihat pada Gambar Grafik 4.10.

Gambar Grafik 4.10 menunjukkan bahwa kenaikan jumlah daun paling cepat adalah Perlakuan F yang merupakan inokulasi ganda antara *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P.diminuta*) dengan kerapatan 2×10^8 . Posisi berikutnya adalah Perlakuan D yang menduduki posisi ke-2 yang keduanya merupakan inokulasi ganda dan tetapi hanya saja bakteri MHB yang digunakan berbeda yaitu *B. subtilis*. Posisi kenaikan jumlah daun kopi yang paling rendah merupakan kontrol negatif yakni Perlakuan B. Perlakuan B merupakan perlakuan yang hanya diinokulasi dengan Nematoda *P.*

coffae sehingga dapat diketahui bahwa dengan adanya nematoda ini pertumbuhan jumlah daun tanaman akan terhambat. Semakin sedikit jumlah daun maka semakin kecil juga hasil fotosintat yang akan dihasilkan oleh proses fotosintesis sehingga akan mempengaruhi massa dari tajuk bahkan memberikan dampak kerusakan pada bagian tanaman yang kekurangan nutrisi.



Gambar 4.10 Grafik rerata jumlah daun Kopi Arabika selama 16 minggu pengamatan

4.1.2.5 Pengaruh Inokulasi Ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P.diminuta* dan *B. subtilis*) massa basah akar, tajuk, serta massa kering tajuk tanaman Kopi Arabika.

Analisis pertumbuhan tanaman tidak cukup hanya menganalisis 3 komponen diatas karena akan lebih sempurna apabila mengetahui massa basah terlebih massa kering tanaman. Keterkaitan antara komponen satu dengan yang lain akibat rusaknya

akar akibat serangan dari Nematoda. Rusaknya fungsi akar mengakibatkan pasokan makanan bagi tanaman menurun. Turunnya jumlah makanan dapat dibuktikan dari massa tanaman itu sendiri. Semakin tinggi pemenuhan makanan dari hasil fotosintesis maka massa tanaman semakin besar.

Massa tajuk ini hanya bisa dilakukan pada akhir pengamatan pada minggu ke-16 msi karena dilakukan pembongkaran tanaman dalam pot. Massa basah akar dan tajuk serta massa kering tajuk ditimbang menggunakan timbangan analitis di Laboratorium FKIP Jember. Massa basah tajuk digunakan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam setiap tanaman perlakuan, dan massa kering digunakan untuk mengetahui pengaruh dari inokulasi ganda terhadap pertumbuhan tanaman yang berkaitan dengan nutrisi dan fotosintat yang diserap tanaman sehingga tanaman memiliki massa yang lebih tinggi. Massa basah akar digunakan untuk mengetahui perbandingan berat akar dan populasi nematoda yang ada didalamnya. Hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 menunjukkan bahwa perlakuan F memiliki massa tertinggi, baik berupa massa akar (0.586 gram), massa berat basah tajuk (1,458 gram) dan massa kering tajuk (0,524 gram) dan memiliki massa 149,5% dari kontrol negatif. Massa air diperoleh dengan perbandingan massa basah dan massa kering yaitu 64,06%. Massa perlakuan inokulasi (Perlakuan C, D, E, dan F) memiliki massa basah dan massa kering lebih tinggi jika dibandingkan oleh kontrol negatif (Perlakuan B). Perlakuan inokulasi ganda antara Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) berpengaruh secara signifikan ($P=0,000$) baik terhadap massa basah, massa kering dan massa basah akar. Perlakuan B (kontrol negatif) yang merupakan perlakuan yang hanya diinokulasikan nematoda *P. coffeae* ternyata memiliki massa basah, kering tajuk dan akar yang terendah hal tersebut membuktikan bahwa Nematoda *P. coffeae* mempengaruhi massa atau nutrisi tanaman. Perlakuan inokulasi ganda yang memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman yang telah

terinfeksi nematoda *P. coffeae* jika dibandingkan dengan kontrol negatif yang merupakan perlakuan hanya inokulasi *P. coffeae*.

Tabel 4.8 Pengaruh Inokulasi Ganda *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) terhadap berat basah akar dan tajuk, berat kering tajuk, tanaman Kopi Arabika.

Perlakuan	Massa basah \pm std.		Massa kering tajuk (g)
	Akar (g)	Tajuk (g)	
(A) Tanpa perlakuan (K+)	0,28 \pm 0,016 ^b	0,93 \pm 0,023 ^{bc}	0,29 \pm 0,011 ^{abc}
(B) Inokulasi <i>P. coffeae</i> (K-)	0,16 \pm 0,022 ^a	0,64 \pm 0,055 ^a	0,21 \pm 0,021 ^a
(C) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 10 ⁸	0,33 \pm 0,011 ^b	1,20 \pm 0,029 ^{de}	0,35 \pm 0,007 ^{cd}
(D) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>B. subtilis</i> 2x10 ⁸	0,43 \pm 0,011 ^c	1,26 \pm 0,037 ^{de}	0,41 \pm 0,024 ^d
(E) <i>Glomus</i> spp. + <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 10 ⁸	0,44 \pm 0,035 ^c	1,22 \pm 0,041 ^{de}	0,37 \pm 0,021 ^{cd}
(F) <i>Glomus</i> spp.+ <i>Pc</i> + <i>P. diminuta</i> 2x10 ⁸	0,59 \pm 0,007 ^d	1,46 \pm 0,053 ^e	0,52 \pm 0,0503 ^e
(G) <i>Glomus</i> spp.100+ <i>Pc</i> .	0,32 \pm 0,024 ^b	1,06 \pm 0,050 ^{cd}	0,34 \pm 0,029 ^{bcd}
(H) <i>Carbofuran</i> 5gr/pot+ <i>Pc</i>	0,27 \pm 0,035 ^b	0,76 \pm 0,041 ^{ab}	0,25 ^b \pm 0,012 ^{ab}

Keterangan : - Angka rerata yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji Duncan menggunakan α 5%.

-**Pc* : *P. coffeae*.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh inokulasi ganda *Mychorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan *Glomus* spp. dalam mengendalikan Nematoda *Prathylenchus coffeae*. dan meningkatkan pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika yang akan diuji adalah tanaman Kopi Arabika berumur 2 bulan yang telah disemaikan dalam bak plastik besar di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Pada saat bibit kopi berusia 2 bulan, perakaran tanaman kopi masih belum melakukan perbesaran sekunder. Hal itu bertujuan agar proses infeksi mikoriza dapat efektif menginfeksi tanaman dan akar bibit kopi yang masih muda dapat dengan mudah diserang oleh nematoda parasit *P. coffeae* sehingga setelah perlakuan nantinya dapat dengan mudah dilihat pengaruh pemberian mikoriza *Glomus* spp. terhadap populasi Nematoda *P. coffeae* baik yang berada di dalam akar maupun tanah.

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian. Tahap persiapan meliputi persiapan media tanam kopi, media tanam Kopi Arabika yang digunakan adalah tanah, pasir dan pupuk kandang. Pertama, pada tahap persiapan media tanam, campuran pasir, tanah dan pupuk kandang yang sudah disaring di sterilisasi didalam autoclaf dengan suhu 130⁰C selama 2 jam. Proses sterilisasi ini bertujuan untuk menghindari kontaminasi dari nematoda parasit maupun organisme lain yang ada dalam tanah campuran yang akan dijadikan media tanam tersebut. Menyemaikan tanaman kopi selama 2 bulan. Persiapan penimbangan zeolit 100 spora dengan proses perhitungan sebelumnya, dan menghasilkan perbandingan 9,09 gr zeolit. proses persiapan ini dilakukan dengan melakukan proses identifikasi pada Mikoriza *Glomus* spp., Bakteri MHB dan Nematoda *P. coffeae* harus dilakukan proses identifikasi untuk mengetahui bahwa sampel yang digunakan pada Penelitian ini sesuai dengan spesies yang digunakan.

4.2.1 Hasil Identifikasi

4.2.1.1 Hasil identifikasi Bakteri MHB (*B. subtilis* dan *P. diminuta*).

Berdasarkan hasil identifikasi bakteri yang dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Dapat diketahui bahwa MHB yang digunakan adalah *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas diminuta*. 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 yang meliputi uji glukosa, sukrosa, laktosa, mannitol dan maltosa, setiap uji karbohidrat tersebut, ditambahkan phenol red untuk menunjukkan warna merah. Hasil yang diperoleh, pada uji glukosa baik *P. diminuta* maupun *B. subtilis* menunjukkan warna kuning yang berarti kedua bakteri tersebut

memfermentasi glukosa. Hasil uji sukrosa menunjukkan hasil yang sama seperti uji glukosa. Pada uji laktosa, *P. diminuta* menunjukkan hasil larutan dengan warna kuning yang menunjukkan bahwa bakteri tersebut memfermentasi laktosa sedangkan *B. subtilis* tidak merubah warna laktosa sehingga diketahui tidak memfermentasi laktosa. Uji mannitol merupakan kebalikan dari uji laktosa, *P. diminuta* tidak merubah warna sedangkan *B. subtilis* merubah warna larutan menjadi kuning yang menunjukkan melakukan fermentasi. Uji fermentasi karbohidrat yang terakhir adalah uji maltosa yang menunjukkan bahwa baik Bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis* dapat memfermentasi maltosa.

Pada uji hidrolisis pati, baik *P. diminuta* maupun *B. subtilis* membentuk zona bening pada cawan petri maka menunjukkan bahwa bakteri menghidrolisis pati, pada bakteri *P. diminuta* tidak terbentuk zona bening maka menunjukkan bahwa bakteri tersebut tidak menghidrolisis pati, sedangkan bakteri *B. subtilis* membentuk zona bening pada cawan petri yang mengindikasikan bakteri tersebut menghidrolisis pati. Untuk uji temperatur menunjukkan pertumbuhan pada suhu 45⁰C baik pada bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis*, hal ini sesuai ciri dari kedua bakteri tersebut yang termasuk bakteri mesofil sesuai ciri kedua bakteri tersebut.

Uji katalase menggunakan larutan H₂O₂ (peroksida) Dari hasil uji biokimia ini pada kedua bakteri *P. diminuta* maupun *B. subtilis* muncul gelembung. Hal ini membuktikan bahwa kedua bakteri mampu mampu mengkatalisis. Pada uji indol, yaitu uji yang menggunakan reagen indol yaitu dengan mengetahui indol triptofan yang terbentuk, berwarna merah berarti bakteri positif mengurai protein, sedangkan bila tidak membentuk indol triptofan maka bakteri tidak menguraikan protein. Pada hasil uji biokimia *P. diminuta* tidak membentuk indol sedangkan *B. subtilis* membentuk indol. Uji berikutnya pewarnaan gram diketahui *P. diminuta* termasuk gram negatif dan *B. subtilis* termasuk gram positif. Dari semua uji biokimia, hasil tersebut cocok dengan literatur untuk ciri dari bakteri *P. diminuta* dan *B. subtilis*.

Setelah proses identifikasi maka bisa dilakukan persiapan dengan melakukan biakan murni.

4.2.1.2 Identifikasi Mikoriza *Glomus* spp.

Beberapa karakteristik *Glomus* spp. yaitu spora berwarna coklat berbentuk bulat, berukuran 125-325 μ 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).

Spora *Glomus* spp. yang diamati cokelat kehitaman dengan diameter 211.9 μ m dan dinding sel berlapis dua. Karakteristik Genus *Glomus* spp adalah terlihat jelas sisa dinding hifa pada permukaan spora. Melihat karakteristik tersebut dapat diketahui bahwa spora yang digunakan benar-benar Spora *Glomus* spp.

4.2.1.3 Identifikasi Nematoda *P. coffeae*.

Tahap identifikasi Nematoda Parasit *P. coffeae* dilakukan dengan melakukan ekstraksi akar tanaman kopi yang terserang nematoda dengan menggunakan Metode Baermann yang telah dimodifikasi. Pengamatan proses identifikasi dengan membandingkan hasil foto pada mikroskop dengan literatur untuk mengetahui bahwa nematoda yang digunakan adalah *P. coffeae*. Dari hasil Gambar 4.2 (Nematoda *P. coffeae* jantan) dan 4.3 (Nematoda *P. coffeae* betina) identifikasi menunjukkan bahwa nematoda yang digunakan benar-benar merupakan jenis *P. coffeae*. Nematoda *P. coffeae* menurut Dropkin (1992) mempunyai lebar tubuh antara 40 μ m hingga 160 μ m (Whitehead, 1998), dengan panjang tubuh antara 0,4-0,7 mm, sedangkan diameter tubuh 20-25 μ m. Bentuk nematoda ini pada kerangka kepala yang kuat, mempunyai stilet pendek dan kuat, panjangnya 14-20 μ m dengan basal knob yang jelas. *Stilet* dari *Pratylenchus* berukuran pendek dan gemuk, dengan basal knob yang

berkembang dengan baik dalam mendukung *stylet*. Bagian kerucut (konus atau metenchium) sangat kuat dan keras untuk menghancurkan dinding sel akar. Rata rata ukuran dari *stylet* pada genus *Pratylenchus* adalah 16 μm tetapi, tergantung pada spesies nya, ukuran *stylet* dapat pendek sekali dengan ukuran 11,5 μm atau sepanjang 23 μm .

Stylet dari *Pratylenchus* berukuran pendek dan gemuk, dengan basal knob yang berkembang dengan baik dalam mendukung *stylet*. Bagian kerucut (konus atau metenchium) sangat kuat dan keras untuk menghancurkan dinding sel akar. Rata rata ukuran dari *stylet* pada genus *Pratylenchus* adalah 16 μm tetapi, tergantung pada spesies nya, ukuran *stylet* dapat pendek sekali dengan ukuran 11,5 μm atau sepanjang 23 μm . *P. coffeae* memiliki ukuran panjang *stylet* rata rata 15 μm dengan bentuk *stylet knob* yang membulat hingga bentuk yang lebih menyempit seperti gambar 2.4. (Castilo, 2007).

Setelah Proses identifikasi, proses dilanjutkan dengan proses perhitungan 50 ekor dan dimasukkan di dalam botol. Setelah selesai melakukan proses perhitungan maka bisa langsung diinokulasikan di tiap-tiap perlakuan. Pengamatan dapat dilakukan setelah 2 minggu setelah inokulasi dan selanjutnya setiap 2 minggu hingga 16 minggu atau 4 bulan pengamatan.

4.2.2 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap Populasi Nematoda Parasit *P. coffeae*.

Pengamatan jumlah populasi Nematoda Parasit *P. coffeae*. dilakukan pada pengamatan yaitu setelah pengamatan 16 minggu setelah inokulasi. Hasil inokulasi ganda ini ternyata berdampak positif dalam mengendalikan Nematoda *P. coffeae* seperti pada Tabel 4.2. Berdasarkan Hasil penelitian (Tabel 4.2), pemberian inokulasi ganda MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. terhadap populasi Nematoda *P. coffeae* pada tanaman Kopi Arabika berpengaruh secara signifikan ($p=0,000$) terhadap penurunan populasi Nematoda *P. coffeae*, baik yang ada di akar ataupun di tanah. Pada

perlakuan inokulasi ganda (Perlakuan C, D, E, dan F), Perlakuan F yang memiliki populasi nematoda *P. coffeae*. paling sedikit jika dibandingkan dengan perlakuan B sebagai kontrol negatif. Peranan inokulasi ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB juga mampu menurunkan populasi nematoda lebih efektif dari Perlakuan inokulasi tunggal yang hanya menggunakan mikoriza saja (Perlakuan G). Penurunan populasi Nematoda Parasit *P. coffeae* berkisar antara 80,75%-96,8% dibandingkan kontrol negatif. Kefektifitas peranan inokulasi ganda dalam mengendalikan Nematoda *P. coffeae* ternyata tidak terlepas dari tingkat efektifitas infeksi Mikoriza *Glomus* spp terhadap jaringan akar. Inokulasi ganda ini berpotensi meningkatkan infeksi mikoriza seperti di dalam Tabel 4.3.

Mikoriza yang menginfeksi akar menghasilkan hifa yang banyak dan akan menekan pertumbuhan nematoda. Sedangkan pada akar Kopi Arabika yang hifanya cenderung sedikit biasanya akan memiliki populasi nematoda yang banyak. Hal ini sesuai pada Gambar 4.7 dan 4.8. Hal ini disebabkan struktur mikoriza dapat berfungsi sebagai pelindung biologi bagi terjadinya patogen akar (Imas, *et al.*, 1993). Kemampuan mikoriza untuk menekan populasi Nematoda *P. coffeae* dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti peningkatan nutrisi tanaman, perubahan mikroba pada rizosfer, kompetisi nutrisi dan tempat penetrasi, serta perubahan anatomi dan biokimia dalam akar akibat infeksi mikoriza (Linderman, 1994) perubahan biokimia sel akar akibat infeksi mikoriza menurut Elsen, *et al.*, (2001) dikarenakan meningkatnya enzim kitinase, peroksidase, asam amino, dan senyawa fitoaleksin/fenol, serta terjadinya lignifikasi pada sel endodermis akar. Fenol diketahui sebagai senyawa aktif yang memegang peranan penting terhadap penekanan nematoda yang menyerang jaringan tanaman (Fogain dan Gowen, 1996). Senyawa fenol ini membuat lingkungan toksik untuk perkembangbiakan nematoda yang dibuktikan dengan adanya akumulasi awal senyawa yang berada di dekat 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).

Bukan hanya Mikoriza *Glomus* spp yang mampu menekan populasi nematoda melainkan keefektifitasan inokulasi ganda ini terletak bantuan dari adanya Bakteri MHB. Bakteri MHB ternyata bukan hanya memiliki peranan sebagai membantu dalam efektifitas infeksi mikoriza terhadap akar tanaman tetapi Bakteri MHB juga sebagai agen pengendali hayati, dan sebagai agen biokontrol. Beberapa diantaranya yakni bakteri dari Genus *Basillus* dan Genus *Pseudomonas* juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman yang dikenal dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), karena mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan hormon pertumbuhan (Bacon dan Hinton, 2007) serta dapat menginduksi ketahanan tanaman yang dikenal dengan *induced systemic resistance* (ISR).

Bakteri MHB dapat mensekresikan enzim ekstraseluler tertentu yang dapat membantu melakukan pekerjaannya untuk berinteraksi dengan mikoriza, tanah, tumbuhan dan juga patogen yang ada didalam tanah. Kandungan enzim yang berperan dalam mengendalikan populasi nematoda adalah kitinase baik yang dihasilkan oleh *P. diminuta* maupun *B. subtilis*. Kitinase adalah enzim yang mengkatalisis degradasi hidrolitik kitin, suatu polimer linier tersusun dari monomer β -1,4-N-asetil-D-glukosamin (GlcNAc) yang terdistribusi luas di alam. Kitinase bekerja dengan dua cara yaitu mendegradasi kitin secara acak dari dalam molekul sehingga menghasilkan molekul pendek hasil perpecahan kitin dan cara kedua adalah dengan memotong kitin dari ujung non reduksinya saja (Haliza *et. al*, 2012). Kitinase dapat bekerja mengendalikan nematoda parasit *P. coffeae* dengan menghancurkan dinding tubuh nematoda yang terbuat dari kitin, sehingga terjadi kerusakan pada tubuh yang bisa berakibat rusaknya keseimbangan tubuh akibat hilangnya fungsi pembatas tubuh nematoda dengan dunia luar. Selain itu kitinase akan menghidrolisis kitin yang membentuk telur nematoda sehingga telur akan terdegradasi akibat

kehilangan kekuatan struktural dari cangkangnya, dengan begitu nematoda akan lebih sulit berkembang biak. Selain itu, berdasarkan laporan akhir penelitian (Asyiah, 2014). *P. diminuta* dan *B. subtilis* memiliki aktivitas peroksidase yang cukup tinggi, peroksidase dapat memperlambat proses infeksi dan berhubungan dengan lignifikasi dan juga menginduksi hipersensitif reaksi terhadap jaringan untuk mempertahankan jaringan dari nematoda. (Harni, *et al*, 2012).

Terdapat 2 jenis gejala serangan Nematoda *P. coffea* pada tanaman yaitu diatas permukaan dan dibawah permukaan tanah yaitu luka akar serta rusaknya akar lateral. Gejala kerusakan oleh nematoda pada bagian tanaman di atas permukaan tanah umumnya tidak spesifik. Tanaman hanya tampak kerdil, pertumbuhan terhambat, ukuran daun dan cabang primer mengecil, daun tua berwarna kuning yang secara perlahan-lahan akhirnya rontok dan tanaman mati (Nugorhorini, 2012).

Pengamatan gejala tanaman yang terinfeksi Nematoda *P. coffeae* di dalam penelitian ini dilakukan dengan penyekoran kerusakan terhadap akar dan tajuk tanaman. Hasil skor kerusakan akar berbanding lurus dengan efektifitas infeksi mikoriza. Pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa inokulasi ganda ini mampu menurunkan skor kerusakan akar jika dibandingkan dengan kontrol negatif (Perlakuan B). Hal itu membuktikan penurunan populasi pada perlakuan inokulasi ganda sehingga kerusakan yang ditimbulkan juga berkurang.

Kerusakan akar yang dikibatkan oleh Nematoda *P. coffeae* ternyata karena Nematoda *P. coffeae* dapat mengeluarkan enzim β glukosidase. Jika *P. coffeae* dapat mengeluarkan enzim β glukosidase maka akar tanaman mempunyai hormon amigdalinal. β glukosidase dan amigdalinal akan bereaksi sehingga terbentuk senyawa benzaldehid+HCN, senyawa ini merupakan racun bagi sel-sel yang terkena, sehingga sel-sel akar akan mati (nekrosis). β glukosidase+amigdalinal \rightarrow benzaldehid + HCN. Karena serangan terjadi di luar akar maka akan tampak bercak-bercak luka (Nadiyah, tanpa tahun). Semakin banyak Nematoda *P. coffeae* maka semakin tinggi

pula skor kerusakan akar yang diakibatkan aktifitas Nematoda *P. coffeae* di dalam sel korteks akar tanaman.

Pengaruh perlakuan inokulasi ganda ini ternyata berdampak positif terhadap skor kerusakan akar yang terjadi. Kerusakan akar pada perlakuan C (13%), D(8%), E (14%) dan F (5%) lebih kecil jika dibandingkan dengan perlakuan B hingga mencapai kerusakan 67%. Hasil analisis ANOVA juga membuktikan bahwa perlakuan inokulasi ganda Bakteri MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. berpengaruh secara signifikan ($P=0,000$) terhadap skor kerusakan akar Tanaman Kopi Arabika. Hasil skor kerusakan akar ini ternyata berbanding lurus dengan skor kerusakan tajuk tanaman

Dampak adanya Nematoda *P. coffeae* bukan hanya berdampak terhadap skor kerusakan akar saja melainkan juga mempengaruhi kerusakan bagian tajuk. Skor kerusakan tajuk yang dilakukan selama 16 minggu menunjukkan bahwa Perlakuan MHB mampu menurunkan tingkat kerusakan tajuk jika dibandingkan dengan Perlakuan kontrol negatif (Perlakuan B) pada Tabel 4.5. Perlakuan A sebagai kontrol positif tidak mengalami kerusakan tajuk berada di stadium 0 sedangkan Perlakuan B yang merupakan kontrol negatif mengalami kerusakan tertinggi hingga berada di stadium 2,8. Hasil dari penyekoran bagian tajuk tanaman ternyata berbanding lurus dengan hasil penyekoran kerusakan akar yang merupakan salah satu gejala yang ditimbulkan akibat adanya infeksi Nematoda *P. coffea*. Kerusakan pada tajuk tanaman ini merupakan cermin terjadinya kerusakan akar tanaman. Seperti yang telah dilaporkan Agrios dalam Harni (2007), bahwa Nematoda *P. coffea* yang mengkonsumsi sel akar mampu menurunkan kemampuan tumbuhan menyerap air dan hara dari tanah sehingga menyebabkan gejala seperti kekurangan air dan hara.

Kekurangan zat hara itu menyebabkan terjadinya kuningnya daun yang lama-kelamaan akan terjadi pengguguran daun tanaman. Hal itu membuktikan bahwa semakin banyaknya kerusakan tajuk membuktikan bahwa tanaman mengalami

difisiensi zat hara. Kekurangan zat hara ini sebagai tanda adanya aktifitas nematoda yang merusak fungsi akar, sehingga fungsi akar tidak berjalan secara optimal.

Dari penjabaran diatas, dapat diketahui bahwa MHB *P. diminuta* dan *B. subtilis* juga memiliki kemampuan mampu mengendalikan populasi Nematoda parasit *P. coffeae* dengan baik. Bahkan kemampuan mengendalikan populasi nematoda *P. coffeae* dari MHB melebihi nematisida karbofuran yang digunakan sebagai pembanding untuk perlakuan MHB ini. Karbofuran merupakan senyawa spektrum N-methyl carbamate aktif sebagai insektisida dan nematisida yang terdaftar untuk pengendalian hama tanah dan daun pada berbagai tanaman, buah, dan tanaman sayuran. Senyawa ini bekerja dengan cara menghambat enzim cholinesterase pada sistem saraf, sehingga tubuh tidak bisa memecah asetilkolin yang menyebabkan sistem saraf terus bekerja tanpa bisa berhenti karena mekanisme penghenti suatu stimulasi adalah dari salah satu type enzim cholinesterase yaitu asetilkolinesterase (Bradbury, 2007).

Mekanisme kerja karbofuran dalam menurunkan populasi nematoda parasit adalah dengan cara menghambat kerja enzim cholinesterase pada sistem saraf. Cholinesterase adalah enzim yang berperan penting dalam perjalanan impuls saraf, hal ini karena cholinesterase memiliki type enzim khusus yang disebut asetilkolinerasse yang berfungsi untuk memecah asetilkolin dan menghentikan impuls saraf sesuai rangsangan yang diterima oleh pusat saraf. Sinyal listrik atau impuls saraf dibawa oleh molekul asetilkolin di persimpangan saraf dan otot yang merangsang otot untuk bergerak, setelah respon tercapai maka cholinesterase akan terlepas dan bersama dengan asetilkolinerasse akan menghancurkan asetilkolin dan menghentikan stimulasi otot. Bila asetilkolinerasse tidak bisa memecah asetilkolin, maka otot akan bergerak tidak terkontrol. Impuls listrik yang berjalan terus menerus tanpa dihentikan oleh cholinesterase dapat menyebabkan kelumpuhan pernafasan, kejang, dan dalam kasus yang ekstrim adalah kematian. (Bradbury, 2007)

Karbofuran dapat menurunkan populasi nematoda lebih baik daripada perlakuan MHB dengan kerapatan 10^8 cfu/ml (Perlakuan C dan E) tetapi tidak memiliki kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, karbofuran hanya mengendalikan populasi nematoda sehingga mengurangi luka akar (Tabel 4.6) yang disebabkan oleh nematoda. Oleh karena itu tumbuhan dapat tumbuh dengan cukup baik karena nutrisi dari akar masih bisa terkontrol. Dilain sisi, MHB 2×10^8 cfu/ml (Perlakuan D dan F) memiliki kemampuan menurunkan populasi Nematoda *P. coffeae* yang melampaui kemampuan dari nematisida karbofuran, dan juga berpengaruh secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan K- (Inokulasi *P. coffeae* saja) dan juga kemampuan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi dengan baik melebihi dari kemampuan perlakuan H. Bakteri MHB mampu menghasilkan enzim dan juga fitohormon, yang memberikan dampak kenaikan pertumbuhan tanaman yang lebih baik daripada perlakuan pembanding karbofuran (Tabel 4.5 Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8).

4.2.3 Pengaruh Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. dalam Meningkatkan Pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa Inokulasi Ganda Bakteri MHB dan *Glomus* spp. juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika. Peningkatan pertumbuhan ini dapat diketahui dari beberapa parameter yang dihitung setiap 2 minggu hingga 16 msi. Parameter pertumbuhan di perlakuan ini, adalah kenaikan tinggi tanaman, diameter tanaman, jumlah daun serta massa tanaman baik akar maupun tajuk.

Parameter pertumbuhan pertama adalah tinggi tanaman. Pengaruh pemberian inokulasi ganda ini dapat dilihat pada Tabel 4.5. Pada Tabel 4.5 menunjukkan perlakuan inokulasi ganda mampu meningkatkan tinggi tanaman Kopi Arabika. Adapun peningkatan tinggi tanaman perlakuan inokulasi ganda dengan perlakuan MHB kerapatan 2×10^8 cfu/ml (Perlakuan D dan F) pada minggu ke-16 mampu

meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika jika dibandingkan dengan perlakuan K⁻ (Perlakuan B) dan K⁺ (Perlakuan A). Perlakuan B merupakan perlakuan yang memiliki tinggi terendah jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya hal tersebut dikarenakan adanya inokulasi Nematoda *P.coffeae* saja. Nematoda *P.coffeae* mampu berkembang biak secara optimal dikarenakan tidak adanya mikroorganisme antagonis yang akan mengganggu keberadaannya. Perlakuan C dan E merupakan perlakuan inokulasi ganda mikoriza dan MHB tetapi dengan kerapatan 10⁸cfu/ml memiliki nilai tinggi tanaman yang lebih rendah jika dibandingkan dengan perlakuan A. Hal tersebut dikarenakan kerapatan MHB 10⁸cfu/ml kurang optimal dalam membantu infeksi mikoriza terhadap tanaman sehingga Nematoda *P. coffeae* masih bisa berkembang dan berpengaruh terhadap kenaikan tinggi tanaman Kopi Arabika.

Tidak optimalnya infeksi mikoriza *Glomus* spp. juga terlihat pada perlakuan inokulasi tunggal mikoriza *Glomus* spp. (Perlakuan G) hal itu terjadi karena kurang optimalnya proses infeksi mikoriza akibat adanya Nematoda *P. coffeae* sehingga peranan jamur antagonis ini tidak bekerja secara optimal. Perlakuan H yang merupakan nematisida *Carbofuran* menghasilkan nilai terendah ke-2 setelah kontrol negatif hal ini dikarenakan tidak adanya mikoriza dan MHB. Mikoriza memiliki hifa eksternal yang kedudukannya seperti rambut akar. Hifa eksternal ini mampu memperluas daerah penyerapan air oleh akar sehingga pertumbuhan tanaman tersebut akan lebih optimal (Nurhayati, 2010).

Menurut Sastrahidayat (2011), tanaman yang terinfeksi mikoriza memiliki kandungan auksin lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tidak terinfeksi mikoriza. Sehingga dengan adanya kandungan auksin yang lebih tinggi ini mengakibatkan Mikoriza mampu meningkatkan tinggi tanaman jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak bermikoriza seperti (Perlakuan B dan H). Selain itu mikoriza juga mampu merangsang hormon-hormon pertumbuhan tanaman seperti sitokinin, auksin, dan giberelin. Hormon sitokinin dan auksin ini berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel sehingga menyebabkan bukan hanya peningkatan tinggi tanaman

dan memicu terbentuknya promordia daun pada meristem apikal yang kemudian akan berkembang menjadi helaian daun baru (Talanca, 2010).

Parameter kedua yang diamati adalah peningkatan diameter tanaman. Tabel 4.6 yang menunjukkan perlakuan inokulasi ganda (C, D, E, dan F) menunjukkan peningkatan diameter yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol negatif atau Perlakuan B dimana tanaman hanya diinokulasi dengan nematoda saja. Hasil uji ANOVA pada pengamatan 16 msi menunjukkan bahwa inokulasi ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB berpengaruh secara signifikan ($P=0,013$) terhadap kenaikan diameter batang tanaman Kopi Arabika. Prosentase kenaikan akar terjadi pada perlakuan F yaitu kenaikan diameter mencapai 101,7 % dari kondisi sebelum inokulasi. Penambahan perlakuan inokulasi ganda ini memiliki prosentase 45,7-50,8% jika dibandingkan dengan kontrol negatif atau Perlakuan B. Hormon sitokinin merupakan salah satu hormon yang sangat berperan dalam proses pertumbuhan sekunder ini yakni perkembangan sel atau perbesaran sel sehingga semakin besarnya sel tanaman maka akan mengakibatkan semakin besar lilitan batang atau diameternya.

Parameter ke-3 yang diamati adalah penambahan jumlah daun, dengan kenaikan tinggi tanaman pada perlakuan inokulasi ganda diiringi dengan kenaikan jumlah daun. Dapat dilihat di dalam Tabel 4.7 bahwa perlakuan ganda setelah 16 msi. Perlakuan D dan F mengalami peningkatan yang sangat cepat jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pemberian inokulasi ganda ini juga mampu meningkatkan jumlah daun lebih cepat daripada perlakuan yang lain dan kecepatan penambahan jumlah daun inokulasi ganda (C, D, E, dan F) pada 16 msi mengalami kenaikan 13,5-21,73% jika dibandingkan dengan kontrol negatif (Perlakuan B). Hasil uji ANOVA juga menyatakan bahwa Pada 16 msi, perlakuan inokulasi ganda antara mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB berpengaruh secara signifikan ($P=0,042$) terhadap jumlah daun.

Peningkatan parameter diatas juga berpengaruh terhadap massa basah maupun massa kering tanaman. Hal tersebut dikarenakan adanya hormon pertumbuhan yang membantu pembelahan sel dan juga perbanyakkan sel sehingga membuat berat tajuk semakin besar .hal ini merupakan imbas dari adanya hormon pertumbuhan yang dihasilkan oleh oleh MHB dan Mikoriza tersebut. Hasil analisis pengaruh inokulasi ganda dapat dilihat dari Tabel 4.8. Massa perlakuan inokulasi (Perlakuan C, D, E, dan F) memiliki massa basah dan massa kering lebih tinggi jika dibandingkan oleh kontrol negatif (Perlakuan B). Perlakuan inokulasi ganda antara Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) berpengaruh secara signifikan ($P=0,000$) baik terhadap massa basah, massa kering dan massa basah akar. Perlakuan B (kontrol negatif) yang merupakan perlakuan yang hanya diinokulasikan Nematoda *P. coffeae* ternyata memiliki massa basah, massa kering tajuk dan massa basah akar yang terendah hal tersebut membuktikan bahwa nematoda *P. coffeae* mempengaruhi massa tanaman atau nutrisi tanaman.

Berdasarkan hasil Pengamatan parameter di atas tentang pengaruh inokulasi ganda MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) berpengaruh secara signifikan baik parameter rerata tinggi, rerata diameter batang, rerata jumlah daun serta rerata massa basah dan kering tajuk. Inokulasi ganda ini ini menunjukkan efektifitasnya sehingga mampu bersaing dengan inokulasi tunggal yakni Perlakuan G yang dapat dilihat pada tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8). Hal ini dikarenakan adanya interaksi positif antara peranan Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*P. diminuta* dan *B. subtilis*) dalam meningkatkan hormon-hormon pertumbuhan tanaman (fitohormon) sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman secara optimal.

Peranan inokulasi ini merupakan hubungan kerjasama Bakteri MHB dalam meningkatkan infeksi mikoriza *Glomus* spp. terhadap akar tanaman inang hal itu terbukti dari perlakuan derajat infeksi di dalam Tabel 4.3. Perlakuan A, B dan H merupakan perlakuan tanaman tanpa inokulasi mikoriza sehingga memiliki derajat infeksi sebesar 0%,. Perlakuan G merupakan perlakuan inokulasi tunggal dengan

dengan pemberian Mikoriza *Glomus* spp. hanya memiliki derajat infeksi 78,8% yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan Inokulasi Ganda. Perlakuan C mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 89,6%. Perlakuan D mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 97,2%. Perlakuan E mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 93,6%. Perlakuan F mampu meningkatkan infeksi mikoriza hingga 98,4% yang merupakan infeksi mikoriza tertinggi. Hasil analisis ANOVA juga menunjukkan bahwa Inokulasi ganda ini memberikan pengaruh yang signifikan ($P=0,000$) terhadap Derajat Infeksi Mikoriza. Sehingga dari hasil pengamatan diatas membuktikan bahwa adanya Bakteri MHB mampu meningkatkan infeksi mikoriza sehingga mampu mengoptimalkan kerja dari mikoriza khususnya mikoriza *Glomus* spp.

Eksudat MHB sering kali merangsang perkecambahan spora fungi. Xavier dan Germida (2003) mengamati bahwa sebagian besar bakteri dari dinding sel spora MVA mampu meningkatkan perkecambahan spora *Glomus* spp. Peningkatan infeksi mikoriza ini akibat adanya bakteri MHB ini dapat meningkatkan hormon- hormon yang dibutuhkan tanaman. Mikoriza berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman karena adanya hifa eksternal ini yang dapat memperluas daerah penyerapan air oleh akar sehingga pertumbuhan tanaman tersebut akan lebih optimal (Nurhayati,2010). Selain itu mikoriza juga mampu mestimulus hormon-hormon pertumbuhan tanaman seperti sitokinin, auksin, dan giberelin. Hormon sitokinin dan auksin ini berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel sehingga menyebabkan peningkatan tinggi tanaman dan memicu terbentuknya promordia daun pada meristem apikal yang kemudian akan berkembang menjadi helaian daun baru (Talanca, 2010).

Interaksi ini, bukan hanya memposisikan MHB sebagai bakteri pendukung kinerja mikoriza *glomus* spp karena Bakteri MHB ternyata bukan hanya memiliki peranan sebagai membantu dalam efektifitas infeksi mikoriza terhadap akar tanaman tetapi Bakteri MHB juga sebagai agen pengendali hayati, dan sebagai agen biokontrol. Beberapa diantaranya yakni bakteri dari Genus *Bacillus* dan Genus

Pseudomonas juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman yang dikenal dengan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), karena mampu meningkatkan ketersediaan nutrisi, menghasilkan hormon pertumbuhan (Bacon dan Hinton, 2007)

Fungsi dari MHB *P. diminuta* dan *B. subtilis* sebagai PGPR adalah dengan memiliki 2 karakteristik sebagai PGPR yaitu dapat meningkatkan solubilisasi nutrisi mineral dan fiksasi nitrogen sehingga dapat menyediakan nutrisi untuk tumbuhan. Genus *Pseudomonas* dan *Bacillus* menurut Rodriguez dan Fraga (dalam Figueredo *et al.*, 2010) adalah bakteri yang memiliki potensi dalam solubilisasi fosfor di dalam tanah, hal ini berkaitan dengan produksi dari beberapa enzim litik dan juga fitohormon oleh bakteri tersebut. Fitohormon yang dibentuk oleh antara lain adalah IAA yang berfungsi untuk perpanjangan batang dan juga pertumbuhan tumbuhan dan juga ACC deaminase yang menurunkan jumlah etilen sehingga memungkinkan benih untuk memanjangkan akar.

Menurut (Fitriatin 2012), *B. subtilis* dapat menghasilkan zat pengatur tumbuh berupa kinetin, zeatin, IAA (auksin) dan GA3 (giberelin). Kinetin dan zeatin merupakan turunan dari hormon pertumbuhan sitokinin, sitokinin adalah hormon yang berfungsi untuk pengaturan pembelahan sel, dan pemanjangan sel. Kemudian IAA memiliki fungsi untuk mematahkan dominansi pucuk sehingga tumbuhan dapat tumbuh dan juga memacu pertumbuhan akar. GA3 dapat merangsang pemanjangan sel dan juga bersinergi dengan hormon pertumbuhan lainnya untuk membantu perkembangan (Fahmi, 2014). Sedangkan menurut (Asyiah, 2009), bakteri *P. diminuta* dapat menghasilkan sitokinin dan GA3. Dari Tabel 4.2 kita bisa mengetahui bahwa tinggi tanaman tertinggi dihasilkan oleh perlakuan F (*P. diminuta* 2×10^8 cfu/ml), kemudian disusul oleh perlakuan D (*B. subtilis* 2×10^8 cfu/ml), kemudian diameter batang (Tabel 4.3) perlakuan menggunakan bakteri *P. diminuta* yang paling baik, karena memiliki kandungan sitokinin. Massa kering tajuk (Tabel 4.6), perlakuan E dan F juga memunculkan hasil tertinggi karena adanya hormon pertumbuhan tersebut yang membantu pembelahan sel dan juga memperbanyak sel membuat berat

tajuk semakin besar dan memunculkan hasil berat kering tajuk dengan nilai yang tinggi. hal ini merupakan imbas dari adanya hormon pertumbuhan yang dihasilkan oleh kedua bakteri tersebut. selain itu, jumlah bakteri dengan kerapatan koloni 2×10^8 cfu/ml merupakan jumlah yang baik untuk optimalisasi hormon pertumbuhan tanaman yang memang membutuhkan kondisi yang sesuai.

MHB memiliki keunggulan dibandingkan dengan perlakuan karbofuran sebagai perlakuan pembanding, Bakteri MHB lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan karbofuran, selain itu MHB juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan dengan menghasilkan fitohormon dan juga dapat mengendalikan nematoda dengan baik. Karbofuran memiliki kelemahan dibandingkan dengan MHB yaitu residu yang ditinggalkan didalam tanah maupun perairan, toksik yang teringgal tidak memiliki aktivitas fitotoksik terhadap tumbuhan baik tumbuhan perairan maupun tumbuhan terestrial, tetapi memiliki efek yang dapat mematikan bagi hewan terestrial dan perairan seperti burung, mamalia, serangga dan ikan. Selain itu waktu untuk menguraikan karbofuran juga cukup lama antara 28 hari hingga 75 hari (Bradbury, 2007).

Dari penjabaran diatas, Maka inokulasi ganda antara Bakteri MHB dan Mikoriza *Glomus* spp. dapat dijadikan alternatif sebagai bio-nematisida untuk mengendalikan populasi nematoda parasit *P. coffeae* dan juga sebagai PGPR untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Inokulasi ganda *Micorrhiza Helper Bacteria* (MHB) (*Pseudomonas diminuta* dan *Bacillus subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp berpengaruh secara signifikan terhadap pengendalian populasi Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* ($P=0.000$). Penurunan populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* pada perlakuan inokulasi ganda (Perlakuan C, D, E dan F) berkisar antara 87,4%-97,02% dibandingkan kontrol negative.
- b. Inokulasi ganda *Mychorrhiza Helper Bacteria* (MHB) (*Pseudomonas diminuta* dan *Bacillus subtilis*) dan Mikoriza *Glomus* spp berpengaruh secara signifikan terhadap pertumbuhan tanaman Kopi Arabika jika dibandingkan kontrol negatif dan perlakuan lainnya. Pengaruh inokulasi ganda terhadap parameter pertumbuhan yang terdiri dari tinggi tanaman ($P=0,037$), jumlah daun (0,042), diameter batang (0,013) serta massa tanaman ($P=0,000$) membuktikan bahwa memberikan pengaruh yang signifikan.

5.2 Saran

- a. Parameter pertumbuhan untuk berat kering ataupun berat basah tajuk serta kerusakan tajuk sebaiknya dilakukan setiap periode tidak hanya dilakukan pada Minggu ke- 16 saja.
- b. Penelitian ini perlu dilanjutkan ke pembuatan formulasi Bio-nematisida dengan bahan aktif bakteri MHB karena terbukti naiknya konsentrasi MHB mampu mempengaruhi pengendalian Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan Kopi Arabika.

DAFTAR BACAAN

- AAK. 1988. *Budidaya Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Kanisius
- Aggangan, N.S. B.Dell and N. Malajczuk, 1998. Effects of chromium and nickel on growth of the ectomycorrhizal fungus *Pisolithus* and formation of ectomycorrhizas on *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. *Geoderma* 84 : 15-27.
- Anas,I., E. Premono dan R. Widyastuti. 1993. *Peningkatan Efisiensi Pemupukan P dengan Menggunakan Mikroorganisme Pelarut P*. Bogor: IPB Press.
- Anafzhu, 2009. *Busuk Buah Kakao (Phytophthora palmivora)*. <http://anafzhu.blogspot.com/2009/06/busuk-buah-kakao-phytophthora-palmivora.html>. Diakses pada tanggal 6 November 2014.
- Ardliyanto, Arief. 2014. *Ekspor kopi Indonesia diprediksi melonjak*. <http://ekbis.sindonews.com/read/845871/34/ekspor-kopi-indonesia-diprediksi-melonjak-1395231032>.
- Asyiah, N. I., Soekarto, M. Husain, Reginawanti H. 2010. *Biokontrol Of Potato Cyst Nematoda Globoderarostochiensis By Rhizobacter Isolates On Potato*. Dalam Suharsono (ed). *Proceeding of Internasional Biotechnology Seminar*, UMM.
- Asyiah, N. I., Soekarto, M. Husain. 2012 Potensi MYCOFER[®] dalam Pengendalian Nematoda Sista Kentang (*Globodera rostochiensis*), p.401-406. *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*.
- Bacon, C.W. and S.S. Hinton. 2007. *Bacterial endophytes: The endophytic niche its occupants and its utility*. *Plant-Associated Bacteria*. Springer, Berlin.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2008. *Teknologi Budidaya Kopi Poliklonal*. Bogor: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Barea JM, Andrade G, Biancioto V, Dowling D, LohkreS, Bonfante P, O'Gara F, Azcon-Aguilar C. 1998. Impact on arbuscular mycorrhiza formation on Pseudomonads strains used as inoculants for biokontrol of soil-borne fungal plant pathogens. *App Envir Microbiol* 64:2304-2307.

- Barea, JM, Pozo M.J., Azcon R, Azcon-Aguilar C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *J Exp Bot* 56:1761-1778.
- Baon, J.B. dan Wiryadiputra, S. 1994. Perkembangan nematoda parasit pada kopi robusta yang diinokulasi jamur mikoriza ber-VA (*Parasitic nematoda development on robusta coffea inoculated by VAMfungi*) 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. dan Wiryadiputra, S. 1998. Perkembangan nematoda parasit pada kopi robusta yang diinokulasi jamur mikoriza ber-VA (*Parasitic nematoda 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.
- Bianciotto, V. dan Bonfante, P. 1998. *Presymbiotic Versus Symbiotic Phase in Arbuscular Endomycorrhizal Fungi*. Dalam A. Varma dan B. Hock (Eds.). *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. Germany: Second Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bradbury, S. 2007. *Registration Eligibility Decision for Carbofuran*. US Environmental Protection Agency of Pesticide Programs. http://www.epa.gov/pesticides/reregistration/REDS/carbofuran_red.pdf
- Brundret, MC., Melville L and Peterson L. 1994. *Practical Methods In Mycorrhiza Research*. Canada: Mycologue Publications.
- Brundret, MC., N. Bougher, Dells, T. Grove, and N. Malajezuk. 1996. *Working With Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. ACIAR. Canberra.
- Castillo, P. dan Nicola Vovlas. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity And Management dalam David J. Hunt and Roland N. Perry (Series Editors) : *Nematology Monographs And Perspectives* Volume 6. Leiden-Boston. 529p.
- Cook, R.J. dan Baker, K.F. 1983. *The nature and practice of biological control of plant pathogens*. St Paul, MN, USA, 539 pp.

- Cruz, A.F., T. Ishii, and K. Kadoya., 2000. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf water potential, and levels of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid and ethylene in the roots of papaya under water stress conditions. *Mycorrhiza J.* 10/3 : 121-123.
- Daniels BA dan Trappe JM. 1980. Factors affecting spore germination of vesicular-Arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epiganeus*. *Mycology.* 72: 457-463.
- Direktorat perlindungan perkebunan. 2002. *Musuh Alami, Hama dan Penyakit Tanaman Kopi*. Jakarta: Direktorat perlindungan perkebunan.
- Dropkin, V. H. 1992. *Pengantar Nematologi Tumbuhan*. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- Duponnois R, Garbaye J. 1990. Some mechanisms involved in growth stimulation of ectomycorrhizal fungi by bacteria. *Can J Bot* 68:2148–2152.
- Elsen, A., S. Declerck, and D. De Waele. 2001. *Effect of Glomus Intrdices on the Reproduction of the Burrowing Nematoda (Radhopolus similis) in Dixenic Culture*. *Mycorrhiza.* 11:49-51
- Ernawati, RR., Ratna Wylis Arief, Slameto. 2008. *Teknologi Budidaya Kopi Poliklonal*. Bogor: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian.
- Fahmi, Z. I. 2014a. *Kajian Pengaruh Auksin Terhadap Perkecambahan Benih dan Pertumbuhan Tanaman*. Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya.
- Fahmi, Z. I. 2014b. *Pengaruh Pemberian Sitokinin Terhadap Pertumbuhan Tanaman*. Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya.
- Fahmi, Z. I. 2014c. *Pengaruh Pemberian Hormon Giberelin Terhadap Perkecambahan Benih Tanaman*. Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya.

- Ferris, H. 2012. *Pratylenchus coffeae* Classification Scheme Charts. <http://plpnemweb.ucdavis.edu/nemaplex/Taxadata/G105s2.HTM#Classification>:
- Figueiredo, M., Seldin, L., Araujo, F. F., Mariano, R. R. 2010. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Fundamentals and Applications. *Microbiology Monographs*, 18: 21-43.
- Fogain, R., and S. R. Gowen. 1996. *Investigation on Possible Mechanisms of Resistance to Nematodes in Musa*. *Euphytica*. 92:375-381
- Frey-Klet, Garbaye. 2005. Mycorrhiza helper bacteria: a Promising Model for the Genomic Analysis of Fungal – Bacterial Interactions. *New Phytol* 168:48.
- Gamalero E, Trotta A, Massa N, Copetta A, Martinotti MG, Berta G. 2004. Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza* 14:229–234.
- Ganesan, P., and S.S. Gnanamanickam. 1986. *Biological kontrol of Sclerotium rolfsii Sacc. In peanut by inoculation with Pseudomonas fluorescens. Centre of advanced study in Botany. India :University of Madras.*
- Garbaye J. 1994. Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytol* 128:197-210.
- Haliza, W., Suhartono, M. T. 2012. Karakteristik Kitinase dari Mikrobial. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 8 (1): 1-14
- Hallmann, J. 2001. Plant interaction with endophytic bacteria. *Dalam: Jeger, M.J. and N.J. Spence (eds.). Biotic Interaction in Plant-Pathogen Associations. CAB International.*
- Hapsah. 2008. *Pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskular Pada Budidaya Kedelai Di Lahan Kering*. Medan: Pidato Pengukuhan Guru Besar Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Harni. R., Munif, A., Supramana, Mustika, I. 2007. Potensi Bakteri Endofit Pengendali Nematoda Peluca Akar (*Pratylenchus brachyurus*) pada Nilam. *Journal of Bioscience*, 14(1): 7-12

- Harni, R., Supramana, Sinaga, M. S., Giyanto, Supriyadi. 2012. Mekanisme Bakteri Endofit Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus brachyurus* pada Tanaman Nilam. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*, 23(1): 102-114
- Hatmanti A. 2000. *Pengenalan Bacillus Spp. Oseana*, 25(1): 31-41
- Hartono. 2013. ***Produksi Kopi Nusantara Ketiga Terbesar Di Dunia.*** <http://www.kemenperin.go.id/artikel/6611/Produksi-Kopi-Nusantara>
- Heekyung, L. 2013. *Classification of Brevundimonas diminuta.* [http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Brevundimonas diminuta](http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Brevundimonas_diminuta) Diakses pada tanggal 26 November 2014.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A, James, T.S., Williams, S.T. 1994. *Bergeys Manual[®] of Determinative Bacteriology: Ninth edition.* Baltimore: William & wilkins
- Hulupi, R. & Mulyadi. 2007. Sebaran Populasi Nematoda *Radhopolus similis* dan *Pratylenchus coffeae* pada Lahan Perkebunan Kopi. *Pelita Perkebunan*, 23(3): 176-182.
- Husin, E. F., Marlis, R., Trimitri., Auzan., Burhanuddin., dan Zelfi, Z. 2007. *Observasi dan identifikasi spora Cendawan Mikoriza Arbuskular (CMA) pada berbagai rhizosfir di lahan kritis Sumatera. Disajikan pada Seminar Nasional Mikoriza "Percepat-an Sosialisasi Teknologi Mikoriza untuk Mendukung Revitalisasi Ke-hutanan, Bogor : Pertanian dan Perkebunan.*
- Imas, T., R.S. Hadioetomo, A.W. Gunawan dan Y. Setiadi, 1989. *Mikrobiologi Tanah II.* IPB: Depdikbud Ditjen Dikti, Pusat Antar Universitas Bioteknologi
- 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>

- Jumjunidang. 2009. Efikasi Isolat Cendawan Mikoriza Arbuskula *Indigenous* Pisang terhadap Nematoda *Radopholus similis* pada Pisang Ambon Hijau. *J. Hort.* 19(2):186-191.
- Jamaluddin, U. 2012. *Kopi Arabika Gayo Sedang Panen*. (Online) <http://jamaluddin-usman.blogspot.com/2012/03/kopi-arabika-gayo-sedang-panen.html>. Diakses 16 Desember 2014. Diakses pada tanggal 5 Desember 2014.
- Kumar, A.C. 1982. Studies on nematodes in coffee soils of South India. 7. Histopathology and hostparasitic relationship of *Pratylenchus coffeae* and two species of coffee. *J Coffee Res* 12:23–30.
- Killham, K, 1994. Soil ecology. Cambridge University Press
- Linderman RG. 1988. Mycorrhizal Interaction With the Rhizosphere microflora. *Phytopathology* 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
- Liharska, T. and V.M. WILLIAMSON. 1997. *Resistance to root knot nematodes in tomato*. Dalam: Fenoll, C., F. M. W. Grundler, and S.A. Ohl. (eds). *Cellular and Molecular Aspects of Plant Nematode Interaction*. The Netherland: Kluwer Academic Publishers,. p191-200.
- Lintas. 2014. *Nematoda Hama Penyakit Luka Akar Pada Tanaman Kopi*. <https://www.lintas.me/bisnis/inspirasi/nahjoy.com/nematoda-hama-penyakit-luka-akar-pada-tanaman-kopi-nahjoycomda>. diakses pada tanggal 12 Desember 2014.
- Luc, M., Sikora RA, Bridge J. 1995. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agricultural*. London: CABI Institute of Parasitology.
- McGonigle, T.P.M. and M.H. Miller, 1993. Mycorrhizal development and phosphorus absorption in maize under conventional and reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 (4) : 1002-1006.
- McMilan, S. 2007. *Promoting Growth with PGPR. The Canadian Organic Grower*. Soil Foodweb Canada Ltd. Soil Biology Lab. & Learning Centre

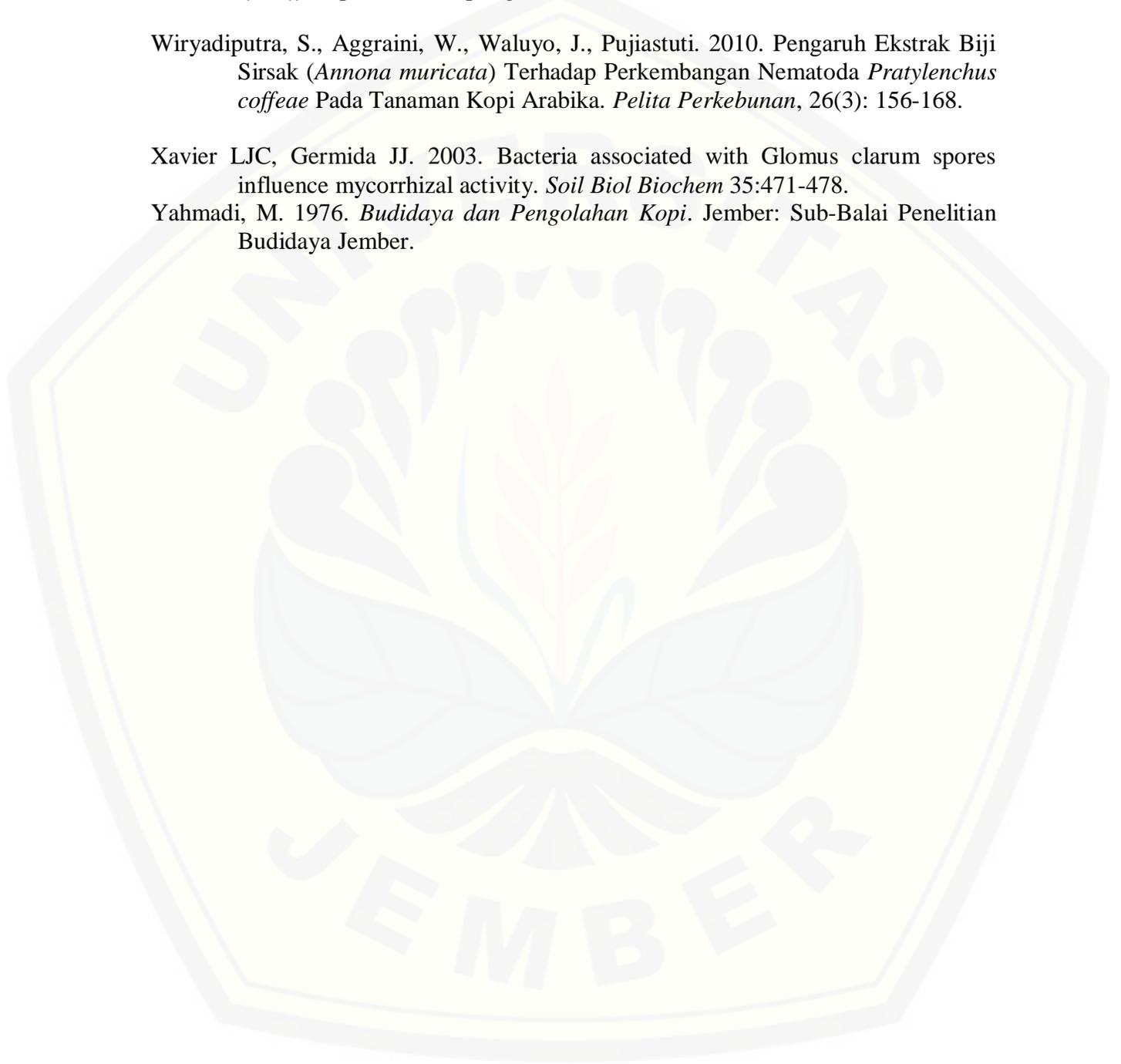
- Mosse, B. 1981. *Vesicular Arbuscular Mychorrhiza Research for Tropical Agriculture. Res. Bull.* 194. Hawaii Institut For Tropical Agriculture.
- Mustika, I. dan Y. Nuryani. 2003. Penyakit-penyakit Utama Tanaman yang Disebabkan Oleh Nematoda. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. *Makalah pada "Pelatihan Identifikasi dan Pengelolaan Nematoda Parasit Utama Tumbuhan"*. Pusat Kajian Pengendalian Hama Terpadu (PKPHT)-HPT, Institut Pertanian Bogor, 26-29 Agustus 2009. 34 h.
- Nadiah, A. (Tanpa tahun). *Dua Nematoda Destroyer Akar Kopi*. Surabaya: Balai Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya.
- Najiyati, S., Danarti. 2007. *Kopi Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Nugrohorini. 2012. *Nematoda parasit tanaman*. Surabaya: Penerbit UPN Press Surabaya.
- Nuhamara, S.T., 1994. *Peranan mikoriza untuk reklamasi lahan kritis*. Program Pelatihan Biologi dan Bioteknologi Mikoriza. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Nunang, L.M. 2011. *Diversitas Bakteri Asal Spora Fungi Mikoriza Arbuskula Gigaspora Sp. Dan Glomus Sp. Serta Potensinya Sebagai Mycorrhiza Helper Bacteria*. Tesis Sekolah Pascasarjana IP. Bogor. 63p.
- Nurhayati. 2010. *Pengaruh Waktu Pemberian Mikoriza Vesikular Arbuskular Pada Pertumbuhan Tomat*. Jurnal Agrivigor 9 (3) hal.280-284
- Nurmahayu, I. 2008. Hubungan Nematoda Parasit dengan Tingkat Keparahan Penyakit Layu MWP (*mealybug wilt of Pineapple*) Pada Nanas (*ananas comosus* L. Merr).
- Ouimet R, Camire C, Furlan V. 1996. Effect of Soil K, Ca and Mg Saturation and Endomycorrhization on Growth and Nutrient Uptake of Sugar Maple Seedlings. *Plant and Soil* 179: 207-216.
- Plantamor. 2012. *Coffea arabica* L. <http://www.plantamor.com/index.php?plant=368>. Di akses tanggal 5 Desember 2014.

- Pracaya, Ir. 1997. *Hama dan Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah mada.
- Prastowo, Karmawati, Rubijo, Siswanto, Indrawanto, Munarso. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Prihastuti. 2007. *Isolasi dan karakterisasi mikoriza vesikular-arbuskular di lahan kering masam, Lampung Tengah*. Berk. Penel. Hayati: 12 (99-106).
- Ragupathy S & Mahadevan A. 1991. *VAM distribution influenced by salinity gradient in a coastal tropical forest*. pp. 91-97. Di Dalam: Soerianegara and Supriyanto (Eds). Proceeding of second Asian Conference on Mycorrhiza. Bogor: BIOTROP Special Publication. SEAMEO BIOTROP. 42: 91-97.
- Raharjo, Pudji. 2012. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Rigamonte, T.A., Pylro, V.S., Duarte, G.F. 2010. The Role of Mycorrhiza Helper Bacteria in the Establishment and Action of Ectoycorrhizae Associations. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41: 832-840.
- Ritung, S., Wahyunto, Agus, F., Hidayat, H. 2007. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dengan Contoh Peta Arahana Penggunaan Lahan Kabupaten Aceh Barat*. Bogor: Balai Penelitian tanah dan World Agroforestry Centre.
- Sastrahidayat, Ika, R. 2011. *Rekayasa Pupuk Hayati Mikoriza Dalam Meningkatkan Produksi Pertanian*. Malang: Universitas Brawijaya Press
- Segers, P., Vancanneyt, M., Pot, B., Torck, U., Hoste, B., Dewettinck, D., Falsen, E., Kersters, K., Vos, P.D. 1994. Classification of *Pseudomonas diminuta* Leifson and Hugh 1954 and *Pseudomonas vesicularis* Busing, Doll, and Freytag 1953 in *Brevundimonas* gen. nov. as *Brevundimonas diminuta* comb. nov. and *Brevundimonas vesicularis* comb. nov., Respectively. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 44(3): 499-510.
- Semangun, H. 2001. *Pengantar Ilmu Penyakit Tanaman Cetakan V*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Serfoji, P., Rajeshkumar, S. dan Selvaraj, T. 2010. Management of root-knot nematoda, *Meloidogyne incognita* on tomato cv Pusa Ruby. by using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. *Journal of Agricultural Technology* Vol.6(1): 37-45.

- Shivas, R., Beasley, D., Thomas, J., Geering, A., Riley, I. 2005. *Pengelolaan Koleksi Patogen Tanaman*. Terjemahan oleh Kartini Kramadibrata dkk. Australian Government Department of agriculture.
- Siahaan, I.R.T.U. 2013. *Pengenalan Nematoda Parasit Akar pada Tanaman Kopi*. <http://ditjenbun.deptan.go.id/bbpptpmedan/berita-178-pengenalan-nematoda-parasit-akar-pada-tanaman-kopi.html>.
- Siddiqui AZ, Pichtel. 2008. *Mycorrhizae: an Overview, Mychorrhizae:Sustainable Agriculture and Forestry*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Third edition: Academic Press. Elsevier Ltd. New York, London, Burlington, San Diego. 768 p.
- Solaiman, M.Z., and H. Hirata, 1995. Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in paddy fields on rice growth and NPK nutrition under different water regimes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 41 (3) : 505-514.
- Song, F., Ge Song, Airong Dong, Xiangshi Kong. 2011. *Regulatory mechanisms of host plant defense responses to arbuscular mycorrhiza*. *Acta Ecologica Sinica* 31: 322-327.
- Soedibyo, B.R.A., 1998. *Alam Sumber Kesehatan*. Jakarta: Balai Pustaka
- Suamba, W. I.,I.G.P Wirawan, dan I.W Adiyartayasa. 2014. Isolasi dan Identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskular (Fma) secara Mikroskopis pada Rhizosfer Tanaman Jeruk (*Citrus sp.*) di Desa Kerta, Kecamatan Payangan, Kabupaten Gianyar. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. ISSN: 2301-6515
- Sulistiyowati, E., Rahayu, D. S., Aini, F. N. 2012. Aplikasi Jamur Paecilomyces lillacinus untuk Menginduksi Ketahanan Tanaman Kopi Terhadap Nematoda Parasit, Pratylenchus coffeae: Efektivitas jamur Paecilomyces lillacinus strain 251 terhadap nematoda parasit, Pratylenchus coffeae. Prosiding InSINas, PG-145.
- Sundari, S., Nurhindayati, T. dan Trisnawati, I. 2011. Isolasi dan Identifikasi Mikoriza Indigenous dari Perakaran Tembakau Sawah (*Nicotiana tabacum L.*) di Area *Glomus sp. Glo2 (Spesies)*. Persawahan Kabupaten Madura. Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November

- Talanca, Haris. 2010. *Status Cendawan Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Pada Tanaman*. Prosiding Pekan Serealia Nasional. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Sulawesi Selatan
- Talavera, M., Itou, K., AND Mizokubo, T. 2001. *Reduction of Nematoda Damage by Root Colonization with Arbuscular Mycorrhiza (Glomus spp.) in Tomato-Melodegyne incognata (Trylenchida: Pratylenchide) Pathosystem*. *Appl. Entomol. Zool.* 36(3): 387-392 (2001).
- Tian, B., J. Yang, and K. Zhang. 2007. *Bacteria Used In Thebiological Kontrol Of Plant Parasitic Nematodas: populations, mechanisms faction, and futureprospects*. *Fems microbiol ecol.* 61 : 197–213.
- Thorne 1961. *Pinciple of Nematology*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Uniprot. 2012. [online] <http://www.uniprot.org/taxonomy/108480>. Diakses pada tanggal 20 November 2014
- Valette, C., C. Andary, J.P Geiger. J.L. Sarah, and M. Nicole. 1998. *Histochemical and Cythocemycal Investigations of Phenol in Roots of Banana Infected by the Burrowing Nematoda Radopholus similis*. *Phytopanol.* 88(1): 1141-1148
- Vivas A, Barea JM, Azcon R. 2005. *Brevibacillus brevis* isolated from cadmium-or zinc-contaminated soils improves in vitro spore germination and growthof *Glomus mosseae* under high Cd or Zn Concentrations. *Microbial Ecol* 49:416–424.
- Von AH, Lindermann A, Schonbeck F. 1993. *Stimulation of vesicular arbuscular mycorrhiza fungi by fungicide or rhizospere bacteria*. *Mycorrhizae* 2:167173.
- Vuurde, Van . J.W.L. and M.E. Requanto. 2005. *Endophytemanagement as Tool Optimize Plant Quality*. [http://www.Ag.auburn.edu/m/lowen/argentina/scripvan manuscript/van_vuur.Hmtl](http://www.Ag.auburn.edu/m/lowen/argentina/scripvan_manuscript/van_vuur.Hmtl). Diakses 10 Desember 2014.
- Whitehead, A. G. 1998. *Plant Nematoda Kontrol*. CAB International, UK: Cambridge University Press.

- Wiryadiputra, Soekadar and Loang K. Tran .2008. Plant-parasitic nematodas of Coffee: World Report. In: Souza, R.M. (Editor), *Plant Parasitic Nematodas of Coffee*. p.277-292. Springer. The Netherlands.
- Wiryadiputra, S., Aggraini, W., Waluyo, J., Pujiastuti. 2010. Pengaruh Ekstrak Biji Sirsak (*Annona muricata*) Terhadap Perkembangan Nematoda *Pratylenchus coffeae* Pada Tanaman Kopi Arabika. *Pelita Perkebunan*, 26(3): 156-168.
- Xavier LJC, Germida JJ. 2003. Bacteria associated with *Glomus clarum* spores influence mycorrhizal activity. *Soil Biol Biochem* 35:471-478.
- Yahmadi, M. 1976. *Budidaya dan Pengolahan Kopi*. Jember: Sub-Balai Penelitian Budidaya Jember.



MATRIK PENELITIAN

Judul Penelitian	Latar Belakang	Rumusan Masalah	Variabel Penelitian	Indikator	Metode Penelitian
PENGARUH INOKULASI GANDA <i>MYCORRHIZA HELPER BACTERIA</i> (MHB) DAN MIKORIZA (<i>Glomus</i> spp.) DALAM PENGENDALIAN POPULASI NEMATODA <i>Pratylenchus coffeae</i> , DAN MENINGKATKAN PERTUMBUHAN TANAMAN KOPI ARABIKA	Indonesia merupakan negara penghasil kopi terbesar Di Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Vietnam. Indonesia mampu memproduksi sedikitnya 748 ribu ton atau 6,6% dari produksi kopi dunia pada tahun 2012. Terdapat dua jenis kopi yang diperdagangkan oleh Indonesia yaitu Kopi Arabika dan Kopi Robusta. Harga Kopi Arabika di pasar internasional jauh lebih prospektif dibandingkan Kopi Robusta. Hal tersebut diakibatkan oleh ketidakseimbangan antara jumlah permintaan dan jumlah ketersediaan. Kurangnya pasokan Kopi Arabika ini, memberikan peluang besar bagi Indonesia untuk melakukan perluasan lahan dengan konversi lahan Kopi Robusta ke lahan Kopi Arabika untuk meningkatkan produksi Kopi Arabika. Konversi lahan ini ternyata menimbulkan masalah baru yakni munculnya serangan nematoda. Nematoda parasit merusak akar kopi dan berpotensi besar menurunkan produktivitas kopi. Jenis nematoda yang banyak di temukan ada 2 yaitu <i>Radopholus</i> spp. dan <i>Pratylenchus coffeae</i> . Melihat	1. Apakah inokulasi ganda antara MHB (<i>P. diminuta</i> dan <i>B. subtilis</i>) dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. mampu menurunkan populasi Nematoda <i>P. coffeae</i> ? 2. Apakah inokulasi ganda antara MHB (<i>P. diminuta</i> dan <i>B. subtilis</i>) dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>) ?	a. Variabel bebas : formulasi bionematisida meliputi bakteri MHB (<i>P. diminuta</i> dan <i>B. Subtilis</i>) dan jamur endofit mikoriza (<i>Glomus</i> spp.) b. Variabel terikat adalah penurunan populasi nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> . Dan pertumbuhan tanaman kopi	a. Tinggi tanaman (cm), b. Jumlah daun, c. diameter batang (mm), d. Jumlah daun (helai), e. Massa basah tajuk dan akar, Massa kering Tajuk (g), f. Skor kerusakan tajuk (stadium), g. Derajat infeksi mikoriza (%), h. Skor kerusakan akar (stadium), i. Jumlah nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> .	a. Untuk menganalisis data hasil penelitian, dipergunakan rancangan acak kelompok dengan 8 perlakuan, 5 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 2 sampel tanaman. b. Untuk mengetahui adanya pengaruh dari inokulasi ganda Mychorrhiza

	<p>potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh <i>P. coffeae</i>, banyak dilakukan pengendalian terhadap nematoda ini diantaranya dengan menggunakan nematisida, tetapi hal tersebut berpengaruh terhadap keberlangsungan fungsi lingkungan dalam mendukung daya tanam tumbuhan sehingga menimbulkan berbagai perdebatan di berbagai kalangan. Untuk menciptakan pengendalian yang ramah lingkungan dan sesuai tuntutan konsumen seperti keamanan pangan maka perlulah pengendalian biologis dengan menggunakan organisme antagonis. Organisme antagonis <i>Pratylenchus</i> spp yang paling banyak dilaporkan adalah populasi jamur tanah atau mikoriza. Akibat adanya nematoda ternyata kerapatan mikoriza pun menurun maka diperlukannya memanfaatkan organisme pendukung yang disebut <i>Mycorrhiza Helper Bacteria</i> (MHB) sehingga peranan mikoriza dalam menekan populasi nematoda bisa meningkat. Ternyata di alam, interaksi antara mikoriza dan tanaman inang tidak hanya merupakan interaksi mikoriza dan inang saja melainkan adanya dukungan organisme pendukung mikoriza (MHB) sehingga disebut dengan lingkungan mikorizosfer. MHB yang sering digunakan adalah <i>Pseudomonas diminuta</i> dan <i>Bacillus subtilis</i> yang telah terbukti</p>		<p>yang meliputi perubahan tinggi, diameter dan jumlah daun.</p> <p>c. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: media tanam yang digunakan, pot dengan ukuran yang sama, tanaman bibit kopi jenis arabika dengan tipe yang sama. pemberian 1 gr pupuk urea dan Sumber air penyiraman tanaman bibit</p>		<p>Helper Bacteria (MHB) dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp Terhadap Penurunan Populasi <i>Pratylenchus coffeae</i> dan meningkatkan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) dilakukan uji anova dengan taraf signifikansi 95% ($p < 5\%$).</p> <p>c. Apabila terdapat perbedaan maka</p>
--	---	--	---	--	---

	<p>mampu menurunkan Populasi Nematoda <i>P. coffea</i>.</p> <p>Untuk menerapkan adanya lingkungan mikorizosfer yang kompleks maka diperlukannya adanya penelitian yang berjudul “ Inoulasi ganda MHB <i>P. diminuta</i> dan <i>B. Subtilis</i> dan Mikoriza <i>Glomus</i> spp. terhadap Pengendalian populasi nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> Z. dan pertumbuhan tanaman Kopi Arabika”.</p>		<p>kopi yang digunakan merupakan sumber air dari daerah yang sama.</p>		<p>dilanjutkan dengan uji Duncan dengan derajat kepercayaan 95%.</p>
--	--	--	--	--	--

LAMPIRAN B
Layout Penelitian.

KELOMPOK 1		KELOMPOK 2		KELOMPOK 3		KELOMPOK 4		KELOMPOK 5	
A	E	G	C	A	B	C	D	H	E
B	F	H	D	C	D	E	F	A	C
C	G	A	E	E	F	B	A	G	E
D	H	B	F	H	G	H	G	D	F
A	B	G	H	E	F	C	E	B	A
G	H	E	F	G	H	A	D	H	B
E	F	D	C	A	B	G	H	D	C
C	D	B	A	C	D	B	F	F	E

INFORMASI

- A : Kontrol negatif (K-) dengan menggunakan nematoda saja (P₈).
- B: Kontrol positif (K+) tanpa mikoriza, nematoda dan bakteri (P₇)
- C: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 10⁸/ml (P₄)
- D: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 2x 10⁸/ml (P₅)
- E: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 10⁸/ml (P₂)
- F: Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 2 x10⁸/ml (P₃)
- G: Perlakuan mikoriza 100 spora *Glomus* spp.
- H : Perlakuan menggunakan Nematocida carbofuran dengan dosis 5g/pot (P₆)

Lampiran C**DATA HASIL PENGAMATAN****1. Jumlah Nematoda**

Perlakuan	Blok	Akar (ekor/pot)	Tanah (ekor/pot)	Total (ekor/pot)
A	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
	5	0	0	0
B	1	530	325	855
	2	620	440	1060
	3	745	450	1195
	4	630	430	1060
	5	605	265	870
C	1	20	20	40
	2	30	40	70
	3	95	30	125
	4	105	85	190
	5	130	80	210
D	1	25	30	55
	2	30	0	30
	3	0	0	0
	4	30	15	45
	5	25	5	30
E	1	50	30	80
	2	130	40	170
	3	60	45	105
	4	45	55	100
	5	40	55	95
F	1	25	10	35
	2	45	20	65
	3	0	0	0
	4	40	10	50

	5	0	0	0
G	1	170	60	230
	2	125	60	185
	3	110	75	185
	4	145	45	190
	5	120	60	180
H	1	50	30	80
	2	50	25	75
	3	40	20	60
	4	35	20	55
	5	30	20	50

2. Derajat Infeksi

Perlakuan	Blok	Sampel diamati	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	45	90
	2	50	44	88
	3	50	40	80
	4	50	47	94
	5	50	48	96
D	1	50	50	100
	2	50	50	100
	3	50	49	98
	4	50	49	98
	5	50	45	90

E	1	50	50	100
	2	50	47	94
	3	50	46	92
	4	50	45	90
	5	50	46	92
F	1	50	48	96
	2	50	50	100
	3	50	50	100
	4	50	48	96
	5	50	50	100
G	1	50	39	78
	2	50	40	80
	3	50	38	76
	4	50	38	76
	5	50	42	84
H	1	50	0	0
	2	50	0	0
	3	50	0	0
	4	50	0	0
	5	50	0	0

3. Skor Kerusakan Akar

Perlakuan	Blok	Skor Kerusakan Akar (%)
A	1	0
	2	0
	3	0
	4	0
	5	0
B	1	55
	2	65
	3	80
	4	70
	5	65

C	1	10
	2	10
	3	15
	4	15
	5	15
D	1	10
	2	10
	3	0
	4	10
	5	10
E	1	15
	2	20
	3	15
	4	10
	5	10
F	1	5
	2	10
	3	0
	4	10
	5	0
G	1	40
	2	25
	3	25
	4	25
	5	20
H	1	15
	2	15
	3	15
	4	10
	5	10

4. Skor Kerusakan Tanaman

Perlakuan	Blok	Minggu ke -								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	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	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	1	1	1	2	2	3
	2	0	0	0	0	1	1	2	2	2
	3	0	0	0	1	2	2	3	4	4
	4	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	5	0	0	0	0	1	2	3	4	4
C	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	1
D	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	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
F	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	2
G	1	0	0	0	0	0	0	1	1	3
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	1	1	2	2

	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	2	0	0	0	0	0	1	1	2	2
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Keterangan:

0 = Hijau sehat

1 = 1-2 daun menguning, belum ada yang gugur

2 = ± 25% daun menguning, belum ada daun yang gugur

3 = 25-50% daun menguning, beberapa daun telah gugur

4 = >50% daun menguning, banyak daun yang telah gugur

5 = Tanaman/bibit mati, sebagian daun telah gugur

5. Tinggi

Perlakuan	Blak	Minggu ke - (cm)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	6.10	7.40	8.35	8.90	9.45	9.75	10.65	11.05	11.15
	2	6.10	7.30	8.15	8.50	8.75	9.90	10.60	11.40	11.70
	3	6.10	6.85	7.75	8.50	8.85	9.10	9.70	10.50	11.00
	4	6.10	7.10	7.95	8.65	8.90	9.05	9.60	9.80	10.25
	5	6.10	7.25	8.45	9.10	9.30	9.75	10.30	11.60	12.15
B	1	5.75	6.15	6.35	6.75	6.85	7.05	7.30	7.65	7.80
	2	5.85	6.30	6.65	7.40	7.55	7.80	8.10	8.50	8.65
	3	6.00	6.70	7.55	8.40	8.90	9.55	10.15	10.90	11.50

	4	5.70	$\frac{6.3}{5}$	7.40	8.15	9.25	9.90	$\frac{10.4}{5}$	$\frac{10.6}{0}$	$\frac{11.4}{0}$
	5	5.85	$\frac{6.6}{5}$	7.25	7.70	8.35	8.90	9.20	9.60	9.80
C	1	5.55	$\frac{7.0}{0}$	8.15	9.00	9.60	9.90	$\frac{10.2}{0}$	$\frac{10.7}{0}$	$\frac{11.0}{0}$
	2	5.65	$\frac{6.8}{5}$	7.80	8.80	9.00	9.30	9.60	$\frac{10.1}{0}$	$\frac{10.3}{5}$
	3	5.50	$\frac{6.8}{5}$	8.05	9.10	9.30	$\frac{10.4}{0}$	$\frac{11.1}{0}$	$\frac{11.8}{5}$	$\frac{12.1}{5}$
	4	5.70	$\frac{7.2}{5}$	8.00	9.00	9.60	$\frac{10.1}{0}$	$\frac{10.5}{5}$	$\frac{10.9}{5}$	$\frac{11.3}{5}$
	5	5.50	$\frac{6.6}{5}$	7.30	8.55	8.70	9.00	9.25	$\frac{10.5}{5}$	$\frac{10.9}{5}$
D	1	5.55	$\frac{6.6}{0}$	7.55	9.45	$\frac{10.0}{0}$	$\frac{10.3}{0}$	$\frac{10.7}{0}$	$\frac{12.4}{5}$	$\frac{11.1}{0}$
	2	5.50	$\frac{6.6}{0}$	7.75	8.85	9.20	9.75	$\frac{10.5}{0}$	$\frac{11.3}{0}$	$\frac{11.8}{5}$
	3	5.80	$\frac{7.0}{0}$	7.90	9.15	9.00	9.65	$\frac{10.2}{5}$	$\frac{11.3}{0}$	$\frac{12.4}{5}$
	4	5.80	$\frac{7.0}{0}$	8.00	9.20	9.50	9.65	$\frac{10.2}{0}$	$\frac{11.2}{5}$	$\frac{12.1}{5}$
	5	5.50	$\frac{6.6}{0}$	7.65	9.10	9.50	$\frac{10.3}{5}$	$\frac{11.2}{0}$	$\frac{11.7}{5}$	$\frac{10.2}{5}$
E	1	5.55	$\frac{6.3}{0}$	7.35	8.35	8.00	8.50	9.10	$\frac{9.60}{0}$	$\frac{10.4}{0}$
	2	5.55	$\frac{6.4}{5}$	7.05	8.10	8.45	9.90	$\frac{10.3}{5}$	$\frac{11.2}{0}$	$\frac{12.6}{0}$
	3	5.55	$\frac{6.3}{0}$	7.10	8.30	8.65	9.40	9.60	9.85	$\frac{10.5}{5}$
	4	5.65	$\frac{6.5}{5}$	7.45	8.50	9.15	9.65	$\frac{10.3}{5}$	$\frac{11.0}{0}$	$\frac{12.3}{0}$
	5	5.60	$\frac{6.4}{5}$	7.25	8.35	9.10	9.80	$\frac{10.0}{5}$	$\frac{11.7}{0}$	$\frac{12.8}{0}$
F	1	5.50	$\frac{6.8}{5}$	7.90	9.50	$\frac{10.0}{0}$	$\frac{10.3}{0}$	$\frac{10.5}{0}$	$\frac{10.7}{0}$	$\frac{10.9}{0}$
	2	5.55	$\frac{6.9}{0}$	8.25	9.45	9.75	$\frac{10.4}{0}$	$\frac{10.8}{0}$	$\frac{11.0}{0}$	$\frac{11.3}{0}$
	3	5.75	$\frac{6.7}{0}$	8.00	9.70	$\frac{10.2}{5}$	$\frac{10.9}{0}$	$\frac{11.2}{0}$	$\frac{11.6}{5}$	$\frac{12.1}{0}$

	4	5.50	6.5 5	7.85	9.50	10.4 5	11.3 0	11.9 5	12.6 0	13.9 5
	5	5.55	6.8 0	7.90	9.70	10.0 0	10.5 5	10.7 0	11.1 0	11.6 0
G	1	5.95	6.8 5	7.65	8.40	8.50	8.70	8.80	9.20	9.80
	2	5.80	6.9 0	7.75	8.50	9.20	9.45	10.1 5	10.7 5	11.5 0
	3	5.90	7.0 0	7.70	8.15	8.40	9.60	10.7 0	10.7 5	11.4 5
	4	6.00	6.9 0	7.45	7.90	8.00	8.90	9.15	9.70	10.6 5
	5	5.80	7.1 5	7.65	8.30	8.50	9.60	10.0 5	10.5 5	11.9 5
H	1	5.60	6.2 0	6.90	7.40	8.00	8.90	9.60	9.90	10.6 5
	2	5.85	6.7 0	7.50	8.50	8.60	8.70	8.80	9.95	10.2 5
	3	5.70	6.2 0	7.45	8.15	8.90	9.20	9.85	10.3 5	11.0 5
	4	5.95	6.9 0	7.90	7.90	8.30	8.40	8.70	9.15	9.80
	5	5.90	6.8 5	7.70	8.30	8.60	9.00	9.75	10.6 0	11.5 5

6. Diameter Batang

Perlakuan	Blok	Minggu ke - (mm)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	0.8 7	1.0 6	1.1 7	1.1 9	1.2 2	1.2 8	1.2 9	1.3 1	1.3 4
	2	0.8 8	1.0 2	1.0 8	1.1 0	1.2 3	1.2 9	1.3 0	1.3 1	1.3 7
	3	0.8 0	0.9 1	1.0 9	1.1 8	1.1 9	1.2 0	1.2 1	1.2 4	1.3 0
	4	0.8 3	1.0 3	1.1 1	1.2 1	1.2 5	1.2 7	1.3 1	1.3 6	1.4 3
	5	0.8 5	1.1 1	1.2 2	1.2 7	1.2 8	1.3 0	1.3 2	1.3 6	1.4 2

B	1	0.8 0	0.9 0	1.0 9	1.1 0	1.1 1	1.1 1	1.1 3	1.1 4	1.1 5
	2	0.7 0	0.8 3	0.9 5	1.0 2	1.0 3	1.0 5	1.0 7	1.0 8	1.1 0
	3	0.8 7	1.0 8	1.1 0	1.1 2	1.1 9	1.1 9	1.2 0	1.2 1	1.2 2
	4	0.8 5	0.9 2	1.0 0	1.1 0	1.1 8	1.2 6	1.3 0	1.3 4	1.3 6
	5	0.8 5	0.9 9	1.0 9	1.1 0	1.1 2	1.1 6	1.1 7	1.1 8	1.1 9
C	1	0.7 9	1.1 0	1.1 6	1.1 8	1.2 1	1.2 5	1.2 9	1.3 2	1.3 9
	2	0.8 5	1.0 1	1.1 4	1.1 6	1.1 8	1.2 0	1.2 1	1.2 4	1.2 5
	3	0.7 8	1.0 2	1.1 0	1.1 8	1.2 4	1.2 9	1.3 3	1.4 0	1.4 6
	4	0.7 8	1.0 3	1.0 8	1.1 1	1.1 7	1.2 2	1.2 6	1.2 8	1.3 4
	5	0.7 7	1.0 4	1.1 3	1.1 6	1.1 9	1.2 2	1.2 3	1.2 5	1.2 8
D	1	0.7 7	1.0 6	1.1 2	1.1 5	1.2 2	1.2 5	1.2 9	1.3 0	1.3 2
	2	0.7 4	0.9 8	1.0 9	1.1 5	1.2 1	1.3 3	1.3 6	1.3 9	1.4 2
	3	0.8 0	1.0 6	1.1 3	1.1 9	1.2 9	1.3 6	1.4 0	1.4 4	1.4 7
	4	0.8 6	1.1 0	1.1 4	1.1 8	1.2 6	1.2 7	1.2 8	1.3 0	1.5 2
	5	0.8 0	1.0 6	1.1 8	1.2 0	1.2 3	1.2 6	1.3 3	1.3 9	1.4 1
E	1	0.8 1	1.0 1	1.1 4	1.0 6	1.1 8	1.1 9	1.2 1	1.2 6	1.2 9
	2	0.7 9	0.9 8	1.1 0	1.1 5	1.1 9	1.2 2	1.2 4	1.3 0	1.3 7
	3	0.8 8	1.0 6	1.1 2	1.1 6	1.1 7	1.2 0	1.2 2	1.3 2	1.4 8
	4	0.8 0	0.9 3	1.0 0	1.1 0	1.1 6	1.2 2	1.2 9	1.3 2	1.3 7
	5	0.8 0	0.9 9	1.1 2	1.2 4	1.2 9	1.3 6	1.4 2	1.5 0	1.5 6

F	1	0.67	0.90	1.04	1.09	1.11	1.15	1.17	1.19	1.21
	2	0.70	1.03	1.19	1.22	1.28	1.36	1.42	1.49	1.56
	3	0.74	0.97	1.13	1.19	1.26	1.28	1.30	1.32	1.35
	4	0.70	0.95	1.17	1.26	1.38	1.44	1.48	1.52	1.59
	5	0.72	0.99	1.18	1.24	1.29	1.32	1.36	1.38	1.41
G	1	0.77	1.07	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
	2	0.74	0.99	1.14	1.16	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32
	3	0.80	1.04	1.11	1.22	1.24	1.29	1.30	1.33	1.37
	4	0.86	0.89	0.96	1.10	1.14	1.18	1.20	1.22	1.24
	5	0.80	0.86	0.99	1.12	1.20	1.26	1.33	1.39	1.46
H	1	0.75	0.89	1.00	1.07	1.12	1.15	1.18	1.20	1.24
	2	0.73	0.87	1.00	1.11	1.16	1.22	1.24	1.26	1.32
	3	0.80	0.99	1.03	1.08	1.12	1.16	1.22	1.25	1.30
	4	0.80	0.98	1.00	1.03	1.07	1.10	1.11	1.11	1.12
	5	0.80	0.94	1.11	1.11	1.11	1.11	1.29	1.32	1.39

7. Jumlah daun

Perlakuan	Blok	Minggu ke -								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	8	8	9	10	10	11	12	13	14
	2	8	8	9	10	11	11	12	13	14

	3	8	8	9	10	11	11	12	12	13
	4	8	8	8	10	11	11	11	12	12
	5	8	8	10	10	12	12	13	13	14
B	1	8	8	8	10	10	11	11	11	11
	2	8	8	8	10	10	10	10	10	10
	3	8	8	9	10	10	11	12	13	14
	4	8	8	9	10	10	11	12	12	13
	5	8	8	10	10	10	10	11	11	11
C	1	8	9	10	11	11	12	12	12	12
	2	8	8	10	10	11	12	12	12	12
	3	8	8	9	10	11	12	13	14	16
	4	8	8	10	10	12	13	13	14	14
	5	8	9	10	10	12	12	12	13	13
D	1	8	8	10	10	11	12	13	13	14
	2	8	8	10	11	12	13	13	14	14
	3	8	8	9	10	12	14	14	15	16
	4	8	8	9	10	12	14	14	15	16
	5	8	8	9	11	11	11	11	12	12
E	1	8	8	9	10	11	11	11	11	12
	2	8	8	9	10	12	12	12	13	14
	3	8	9	10	11	11	11	11	12	12
	4	8	8	8	10	11	12	13	14	15
	5	8	8	10	10	12	14	14	15	16

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

8. Berat Tanaman

Perlakuan	Blok	Berat Basah Tajuk (g)	Berat Tajuk (g)	Kering	Berat Akar (g)
A	1	1.03	0.32	0.29	
	2	0.78	0.24	0.21	
	3	0.88	0.29	0.32	
	4	0.99	0.31	0.28	
	5	0.97	0.31	0.33	

B	1	0.48	0.18	0.11
	2	0.38	0.13	0.09
	3	0.87	0.28	0.22
	4	0.77	0.24	0.21
	5	0.7	0.22	0.18
C	1	1.32	0.37	0.35
	2	1.28	0.36	0.32
	3	1.33	0.38	0.38
	4	1.06	0.33	0.3
	5	1.03	0.33	0.31
D	1	1.16	0.36	0.33
	2	0.98	0.3	0.32
	3	1.34	0.47	0.54
	4	1.46	0.48	0.57
	5	1.35	0.42	0.39
E	1	0.98	0.3	0.32
	2	1.39	0.45	0.51
	3	1.04	0.31	0.42
	4	1.25	0.38	0.48
	5	1.46	0.42	0.49
F	1	0.99	0.31	0.44
	2	1.42	0.48	0.56
	3	1.74	0.81	0.78
	4	1.58	0.53	0.64

	5	1.56	0.49	0.51
G	1	0.94	0.3	0.29
	2	1.04	0.32	0.31
	3	1.24	0.38	0.33
	4	0.75	0.24	0.28
	5	1.34	0.48	0.4
	H	1	0.74	0.23
2		0.52	0.21	0.24
3		0.76	0.28	0.27
4		0.81	0.24	0.28
5		0.98	0.29	0.32

Keterangan:

- A :Kontrol positif (K+) tanpa mikoriza, nematoda dan bakteri
- B :Kontrol negatif (K-) dengan menggunakan nematoda saja
- C :Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 10^8 /ml
- D :Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *B. subtilis* dengan kerapatan 2×10^8 /ml
- E :Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 10^8 /ml
- F :Perlakuan inokulasi ganda 100 spora *Glomus* spp. dan bakteri *P. diminuta* dengan kerapatan 2×10^8 /ml
- G :Perlakuan mikoriza 100 spora *Glomus* spp. (G)
- H :Perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5g/pot (H).

Lampiran D

HASIL ANALISIS

1. POPULASI NEMATODA

a. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Jumlah Nematoda *Pratylenchus coffeae* di Akar tanaman Kopi Arabika.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Nematoda di Akar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25.423 ^a	11	2.311	14.223	.000
Intercept	93.032	1	93.032	572.535	.000
Perlakuan	24.572	7	3.510	21.603	.000
Kelompok	.850	4	.213	1.308	.291
Error	4.550	28	.162		
Total	123.004	40			
Corrected Total	29.972	39			

a. R Squared = .848 (Adjusted R Squared = .789)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
A	5	0E-9				
F	5		.938103007			
D	5		1.162534017	1.162534017		
H	5			1.615117681	1.615117681	
E	5				1.777142599	
C	5				1.787685877	
G	5				2.125165572	
B	5					2.794685386
Sig.		1.000	.386	.087	.076	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .162.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

b. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Jumlah Nematoda *Pratylenchus coffeae* di Tanah di dalam pot tanaman Kopi Arabika.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Nematoda *P. coffeae*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23.240 ^a	11	2.113	17.481	.000
Intercept	67.743	1	67.743	560.502	.000
Perlakuan	22.743	7	3.249	26.882	.000
Kelompok	.497	4	.124	1.028	.410
Error	3.384	28	.121		
Total	94.367	40			
Corrected Total	26.624	39			

a. R Squared = .873 (Adjusted R Squared = .823)

NT

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
A	5	0E-9			
F	5		.681000933		
D	5		.694726585		
H	5			1.374598585	
E	5			1.652655887	
C	5			1.653869663	
G	5			1.779912186	
B	5				2.574238328
Sig.		1.000	.951	.102	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .121.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

c. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Jumlah Nematoda *Pratylenchus coffeae* Keseluruhan (Total yang ada di tanaman dan jaringan akar.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Jumlah Nematoda *Pratylenchus coffeae* Total

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	30.072 ^a	11	2.734	15.378	.000
Intercept	113.143	1	113.143	636.445	.000
Perlakuan	29.004	7	4.143	23.307	.000
Kelompok	1.068	4	.267	1.502	.228
Error	4.978	28	.178		
Total	148.193	40			
Corrected Total	35.050	39			

a. R Squared = .858 (Adjusted R Squared = .802)

NAT

Duncan^{a,b}

Perla kuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
A	5	0E-9				
F	5		1.016683323			
D	5		1.278733849	1.278733849		
H	5			1.806077330	1.806077330	
E	5				2.030675920	
C	5				2.033945715	
G	5				2.288269962	
B	5					3.000330774
Sig.		1.000	.334	.058	.108	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .178.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

2. SKOR KERUSAKAN AKAR

Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Skor kerusakan Akar Akibat Adanya Nematoda *P.coffeae*.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	11.129 ^a	11	1.012	15.574	.000
Intercept	41.122	1	41.122	632.980	.000
Perlakuan	10.762	7	1.537	23.666	.000
Kelompok	.367	4	.092	1.412	.256
Error	1.819	28	.065		
Total	54.070	40			
Corrected Total	12.948	39			

a. R Squared = .860 (Adjusted R Squared = .804)

SKA

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
A	5	0E-9				
F	5		.572187324			
D	5		.833114148	.833114148		
C	5			1.139029064	1.139029064	
H	5			1.139029064	1.139029064	
E	5			1.162648926	1.162648926	
G	5				1.435984639	
B	5					1.829403853
Sig.		1.000	.117	.070	.102	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .065.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

3. DERAJAT INFEKSI

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Derajat Infeksi

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	36.212 ^a	11	3.292	12641.768	.000
Intercept	60.303	1	60.303	231570.548	.000
Perlakuan	36.212	7	5.173	19865.239	.000
Kelompok	.001	4	.000	.693	.603
Error	.007	28	.000		
Total	96.523	40			
Corrected Total	36.220	39			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
A	5	0E-9			
B	5	0E-9			
H	5	0E-9			
G	5		1.901702497		
C	5			1.956282351	
E	5			1.975610454	1.975610454
D	5				1.991790906
F	5				1.997301518
Sig.		1.000	1.000	.069	.053

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.

4. SKOR KERUSAKAN KERUSAKAN TAJUK.

a. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu sebelum dilakukan inokulasi (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 ^a	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 = .)

Warnings

Subsets cannot be computed with alpha = .050

b. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu pertama (2 minggu setelah inokulasi ganda (Minggu ke-1)).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	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 = .)

c. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-2 (4 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	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 = .)

d. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-3 (6 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.077 ^a	11	.007	2.061	.060
Intercept	.009	1	.009	2.667	.114
Perlakuan	.063	7	.009	2.667	.030
Kelompok	.014	4	.003	1.000	.424
Error	.095	28	.003		
Total	.181	40			
Corrected Total	.172	39			

a. R Squared = .447 (Adjusted R Squared = .230)

SKT3Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	0E-9	
C	5	0E-9	
D	5	0E-9	
E	5	0E-9	
F	5	0E-9	
G	5	0E-9	
H	5	0E-9	
B	5		.120411998
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .003.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.
- b. Alpha = .05.

e. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-4 (8 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.367 ^a	11	.033	6.154	.000
Intercept	.071	1	.071	13.018	.001
Perlakuan	.328	7	.047	8.644	.000
Kelompok	.039	4	.010	1.796	.158
Error	.152	28	.005		
Total	.590	40			
Corrected Total	.519	39			

a. R Squared = .707 (Adjusted R Squared = .592)

SKT4Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	0E-9	
D	5	0E-9	
E	5	0E-9	
F	5	0E-9	
G	5	0E-9	
H	5	0E-9	
C	5	.060205999	
B	5		.276042249
Sig.		.271	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.

- f. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-5 (10 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.467 ^a	11	.042	4.097	.001
Intercept	.151	1	.151	14.593	.001
Perlakuan	.388	7	.055	5.343	.001
Kelompok	.079	4	.020	1.917	.135
Error	.290	28	.010		
Total	.908	40			
Corrected Total	.757	39			

- a. R Squared = .617 (Adjusted R Squared = .466)

SKT5Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	0E-9	
D	5	0E-9	
E	5	0E-9	
F	5	0E-9	
C	5	.060205999	
G	5	.060205999	
H	5	.060205999	
B	5		.311260500
Sig.		.424	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .010.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

g. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-6 (12 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.020 ^a	11	.093	7.146	.000
Intercept	.521	1	.521	40.161	.000
Perlakuan	.924	7	.132	10.168	.000
Kelompok	.096	4	.024	1.856	.146
Error	.363	28	.013		
Total	1.905	40			
Corrected Total	1.384	39			

a. R Squared = .737 (Adjusted R Squared = .634)

SKT6Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	0E-9	
D	5	0E-9	
F	5	0E-9	
E	5	.060205999	
C	5	.120411998	
G	5	.120411998	
H	5	.120411998	
B	5		.491878498
Sig.		.156	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .013.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

h. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-7 (14 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.210 ^a	11	.110	4.782	.000
Intercept	1.258	1	1.258	54.720	.000
Perlakuan	.900	7	.129	5.588	.000
Kelompok	.310	4	.078	3.372	.023
Error	.644	28	.023		
Total	3.112	40			
Corrected Total	1.854	39			

a. R Squared = .653 (Adjusted R Squared = .516)

SKT7Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
A	5	0E-9	
D	5	.060205999	
E	5	.120411998	
F	5	.120411998	
G	5	.155630250	
C	5	.215836249	
H	5	.215836249	
B	5		.530642503
Sig.		.058	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .023.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

c. Alpha = .05.

i. Pengamatan Skor Kerusakan Tajuk Pada Minggu ke-8 (16 minggu setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: SKT8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.389 ^a	11	.126	5.448	.000
Intercept	1.981	1	1.981	85.472	.000
Perlakuan	.972	7	.139	5.992	.000
Kelompok	.417	4	.104	4.496	.006
Error	.649	28	.023		
Total	4.018	40			
Corrected Total	2.038	39			

a. R Squared = .682 (Adjusted R Squared = .556)

SKT8Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
A	5	0E-9		
D	5	.060205999	.060205999	
E	5	.180617998	.180617998	
H	5	.215836249	.215836249	
F	5	.215836249	.215836249	
G	5		.276042248	
C	5		.276042249	
B	5			.555630250
Sig.		.053	.056	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .023.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

5. MASSA TANAMAN

a. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Massa Basah tanaman Kopi Arabika.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Massa Basah

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.139 ^a	11	.013	8.212	.000
Intercept	3.851	1	3.851	2503.048	.000
Perlakuan	.124	7	.018	11.479	.000
Kelompok	.015	4	.004	2.495	.066
Error	.043	28	.002		
Total	4.033	40			
Corrected Total	.182	39			

a. R Squared = .763 (Adjusted R Squared = .670)

Massa BasahDuncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	.212080919				
H	5	.244449854	.244449854			
A	5		.285078638	.285078638		
G	5			.311986764	.311986764	
C	5				.342428402	.342428402
E	5				.345562177	.345562177
D	5				.352467553	.352467553
F	5					.388055735
Sig		.203	.113	.287	.146	.102

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

6. Tinggi

a. Tinggi tanaman sebelum perlakuan

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	11	.000	11.613	.000
Intercept	27.486	1	27.486	640499.199	.000
Perlakuan	.005	7	.001	17.356	.000
Kelompok	.000	4	6.699E-005	1.561	.212
Error	.001	28	4.291E-005		
Total	27.493	40			
Corrected Total	.007	39			

a. R Squared = .820 (Adjusted R Squared = .750)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
F	5	.817522617		
C	5	.818192892		
E	5	.818217896		
D	5	.821417168		
H	5		.832428641	
B	5		.834371552	
G	5		.838189952	
A	5			.851258349
Sig.		.400	.200	1.000

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. Tinggi Tanaman 2 Minggu Setelah inokulasi ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.008 ^a	11	.001	5.149	.000
Intercept	31.604	1	31.604	211833.038	.000
Perlakuan	.008	7	.001	7.651	.000
Kelompok	.000	4	.000	.769	.554
Error	.004	28	.000		
Total	31.616	40			
Corrected Total	.013	39			

a. R Squared = .669 (Adjusted R Squared = .539)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
E	5	.869781044			
B	5	.870813680			
H	5	.878730493	.878730493		
D	5		.889724150	.889724150	
F	5		.889805806	.889805806	
C	5			.898588937	.898588937
G	5			.900874287	.900874287
A	5				.912633201
Sig.		.284	.186	.198	.096

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.

c. Tinggi Tanaman 4 Minggu Setelah inokulasi Ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.013 ^a	11	.001	4.881	.000
Intercept	35.054	1	35.054	142121.723	.000
Perlakuan	.013	7	.002	7.273	.000
Kelompok	.001	4	.000	.694	.603
Error	.007	28	.000		
Total	35.074	40			
Corrected Total	.020	39			

a. R Squared = .657 (Adjusted R Squared = .523)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	.904529625				
E	5	.915855606	.915855606			
H	5		.928562397	.928562397		
G	5		.936483246	.936483246	.936483246	
D	5			.942924558	.942924558	.942924558
C	5			.947174589	.947174589	.947174589
F	5				.953221505	.953221505
A	5					.960299120
Sig.		.264	.058	.096	.134	.120

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.

d. Tinggi Tanaman 6 Minggu setelah inokulasi Ganda.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.029 ^a	11	.003	9.797	.000
Intercept	38.443	1	38.443	144570.128	.000
Perlakuan	.028	7	.004	15.052	.000
Kelompok	.001	4	.000	.600	.666
Error	.007	28	.000		
Total	38.479	40			
Corrected Total	.036	39			

a. R Squared = .794 (Adjusted R Squared = .713)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	.937529838				
H	5	.956259388	.956259388			
G	5		.966029102	.966029102		
E	5		.969374234	.969374234		
A	5			.987986218	.987986218	
C	5				.995110164	
D	5				1.006388022	1.006388022
F	5					1.024052489
Sig.		.080	.240	.052	.102	.098

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.

e. 8 Minggu setelah Inokulasi Ganda

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.027 ^a	11	.002	4.639	.000
Intercept	39.761	1	39.761	74059.062	.000
Perlakuan	.026	7	.004	6.873	.000
Kelompok	.002	4	.000	.730	.579
Error	.015	28	.001		
Total	39.803	40			
Corrected Total	.042	39			

a. R Squared = .646 (Adjusted R Squared = .507)

T4

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	.960801289				
H	5	.976580624	.976580624			
G	5	.978283549	.978283549	.978283549		
E	5	.984997809	.984997809	.984997809		
A	5		1.002005911	1.002005911	1.002005911	
C	5			1.010044138	1.010044138	
D	5				1.018474291	1.018474291
F	5					1.044830369
Sig.		.142	.123	.055	.298	.083

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.

f. Tinggi Tanaman 10 Minggu setelah Inokulasi.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.018 ^a	11	.002	1.614	.149
Intercept	41.618	1	41.618	40735.738	.000
Perlakuan	.015	7	.002	2.115	.075
Kelompok	.003	4	.001	.738	.574
Error	.029	28	.001		
Total	41.665	40			
Corrected Total	.047	39			

a. R Squared = .388 (Adjusted R Squared = .148)

T5Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
H	5	.992826991	
A	5	.996223656	
B	5	1.007644665	
G	5	1.018133816	1.018133816
D	5	1.023765429	1.023765429
C	5	1.033628700	1.033628700
E	5	1.033662329	1.033662329
F	5		1.054342128
Sig.		.088	.119

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.

g. Tinggi Tanaman 12 Minggu Setelah Inokulasi Ganda**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: T6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.042 ^a	11	.004	3.750	.002
Intercept	44.897	1	44.897	43650.200	.000
Perlakuan	.038	7	.005	5.260	.001
Kelompok	.005	4	.001	1.107	.373
Error	.029	28	.001		
Total	44.969	40			
Corrected Total	.071	39			

a. R Squared = .596 (Adjusted R Squared = .437)

T6Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.014028375		
B	5	1.016010105		
G	5	1.039700845	1.039700845	
E	5		1.066016080	1.066016080
C	5		1.072472372	1.072472372
A	5		1.073780174	1.073780174
F	5			1.093156382
D	5			1.100435756
Sig.		.242	.135	.140

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.

h. Tinggi Tanaman 14 Minggu Setelah Inokulasi Ganda**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: T7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.031 ^a	11	.003	2.688	.017
Intercept	45.314	1	45.314	43100.455	.000
Perlakuan	.025	7	.004	3.438	.009
Kelompok	.006	4	.001	1.375	.268
Error	.029	28	.001		
Total	45.374	40			
Corrected Total	.061	39			

a. R Squared = .514 (Adjusted R Squared = .323)

T7Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
B	5	1.020282716			
H	5	1.040552102	1.040552102		
G	5	1.048128334	1.048128334	1.048128334	
E	5		1.066016080	1.066016080	1.066016080
C	5		1.072472372	1.072472372	1.072472372
A	5		1.073780174	1.073780174	1.073780174
F	5			1.093156382	1.093156382
D	5				1.100435756
Sig.		.210	.158	.057	.144

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.

i. Tinggi Tanaman Minggu ke 16 setelah inokulasi ganda

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: T8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.032 ^a	11	.003	2.487	.025
Intercept	46.801	1	46.801	39495.733	.000
Perlakuan	.021	7	.003	2.541	.037
Kelompok	.011	4	.003	2.393	.074
Error	.033	28	.001		
Total	46.866	40			
Corrected Total	.066	39			

a. R Squared = .494 (Adjusted R Squared = .295)

T8Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B	5	1.030553088	
H	5	1.066106595	1.066106595
G	5		1.080819762
C	5		1.084427545
A	5		1.087903252
E	5		1.093915479
D	5		1.098097811
F	5		1.111547021
Sig.		.114	.078

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.

7. DIAMETER BATANG TANAMAN**a. Pengamatan Diameter Batang awal Sebelum Inokulasi Ganda (Minggu ke- 0)****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: DB0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.004 ^a	11	.000	4.394	.001
Intercept	2.552	1	2.552	28457.702	.000
Perlakuan	.004	7	.001	5.647	.000
Kelompok	.001	4	.000	2.202	.094
Error	.003	28	8.966E-005		
Total	2.558	40			
Corrected Total	.007	39			

a. R Squared = .633 (Adjusted R Squared = .489)

DB0Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
F	5	.230913403		
H	5		.248897113	
D	5		.252986623	.252986623
G	5		.252986623	.252986623
C	5		.253288205	.253288205
B	5		.257648772	.257648772
E	5		.258332342	.258332342
A	5			.265473476
Sig.		1.000	.176	.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 8.97E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

b. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-1 (2 Minggu Setelah Inokulasi Ganda)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.004 ^a	11	.000	1.699	.126
Intercept	3.559	1	3.559	16796.992	.000
Perlakuan	.003	7	.000	2.225	.062
Kelompok	.001	4	.000	.777	.550
Error	.006	28	.000		
Total	3.569	40			
Corrected Total	.010	39			

a. R Squared = .400 (Adjusted R Squared = .165)

DB1Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
H	5	.285870439	
B	5	.287820332	
G	5	.293411714	.293411714
F	5	.293697709	.293697709
E	5	.298971759	.298971759
A	5	.305979747	.305979747
C	5		.309157330
D	5		.311468018
Sig.		.063	.094

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.

c. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-2 (4 Minggu Setelah Inokulasi Ganda)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.004 ^a	11	.000	2.781	.014
Intercept	4.122	1	4.122	31991.277	.000
Perlakuan	.003	7	.000	3.340	.010
Kelompok	.001	4	.000	1.804	.156
Error	.004	28	.000		
Total	4.130	40			
Corrected Total	.008	39			

a. R Squared = .522 (Adjusted R Squared = .334)

DB2Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
H	5	.306973696		
B	5	.310715295		
G	5	.314015615	.314015615	
E	5	.321266957	.321266957	.321266957
C	5		.326705951	.326705951
D	5		.328746403	.328746403
A	5		.329060957	.329060957
F	5			.330674023
Sig.		.078	.069	.252

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.

d. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-3 (6 Minggu Setelah Inokulasi Ganda)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.004 ^a	11	.000	4.042	.001
Intercept	4.399	1	4.399	53822.271	.000
Perlakuan	.003	7	.000	4.856	.001
Kelompok	.001	4	.000	2.616	.056
Error	.002	28	8.173E-005		
Total	4.405	40			
Corrected Total	.006	39			

a. R Squared = .614 (Adjusted R Squared = .462)

DB3Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
H	5	.318016975		
B	5	.319669023	.319669023	
E	5		.330645349	.330645349
G	5		.330728867	.330728867
C	5			.334020589
D	5			.337240042
A	5			.340307607
F	5			.342259966
Sig.		.775	.077	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 8.17E-005.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

e. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-4 (8 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.004 ^a	11	.000	3.771	.002
Intercept	4.660	1	4.660	44534.854	.000
Perlakuan	.004	7	.001	5.035	.001
Kelompok	.001	4	.000	1.558	.213
Error	.003	28	.000		
Total	4.667	40			
Corrected Total	.007	39			

a. R Squared = .597 (Adjusted R Squared = .439)

DB4Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
H	5	.326701918		
B	5	.327402993		
G	5	.338368603	.338368603	
E	5		.341929915	.341929915
C	5		.342000127	.342000127
A	5		.349043863	.349043863
D	5		.350598806	.350598806
F	5			.354547636
Sig.		.098	.101	.090

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.

f. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-5 (10 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	11	.000	3.083	.008
Intercept	4.868	1	4.868	31392.766	.000
Perlakuan	.004	7	.001	4.070	.003
Kelompok	.001	4	.000	1.356	.274
Error	.004	28	.000		
Total	4.878	40			
Corrected Total	.010	39			

a. R Squared = .548 (Adjusted R Squared = .370)

DB5Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B	5	.333008524	
H	5	.333553651	
G	5	.345816976	.345816976
C	5	.349429326	.349429326
E	5	.349696949	.349696949
A	5		.355589341
D	5		.360516948
F	5		.363232624
Sig.		.066	.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.

g. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-6 (12 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	11	.001	2.735	.015
Intercept	5.043	1	5.043	26679.905	.000
Perlakuan	.004	7	.001	3.230	.012
Kelompok	.001	4	.000	1.870	.144
Error	.005	28	.000		
Total	5.054	40			
Corrected Total	.011	39			

a. R Squared = .518 (Adjusted R Squared = .329)

DB6Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B	5	.336992040		
H	5	.344245766	.344245766	
G	5	.351205730	.351205730	.351205730
C	5	.354799396	.354799396	.354799396
E	5		.356732087	.356732087
A	5		.359011111	.359011111
D	5			.367649899
F	5			.369873324
Sig.		.070	.139	.067

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.

h. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-7 (14 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.007 ^a	11	.001	2.917	.011
Intercept	5.228	1	5.228	23756.015	.000
Perlakuan	.005	7	.001	3.284	.011
Kelompok	.002	4	.001	2.275	.086
Error	.006	28	.000		
Total	5.242	40			
Corrected Total	.013	39			

a. R Squared = .534 (Adjusted R Squared = .351)

DB7Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B	5	.340108347		
H	5	.350929148	.350929148	
G	5	.356876148	.356876148	.356876148
C	5		.361212922	.361212922
A	5		.364659197	.364659197
E	5		.368950451	.368950451
D	5			.373528260
F	5			.376021789
Sig.		.101	.095	.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.

i. Pengamatan Diameter Batang Minggu ke-8 (16 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: DB8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.010 ^a	11	.001	3.058	.008
Intercept	5.437	1	5.437	17853.231	.000
Perlakuan	.007	7	.001	3.199	.013
Kelompok	.003	4	.001	2.811	.044
Error	.009	28	.000		
Total	5.456	40			
Corrected Total	.019	39			

a. R Squared = .546 (Adjusted R Squared = .367)

DB8Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B	5	.342265548	
H	5	.360442943	.360442943
G	5	.361391029	.361391029
C	5		.369540011
A	5		.372658623
E	5		.374219321
F	5		.383803382
D	5		.385083578
Sig.		.112	.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.

8. JUMLAH DAUN**a. Pengamatan Jumlah Daun Minggu 0 (Minggu Sebelum Inokulasi Ganda).****Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: JD0

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.000 ^a	11	.000	.	.
Intercept	36.423	1	36.423	.	.
Perlakuan	.000	7	.000	.	.
Kelompok	.000	4	.000	.	.
Error	.000	28	.000		
Total	36.423	40			
Corrected Total	.000	39			

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

b. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Pertama (2 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.005 ^a	11	.000	1.538	.173
Intercept	37.037	1	37.037	137583.711	.000
Perlakuan	.004	7	.001	1.972	.095
Kelompok	.001	4	.000	.778	.549
Error	.008	28	.000		
Total	37.049	40			
Corrected Total	.012	39			

a. R Squared = .377 (Adjusted R Squared = .132)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.014 ^a	11	.001	1.759	.111
Intercept	40.872	1	40.872	58312.308	.000
Perlakuan	.007	7	.001	1.353	.264
Kelompok	.007	4	.002	2.469	.068
Error	.020	28	.001		
Total	40.905	40			
Corrected Total	.033	39			

a. R Squared = .409 (Adjusted R Squared = .176)

c. **Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-2 (4 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).**

JD2

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset	
		1	2
B	5	.989975541	
A	5	.999127039	.999127039
E	5	1.007405576	1.007405576
H	5	1.007405576	1.007405576
G	5	1.008278537	1.008278537
D	5	1.016557074	1.016557074
F	5	1.024835611	1.024835611
C	5		1.033114148
Sig.		.079	.087

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.

d. **Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-3 (6 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).**

Dependent Variable: JD3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.001 ^a	11	.000	.848	.597
Intercept	43.695	1	43.695	317328.225	.000
Perlakuan	.001	7	.000	1.185	.343
Kelompok	.000	4	3.570E-005	.259	.902
Error	.004	28	.000		
Total	43.700	40			
Corrected Total	.005	39			

a. R Squared = .250 (Adjusted R Squared = -.045)

e. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-4 (8 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.021 ^a	11	.002	5.153	.000
Intercept	46.664	1	46.664	125908.896	.000
Perlakuan	.018	7	.003	6.934	.000
Kelompok	.003	4	.001	2.037	.116
Error	.010	28	.000		
Total	46.695	40			
Corrected Total	.031	39			

a. R Squared = .669 (Adjusted R Squared = .539)

JD4

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	1.041392685				
H	5	1.056508109	1.056508109			
G	5		1.071018243	1.071018243		
A	5		1.078575955	1.078575955	1.078575955	
C	5			1.093086088	1.093086088	1.093086088
E	5			1.093086088	1.093086088	1.093086088
D	5				1.100038510	1.100038510
F	5					1.106990931
Sig.		.225	.097	.107	.117	.307

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.

f. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-5 (10 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.037 ^a	11	.003	4.954	.000
Intercept	48.590	1	48.590	70739.579	.000
Perlakuan	.035	7	.005	7.335	.000
Kelompok	.002	4	.001	.787	.543
Error	.019	28	.001		
Total	48.646	40			
Corrected Total	.057	39			

a. R Squared = .661 (Adjusted R Squared = .527)

JD5

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B	5	1.064065822		
H	5	1.064065822		
A	5	1.086133667	1.086133667	
G	5	1.086133667	1.086133667	
E	5		1.112468091	1.112468091
C	5		1.120380289	1.120380289
D	5			1.138287030
F	5			1.145683744
Sig.		.234	.067	.076

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.

g. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-6 (12 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.029 ^a	11	.003	3.297	.005
Intercept	49.871	1	49.871	61452.086	.000
Perlakuan	.025	7	.004	4.458	.002
Kelompok	.004	4	.001	1.264	.308
Error	.023	28	.001		
Total	49.923	40			
Corrected Total	.052	39			

a. R Squared = .564 (Adjusted R Squared = .393)

JD6

Duncan.a.b

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.079181246		
B	5	1.085528376		
G	5	1.106475446	1.106475446	
A	5	1.113427868	1.113427868	
E	5	1.118905028	1.118905028	1.118905028
C	5		1.126817226	1.126817226
D	5		1.144723967	1.144723967
F	5			1.157669033
Sig.		.056	.066	.057

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.

d. Alpha = .05.

h. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-7 (14 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.035 ^a	11	.003	3.566	.003
Intercept	51.743	1	51.743	57859.981	.000
Perlakuan	.026	7	.004	4.187	.003
Kelompok	.009	4	.002	2.477	.067
Error	.025	28	.001		
Total	51.803	40			
Corrected Total	.060	39			

a. R Squared = .583 (Adjusted R Squared = .420)

JD7

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
B	5	1.091965313			
H	5	1.113943352	1.113943352		
G	5	1.126817226	1.126817226	1.126817226	
A	5	1.133254162	1.133254162	1.133254162	1.133254162
E	5		1.143892775	1.143892775	1.143892775
C	5		1.145239452	1.145239452	1.145239452
D	5			1.168880523	1.168880523
F	5				1.174873167
Sig.		.054	.150	.054	.057

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

i. Pengamatan Jumlah Daun Minggu Ke-8 (16 Minggu Setelah Inokulasi Ganda).

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JD8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.040 ^a	11	.004	2.107	.055
Intercept	53.509	1	53.509	31118.540	.000
Perlakuan	.030	7	.004	2.469	.042
Kelompok	.010	4	.003	1.474	.237
Error	.048	28	.002		
Total	53.597	40			
Corrected Total	.088	39			

a. R Squared = .453 (Adjusted R Squared = .238)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset		
		1	2	3
B	5	1.104394894		
H	5	1.132809870	1.132809870	
G	5	1.151232096	1.151232096	1.151232096
C	5	1.156110984	1.156110984	1.156110984
A	5	1.157669033	1.157669033	1.157669033
E	5		1.167709373	1.167709373
D	5		1.185404742	1.185404742
F	5			1.197447424
Sig.		.078	.087	.131

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

b. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Massa Kering tanaman Kopi Arabika.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Massa Kering

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.038 ^a	11	.003	6.466	.000
Intercept	.644	1	.644	1199.722	.000
Perlakuan	.033	7	.005	8.710	.000
Kelompok	.005	4	.001	2.539	.062
Error	.015	28	.001		
Total	.697	40			
Corrected Total	.053	39			

a. R Squared = .718 (Adjusted R Squared = .607)

Duncan^{a,b}

Perla kuan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
B	5	.082390387				
H	5	.096782369	.096782369			
A	5	.111825584	.111825584	.111825584		
G	5		.127615954	.127615954	.127615954	
C	5			.131568369	.131568369	
E	5			.136950016	.136950016	
D	5				.147469931	
F	5					.180617857
Sig.		.067	.055	.127	.226	1.000

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.

c. Analisis Pengaruh Inokulasi Ganda Mikoriza *Glomus* spp. dan Bakteri MHB (*B.subtilis* dan *P. diminuta*) terhadap Massa Akar tanaman Kopi Arabika.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Massa Akar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.064 ^a	11	.006	14.954	.000
Intercept	.672	1	.672	1717.464	.000
Perlakuan	.058	7	.008	21.261	.000
Kelompok	.006	4	.002	3.917	.012
Error	.011	28	.000		
Total	.747	40			
Corrected Total	.075	39			

a. R Squared = .855 (Adjusted R Squared = .797)

Duncan^{a,b}

Perlakuan	N	Subset			
		1	2	3	4
B	5	.064755337			
H	5		.105075970		
A	5		.109002124		
G	5		.121010131		
C	5		.124400287		
D	5			.154172149	
E	5			.159057441	
F	5				.199145577
Sig.		1.000	.169	.699	1.000

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.

Lampiran D



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: 0331- 334988, 330738 Faks: 0331-334988
Laman: www.fkip.unej.ac.id

Nama : Nur Rohmah Heny Handayani
NIM/Angkatan : 110210103046
Jurusan/Program Studi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi
Judul Skripsi : Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza *Glomus* spp. dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan Meningkatkan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)
Dosen Pembimbing I : Dr. Iis Nur Asyiah SP., MP.

Kegiatan Konsultasi

No.	Hari/ Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda tangan Pembimbing
1.	Jumat, 10 Oktober 2014	Pengajuan Judul Skripsi	
2.	Rabu, 28 Oktober 2014	ACC Judul Skripsi	
3.	Senin, 10 November 2014	Konsultasi Bab 1,2 dan 3.	
4.	Rabu, 19 November 2014	Konsultasi Bab 1,2 dan 3.	
5.	Kamis, 27 November 2014	Konsultasi Bab 1,2 dan 3.	
6.	Senin, 1 Desember 2014	Konsultasi Bab 1,2 dan 3.	
7.	Kamis, 4 Desember 2014	Konsultasi Bab 1,2 dan 3	
8.	Kamis, 11 Desember 2014	ACC Seminar Proposal Skripsi	
9.	Kamis, 18 Desember 2014	Konsultasi pra Seminar	
10.	Rabu, 11 Februari 2015	Konsultasi Bab 4 dan Bab 5	
11.	Jumat, 27 Februari 2015	Konsultasi Bab 4 dan Bab 5	
12.	Senin, 16 Maret 2015	Konsultasi Bab 1,2,3,4, dan 5	
13.	Selasa, 31 Maret 2015	Konsultasi Bab 1,2,3,4 dan 5.	
14.	Jumat, 3 April 2015	Konsultasi Bab 1,2,3,4 dan 5	
15.	Selasa, 7 April 2015	ACC Ujian Skripsi	

Catatan :

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



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
 Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
 Telepon: 0331- 334988, 330738 Faks: 0331-334988
 Laman: www.fkip.unej.ac.id

Nama : Nur Rohmah Heny Handayani
 NIM/Angkatan : 110210103046
 Jurusan/Program Studi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi
 Judul Skripsi : Pengaruh Inokulasi Ganda *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan Mikoriza *Glomus* spp. dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* Z. dan Meningkatkan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)
 Dosen Pembimbing II : Mochammad Iqbal S.Pd, M.Pd.

Kegiatan Konsultasi

No.	Hari/ Tanggal	Materi Konsultasi	Tanda tangan Pembimbing
1.	Senin, 18 Oktober 2015	Pengajuan Judul Skripsi	
2.	Rabu, 28 Oktober 2015	ACC Judul Skripsi	
3.	Selasa, 4 November 2015	Konsultasi Bab 1	
4.	Rabu, 5 November 2015	Konsultasi Bab 1	
5.	Jumat, 7 November 2015	Konsultasi Bab 1	
6.	Senin, 10 November 2015	Konsultasi Bab 1	
7.	Senin, 17 November 2015	Konsultasi Bab 1 dan 2	
8.	Rabu, 19 November 2015	Konsultasi Bab 1 dan 2	
9.	Kamis, 4 Desember 2015	Konsultasi Bab 1, 2 dan 3	
10.	Selasa, 9 Desember 2015	Konsultasi Bab 1, 2 dan 3	
11.	Jumat, 12 Desember 2015	Konsultasi Bab 1, 2 dan 3	
12.	Selasa, 16 Desember 2015	ACC Seminar Proposal Skripsi	
13.	Selasa, 6 Januari 2015	Konsultasi revisi seminar	
14.	Selasa, 20 Januari 2015	Konsultasi perhitungan nematoda	
15.	Selasa, 27 Januari 2015	Konsultasi pasca panen	
16.	Selasa, 2 Februari 2015	Konsultasi Bab 4 (Analisis)	
17.	Selasa, 9 Februari 2015	Konsultasi Bab 4 (Analisis)	
18.	Selasa, 16 Februari 2015	Konsultasi Bab 5	
19.	Selasa, 23 Februari 2015	Konsultasi Bab 5	
20.	Selasa, 3 Maret 2015	Konsultasi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
21.	Selasa, 10 Maret 2015	Konsultasi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
22.	Selasa, 24 Maret 2015	Konsultasi Bab 1, 2, 3, 4 dan 5	
23.	Selasa, 31 Maret 2015	ACC Ujian Skripsi	

Catatan :

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

Lampiran E Gambar Kegiatan Penelitian



1. Tempat Penanaman Bibit Kopi Arabika Yang digunakan Untuk Penelitian



2. Pemilihan Bibit Kopi Arabika Yang Memiliki Daun 8 dan memiliki tinggi dengan rentang 5,55 cm- 6,1 cm.



Pengamatan diameter batang Tanaman Kopi Arabika.



Pengamatan Tinggi Tanaman Kopi Arabika



Mengering anginkan akar yang terserang Nematoda *P. coffeae*



Pengenceran Bakteri



Menyaring larutan akar yang Mengandung nematoda *P. coffeae*



Proses membuang air dengan tab sehingga dapat dengan mudah mendapatkan Nematoda *P. coffeae*



Proses Inokulasi Dilakukan dengan Pemberian *Glomus* spp dan Bakteri MHB



Proses perhitungan Nematoda *P. coffeae*

Lampiran G

PERLAKUAN	Foto Tanaman Kopi Arabika setelah 16 Minggu Inokulasi
Perlakuan A	 A photograph of an Arabica coffee plant labeled 'A15'. The plant has a thin stem, several green leaves at the top, and a small, dark, shriveled leaf below. The root system is visible and appears relatively sparse. The plant is placed on a light-colored surface.
Perlakuan B	 A photograph of an Arabica coffee plant labeled 'B15'. The plant is very thin and has a single green leaf at the top. A ruler is placed vertically to the right of the plant for scale. The root system is visible and appears sparse. The plant is placed on a light-colored surface.
Perlakuan C	 A photograph of an Arabica coffee plant labeled 'C15'. The plant has a thin stem, several green leaves at the top, and a small, dark, shriveled leaf below. A ruler is placed vertically to the right of the plant for scale. The root system is visible and appears sparse. The plant is placed on a light-colored surface.

<p>Perlakuan D</p>	
<p>Perlakuan E</p>	
<p>Perlakuan F</p>	

<p>Perlakuan G</p>	
<p>Perlakuan H</p>	