



**PENGARUH INOKULAN BAKTERI ENDOFIT *Bacillus* spp.
TUNGGAL DAN KONSORSIUM TERHADAP POPULASI
NEMATODA *Pratylenchus coffeae* DAN PERTUMBUHAN
KOPI ARABIKA (*Coffea arabica* L.) SERTA
PEMANFAATANNYA SEBAGAI BUKU
NONTEKS**

SKRIPSI

Oleh

**Zahroh Istantini
NIM 130210103087**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH INOKULAN BAKTERI ENDOFIT *Bacillus* spp.
TUNGGAL DAN KONSORSIUM TERHADAP POPULASI
NEMATODA *Pratylenchus coffeae* DAN PERTUMBUHAN
KOPI ARABIKA (*Coffea arabica* L.) SERTA
PEMANFAATANNYA SEBAGAI BUKU
NONTEKS**

SKRIPSI

diajukan guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi

Oleh

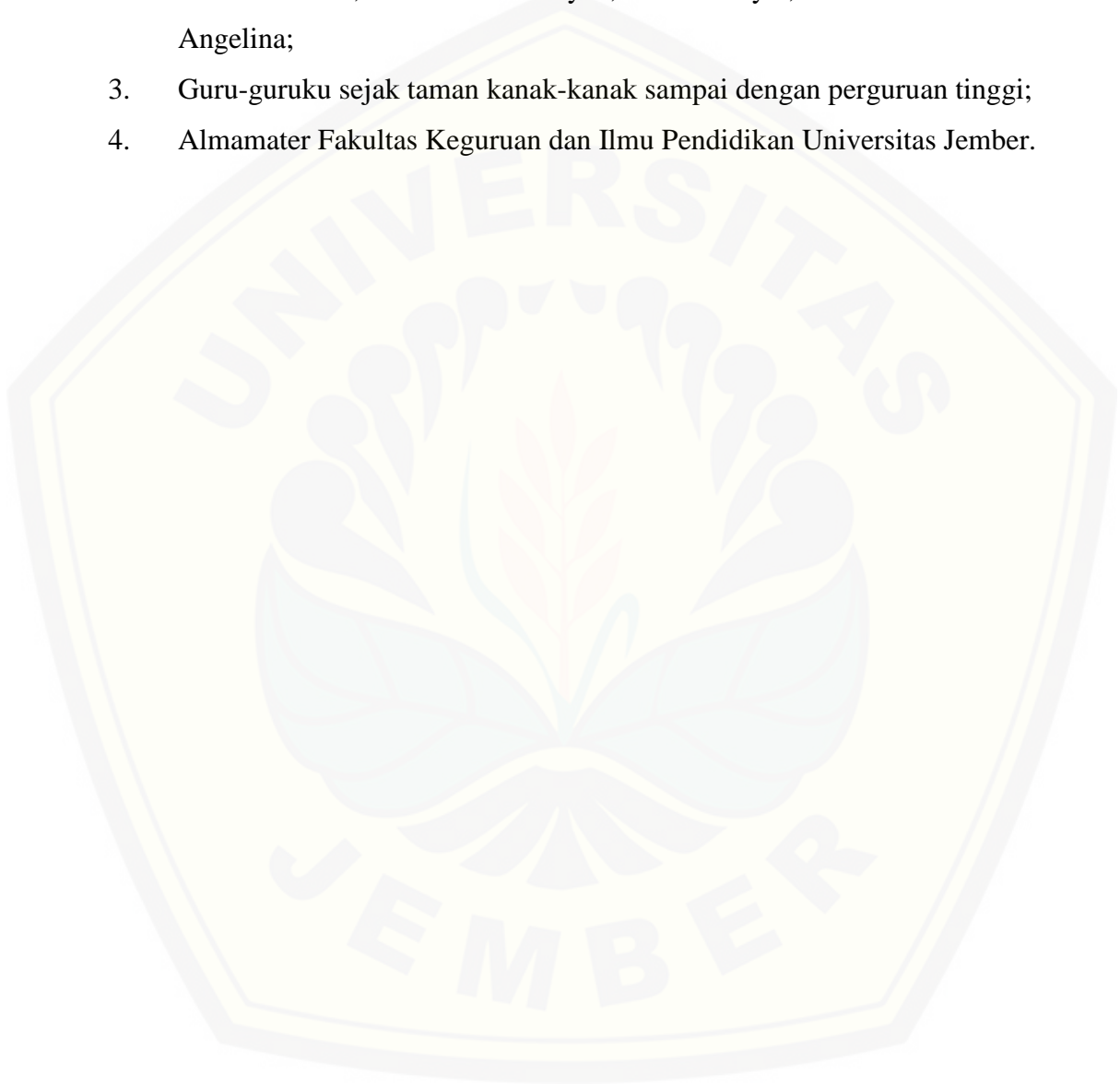
**Zahroh Istantini
NIM 130210103087**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Mariyatul Kibtiyah dan Ayahanda Mundjiat yang tercinta;
2. Kakak tercinta, Haris Rubawansyah, Yani Hidayat, Dias Winora dan Dewi Angelina;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.



MOTTO

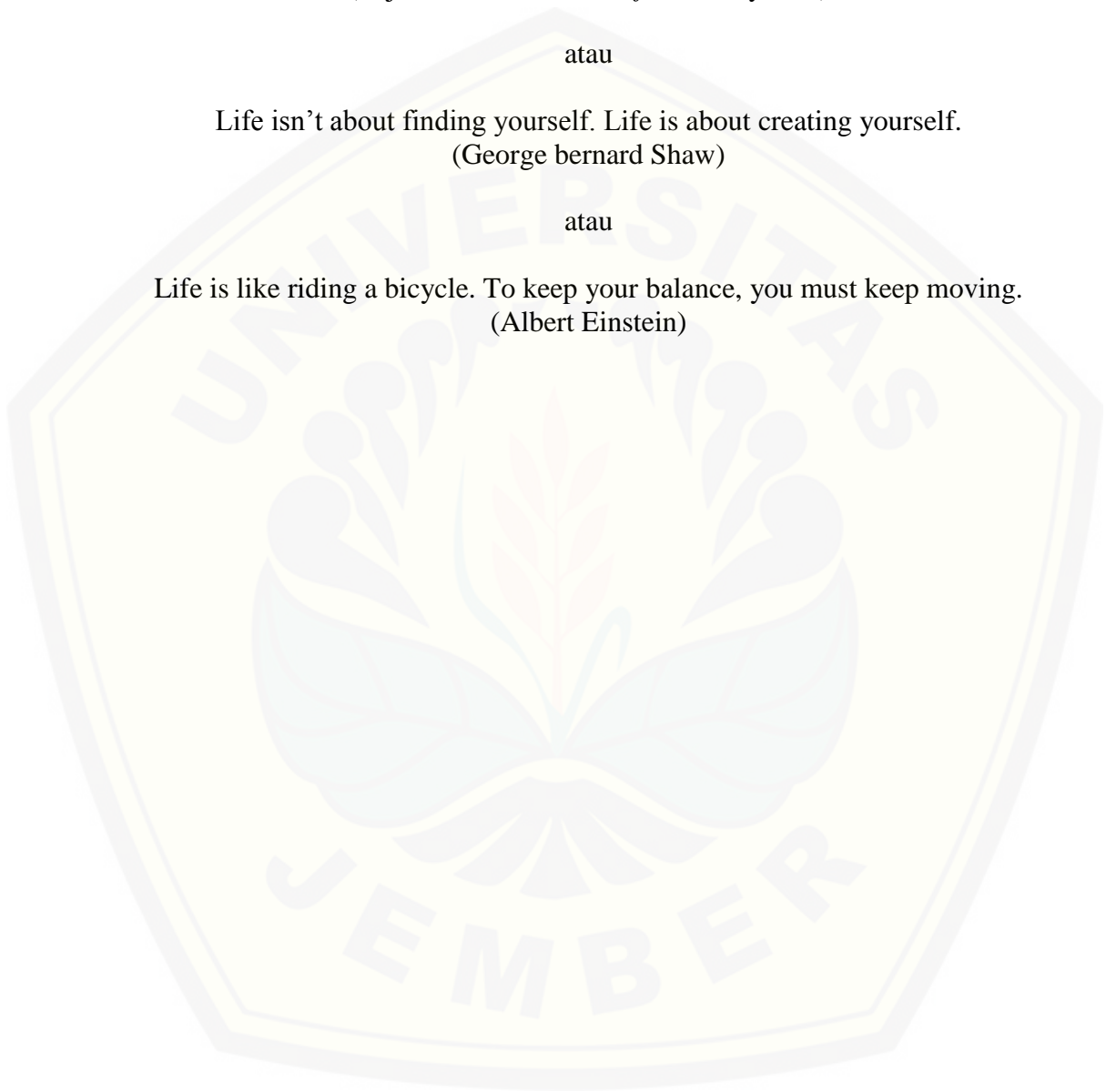
Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.
(terjemahan Surat *Al-Mujadilah* Ayat 11)

atau

Life isn't about finding yourself. Life is about creating yourself.
(George bernard Shaw)

atau

Life is like riding a bicycle. To keep your balance, you must keep moving.
(Albert Einstein)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Zahroh Istantini

NIM : 130210103087

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Juni 2017
Yang menyatakan,

Zahroh Istantini
NIM 130210103087

SKRIPSI

**PENGARUH INOKULAN BAKTERI ENDOFIT *Bacillus* spp.
TUNGGAL DAN KONSORSIUM TERHADAP POPULASI
NEMATODA *Pratylenchus coffeae* DAN PERTUMBUHAN
KOPI ARABIKA (*Coffea arabica* L.) SERTA
PEMANFAATANNYA SEBAGAI BUKU
NONTEKS**

Oleh
Zahroh Istantini
NIM 130210103087

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.

Dosen Pembimbing Anggota : Mochammad Iqbal, S.Pd., M.Pd.

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Proposal berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks” telah disetujui pada:

hari, tanggal : Jumat, 9 Juni 2017

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.
NIP 19730614 200801 2 008

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks” karya Zahroh Istantini telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Jumat, 9 Juni 2017

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing utama,

Pembimbing anggota,

Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.
NIP 19730614 200801 2 008

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

Penguji utama,

Penguji anggota,

Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si.
NIP 19571028 198503 1 001

Dr. Ir. Imam Mudakir, M.Si.
NIP 19640510 199002 1 001

Mengesahkan
Dekan FKIP Universitas Jember,

Prof. Dafik, M.Sc., Ph.D.
NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks; Zahroh Istantini; 130210103087; 2017: 190 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

P. coffeae merupakan penyakit yang berbahaya bagi tanaman kopi Robusta dan lebih-lebih pada kopi Arabika. Pengendalian *P. coffeae* yang selama ini banyak digunakan adalah menggunakan nematisida kimia yang berdampak negatif terhadap lingkungan, keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik pengendalian yang ramah lingkungan yaitu dengan menggunakan bakteri endofit. Pengetahuan masyarakat mengenai serangan dan gejala *P. coffeae* serta pengendaliannya masih kurang, sehingga perlu dilakukan sosialisasi mengenai nematoda *P. coffeae* dan cara pengendaliannya dengan menggunakan suatu produk buku nonteks yang menggunakan bahasa mudah. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh bakteri endofit *Bacillus* spp. tunggal dan konsorsium untuk menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika serta memanfaatkannya sebagai buku nonteks.

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap yaitu tahap persiapan dan tahap aplikasi lapang. Tahap persiapan meliputi tahap persiapan media tanam, tahap penyemaian benih kopi arabika, tahap persiapan suspensi bakteri endofit *Bacillus* spp. dan tahap persiapan nematoda *P. coffeae*. Tahap persiapan dilakukan di laboratorium mikrobiologi FMIPA (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam). Tahap aplikasi lapang dilakukan setelah tahap persiapan. Tahap aplikasi lapang meliputi tahap inokulasi bakteri endofit *Bacillus* spp. dengan kerapatan 10^9 cfu/ml sebanyak 10 ml dan tahap inokulasi nematoda *P. coffeae* sebanyak 50 ekor pada setiap perlakuan. Metode aplikasi bakteri endofit maupun nematoda

dilakukan dengan cara menyiramkan disekeliling akar kopi. Tahap aplikasi lapang dilaksanakan di *Green house*.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 – Mei 2017. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 7 perlakuan, yaitu 1) inokulasi *Bacillus* sp. SK7 + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 2) inokulasi *Bacillus* sp. SK14 + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 3) inokulasi *Bacillus* sp. SK15 + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 4) inokulasi *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14 + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 5) inokulasi *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15 + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 6) kontrol tanpa bakteri endofit *Bacillus* sp. + 50 ekor nematoda *P. coffeae*; 7) kontrol tanpa bakteri endofit *Bacillus* sp. + tanpa nematoda *P. coffeae*. Masing-masing perlakuan terdapat 4 ulangan dan setiap ulangan terdapat 3 subunit. Pengamatan dilakukan selama 16 minggu. Data di analisis menggunakan uji ANOVA.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Bakteri endofit *Bacillus* spp. secara signifikan mampu menekan populasi nematoda *P. coffeae*. Penurunan populasi nematoda *P. coffeae* berkisar antara 6,02%-37,95% dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Bakteri endofit *Bacillus* spp. juga mampu meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika. Namun, penurunan populasi nematoda tidak selalu sejalan dengan kenaikan pertumbuhan tanaman. Perlakuan konsorsium menunjukkan rerata penekanan terhadap populasi nematoda *P. coffea* yang lebih tinggi yaitu sebesar 22,48% dibandingkan pada perlakuan tunggal dengan rerata persentase penekanan terhadap populasi nematoda *P. coffeae* sebesar 19,78%. Sedangkan bakteri endofit yang berpotensi paling tinggi terhadap penekanan nematoda *P. coffeae* adalah pada inokulasi tunggal *Bacillus* sp. SK15 dengan persentase penekanan sebesar 37,95%.

Produk pendidikan berupa buku nonteks dengan judul “Nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya” dinyatakan layak digunakan sebagai sumber informasi bagi masyarakat dengan persentase kelayakan oleh ahli materi sebesar 81,67% dan persentase kelayakan oleh ahli media sebesar 81%.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks”. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul “Pemanfaatan Bakteri Endofit dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* pada Bibit Kopi Arabika” yang didanai oleh Hibah PUPT DIKTI dan diketuai oleh Dr. Iis Nur Asyiah, SP, MP. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Prof. Dafik, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M. Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Dr. Iis Nur Asyiah S.P., M.P., selaku dosen pembimbing utama dan ketua Program Studi Pendidikan Biologi yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melakukan penelitian yang didanai oleh Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi tahun 2016, serta telah membimbing, memberi nasehat, semangat, meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Mochammad Iqbal S.Pd., M.Pd., selaku dosen pembimbing anggota dan dosen pembimbing akademik yang telah sabar membimbing dan memberikan saran selama proses penyusunan skripsi ini;
5. Prof. Dr. Joko Waluyo, M.Si., dan Dr. Ir. Imam Mudakir, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dalam penulisan skripsi ini;

6. Teknisi Laboratorium Program Studi Pendidikan Biologi, Teknisi Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA, Teknisi Laboratorium Hama Penyakit Tanaman Fakultas pertanian dan Teknisi Laboratorium Parasitologi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember;
7. Orang tua tercinta, Ayahanda Mundjiat S. Pd. dan Ibunda Mariyatul Kibtiyah yang selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materil, serta doa yang tiada henti;
8. Kakak tercinta, Haris Rubawansyah, Yani Hidayat, Dias Winora dan Dewi Angelina. Terima kasih atas segala doa, semangat, kasih sayang, perhatian, dan dukungannya;
9. Sahabatku tercinta Amrul Ja'faruddin, Lulut Tri Rizky, Oke Lolita Pratiwi, Arum Dina Hidayati, Yanuar Saputra dan Dian Ineke Damayanti yang selalu membantu dan memberikan semangat;
10. Kakak angkatan 2012 yang telah membimbing kami, Yeni Rahma, Ellena Lilipaly, Mar'atus Solikhah, Gepsi Aprilya dan Danti Prellasita.
11. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 9 Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	8
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kopi Arabika	9
2.1.1 Sejarah Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	9
2.1.2 Deskripsi Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	10
2.1.3 Taksonomi Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	10
2.1.4 Morfologi Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L..)	11
2.1.5 Syarat Tumbuh Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	14

2.1.6 Organisme Penghambat Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	15
2.2 Nematoda	16
2.2.1 Deskripsi Nematoda Secara Umum	16
2.2.2 Deskripsi Nematoda <i>P. coffeae</i>	19
2.2.3 Klasifikasi Nematoda <i>P. coffeae</i>	21
2.2.4 Bioekologi dari Nematoda <i>P. coffeae</i>	21
2.2.5 Siklus hidup Nematoda <i>P. coffeae</i>	22
2.2.6 Gejala Serangan Nematoda <i>P. coffeae</i>	23
2.2.7 Upaya pengendalian Nematoda <i>P. coffeae</i>	25
2.3 Bakteri Endofit.....	26
2.3.1 Deskripsi Bakteri Endofit.....	26
2.3.2 Morfologi Bakteri Endofit Genus <i>Bacillus</i>	27
2.3.3 Densitas Bakteri Endofit	28
2.3.4 Ekologi Bakteri Endofit.....	29
2.3.5 Peranan Bakteri Endofit Sebagai Agensia Pengendali Hayati Nematoda Parasit Tanaman	31
2.3.6 Proses Infeksi Bakteri Endofit.....	35
2.3.7 Aplikasi Bakteri Endofit.....	38
2.3.8 Konsorsium Beberapa Strain Agen Biokontrol.....	39
2.4 Buku Nonteks	40
2.5 Kerangka Berpikir.....	42
2.6 Hipotesis.....	43
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	44
3.1 Jenis Penelitian.....	44
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	44
3.3 Variabel Penelitian	44
3.3.1 Variabel Bebas	44
3.3.2 Variabel Terikat.....	44
3.3.3 Variabel Kontrol.....	45
3.4 Definisi Operasional Variabel.....	45

3.5 Desain penelitian	46
3.6 Populasi dan Sampel.....	47
3.7 Alat dan Bahan Penelitian	47
3.7.1 Alat Penelitian	47
3.7.2 Bahan Penelitian.....	48
3.8 Prosedur Penelitian.....	48
3.8.1 Tahap Persiapan Media Tanam	48
3.8.2 Tahap Penyemaian Benih Kopi Arabika	48
3.8.3 Tahap Persiapan Suspensi Bakteri Endofit	49
3.8.4 Tahap Persiapan Nematoda <i>P. coffeae</i>	52
3.8.5 Tahap Aplikasi Lapang	53
3.9 Parameter Penelitian	55
3.9.1 Berat Basah Akar.....	55
3.9.2 Berat Basah Tajuk	55
3.9.3 Berat Kering Tajuk.....	55
3.9.4 Tinggi Tanaman	56
3.9.5 Jumlah Daun.....	56
3.9.6 Skor Kerusakan Akar	56
3.9.7 Jumlah Populasi Nematoda <i>P. Coffeae</i> pada Tanah dan Akar	57
3.10 Teknik Penyusunan Buku Nonteks	60
3.11 Analisa Data	60
3.11.1 Analisis Data Penelitian.....	60
3.11.2 Analisis Validasi Buku Nonteks	61
3.12 Alur Penelitian	63
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Hasil Penelitian	64
4.1.1 Hasil Identifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	64
4.1.2 Pengamatan Mikroskopis Isolat Murni Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp.	66

4.1.3 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	68
4.1.4 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Skor Kerusakan Akar pada Bibit Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) yang Terserang Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	70
4.1.5 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	73
4.1.6 Hasil Penilaian Validasi Buku Nonteks	80
4.2 Pembahasan.....	86
4.2.1 Hasil Identifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	88
4.2.2 Pengamatan Mikroskopis Isolat Murni Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp.	90
4.2.3 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	92
4.2.4 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Skor Kerusakan Akar pada Bibit Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) yang Terserang Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	98
4.2.5 Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	101
4.2.6 Validasi Buku Nonteks.....	112
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	114
5.1 Kesimpulan.....	114
5.2 Saran	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN.....	127

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbedaan jenis kopi Arabika dan Robusta berdasarkan karakteristik daun.....	13
2.2 Distribusi akar kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah	14
3.1 Deskripsi skor penilaian produk buku nonteks.....	61
3.2 Kualifikasi kelayakan buku nonteks	61
4.1 Pengamatan Mikroskopis Isolat Murni dengan Pewarnaan Gram	67
4.2 Hasil Inokulasi Bakteri Endofit terhadap Penekanan Populasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> Setelah 16 Minggu Masa Perlakuan ...	69
4.3 Pengaruh Inokulasi Bakteri Endofit terhadap Rerata Skor Kerusakan Akar Setelah 16 Minggu Masa Perlakuan	71
4.4 Pengaruh inokulan bakteri endofit <i>Bacillus</i> sp.tunggal dan konsorsium terhadap berat basah akar, berat basah tajuk dan berat kering tajuk pada pertumbuhan kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.) Setelah 16 Minggu Masa Perlakuan	74
4.5 Pengaruh Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> sp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Rerata Tinggi Tanaman.....	77
4.6 Pengaruh Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Rerata Jumlah Daun	79
4.7 Komponen Buku Nonteks Kelayakan Produk.....	81
4.8 Penilaian dan Saran oleh Validator.....	82
4.9 Revisi Buku Nonteks.....	84

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Penampilan Buah Kopi Arabika. Sumber: (Prastowo <i>et al.</i> , 2010:20).	12
2.3 Daun kopi Robusta. Sumber: (Panggabean, 2011:14).....	13
2.4 Perbandingan bentuk dan ukuran tubuh berbagai jenis nematoda parasitik tumbuhan. Sumber: (Agrios, 1996:614; Triharso, 2010:60).	17
2.5 Diagram ultrastruktur daerah stilet, otot protractor dan amphidial sensilla <i>Pratylenchus</i> (Castillo & Vlovas, 2007:19).....	19
2.6 Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> . A: Stylet betina; B: nematoda betina; C: bagian depan nematoda betina; D: bagian samping nematoda betina; E: bagian paringeal nematoda betina; F: bagian vulva nematoda betina; G: bagian paringeal nematoda jantan; H: bagian kepala nematoda betina; I-L: bentuk ekor nematoda betina; M: bentuk ekor nematoda jantan. Sumber: (Inserra <i>et al.</i> , 2001).....	20
2.7 Kehidupan dan siklus penyakit nematoda lesi (<i>Pratylenchus</i> spp.). Sumber: (Agrios, 2005).	22
2.8 Gejala yang disebabkan oleh <i>Pratylenchus coffeae</i> pada kopi. A: layu, B: lesi pada akar. Sumber gambar: (Kubo, 2009).....	25
2.9 Sel-sel akar bibit Phragmites mengandung (bakteri endofit: tanda panah). Bakteri endofit menjajah seluruh ruang antara dinding sel dan membrane plasma serta permukaan akar dengan skala 200 µm. Sumber: (White <i>et al.</i> , 2015).	30
2.10 Tahapan interaksi <i>precolonization</i> antara tanaman inang dan bakteri endofit pada permukaan akar (Hallmann, 2001:95).	35
3.1 Tanaman Kopi berusia 3 bulan dan memiliki 4 daun dipindahkan dari media penyemaian ke media tanah steril di pot.....	49
3.2 Skema perlakuan uji antagonis, A) Bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK7 ditotol bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK14 dan <i>Bacillus</i> sp. SK15; B) Bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK14 ditotol bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK7 dan <i>Bacillus</i> sp. SK15; C) Bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK15 ditotol bakteri <i>Bacillus</i> sp. SK7 dan <i>Bacillus</i> sp. SK14	50
3.3 Skema cawan penghitung (<i>Counting disk</i>), terdiri dari 4 kolom ke bawah (1-4) dan 4 baris ke samping (A-D) untuk memudahkan dalam perhitungan populasi nematoda.	53

3.4	Skema penempatan inokulasi bakteri endofit dan nematoda dalam pot. (1) Aplikasi bakteri endofit 1 minggu setelah tanaman dipindahkan ke pot; (2) Aplikasi nematoda 1 minggu setelah aplikasi bakteri endofit.....	54
4.1	Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> Betina. A: Bagian kepala nematoda; B: Bentuk ekor nematoda; C: Stylet nematoda; D: Bagian vulva nematoda. Sumber: Koleksi Pribadi.	65
4.3	Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> Jantan. A: Bagian kepala nematoda; B: Bentuk ekor nematoda; C: Stylet nematoda; D: Spikula nematoda	66
4.4	Kerusakan akar bibit kopi arabika pada masing-masing perlakuan (t1-t7) pada usia 4 bulan setelah massa perlakuan (Sumber: Koleksi pribadi).....	72
4.5	Pertambahan tinggi tanaman kopi Arabika (<i>Coffeae arabica</i> L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan.	78
4.6	Pertambahan jumlah daun tanaman kopi Arabika (<i>Coffeae arabica</i> L.) dari sebelum perlakuan hingga 16 minggu setelah perlakuan.	80
4.7	Cover depan dan belakang buku.....	82

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Desain Tata Letak Unit Percobaan Penelitian	127
B. Uji Antagonis Bakteri Endofit <i>Bacillus</i> spp.	129
C. Surat Ijin Penelitian	131
D. Data Hasil Analisis SPSS	134
E. Analisis Kebutuhan (<i>Need Assesment</i>) Buku Nonteks	148
F. Lembar Penelitian dan Validasi Buku Nonteks.....	154
G. Alat dan Bahan Penelitian	163
H. Dokumentasi Penelitian	168

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) merupakan salah satu kendala yang sangat mempengaruhi produktivitas tanaman kopi di Indonesia. OPT yang banyak menyerang tanaman kopi di Indonesia antara lain adalah hama seperti penggerek buah kopi, penggerek cabang, kutu hijau, dan juga penyakit seperti karat daun, bercak daun dan jamur, selain itu juga disebabkan oleh nematoda (Direktorat Perlindungan perkebunan, 2002).

Nematoda merupakan ancaman penting pada tanaman kopi dibandingkan dengan organisme pengganggu tanaman lainnya. Kerusakan tanaman akibat serangan nematoda kurang disadari baik oleh petani maupun petugas yang bekerja di bidang pertanian. Hal ini disebabkan karena ukuran nematoda yang sangat kecil sehingga serangan nematoda sulit diamati secara visual (Mustika, 2005). Tumbuhan yang terserang nematoda juga tidak menunjukkan gejala yang khas, tetapi menunjukkan bermacam-macam gejala yang meliputi daun menguning, pertumbuhan yang terhambat, kerdil, dan akar yang tidak normal. Gejala-gejala tersebut mirip dengan gejala serangan serangga, infeksi virus, atau karena keadaan tanah yang tidak baik (Semangun, 1996:137).

Nematoda parasit utama yang menyerang tanaman budidaya kopi di Indonesia adalah dari jenis *Pratylenchus coffeae* maupun *Radopholus similis* (Wiryadiputra, 1985; Mustika, 2005). *P. coffeae* merupakan penyakit yang berbahaya bagi tanaman kopi Robusta dan lebih-lebih pada kopi Arabika (Semangun, 1996:671). Laju perbanyakan nematoda *P. coffeae* pada kopi Arabika lebih tinggi daripada kopi Robusta dan gejala kerusakan pada bibit kopi Arabika juga lebih parah dibanding pada bibit kopi Robusta, hal ini disebabkan karena kopi Robusta lebih tahan terhadap *P. coffeae* dibanding terhadap kopi Arabika (Wiryadiputra, 1985). Sebagian besar klon anjuran maupun varietas lokal kopi Robusta di Indonesia rentan serangan nematoda parasit. Klon-klon kopi Robusta anjuran seperti BP 42, BP 358, BP 409, BP 436, BP 534, BP 936 dan BP 939 rentan terhadap nematoda *P. coffeae* (Wiryadiputra *et al.*, 1998). Hal serupa juga

terjadi pada kopi Arabika, semua varietas anjuran kopi Arabika tidak tahanserangan nematoda parasit, dengan tingkat ketahanan yang berbeda-beda. Varietas S 795 merupakan varietas yang mampu beradaptasi pada kondisi lahan marginal namun ternyata rentan terhadap nematoda parasit (Hulupi, 2008). Khumar (1982) juga melaporkan bahwa akar kopi arabika lebih mudah ditembus oleh *P. coffeae* dibandingkan dengan kopi robusta. Sekitar 10% dari nematoda efektif menembus akar dalam waktu empat sampai lima hari inokulasi, sementara hanya 3% dari nematoda menembus akar robusta dalam waktu enam sampai delapan hari inokulasi.

Serangan *P. coffeae* menurunkan produksi kopi baik secara kualitas maupun kuantitas. Serangan *P. coffeae* pada kopi Robusta dapat menurunkan produksi sampai 57%, sedangkan serangan *P. coffeae* bersama dengan *R. similis* pada kopi Arabika dapat mengakibatkan kerusakan 80% dan biasanya tanaman hanya bertahan sampai usia 2 tahun (Wiryadiputra & Atmawinata, 1998; Harni & Khaerati, 2013). Serangan *P. coffeae* juga mengakibatkan musnahnya 95% kopi Arabika di Jawa (Sulistyowati *et al.*, 2012).

Melihat tingginya tingkat kerusakan yang ditimbulkan maka pengendalian *P. coffeae* pada tanaman kopi Arabika mutlak diperlukan. Selama ini, petani lebih memilih teknik pengendalian yang cepat dan mudah yaitu menggunakan nematisida kimia. Penggunaan nematisida kimia berdampak negatif terhadap lingkungan, keseimbangan ekosistem dan kesehatan manusia. Nematisida kimia juga menyebabkan hasil produksi tanaman mengandung bahan kimia yang berbahaya jika dikonsumsi. Terlebih lagi saat ini negara konsumen sangat memperhatikan residu bahan kimia pada produk pertanian yang masuk ke negaranya, sehingga suatu produk pertanian baru dapat diterima pasar dunia jika sesuai aturan perdagangan internasional, yaitu produk yang diekspor harus bebas dari bahan-bahan berbahaya bagi kesehatan (Harni, 2013). Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik pengendalian yang sejalan dengan aturan perdagangan internasional, yaitu dengan menggunakan agen hayati. Salah satu agen hayati yang telah terbukti mampu menekan nematoda parasit pada tumbuhan adalah bakteri endofit. Bakteri endofit diketahui sebagai agen hayati yang lebih

menjanjikan dibanding dengan bakteri rizosfer karena keberadaannya lebih terlindungi dari stress faktor abiotik, menempati relung yang sama dengan umumnya patogen tanaman, kemampuannya dalam kolonisasi jaringan dan proses translokasi senyawa metabolit ke dalam jaringan tanaman lebih baik, serta kurangnya kompetisi dengan bakteri lain dalam apoplast (Sigeo, 1993; Hallmann *et al.*, 1997; Reiter *et al.*, 2002).

Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman tersebut dan dapat bersaing dengan patogen (Hallmann, 2001:88). Bakteri endofit memiliki beberapa peran yang menguntungkan, yaitu bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung (Kloepper *et al.*, 1999).

Secara langsung, bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, seperti nitrogen, fosfat, dan mineral lainnya, selain itu bakteri endofit juga dapat menghasilkan senyawa bioaktif yang berperan sebagai penghasil hormon pertumbuhan seperti auksin, sitokinin dan etilen (Khalid *et al.*, 2004; Bacon & Hinton, 2007). Secara tidak langsung, bakteri endofit menekan pertumbuhan mikroorganisme pengganggu pada pertumbuhan akar tanaman melalui mekanisme kompetisi. Kompetisi yang terjadi ini akan berkaitan erat dengan kepadatan bakteri, tingkat kolonisasi dan lokasi bakteri dalam kaitannya dengan tempat makan nematoda karena nematoda dan bakteri endofit menempati ruang ekologis yang sama di akar (Kloepper *et al.*, 1999; Sikora *et al.*, 2007). Bakteri endofit juga melindungi tanaman dari infeksi nematoda dengan menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang bersifat nematisidal. Senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri endofit yang dapat membunuh nematoda adalah siderofor, antibiotik, dan HCN (Keel *et al.*, 1992; Notz *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2002; Siddiqui & Shaukat, 2003).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bakteri endofit dapat mengurangi populasi nematoda serta mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman. Di antaranya adalah penggunaan bakteri endofit yang di isolasi dari tanaman nilam dapat menekan populasi *Pratylenchus brachyurus* pada tanaman nilam (Harni *et al.*, 2007 & 2010). Penggunaan bakteri endofit *Bacillus pumilus*

dan *Bacillus mycoides* untuk mengendalikan nematoda *Meloidogyne incognita* pada tanaman kopi mampu menekan populasi nematoda hingga 33% (Mekete *et al.*, 2009). Aplikasi *P. chlororaphis* galur Sm3 pada stroberi dapat mengurangi populasi nematoda peluka akar *Pratylenchus penetrans* sebesar 41-61% serta mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman (Hackenberg *et al.*, 2000). Sedangkan penggunaan bakteri endofit dalam mengendalikan *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi Arabika belum banyak dilaporkan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2016, didapatkan 9 isolat bakteri endofit yang berhasil diidentifikasi dari lahan kopi yang terserang *Radopholus similis* di kawasan Ijen-Raung, Kabupaten Bondowoso, serta berpotensi terhadap penurunan penetrasi *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi Arabika. Dari 9 isolat bakteri endofit yang telah teridentifikasi tersebut dipilih 3 isolat yang memiliki tingkat penekanan terhadap nematoda *P. Coffeae* paling tinggi untuk dilakukan uji lebih lanjut, yaitu *Bacillus* sp. SK7 dengan tingkat penekanan sebesar 87,80%, *Bacillus* sp. SK14 dengan tingkat penekanan sebesar 93,23%, dan *Bacillus* sp. SK15 dengan tingkat penekanan sebesar 95,56%.

Aplikasi bakteri endofit yang sebelumnya telah dilakukan adalah aplikasi bakteri endofit secara tunggal dan hanya sampai pada tahap penetrasi nematoda sehingga belum sampai didapatkan hasil penekanan terhadap populasi akhir nematoda. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut hingga diperoleh populasi akhir nematoda. Melihat beragam jenis bakteri endofit di akar tanaman yang hidup secara bersama menyebabkan perlunya suatu aplikasi konsorsium beberapa strain bakteri endofit yang memiliki mekanisme berbeda tetapi saling menunjang untuk mendapatkan suatu pengendalian yang optimal (Whipps, 2001). Hal yang perlu diperhatikan dalam mengaplikasikan agen biokontrol secara konsorsium adalah tidak adanya sifat yang saling menghambat antar agen biokontrol (Whipps, 2001). Oleh karena itu, perlu dilakukan uji pendahuluan terhadap daya antagonisme antar bakteri endofit.

Berdasarkan uji pendahuluan yang telah dilakukan terhadap daya antagonisme 3 isolat bakteri endofit yang digunakan yaitu *Bacillus* sp. SK7,

Bacillus sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15, diketahui bahwa bakteri *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK15 saling antagonis sehingga bakteri endofit yang dapat dikonsorsiumkan hanya *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14 serta *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15. Untuk menguji efektivitas sinergismenya maka perlu dibandingkan dengan uji tunggal. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan 2 macam uji yaitu uji tunggal dan konsorsium.

Pengetahuan masyarakat mengenai serangan dan gejala yang diakibatkan oleh nematoda *P. coffeae* kurang disadari. Oleh karena itu, penanganan penyakit akibat serangan nematoda *P. coffeae* menjadi kurang tepat sasaran. Selama ini, masyarakat menggunakan metode pengendalian hama dan penyakit tanaman dengan menggunakan nematisida sintesis yang berbahaya bagi lingkungan maupun bagi manusia. Pemanfaatan bakteri endofit sebagai agen pengendali hayati bagi nematoda *P. coffeae* yang aman dan ramah lingkungan kurang diketahui oleh masyarakat, sehingga perlu dilakukan sosialisasi mengenai nematoda *P. coffeae* dan cara pengendaliannya dengan menggunakan suatu produk buku nonteks yang menggunakan bahasa mudah. Pada buku juga dijelaskan mengenai bagaimana cara mengisolasi nematoda baik dari akar maupun dari tanah. Diharapkan dengan adanya informasi/buku nonteks ini dapat menambah wawasan pengetahuan masyarakat khususnya petani, bahwa serangan nematoda *P. coffeae* menyebabkan penyakit pada tanaman kopi Arabika dan dapat dikendalikan secara alami dengan menggunakan agen antagonisnya berupa bakteri endofit sehingga hasil panen kopi Arabika dapat meningkat dan berdampak pada kesejahteraan petani.

Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* Spp. Tunggal dan Konsorsium Terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus Coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) serta Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Apakah inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. mampu menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika?
- b. Apakah inokulan konsorsium bakteri endofit *Bacillus* spp. lebih efektif menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika dibandingkan dengan inokulan tunggal?
- c. Manakah inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. yang paling efektif untuk menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika?
- d. Apakah buku nonteks mengenai nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya layak digunakan sebagai sumber informasi yang mampu membuka wawasan pengetahuan pembacanya?

1.3 Batasan Masalah

Supaya penulisan skripsi tidak menyimpang dari rencana yang telah ditetapkan, maka akan ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Bakteri endofit yang digunakan adalah *Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15 yang telah diidentifikasi dan memiliki kemampuan menekan tinggi, yaitu *Bacillus* sp. SK7 dengan tingkat penekanan sebesar 87,80%, *Bacillus* sp. SK14 dengan tingkat penekanan sebesar 93,23%, dan *Bacillus* sp. SK15 dengan tingkat penekanan sebesar 95,56%.
- b. Perlakuan yang digunakan sebanyak 7 meliputi aplikasi tunggal dan aplikasi konsorsium, yaitu aplikasi tunggal *Bacillus* sp. SK7, aplikasi tunggal *Bacillus* sp. tunggal SK14, aplikasi *Bacillus* sp. SK15, aplikasi konsorsium *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14, aplikasi konsorsium *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15, kontrol dengan nematoda, serta kontrol tanpa nematoda dan bakteri. Masing-masing perlakuan diinokulasikan sebanyak 10 ml bakteri endofit serta kerapatan bakteri yang digunakan adalah 10^9 cfu/ml.
- c. Bibit kopi Arabika yang digunakan adalah berusia 3 bulan dan memiliki 4 daun. Biji kopi yang dibibitkan diambil dari perkebunan kopi kalibendo, Banyuwangi, Jawa Timur.

- d. Nematoda yang digunakan adalah jenis *P. coffeae* dan setiap perlakuan diberikan sebanyak 50 ekor/pot, mulai dari *juvenile* hingga dewasa. Nematoda di dapatkan dari hasil ekstraksi akar yang terserang *P. coffeae* menggunakan metode Baermann dimodifikasi. Akar tanaman kopi yang terserang *P. coffeae* tersebut diambil dari hasil rearing.
- e. Pertumbuhan kopi Arabika diamati terhadap jumlah daun dan tinggi tanaman yang dilakukan setiap 2 minggu sekali. Pengamatan terhadap berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan akar dan berat basah akar dilakukan pada akhir penelitian yaitu setelah 16 minggu masa perlakuan.
- f. Tingkat penekanan terhadap nematoda *P. coffeae* diamati di akhir penelitian atau setelah 16 minggu masa perlakuan dengan menghitung populasi total nematoda *P. coffeae* di dalam tanah dan akar tanaman, serta dibandingkan dengan kontrol. Perhitungan populasi nematoda *P. coffeae* di akar maupun tanah dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan metode sentrifuse.
- g. Media tanam yang digunakan adalah tanah, pupuk dan pasir steril dengan perbandingan 1:1:1. Setiap pot di isi sebanyak 1 kg media tanam.
- h. Waktu perlakuan dibatasi sampai dengan 16 minggu.
- i. Penyusunan buku nonteks dilakukan sampai uji kelayakan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diuraikan diatas, tujuan penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui kemampuan inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. dalam menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.
- b. Membandingkan efektifitas inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. tunggal dan konsorsium dalam menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.
- c. Mendapatkan inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. yang paling efektif untuk menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.

- d. Mengetahui bahwa buku nonteks mengenai nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya layak digunakan sebagai buku bacaan yang menyajikan informasi serta mampu membuka wawasan pengetahuan pembacanya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam menekan jumlah nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi Arabika. Adapun manfaat penelitian ini di antaranya adalah sebagai berikut:

- a. Bagi peneliti, dapat membuktikan secara ilmiah bahwa ada pengaruh aplikasi bakteri endofit *Bacillus* spp. baik secara tunggal maupun konsorsium terhadap kemampuan menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.
- b. Bagi peneliti lain, dapat memberikan motivasi dalam meneliti lebih lanjut berkaitan dengan aplikasi bakteri endofit baik secara tunggal maupun konsorsium guna mendapatkan hasil yang paling efektif dalam menekan nematoda dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.
- c. Bagi masyarakat khususnya petani kopi arabika, dengan adanya penelitian ini diharapkan masyarakat dapat mengetahui dan menggunakan bakteri endofit sebagai agen hayati dalam menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika sehingga mampu meningkatkan hasil panen kopi Arabika, menghasilkan kopi Arabika yang bebas residu pestisida, serta tidak merusak lingkungan.
- d. Bagi masyarakat dan pembaca, dapat dijadikan sumber rujukan dan dapat membuka wawasan pembaca mengenai nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi Arabika

2.1.1 Sejarah Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Daerah asal kopi Arabika adalah pegunungan Ethiopia (Afrika). Di negara asalnya kopi tersebut tumbuh baik secara alami di hutan-hutan pada dataran tinggi sekitar 1.500 – 2.000 dpl (AAK, 1988:16). Namun demikian, kopi Arabika baru dikenal oleh masyarakat dunia setelah tanaman tersebut dikembangkan di luar daerah asalnya, yaitu Yaman di bagian selatan Jazirah Arab. Melalui para saudagar Arab, minuman tersebut menyebar ke daratan lainnya (Rahardjo, 2012:7).

Penanaman kopi di Indonesia dimulai pada tahun 1696 dengan menggunakan kopi Arabika. Namun, penanaman jenis kopi ini kurang berhasil. Pada tahun 1699 pemerintah Hindia Belanda mendatangkan lagi kopi Arabika, kemudian berkembang di Pulau Jawa. Kopi Arabika yang dikenal sebagai kopi jawa (*Java coffee*) tersebut memiliki kualitas yang sangat baik dan merupakan komoditas ekspor penting selama lebih dari 100 tahun. Namun, sejak tahun 1878 timbul penyakit karat daun yang disebabkan oleh jamur *Hemileia vastatrix* B et Br. Penyakit tersebut menyebabkan kerusakan dan kematian tanaman serta kerugian yang sangat besar. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengendalikan penyakit tersebut namun tidak ada yang berhasil secara memuaskan. Oleh karena itu, sejak tahun 1900 dikembangkan kopi Robusta untuk menggantikan kopi Arabika yang lebih tahan terhadap penyakit karat daun. Kopi Arabika yang tersisa umumnya hanya di tanam di dataran tinggi (≥ 1.000 m dpl). Hal ini disebabkan oleh kurang intensifnya tingkat penyerangan jamur *Hemileia vastatrix* pada elevasi 1.000 m dpl atau lebih, sehingga kopi Arabika mampu bertahan pada kisaran ketinggian tersebut. Berbeda dengan kopi Robusta umumnya dibudidayakan di lahan elevasi 0-1.000 m dpl (Rahardjo, 2012: 12).

2.1.2 Deskripsi Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Tanaman kopi merupakan tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan di Indonesia. Selain sebagai sumber penghasilan bagi tidak kurang satu setengah juta jiwa petani Indonesia, kopi juga menjadi komoditas ekspor dan sumber pendapatan devisa negara. Kopi Indonesia saat ini dilihat dari hasilnya menempati peringkat empat terbesar di dunia. Kopi memiliki sejarah panjang dan memiliki peranan penting bagi pertumbuhan ekonomi di Indonesia (Annisa, 2013).

Awalnya, jenis kopi yang dibudidayakan di Indonesia adalah Arabika, lalu liberika dan terakhir kopi jenis Robusta (Panggabean, 2011: 20). Kopi Arabika memiliki kualitas cita rasa tinggi dan kadar kafein lebih rendah dibandingkan dengan Robusta sehingga harganya lebih mahal. Kualitas cita rasa kopi Robusta di bawah kopi Arabika, tetapi kopi Robusta tahan terhadap penyakit karat daun. Oleh karena itu, luas areal pertanaman kopi Robusta di Indonesia lebih besar daripada luas areal pertanaman kopi Arabika sehingga produksi kopi Robusta lebih banyak (Rahardjo, 2012:10).

Kopi jenis Arabika sangat baik ditanam di daerah dengan ketinggian 1.000 – 2.100 meter di atas permukaan laut (dpl). Semakin tinggi lokasi perkebunan kopi, cita rasa yang dihasilkan oleh biji kopi akan semakin baik. Karena itu, perkebunan kopi Arabika hanya terdapat di daerah tertentu (di daerah yang memiliki ketinggian di atas 1.000 mdpl) (Panggabean, 2011:20).

2.1.3 Taksonomi Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Tanaman kopi termasuk dalam genus *Coffea* dengan Famili Rubiaceae. Genus *Coffea* mencakup hampir 70 spesies, tetapi hanya dua spesies yang ditanam dalam skala luas di seluruh dunia, yaitu kopi Arabika (*Coffea Arabica*) dan kopi Robusta (*Coffea canephora* var. *Robusta*) (Rahardjo, 2012:9).

Ahli tumbuh-tumbuhan (botanis), Linnaeus, menamakan tanaman kopi Arabika dengan nama ilmiah *Coffea Arabica* karena mengira kopi berasal dari negeri Arab (Rahardjo, 2012:9). Berikut ini adalah sistem taksonomi kopi secara lengkap.

Kingdom	: Plantae	
Subkingdom	: Viridiplantae	
Infrakingdom	: Streptophyta	
Superdivision	: Embryophyta	
Division	: Tracheophyta	
Subdivision	: Spermatophytina	
Class	: Magnoliopsida	
Superorder	: Asteranae	
Order	: Gentianales	
Family	: Rubiaceae	
Genus	: <i>Coffea</i> L.	
Species	: <i>Coffea Arabica</i> L.	Sumber: (ITIS, 2016)

2.1.4 Morfologi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Tanaman kopi Arabika tumbuh rimbun dan membentuk pohon perdu kecil. Tanaman kopi membutuhkan waktu 3 tahun dari berkecambah hingga tanaman berbunga dan menghasilkan buah kopi (Rahardjo, 2012:8-9).

a. Bunga

Tanaman kopi umumnya akan mulai berbunga setelah berumur \pm 2 tahun. Bunga muncul dari ketiak daun yang terletak pada cabang primer. Bunga tersusun dalam kelopak, masing-masing terdiri dari 4-6 kuntum bunga. Pada setiap ketiak daun dapat menghasilkan 2-3 kelompok bunga, sehingga setiap ketiak daun dapat menghasilkan 8-18 kuntum bunga atau setiap buku menghasilkan 16-36 kuntum bunga. Bila bunga sudah dewasa, kelopak dan mahkota akan membuka sehingga terjadi penyerbukan. Setelah itu bunga akan berkembang menjadi buah. Waktu yang diperlukan kopi Arabika sejak terbentuknya bunga hingga buah matang adalah 6-8 bulan (Najiyati & Danarti, 2001:12).

b. Buah

Buah tanaman kopi tersusun menggerombol, memiliki ukuran yang cukup besar. Buah yang belum matang berwarna hijau sedangkan buah yang tua berwarna merah cerah. Bentuk buah bulat telur dengan diameter kurang lebih 10-

15 mm (Soedibyo, 1998). Buah kopi tersusun dari kulit buah (*epicarp*), daging buah (*mesocarp*). Biji kopi dibungkus kulit keras disebut kulit tanduk (*parchment skin*) (Rahardjo, 2012:9). Buah kopi umumnya mengandung dua butir biji, tetapi kadang-kadang hanya mengandung 1 butir atau bahkan tidak berbiji sama sekali (Najiyati & Danarti, 2001:13).



Gambar 2.1 Penampilan Buah Kopi Arabika. Sumber: (Prastowo *et al.*, 2010:20).

c. Biji

Biji kopi Arabika memiliki beberapa karakteristik yang khas dibandingkan kopi jenis lainnya, seperti bentuknya yang agak memanjang, bidang cembungnya tidak terlalu tinggi, lebih bercahaya dibandingkan dengan jenis lainnya, ujung kopi mengkilap, dan celah tengah dibagian datarnya berlekuk (Panggabean, 2011:21). Ukuran biji kopi dipengaruhi oleh curah hujan saat pembentukan biji. Pada daerah-daerah yang memiliki tipe curah hujan tinggi ukuran bijinya lebih besar dibandingkan dengan daerah-daerah kering (Rothfos, 1980).

d. Batang dan Percabangan

Batang dan cabang kopi berkayu, tegak lurus dan beruas-ruas. Setiap ruas batang tanaman kopi hampir selalu ditumbuhi kuncup. Tanaman ini memiliki dua macam pertumbuhan cabang, yaitu cabang *Orthotrop* dan *Plagiatrop*. Cabang *Orthotrop* merupakan cabang yang tumbuh tegak seperti batang, disebut juga tunas air atau wiwilan atau cabang air. Cabang ini tidak menghasilkan bunga atau buah. Cabang *Plagiatrop* merupakan cabang yang tumbuh ke samping. Cabang ini menghasilkan bunga dan buah (AKK, 1988).

e. Daun

Kopi Arabika memiliki daun berwarna hijau mengkilap yang tumbuh berpasangan dengan berlawanan arah. Bentuk daun tanaman kopi lonjong dengan tulang daun yang tegas (Raharjo, 2012:9). Kopi Arabika memiliki tajuk yang kecil, ramping, dan ukuran daun yang kecil. Perbedaan jenis kopi Arabika dan Robusta berdasarkan karakteristik daun diperlihatkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan jenis kopi Arabika dan Robusta berdasarkan karakteristik daun

Jenis Kopi	Tekstur dan Ketebalan Daun	Warna Daun
Arabika	Kurus memanjang dan tebal	Hijau kuat pekat dan bergaris gelombang seperti talang air
Robusta	Lebih “gendut” dibandingkan dengan kopi jenis Arabika	Hijau agak terang

Sumber: (Panggabean, 2011:14).



Gambar 2.2 Daun kopi Arabika.

Sumber: (Panggabean, 2011:14)



Gambar 2.3 Daun kopi Robusta.

Sumber: (Panggabean, 2011:14)

f. Akar

Tanaman kopi merupakan jenis tanaman berkeping dua (dikotil). Secara alami tanaman kopi memiliki akar tunggang sehingga tidak mudah rebah. Tetapi akar tunggang tersebut hanya dimiliki oleh tanaman kopi yang bibitnya berupa semaian atau bibit sambungan (okulasi) yang batang bawahnya berupa semaian. Tanaman kopi yang berasal dari setek cangkakan, atau bibit okulasi yang batang

bawahnya merupakan bibit setek tidak memiliki akar tunggang sehingga mudah rebah (AAK, 1988:10).

Susunan akar kopi terdiri atas akar utama yang merupakan akar tunggang, akar lateral dan bulu atau rambut akar. Pada akar tunggang, ada beberapa akar kecil yang tumbuh ke samping (melebar) yang sering disebut akar lebar. Pada akar lebar ini tumbuh akar rambut, bulu-bulu akar, dan tudung akar. Tudung akar berfungsi untuk melindungi akar ketika mengisap unsur hara dari tanah (Panggabean, 2011:11).

Perakaran tanaman kopi Arabika lebih dalam daripada kopi Robusta. Oleh karena itu, kopi Arabika lebih tahan kering dibandingkan dengan kopi Robusta. Tanaman dapat berakar lebih dalam pada tanah normal, tetapi 90% dari perakaran tanaman kopi berada pada lapisan tanah di atas 30 cm (Raharjo, 2012:9). Distribusi akar kopi Arabika dalam berbagai lapisan tanah dapat diamati dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Distribusi akar 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

Sumber: Yahmadi (1976).

2.1.5 Syarat Tumbuh Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Persyaratan tumbuh tanaman kopi jenis Arabika sangat bergantung pada ketinggian tempat, jenis tanah, dan lama bulan kering (Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia, 2014). 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 (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008).

Kopi Arabika adalah jenis tanaman dataran tinggi antara 1250-1850 m dari permukaan laut. Sebenarnya jenis Arabika ini dapat hidup juga di dataran rendah sampai dataran tinggi, tetapi apabila di tanam di dataran yang lebih rendah atau

lebih tinggi kurang produktif. Sebab jenis tersebut kalau di tanam di dataran di bawah 1.000 mdpl akan mudah terserang penyakit *Hemileia vastatrix*. Sebaliknya kalau kopi Arabika di tanam di dataran tinggi yang lebih dari 1850 mdpl, udara akan terlalu dingin sehingga akan banyak tumbuh vegetative saja. Dan yang paling optimal bila di tanam pada ketinggian 1250-1850 meter dari permukaan laut, dengan suhu sekitar 17-21°C (AAK, 1988:25).

2.1.6 Organisme Penghambat Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) merupakan salah satu penyebab penghambat produktivitas kopi di Indonesia. Terdapat banyak gangguan pada budidaya kopi yang disebabkan oleh hama, seperti penggerek buah kopi, penggerek cabang, kutu hijau, nematoda, dan juga penyakit seperti karat daun, bercak daun, ataupun jamur (Direktorat Perlindungan Perkebunan, 2002). Nematoda parasit merupakan salah satu pembatas produksi pada tanaman kopi. Serangan nematoda dapat menurunkan produksi baik kualitas maupun kuantitas.

Secara umum, serangan nematoda menyebabkan kerusakan pada akar karena nematoda menghisap sel-sel akar, sehingga pembuluh jaringan terganggu, akibatnya translokasi air dan hara terhambat. Serangan nematoda juga dapat mempengaruhi proses fotosintesa dan transpirasi (Evans, 1982; Melakeberhan *et al.*, 1987 dalam Mustika, 2005). Akibatnya pertumbuhan tanaman terhambat, warna daun menguning seperti kekurangan hara dan mudah layu. Karena pertumbuhan terhambat maka produktivitas tanaman menjadi menurun. Seringkali gejala tanaman yang terserang nematoda akar kopi bersamaan dengan serangan OPT lain seperti jamur akar putih, jamur akar coklat, dan penyakit antraknos (Siahaan, 2013).

Di Indonesia, nematoda utama yang menyerang kopi adalah *Pratylenchus coffeae* dan *Radopholus similis* dan *Meloidogyne* sp. (Harni, 2013). Hampir semua sentra produksi kopi di Indonesia terserang nematoda *Pratylenchus coffeae*, antara lain Sumatera Utara, Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, NTT, dan Sulawesi Selatan. Kerugian yang

diakibatkan oleh serangan nematoda *P. coffeae* selama periode enam tahun (1981-1986) menyebabkan kehilangan hasil rata-rata sebesar 56,84% atau sekitar 150 ton kopi pertahun (Wiryadiputra, 2008).

2.2 Nematoda

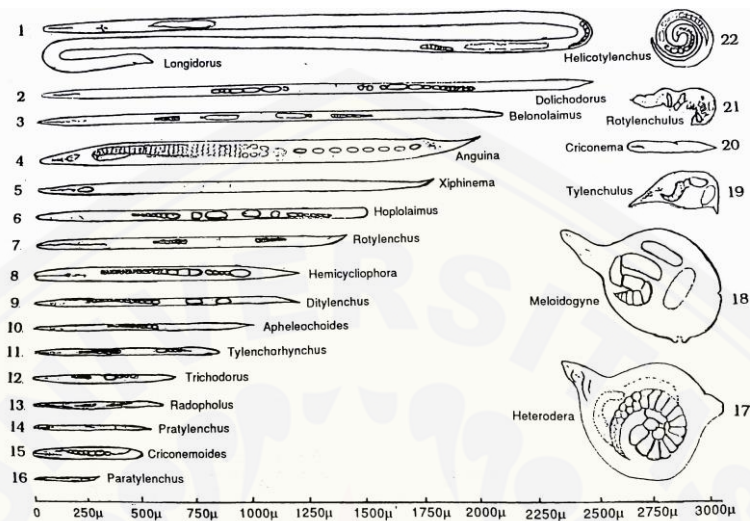
2.2.1 Deskripsi Nematoda Secara Umum

Nematoda merupakan salah satu organisme pengganggu tanaman (OPT) penting yang menyerang berbagai tanaman budidaya di Indonesia dan negara-negara tropis lainnya (Mustika, 2010). Organisme pengganggu tanaman secara garis besar dibagi menjadi tiga yaitu hama, penyakit dan gulma. Hama menimbulkan gangguan tanaman secara fisik. Hama pada tanaman kopi meliputi penggerek buah kopi, penggerek cabang, dan kutu hijau. Sedangkan penyakit menimbulkan gangguan fisiologis pada tanaman, dapat disebabkan oleh cendawan, bakteri, virus, dan nematoda (Direktorat Perlindungan perkebunan, 2002; Wiyono, 2010).

Nematoda merupakan satu filum (*phylum*) dari dunia hewan (*nematoda* = bentuk mirip benang, Yun) (Semangun, 1996:137). Sebagian besar dari beberapa ribu spesies nematoda hidup bebas di air tawar, air laut dan di dalam tanah, yang di antaranya diketahui dapat menyerang tumbuhan (Agrios, 1996:612). Nematoda belum banyak diteliti dibandingkan dengan organisme pengganggu tumbuhan (OPT) lain seperti serangga karena ukurannya yang kecil, sulit diidentifikasi dan sulit dipisahkan dari tanah maupun tumbuhan inangnya. Tumbuhan yang terserang nematoda juga tidak menunjukkan suatu gejala yang khas, tetapi bermacam-macam gejala yang ditimbulkan meliputi daun yang menguning, pertumbuhan yang terhambat, kerdil, dan akar yang abnormal. Gejala-gejala tersebut mirip dengan gejala serangan serangga atau infeksi virus pada akar, atau karena keadaan tanah yang tidak baik (Semangun, 1996:137).

Nematoda parasitik tumbuhan berukuran sangat kecil yaitu antara 300-1000 μm , panjangnya sampai 4 mm dan lebar 15-35 μm , diameternya yang kecil membuatnya hanya bisa dilihat dengan mikroskop. Secara umum, nematoda berbentuk belut, dan penampang melintangnya bundar, dengan tubuh licin, tidak

bersegmen, tanpa kaki dan alat tambahan lain. Akan tetapi, betina dari beberapa spesies membengkak pada saat menjadi dewasa dan mempunyai bentuk tubuh seperti buah pir atau sferoid (Agrios, 1996:612).



Gambar 2.4 Perbandingan bentuk dan ukuran tubuh berbagai jenis nematoda parasitik tumbuhan. Sumber: (Agrios, 1996:614; Triharso, 2010:60).

Nematoda parasit pada tanaman memiliki karakteristik khusus, antara lain adalah adanya stilet (alat penusuk) pada bagian kepalanya. Dengan adanya stilet, nematoda menusuk dan mengisap cairan sel tanaman untuk keperluan hidupnya. Serangan nematoda dapat menyebabkan luka-luka pada akar. Melalui luka yang disebabkan oleh nematoda, organisme-organisme lainnya seperti bakteri dan jamur dapat masuk ke dalam jaringan akar, sehingga tanaman menjadi lemah dan gejala penyakit menjadi semakin parah. Nematoda juga mensekresi enzim pada saat menginfeksi tanaman. Enzim yang disekresikan nematoda berbeda-beda tergantung pada spesies nematoda yang mensekresinya (Deubert & Rohde, 1971).

Nematoda kebanyakan terdapat di dalam lapisan tanah bagian atas antara 15-30 cm dan dapat berkembang baik apabila tanah mempunyai banyak pori, dengan film air pada permukaan butir-butir tanah, dan di dalam pori-pori tersebut terdapat cukup udara. Nematoda pada umumnya tidak dapat berkembang baik jika tanah jenuh air dan miskin oksigen (Semangun, 1996:142).

Penyebaran nematoda dengan kekuatannya sendiri di dalam tanah sangat lambat. Keseluruhan jarak yang ditempuh nematoda mungkin tidak mencapai satu

meter per musim (Agrios, 1996:617). Tetapi dengan adanya suatu lapisan air di dalam pori-pori tanah, atau apabila terjadi penggenangan air, maka nematoda dapat bergerak dengan cepat. Walaupun demikian nematoda dapat dengan mudah terbawa oleh segala sesuatu yang membawa partikel tanah, misalnya alat pertanian, air irigasi, kaki-kaki hewan, dan juga angin yang mengangkut debu. Beberapa nematoda yang menyerang bagian tanaman di atas tanah, dapat tersebar (lewat tanah) oleh tanah yang terkena percikan air yang mengenai tumbuhan bila ada hujan atau pengairan, atau memanjat batang dan daun tumbuhan yang basah dengan tenaganya sendiri. Penyebaran selanjutnya dapat melalui kontak langsung antara tumbuhan yang sakit dengan yang sehat di dekatnya (Rochdjatun, 1992:202).

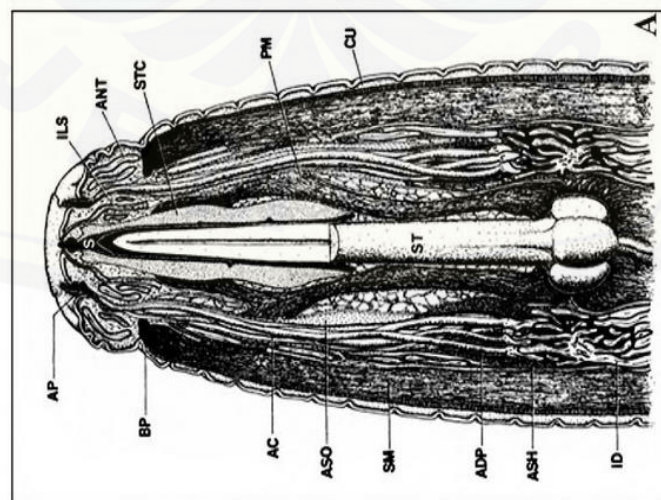
Nematoda parasit dibagi sesuai ekologi, yaitu: (a) ektoparasit bermigrasi (*migratory ectoparasitic*) yang hidup di dalam tanah dengan memakan sel jaringan akar; (b) semi endoparasit bermigrasi (*semi endoparasitic*) dan hidup di dalam tanah, hanya bagian depan (anterior) badannya yang berada di dalam akar inang; (c) endoparasit menetap (*sedentary endoparasitic*), yang daur hidupnya mengalami modifikasi, betinanya kehilangan daya gerak karena badannya menjadi seperti kantong; (d) Endoparasit yang tidak menetap (*migratory endoparasitic*), yang mengadakan migrasi di dalam tumbuhan inang, atau di antara inang dan tanah (Semangun, 1996:142). Nematoda endoparasit hanya hidup sebentar di dalam tanah dan masuk ke dalam akar, dan disini mereka dapat ditemukan. Sebaliknya, nematoda ektoparasit akar seluruh hidupnya berada di dalam tanah sambil memakan akar tumbuhan (Semangun, 1996).

Nematoda parasit merupakan kendala utama pada budidaya tanaman kopi di Indonesia, terutama untuk jenis kopi Arabika (Mustika, 2010). *Pratylenchus coffeae* dan *Radopholus similis* merupakan dua jenis nematoda berbahaya yang sering menyerang kopi Robusta dan terlebih pada kopi Arabika (Semangun, 1996; Hulupi, 2008). *P. Coffeae* termasuk nematoda endoparasit berpindah, sedangkan *R. Similis* termasuk nematoda semi-endoparasit berpindah yang terutama hidup di dalam akar, tetapi dapat bermigrasi melalui tanah ke akar tumbuhan inang lainnya (Semangun, 1996:146).

Nematoda endoparasit berpindah menimbulkan kerusakan yang bersifat destruktif pada akar karena tipe nematoda ini mengkonsumsi isi sel, akibatnya sel rusak dan mati. Kerusakan sel akar mengakibatkan proses penyerapan air dan hara terganggu sehingga kebutuhan tanaman tidak terpenuhi. Tidak terpenuhinya kebutuhan nutrisi tanaman menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, proses fotosintesa terganggu, menyebabkan daun berwarna kuning dan tumbuhan menjadi kerdil. Nematoda juga menghambat pertumbuhan tanaman dengan mengurangi konsentrasi zat pengatur tumbuh seperti auksin, sitokinin dan giberelin yang banyak ditemukan di ujung akar. Berkurangnya zat pengatur tumbuh ini terjadi karena nematoda mengeluarkan enzim selulase dan pektinase yang mampu mendegradasi dinding sel, sehingga ujung akar luka atau pecah, hal ini menyebabkan auksin yang berperan dalam pertumbuhan tanaman menjadi tidak aktif sehingga pertumbuhan tanaman terhambat (Agrios, 2005).

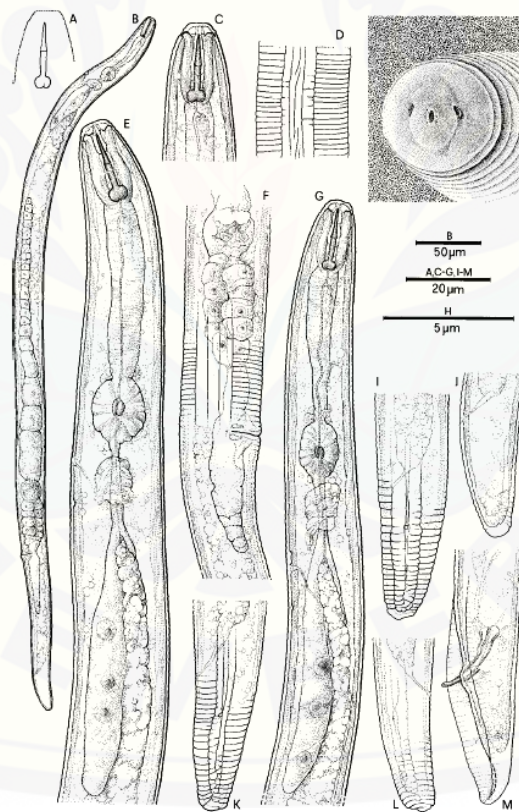
2.2.2 Deskripsi Nematoda *P. coffeae*

Nematoda *Pratylenchus coffeae* (Zimm.) dulu disebut *Tylenhus coffeae* Zimm., *Tylenhus coffeae* (de Man), dan *Anguillulina pratensis*. Bentuk nematoda ini pada umumnya memanjang berbentuk seperti cacing (*vermiform*) (Semangun, 1996:672). Stylet *Pratylenchus coffeae* pendek dan gemuk dengan basal knob yang jelas. Ukuran stylet *P. coffeae* adalah 2,4 μm (Castilo & Volvas, 2007:15).



Gambar 2.5 Diagram ultrastruktur daerah stilet, otot protractor dan amphidial sensilla *Pratylenchus* (Castillo & Vlovas, 2007:19).

Perbedaan morfologi antara nematoda betina dan jantan adalah nematoda jantan mempunyai panjang 0,42-0,61 mm, dengan stilet yang berkembang baik. Memiliki ekor yang pendek, tubuh bagian dorsalnya lebih cembung, memiliki spikula yang lunak, dan ujung ekor memanjang. Nematoda betina sedikit lebih panjang daripada yang jantan, 0,46-0,65 mm. Lubang kelaminnya terletak agak ke belakang, lebih kurang 80% dari panjang badan. Bagian anteriornya bercabang secara langsung (*monoprodelfic*), dan vulva bagian belakang yaitu kantung uterus yang menunjukkan perbedaan dengan jantan, tetapi bagian ini tidak berfungsi. Memiliki spermateca yang besar yang berisi sperma jantan jika ada, bentuk ekor subsilinder atau ekor meruncing tetapi kecil dengan ujung lebar, membulat dan berbentuk persegi (Semangun, 1996:672-674; Tuyet, 2010:4).



Gambar 2.6 Nematoda *Pratylenchus coffeae*. A: Stylet betina; B: nematoda betina; C: bagian depan nematoda betina; D: bagian samping nematoda betina; E: bagian paringeal nematoda betina; F: bagian vulva nematoda betina; G: bagian paringeal nematoda jantan; H: bagian kepala nematoda betina; I-L: bentuk ekor nematoda betina; M: bentuk ekor nematoda jantan. Sumber: (Inserra *et al.*, 2001).

2.2.3 Klasifikasi Nematoda *P. coffeae*

Pratylenchus coffeae pertama kali ditemukan dari akar kopi di Jawa, Indonesia (Zimmermann, 1898) sebagai *Tylenchus coffeae*. Genus *Pratylenchus* didirikan oleh Filipjev pada tahun 1936. Pada tahun 1941, Filipjev dan Schuurmans Stekhoven mengubah genus *Tylenchus coffeae* menjadi *Pratylenchus coffeae*.

Berikut adalah klasifikasi *P. coffeae* berdasarkan Siddiqi (2000) :

Filum	: Nematoda
Kelas	: Secernentea
Sub Kelas	: Tylenchia
Ordo	: Tylenchida
Sub Ordo	: Tylenchina
Super Famili	: Hoplolaimoidea
Famili	: Pratylenchidae
Sub Famili	: Pratylenchinae
Genus	: <i>Pratylenchus</i>
Spesies	: <i>Pratylenchus coffeae</i> (Zimmermann, 1898) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, 1941.

2.2.4 Bioekologi dari Nematoda *P. coffeae*

Nematoda *P. coffeae* merupakan nematoda endoparasit berpindah dan semua stadiumnya terdapat di dalam jaringan korteks inangnya. Populasi nematoda di dalam tanah yang rendah dapat berasosiasi dengan populasi tinggi dalam akar. Kebanyakan nematoda memperoleh makanannya pada sel-sel korteks dan membentuk suatu rongga yang berisi koloni nematoda dengan berbagai stadium. Daur hidupnya berlangsung tiga atau empat minggu dan nematoda dapat bertahan hidup tanpa tumbuhan inang selama beberapa bulan. Nematoda *P. coffeae* tersebar luas di daerah tropic dan subtropik (Luc *et al.*, 1995).

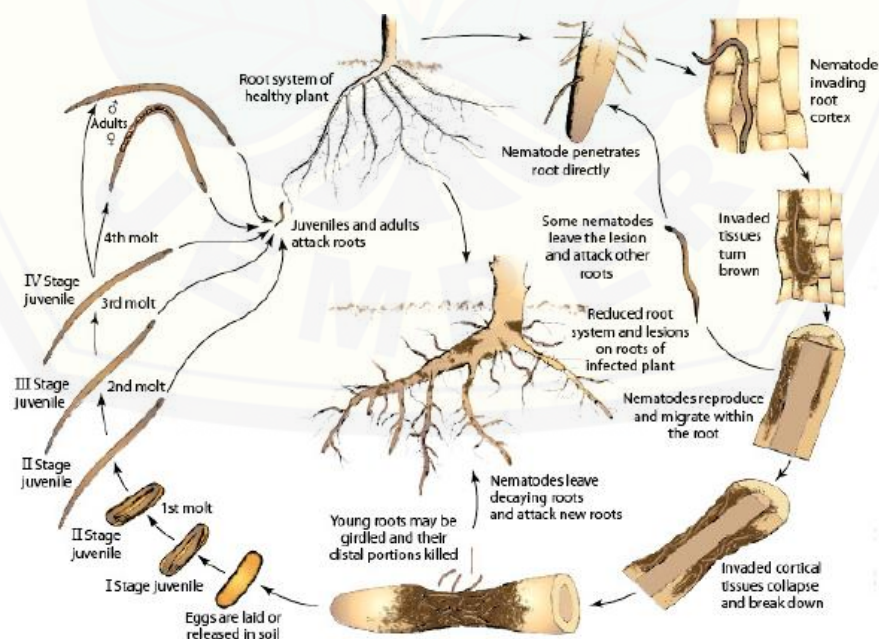
Pada umumnya, populasi *P. coffeae* meningkat pada musim hujan dan mencapai puncaknya ketika 7-8 bulan setelah masa tanam (Ploetz, 2003). Perkembangbiakan *P. coffeae* mencapai tingkat tertinggi apabila suhu relatif

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 (Luc *et al.*, 1995). Populasi *P. coffeae* menurun pada kondisi tanah yang mempunyai pH 3,85 – 6 (Ploetz, 2003).

Perpindahan nematoda *P. coffeae* melalui tanah berjalan sangat lambat yaitu sekitar satu meter tiap tahun. Nematoda juga bersifat patogenik pada kisaran tanah dari tanah pasir sampai tanah debu pasir (Luc *et al.*, 1995).

2.2.5 Siklus hidup Nematoda *P. coffeae*

Pratylenchus coffeae adalah endoparasit bermigrasi dari akar korteks, umbi atau umbi-umbian, dimana mereka makan dan berkembang biak. *P. coffeae* juga bisa keluar dari akar dan hidup untuk beberapa waktu di dalam tanah dan bermigrasi menembus akar tanaman inang baru. Ketika terjadi pembusukan akar, misalnya invasi sekunder oleh bakteri dan jamur, nematoda meninggalkan akar yang telah sekarat tersebut dan bermigrasi melalui tanah untuk menyerang akar yang sehat (Tuyet, 2010: 7).



Gambar 2.7 Kehidupan dan siklus penyakit nematoda lesi (*Pratylenchus* spp.). Sumber: (Agris, 2005).

Telur diletakkan dalam jaringan akar dan siklus hidup *P. coffeae* diselesaikan dalam korteks akar sekitar 4 minggu dalam kondisi optimal. Dari telur hingga dewasa, nematoda melewati empat tahap juvenile. Ganti kulit pertama terjadi ketika masih berada di dalam telur. Tiga pergantian kulit selanjutnya terjadi di luar sel telur. Telur menetas dalam 6-8 hari pada suhu 28°C – 30 °C dalam air (Tuyet, 2010:7). Dari pergantian kulit pertama muncul stadia larva dua, yang bergerak bebas ke dalam tanah dan masuk ke dalam jaringan tanaman. Apabila nematoda stadia larva dua tersebut mulai makan pada jaringan inang yang cocok, terjadi pergantian kulit kedua, ketiga, dan ke empat yang menghasilkan berturut-turut larva stadia tiga, empat dan lima atau stadia dewasa. Secara umum, siklus hidup nematoda parasit berlangsung selama 25-35 hari, bergantung pada jenis nematoda, tanaman inang, keadaan lingkungan tanah (suhu, kelembaban, tekstur) (Mustika, 2003).

Suhu optimum untuk penetrasi, kolonisasi dan pengembangan *P. coffeae* adalah 25°C-30°C. Di akar kopi, Tahap juvenile pertama (J1) 8 hari setelah bertelur, tahap juvenile yang kedua, ketiga, dan keempat (J2-J4) dan dewasa 14, 21, 28, dan 29 sampai dengan 32 hari setelah peletakan telur (Wehunt & Edwards, 1971 dalam Tuyet, 2010:7).

2.2.6 Gejala Serangan Nematoda *P. coffeae*

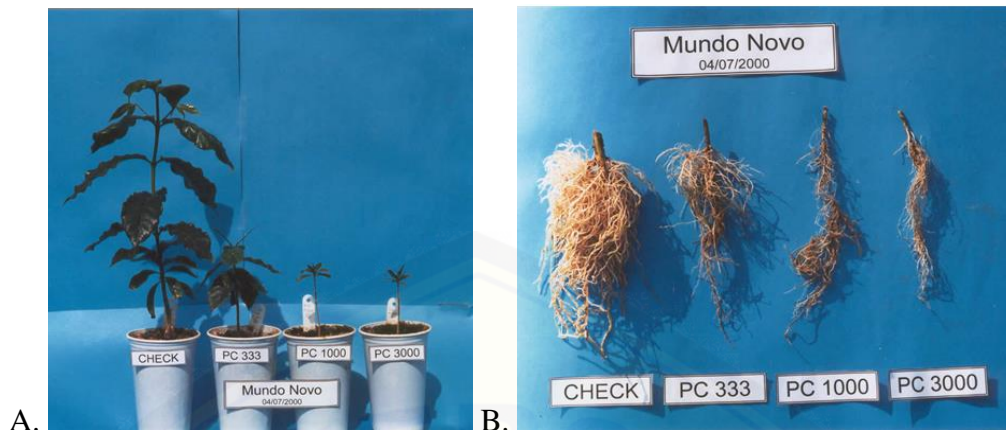
Nematoda *P. coffeae* menyebabkan terjadinya luka akar (*root lesion*), bersifat endoparasit bermigrasi, memakan kulit akar sehingga akar menguning dan akhirnya berwarna ungu coklat. Nematoda bergerak dan berpindah-pindah di dalam akar yang menyebabkan terjadinya saluran-saluran, yang di dalamnya jamur dapat tumbuh dan berkembang, sehingga nematoda luka akar tersebut sering menjadi pemula terjadinya kompleks busuk akar (Semangun, 1996:672).

Nematoda *P. coffeae* menyerang jaringan kortek akar serabut terutama adalah akar serabut yang aktif menyerap air dan unsur hara. Akibatnya akar serabut menjadi rusak, berwarna coklat dan terdapat luka-luka nekrotik. Luka-luka tersebut secara perlahan akan semakin meluas, sehingga akhirnya seluruh akar serabut membusuk. Pada saat menyerang jaringan kortek akar, nematoda

mengeluarkan enzim β glukosidase. Akar tanaman mempunyai hormon amygdalin. β glukosidase dan amygdalin akan bereaksi membentuk senyawa benzaldehida + HCN, senyawa ini merupakan racun bagi sel-sel yang terkena, sehingga sel-sel akan mati (nekrosis). Karena serangan terjadi di luar akar maka akan tampak bercak-bercak nekrosis pada akar, inilah yang menyebabkan *P. coffeae* disebut juga sebagai *Root Lesion Nematodes* (Nematoda peluka akar) (Nadiyah, 2012).

Agrios (1997) dalam Harni *et al.* (2007) melaporkan bahwa nematoda yang mengkonsumsi sel akar mampu menurunkan kemampuan tumbuhan menyerap air dan hara sehingga menyebabkan gejala seperti kekurangan air dan hara. 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 pektinasi yang mampu mendegradasi dinding sel sehingga ujung akar luka dan pecah, hal ini menyebabkan auksin tidak aktif. Tidak aktifnya auksin menyebabkan pertumbuhan primer akar terhambat.

Gejala tanaman sakit baru tampak lama kemudian. Gejala di atas permukaan tanah baru tampak jika kebanyakan akar sudah membusuk dan hanya tinggal akar tunggang dan beberapa akar samping dengan kulit membusuk. Gejala tersebut meliputi pertumbuhan tanaman terhambat, daun menguning, layu, dan gugur, cabang-cabang samping tidak tumbuh. Semai kopi di pesemaian dapat mati mendadak karena serangan nematoda tersebut, dan tanaman yang lebih tua menderita dalam jangka waktu yang lama. Akar yang terserang mengadakan regenerasi, tetapi selama musim kemarau proses ini sangat lambat. Demikian pula pada waktu tanaman berbuah, karena zat makanan diangkut ke buah (Semangun, 1996:672). Berikut adalah gambar gejala tanaman yang terserang nematoda.



Gambar 2.8 Gejala yang disebabkan oleh *Pratylenchus coffeae* pada kopi. A: layu, B: lesi pada akar. Sumber gambar: (Kubo, 2009)

Jika infestasi mulai di pesemaian, serangan dapat tersebar di seluruh kebun. Akan tetapi jika serangan terjadi setelah tanaman dewasa, di dalam kebun terdapat tanaman sakit yang berkelompok-kelompok. Jika serangan nematoda terjadi bersamaan dengan bubuk, kutu putih, dsb., hasil kopi akan sangat berkurang (Semangun, 1996:672).

2.2.7 Upaya pengendalian Nematoda *P. coffeae*

Pengendalian nematoda yang selama ini banyak digunakan adalah melalui pemanfaatan bahan organik, penggunaan varietas tahan jika tersedia, dengan cara kimia menggunakan pestisida / nematisida dan solarisasi. Dalam pelaksanaannya sering kali hanya memiliki satu cara dan target utamanya hanya terhadap nematoda yang dikendalikan dan kurang memperhatikan akibatnya terhadap keseluruhan ekosistem pertanian dalam pengelolaan nematoda berkelanjutan, hal penting yang perlu dilakukan adalah monitoring komponen biologi dan lingkungan secara teratur termasuk didalamnya adalah populasi dan musuh alaminya (Munif, 2003).

Pengendalian yang saat ini dianjurkan adalah menggunakan penyambungan (grafting), batang bawah dengan varietas tahan sedangkan batang atas menggunakan varietas yang berproduksi tinggi. Penggunaan teknik pengendalian ini belum sepenuhnya diadopsi oleh petani karena kurangnya pengetahuan petani dalam melakukan teknik penyambungan. Oleh karena itu, petani mencari teknik

pengendalian yang lebih mudah dan cepat yaitu dengan menggunakan nematisida kimia. Penggunaan bahan kimia dapat langsung diaplikasikan ke tanah sebelum tanam, maupun digunakan untuk perlakuan bibit atau benih sebelum tanam. Penggunaan nematisida terbukti telah menurunkan populasi nematoda secara signifikan. Namun penggunaan nematisida kimia secara terus-menerus dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Di samping itu, penggunaan pestisida juga memberikan efek residu pada produk tanaman yang dihasilkan (Harni & Munif, 2012; Harni 2013).

Pada saat ini negara-negara konsumen sangat peduli terhadap residu pestisida, sehingga suatu produk pertanian baru diterima di pasar dunia harus mengikuti aturan perdagangan internasional, yaitu produk yang di ekspor harus bebas dari bahan-bahan berbahaya bagi kesehatan. Sehingga diperlukan suatu pengendalian biologi yang ramah lingkungan. Pengendalian biologi dengan menggunakan bakteri endofit merupakan salah satu komponen pengendalian ramah lingkungan yang diharapkan dapat melengkapi teknik pengendalian yang sudah ada (Harni, 2013).

2.3 Bakteri Endofit

2.3.1 Deskripsi Bakteri Endofit

Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit pada tanaman tersebut serta dapat bersaing dengan patogen (Hayward & Hartman, 1994; Hallmann, 2001:88). Bakteri endofit merupakan agen antagonis terhadap nematoda. Bakteri antagonis adalah bakteri yang dapat menghambat reproduksi nematoda sehingga populasi akhir lebih rendah dari populasi awal, dengan salah satu indikatornya adalah kemampuan bakteri endofit menghambat laju perkembangan nematoda (pf/pi) di akar (Harni & Khaerati, 2013).

Mekanisme bakteri endofit melindungi tanaman dari infeksi nematoda melalui beberapa cara di antaranya menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang bersifat nematisidal. Senyawa hasil metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri endofit yang dapat membunuh nematoda adalah antibiotik, HCN, dan

siderofor (Keel *et al.*, 1992; Notz *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2002; Siddiqui & Shaukat, 2003 dalam Harni & Khaerati, 2013).

Agens antagonis terbukti tidak menimbulkan efek negatif bagi lingkungan atau pun bagi organisme lain (Graham & Mitchell, 1999). Penggunaan bakteri endofit yang bersifat antagonis ini memiliki beberapa keberuntungan dibanding dengan penggunaan mikroba antagonis lain, di antaranya yaitu mikroba endofit sudah terbentuk dalam tanaman yang akan tetap ada atau bertahan selama perkembangan tanaman dan terus memberikan perlindungan bagi tanaman (Hayward & Hartman, 1994 dalam Handini, 2011).

Bakteri endofit dapat ditemukan pada kebanyakan spesies tanaman, ia hidup mengkolonisasi dalam jaringan tanaman baik pada akar, batang, daun dan buah tanpa merugikan tanaman. Bakteri endofit biasanya diisolasi dari jaringan internal tanaman baik secara langsung melalui sentrifugasi atau ekstraksi bom tekanan serta secara tidak langsung melalui sterilisasi permukaan (Hallmann, 2001:88). Berbeda dari bakteri rizosfer, merupakan bakteri yang hidup di daerah perakaran tanaman yang dapat berperan dalam menekan perkembangan patogen tular tanah. Bakteri endofit dan bakteri rizosfer memberikan keuntungan bagi tanaman dengan memengaruhi pertumbuhan tanaman dan mengendalikan atau menekan serangan patogen pada tanaman (Latupeirissa, 2014). Bakteri endofit juga diketahui sebagai agen hayati yang lebih menjanjikan dibanding dengan bakteri rizosfer karena keberadaannya lebih terlindungi dari stress faktor abiotik, menempati relung yang sama dengan umumnya patogen tanaman, kemampuannya dalam kolonisasi jaringan dan proses translokasi senyawa metabolit ke dalam jaringan tanaman lebih baik, serta kurangnya kompetisi dengan bakteri lain dalam apoplast (Sigeo, 1993; Hallmann *et al.*, 1997; Reiter *et al.*, 2002).

2.3.2 Morfologi Bakteri Endofit Genus *Bacillus*

Genus *Bacillus* berbentuk batang besar berukuran 1 x 3-4 μm dan berbentuk rantai, umumnya didefinisikan sebagai gram positif, motil, flagella *peritrichous*, menghasilkan spora yang biasanya resisten pada panas, bersifat aerobik atau fakultatif anaerob, katalase positif dan oksidasi bervariasi (Jawetz *et al.*, 1996:

194; Claus & Berkeley, 1986; Borrow, 1993). Ditambah Claus & Berkeley (1986) bahwa genus *Bacillus* mempunyai fisiologis yang menarik karena tiap-tiap jenis mempunyai kemampuan yang berbeda-beda, diantaranya: (1) Mampu mendegradasi senyawa organik seperti protein, pati, selulosa, hidrokarbon dan agar; (2) Mampu menghasilkan antibiotik; (3) Berperan dalam nitrifikasi dan denitrifikasi; (4) pengikat nitrogen; (5) Bersifat khemolitotrof, aerob atau fakultatif aerob, asidofilik, psikrofilik atau termofilik.

Genus *Bacillus* memiliki kemampuan untuk membentuk endospora yang sangat tahan, yang menjadi kunci untuk sukses kolonisasi di berbagai lingkungan (Priest *et al.*, 1993). Kebanyakan anggota genus *Bacillus* dapat membentuk endospora yang dibentuk secara intraseluler sebagai respon terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, oleh karena itu anggota genus *Bacillus* memiliki toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah. *Bacillus* memiliki kemampuan dalam mereduksi nitrat, menghidrolisis pati dan gelatin, dan memproduksi β -galaktosidase (Jawetz *et al.*, 1996: 194). Genus *Bacillus* juga termasuk chemoorganotrophs metabolik yang tergantung pada senyawa organik sebagai sumber karbon dan energi. Karena ubiquity lebar mereka di alam dan keragaman genetik dan metabolik yang mengarah ke produksi beberapa antibiotik dan enzim, maka *Bacillus* telah dimanfaatkan oleh industri untuk produksi molekul seperti riboflavin, Streptavidin, β -laktamase dan racun untuk berbagai serangga dan nematoda (de Maagd *et al.*, 2003; Zeigler dan Perkins, 2009 dalam Maughan & Auwera, 2011).

2.3.3 Densitas Bakteri Endofit

Total kepadatan populasi bakteri yang ditemukan di dalam tanaman tergantung pada spesies tanaman, genotip tanaman, jaringan tanaman, tahap pertumbuhan dan kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, kepadatan populasi bakteri tertinggi ditemukan pada jaringan akar sekitar $\log 5$ cfu/g berat basah (Hallmann, 2001:91). Pada tanaman kopi kerapatan populasi bakteri endofit pada akar adalah $5 \times 10^3 - 5,77 \times 10^6$ cfu/g akar (Harni 2012). Kepadatan ini secara signifikan lebih rendah dari yang dilaporkan untuk bakteri patogen yang bisa

berkisar dari log 8-log 10 cfu/g berat basah. Kepadatan populasi bakteri di atas permukaan tanah rata-rata sekitar log 4 cfu/g dalam batang dan log 3 cfu/g dalam jaringan daun. Sedangkan kolonisasi terendah atau tidak ditemukan adanya kolonisasi bakteri adalah dalam organ generatif seperti bunga, buah, dan biji. Gradien inilah yang menyebabkan timbul spekulasi bahwa akar dianggap sebagai jalan yang paling disukai bakteri untuk masuk ke dalam tanaman, yang akan menjelaskan tingginya populasi bakteri dalam akar pada tahap pertumbuhan awal. Bakteri endofit juga masuk jaringan tanaman melalui stomata, hidatoda dan mikropori dari jaringan tanaman di atas tanah, selain itu mereka dapat bergerak secara sistemik ke seluruh bagian tanaman sehingga menyebabkan keseimbangan kepadatan bakteri di dalam tanaman (Hallmann, 2001:91-92).

Kepadatan populasi bakteri endofit agak rendah ditemukan di bagian tanaman yang berada di atas tanah bisa menjadi indikator kondisi yang kurang menguntungkan di dalam jaringan disebabkan fluktuasi suhu harian yang besar, kadar air, ketersediaan hara dan radiasi UV. Sebaliknya, sistem perakaran memberikan habitat yang lebih mendukung berkaitan dengan ketersediaan air dan perubahan suhu, selain itu eksudat akar memberikan aliran kaya nutrisi terus-menerus untuk bakteri. Kepadatan total endofit dalam jenis tanaman tertentu dari jaringan tanaman tidak konstan dan berubah dari waktu ke waktu. Faktor utama yang mempengaruhi jumlah kepadatan penduduk termasuk umur tanaman serta berbagai faktor lingkungan biotik dan abiotik. Studi mengenai dinamika populasi bakteri endofit dilaporkan oleh McInroy & Kloepper (1995), bahwa kepadatan populasi internal umumnya meningkat 3 minggu pertama dan kemudian tetap pada tingkat hampir konstan selama sisa masa pertumbuhan (Hallmann, 2001:92).

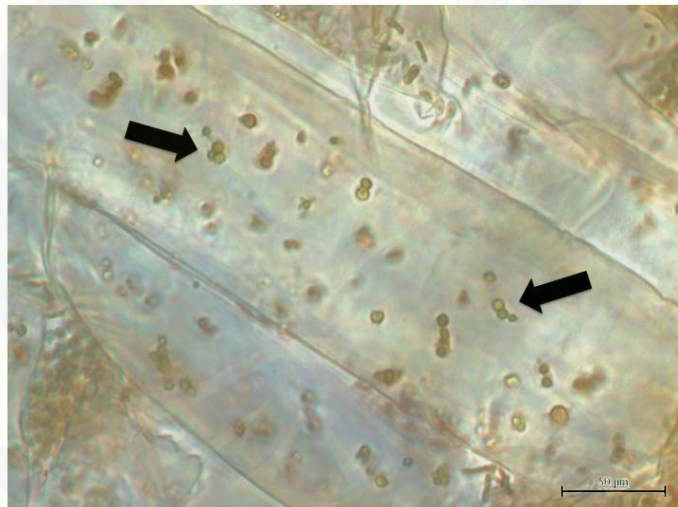
2.3.4 Ekologi Bakteri Endofit

Pada umumnya bakteri endofit mengkolonisasi di dalam sel, ruang antar sel, dan sedikit mengkolonisasi dalam jaringan pembuluh. Pada tanaman nilam, bakteri endofit ditemukan mengkolonisasi di jaringan epidermis, kortek dan jaringan interseluler serta intraseluler akar (Mahaffe *et al.*, 1997). Keberadaannya

terjadi secara alami, dapat berasosiasi dalam jangka waktu yang lama, tetapi bukan berupa organ spesifik dari tanaman (Bacon & Hinton, 2007).

Bakteri endofit dapat berpenetrasi dalam jaringan tanaman secara sistemik dan secara aktif mengkolonisasi dalam jaringan tanaman. Jika tanaman diinfeksi oleh patogen tumbuhan, bakteri endofit bisa berfungsi sebagai agen biokontrol patogen tanaman (Shiomi *et al.*, 2006).

Agensia pengendali hayati di dalam kedudukannya di alam, khususnya di perakaran suatu tanaman, sangat unik karena keterkaitannya dengan eksudat akar. Pada lingkungan tanah, posisi agensia pengendali hayati sebagai penyeimbang antara tanaman dan patogen. Agensia pengendali hayati berperan dalam menekan populasi patogen sehingga berakibat pada perbaikan pertumbuhan tanaman (Soesanto, 2008:17).



Gambar 2.9 Sel-sel akar bibit *Phragmites* mengandung (bakteri endofit: tanda panah). Bakteri endofit menjajah seluruh ruang antara dinding sel dan membrane plasma serta permukaan akar dengan skala 200 μm. Sumber: (White *et al.*, 2015).

Dalam satu tanaman bisa terdapat beberapa spesies bakteri endofit baik gram positif maupun gram negatif (Kobaayashi & Palumbo, 2000). Meskipun bakteri endofit memiliki kisaran inang yang luas, namun ada beberapa bakteri endofit yang hanya dapat berasosiasi dengan inang dari family tertentu. Simbiosis antara bakteri endofit dengan tanaman dapat bersifat mutualisme yaitu bakteri

endofit mendapat nutrisi dan hasil metabolisme tanaman sedangkan tanaman mendapatkan derivat nutrisi dan senyawa aktif yang diperlukan untuk proteksi terhadap patogen (Desriani *et al.*, 2014:89).

2.3.5 Peranan Bakteri Endofit Sebagai Agensia Pengendali Hayati Nematoda Parasit Tanaman

Bakteri endofit termasuk salah satu kelompok mikroba yang memegang peranan penting dalam reaksi ketahanan tanaman terhadap patogen, di antaranya adalah sebagai agen pengendali hayati serta penginduksi pertumbuhan tanaman. Kelompok bakteri endofit ini umumnya berasal dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter* dan *Agrobacterium* (Hidayah dan Yulianti, 2008:23).

Pengaruh agensia pengendali hayati terhadap tanaman adalah dalam hal kemampuannya melindungi tanaman atau mendukung pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, tanaman menyediakan nutrisi bagi pengendali hayati dalam bentuk eksudat akar, yang sangat diperlukan untuk pengadaan dan pertumbuhannya. Adanya hubungan saling pengaruh tersebut sangat penting bagi kelangsungan hidup antagonis (Soesanto, 2008:18).

Pengaruh agensia terhadap patogen sangat jelas, yaitu menekan daya tahan dan pertumbuhan patogen. Penekanan ini akan menyebabkan penurunan populasi patogen di alam, yang disebabkan oleh beberapa mekanisme antagonis, sampai di bawah ambang kerusakan. Sebaliknya pengaruh patogen terhadap antagonis adalah dalam hal daya saingnya untuk memperebutkan nutrisi dan ruang hidup khususnya kemampuan untuk mengkoloni pada tanaman (Soesanto, 2008:18).

Bakteri endofit sebagai agen biokontrol memiliki kelebihan dibandingkan agen biokontrol lainnya karena keberadaannya dalam jaringan tanaman, membuatnya mempunyai kemampuan bertahan terhadap tekanan biotik dan abiotik (Hallmann *et al.*, 1997). Penambahan nitrogen (N_2) secara biologis oleh sejumlah spesies bakteri endofit memiliki keunggulan dibanding bakteri rizosfer, karena keberadaannya di dalam jaringan interseluler tanaman yang tidak mudah hilang, sedangkan nitrogen yang berada bebas di alam sangat bersifat labil, mudah

tercuci air hujan dan erosi, serta mudah menguap ke udara (Susilowati *et al.*, 2007).

Bakteri endofit terbukti memiliki beberapa efek menguntungkan pada tanaman inang mereka. Efek menguntungkan tersebut dapat mencakup: (i) antagonisme langsung atau kompetisi niche dengan patogen; (ii) induksi ketahanan sistemik; dan (iii) meningkatkan toleransi terhadap cekaman biotik. Keberadaan bakteri endofit banyak mendapat perhatian karena potensinya dalam memacu pertumbuhan dan kemampuannya dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan penyakit tanaman (Hallmann.,2001:5).

Bakteri endofit menekan pertumbuhan mikroorganisme pengganggu pada pertumbuhan akar tanaman melalui mekanisme kompetisi. Kompetisi yang terjadi ini akan berkaitan erat dengan kepadatan bakteri, tingkat kolonisasi dan lokasi bakteri dalam kaitannya dengan tempat makan nematoda karena nematoda dan bakteri endofit menempati ruang ekologis yang sama di akar (Kloepper *et al.*, 1999; Sikora *et al.*, 2007).

Induksi ketahanan sistemik (*Induced Systemic Resistance* atau ISR) adalah ketahanan tanaman terinduksi oleh agen biotik non-patogenik seperti, rizobakteria, endofit dan rhizobakteri pendukung pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria* atau PGPR). Mikroorganisme ini mengaktifkan lintasan transduksi sinyal yang melibatkan asam jasmonik dan etilen tanaman untuk mengaktifkan gen-gen ketahanan. Faktor yang dapat memicu ISR adalah senyawa kimia (siderofor, antibiotik, dan ion Fe) yang dihasilkan bakteri dan komponen sel bakteri (dinding sel mikroba, flagella, filii, membran lipopolisakarida) (Van Loon dan Bakker, 2006 dalam Harni, 2014). Siderofor merupakan zat yang memiliki berat molekul rendah, yang dapat terikat erat dengan besi (Fe). Siderofor dihasilkan oleh mikroorganisme sehingga dapat menjamin bahwa mikroorganisme itu dapat memperoleh cukup Fe dari lingkungan tumbuhnya (Juwita, 2010). Antibiotik merupakan senyawa organik metabolit sekunder, yang dihasilkan oleh mikroba, dengan berat molekul yang rendah dan bersifat toksin bagi mikroba lain. Senyawa ini dalam konsentrasi rendah sangat berbahaya bagi pertumbuhan dan keaktifan metabolisme patogen

dan mikroba lain (Soesanto, 2008:111). Akibat dari ISR akan mempengaruhi proses fisiologis di dalam akar, seperti mencegah proses makan nematoda, mencegah terbentuknya *feeding site*, menghambat penetrasi, perkembangan dan reproduksi nematoda. Nematoda tidak berkembang karena nutrisi yang dibutuhkan tidak cocok / tidak tersedia sehingga laju reproduksi nematoda menjadi rendah (Sikora *et al.*, 2007; Trudgill, 1991 dalam Harni, 2014).

Mekanisme bakteri endofit dalam menginduksi ketahanan adalah dengan mengkolonisasi dalam jaringan tanaman sehingga menstimulasi tanaman untuk meningkatkan produksi senyawa metabolit yang berperan dalam ketahanan tanaman (Harni & Ibrahim, 2011). Harni *et al.* (2012) melaporkan bahwa mekanisme kerja bakteri endofit dalam menekan perkembangan *P. brachyurus* pada tanaman nilam adalah menginduksi ketahanan dengan peningkatan asam salisilat, peroksidase dan senyawa fenol dalam jaringan tanaman. Peningkatan senyawa-senyawa tersebut berpengaruh terhadap perkembangan populasi nematoda di dalam akar dan berpengaruh positif terhadap peningkatan berat terna dibanding dengan kontrol (tanaman tanpa endofit).

Induksi ketahanan tanaman terpicu oleh peningkatan asam salisilat dalam tanaman. Peran biosintesis asam salisilat dalam peningkatan mekanisme pertahanan terhadap nematoda parasit dilaporkan oleh Siddiqui & Shaukat (2004) dalam Harni (2014) bahwa *Pseudomonas fluorescens* mendorong induksi ketahanan sistemik terhadap infeksi nematoda puru akar melalui sinyal transduksi independen dari asam salisilat yang terkumulasi di akar.

Enzim peroksidase dibutuhkan oleh tanaman untuk menghasilkan senyawa-senyawa pertahanan seperti lignin, kitin, dan beberapa senyawa penyusun dinding sel (Harni & Ibrahim, 2011). Aktivitas fenol merupakan salah satu mekanisme tanaman untuk menghindari serangan nematoda yang bersifat berpindah. Senyawa ini membuat suatu lingkungan toksik untuk perkembangbiakan nematoda (Harni *et al.*, 2012). Sedangkan fitoaleksin adalah substansi yang berperan sebagai antibiotik dan hanya diproduksi karena adanya patogen pada tanaman (Yudiarti, 2012:65).

Bakteri endofit juga mampu menghasilkan enzim ekstraseluler seperti kitinase, protease dan selulase. Kitinase merupakan enzim yang diproduksi oleh bakteri yang dapat menghidrolisis polisakarida terbesar kedua di alam, yaitu kitin. Kitin merupakan komponen struktural penyusun dinding sel cendawan, eksoskeleton invertebrata dan nematoda (Aachmann *et al.*, 2012 dalam Halimah, 2016). Enzim kitinase yang dihasilkan oleh bakteri antagonis berperan penting untuk mengendalikan patogen telur tanah, karena enzim ini dapat mendegradasi dinding sel patogen (Indarti, 2008).

Enzim protease berperan dalam mendegradasi dinding sel patogen, protease dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk melakukan penetrasi secara aktif ke dalam jaringan tanaman (Indarti, 2008). Enzim protease dapat merusak lapisan terluar dari kutikula nematoda, menghilangkan materi pengisi striasi nematoda, menurunkan mortalitas *T. Dubius* hingga 75% (Miller & Sands, 1997). Lapisan kulit terluar dari nematoda terdiri atas eksoskeleton yang tertutupi oleh selubung permukaan/ *surface coat* atau *glycocalyx* (Bird & Zuckerman, 1989). selubung permukaan ini tersusun atas polisakarida ekstraseluler berupa protein dan karbohidrat (Locke, 1982 dalam Halimah, 2016). Bagian ini dapat hilang karena proses proteolisis (Bird & Zuckerman, 1989).

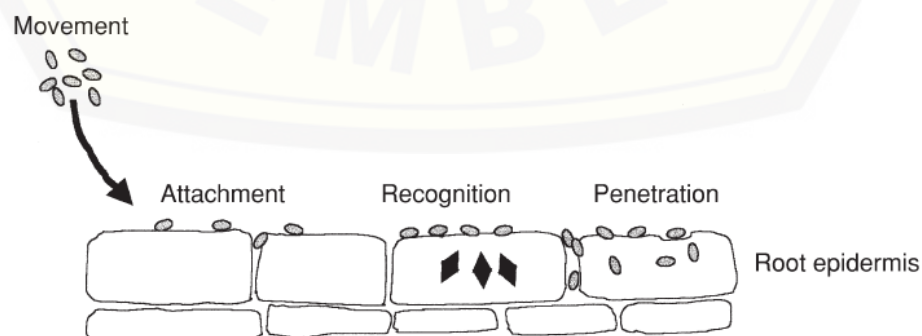
Benhamou *et al.* (1996) melaporkan enzim selulase dan pektinase yang dihasilkan *Pseudomonas fluorescens* dapat digunakan oleh bakteri tersebut untuk mengkolonisasi daerah interseluler jaringan korteks akar, sehingga terjadi penghambatan invasi patogen.

Bakteri endofit juga dapat menghasilkan senyawa-senyawa bioaktif yang dapat berperan sebagai penghasil hormon pertumbuhan dan memacu pertumbuhan melalui peningkatan ketersediaan nutrisi tertentu bagi tanaman seperti nitrogen, fosfat dan mineral lainnya (Bacon & Hinton, 2007). Nitrogen merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah banyak. Penambahan nitrogen oleh bakteri endofit memberikan keuntungan lebih karena bakteri endofit terletak di dalam jaringan tanaman, sehingga hasil penambahan nitrogen tidak mudah lepas. Fosfor merupakan unsur hara makro yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman, namun kandungannya di dalam tanah lebih rendah dari

nitrogen, kalium dan kalsium. Tanaman menyerap fosfor dari tanah dalam bentuk ion fosfat, terutama H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} . Selain bentuk ion, tanaman dapat menyerapnya dalam bentuk asam nukleat, fitin dan fosfohumat (Havlin *et al.*, 1999 dalam Halimah, 2016). Peranan fosfat (P) bagi tanaman antara lain untuk pertumbuhan sel, pembentukan akar halus dan rambut akar, memperkuat tanaman agar tidak rebah, memperbaiki kualitas tanaman, pembentukan bunga, buah, biji serta memperkuat daya tahan terhadap penyakit (Soepardi, 1983).

2.3.6 Proses Infeksi Bakteri Endofit

Interaksi kuat antara tanaman inang dan bakteri endofit sudah muncul sebelum kolonisasi endofit tampaknya menjadi prasyarat signifikan untuk sukses pembentukan asosiasi endofit. Sukses kolonisasi endofit berjalan melalui beberapa tahap penting termasuk temuan tuan rumah (*finding host*), pengenalan (*recognition*), kolonisasi permukaan tanaman dan masuk ke dalam jaringan internal tanaman. Sehubungan dengan fase kolonisasi eksternal dan internal yang khas untuk sebagian besar bakteri endofit, maka hubungan mereka dengan tanaman dapat dibagi lagi menjadi interaksi *precolonization* dan interaksi *postcolonization*. Interaksi *precolonization* mencakup gerakan bakteri terhadap akar, perlekatan bakteri ke permukaan akar, proses pengenalan tanaman-bakteri pada permukaan akar, dan akhirnya bakteri berpenetrasi ke dalam akar. Sedangkan interaksi *postcolonization* akan mempertimbangkan multiplikasi dan lokalisasi bakteri dalam jaringan akar, termasuk potensi menguntungkan bagi tanaman (Hallmann, 2001:94).



Gambar 2.10 Tahapan interaksi *precolonization* antara tanaman inang dan bakteri endofit pada permukaan akar (Hallmann, 2001:95).

a. Pergerakan (*Movement*)

Kemampuan bergerak untuk mengkolonisasi akar merupakan hal penting dari agensia pengendali hayati (Soesanto, 2008:140). Bakteri endofit menemukan host mereka melalui kemotaksis. Eksudat akar yang dikeluarkan oleh tanaman memulai gradient nutrisi yang mengarahkan bakteri endofit ke permukaan akar (Hallmann, 2001:95).

b. Pelekatan (*Attachment*)

Peranan pelekatan mikroba ke sel akar di dalam pengolonian dan di dalam mendukung pertumbuhan tanaman belum seluruhnya di ungkap. Bakteri yang melekat pada dinding sel tanaman mempunyai akses lebih baik terhadap eksudat akar dan lebih mampu memanfaatkan dan menguasai relung daripada organisme pesaing. Hal ini berkaitan erat dengan penyerapan dan pengangkutan di bagian dalam dari senyawa bakteri yang merangsang pertumbuhan tanaman ke seluruh jaringan akar. Pelekatan ini juga memperkuat pertalian tanaman-bakteri, yang akan membuatnya kurang peka terhadap faktor lingkungan yang tidak menguntungkan. Pengikatan sel bakteri juga akan mencegah interaksi antara tanaman dan mikroba penyebab penyakit. Pada umumnya, pertalian bakteri-tanaman menyebabkan pelekatan dan pentak-gerakan sangat dihubungkan dengan pengaruh yang merugikan terhadap inang, misalnya kematian sel inang dan tanggap hipersensitif pada jaringan di dekatnya. Akan tetapi, pengikatan bakteri tidak selalu menghasilkan pengaruh yang merugikan (Soesanto, 2008:140). Dalam interaksi yang tidak kompatibel antara tanaman dan bakteri tanaman (patogen), bakteri yang menempel pada dinding sel akan menyebabkan kerusakan struktural pada membran plasma, mengakibatkan pelepasan elektrolit dan berikutnya menyebabkan kematian sel inang. Namun, dalam interaksi yang kompatibel, pelekatan bakteri ke sel tanaman akan memicu pelepasan zat gizi atau stimulan untuk pertumbuhan bakteri (Hallmann, 2001:95).

c. Pengenalan (*Recognition*)

Ketika bakteri berada pada permukaan tanaman, timbul mekanisme bakteri untuk pengakuan dari host atau mekanisme tanaman yang cocok untuk pengakuan dari endofit yang tepat. Jika *recognition* positif, menunjukkan suksesnya

pembentukan asosiasi tanaman-endofit, yang berpuncak pada respon tanaman seperti hipersensitivitas, ketahanan induksi, akumulasi fitoelektin, deposisi dinding sel dan pembentukan papilla yang mengecualikan bakteri dari pintu masuk ke dalam tanaman. Pentingnya proses pengakuan tersebut sebagai prasyarat untuk masuknya bakteri (Hallmann, 2001:95).

d. Penetrasi (*Penetration*)

Penetrasi adalah masuknya organisme patogen ke dalam tubuh tanaman inang (Yudiarti, 2012:44). Rute masuk utama bagi bakteri endofit adalah bukan alami seperti hidatoda, stomata dan lentisel, luka yang disebabkan oleh abrasi dengan partikel tanah, kerusakan patogen, pembentukan akar lateral, mikropori; dan kerusakan mekanis abiotik. Namun, masuknya bakteri endofit yang pertama dan mungkin paling penting adalah melalui luka dan mikropori pada tahap awal perkembangan akar. Jaringan akar muda biasanya lemah dan tidak berdiferensiasi dan pita kaspari belum terbentuk untuk mencegah bakteri endofit bergerak ke lapisan yang lebih dalam dari jaringan akar. Patogen tanaman juga dapat memfasilitasi pintu masuk bakteri seperti yang telah ditunjukkan untuk nematoda parasit. Peningkatan nematoda berkorelasi positif dengan peningkatan kepadatan populasi total bakteri endofit. Selain menyebabkan luka yang berfungsi sebagai pintu masuk bagi bakteri, nematoda juvenil juga membawa sel bakteri yang menempel pada kutikula mereka (Hallmann, 2001:95).

Setelah penetrasi jaringan tanaman, bakteri endofit harus melakukan perbanyakan dan menjajah jaringan tanaman untuk membangun asosiasi pabrik-endofit yang sukses. Bakteri endofit menjajah bagian khusus dari tanaman secara luas, menjadi penjajah sistemik atau tetap laten dalam jaringan dimana penetrasi terjadi. Dengan demikian, asosiasi bakteri tanaman-endofit dapat netral untuk tanaman atau positif ketika pertumbuhan tanaman dan/atau kesehatan dirangsang (Hallmann, 2001:99).

e. Perbanyakan (*Multiplication*)

Kepadatan populasi endofit umumnya rendah dan jarang melebihi log 3-5 cfu/g jaringan tanaman segar. Peningkatan bakteri endofit untuk mencapai

kepadatan keseimbangan tertentu di dukung oleh ketersediaan nutrisi dalam jaringan (Hallmann, 2001:95).

Pertalian spesies beberapa bakteri terhadap permukaan sel tanaman diperantarai oleh polisakarida permukaan dan eksopolisakarida dari sel bakteri. Selain itu, pengaruh faktor lingkungan dan ketidakstabilan di dalam menyebabkan cepat lambatnya pengolonian akar. Bakteri juga memengaruhi ketersediaan nutrisi, memengaruhi struktur tanah, dan menghasilkan metabolit yang dapat memengaruhi pertalian tanaman, baik yang bersifat menguntungkan atau merugikan (Soesanto,2008:142).

Bakteri pengoloni akar pertama kali di pilih karena kemampuannya mendukung pertumbuhan tanaman, dan selanjutnya karena perannya menghambat mikroflora akar lainnya atau patogen tanaman (Soesanto,2008:142).

f. Lokalisasi (*Localisation*)

Bakteri endofit telah dilaporkan menjajah berbagai bagian tanaman seperti akar, umbi, batang, daun, buah, dan biji. Secara umum, kesuksesan kolonisasi bakteri membutuhkan ketersediaan jaringan tanaman yang secara gratis memasok nutrisi untuk metabolisme bakteri. Sangat sedikit diketahui tentang ruang internal yang tersedia untuk kolonisasi endofit. Bakteri menjajah apoplast pada dasarnya dapat memilih jaringan besar yang menghubungkan ruang interseluler, jaringan pembuluh, dan jaringan parenkim (Hallmann, 2001:103).

2.3.7 Aplikasi Bakteri Endofit

Keefektifan suatu agen biokontrol untuk pengendalian penyakit tumbuhan dapat ditingkatkan melalui aplikasinya (dosis, waktu dan cara) yang tepat. Umumnya aplikasi bakteri endofit dilakukan melalui perlakuan benih, penyiraman ke tanah, penyemprotan suspensi, dan perendaman akar. Keuntungan dari perlakuan tersebut sebelum di tanam merupakan suatu usaha proteksi pada awal pertumbuhan tanaman (Hallmann, 2001).

Aplikasi bakteri endofit melalui *seed treatment* (perlakuan benih) dengan perendaman biji telah dilaporkan oleh beberapa peneliti, di antaranya adalah oleh Harni dan Khaerati (2013) yang melaporkan perlakuan bakteri endofit terhadap

bibit kopi melalui *seed treatment* dapat meningkatkan persentase tumbuh, tinggi tanaman, jumlah daun, dan diameter batang. Sedangkan pengaplikasian bakteri endofit melalui penyiraman ke dalam tanah dilaporkan oleh beberapa beneliti, di antaranya Munif (2001) yang mengaplikasikan bakteri endofit ke dalam tanah pada bibit tomat, bakteri endofit dapat meningkatkan panjang akar tomat dan menekan populasi nematoda puru akar (*Meloidogyne incognita*).

Di samping cara aplikasi, perlakuan bakteri endofit dapat ditingkatkan melalui konsorsium beberapa strain bakteri endofit yang memiliki mekanisme berbeda tetapi saling menunjang (Whipps, 2001). Hal yang perlu diperhatikan dalam mengaplikasikan agens biokontrol secara konsorsium adalah tidak adanya sifat saling menghambat antar agens biokontrol (Whips, 2001). Munif (2001) melaporkan bahwa konsorsium antara *Enterobacter* spp. MK42 dengan *P. putida* MT16 lebih efektif dalam menekan jumlah puru *Meloidogyne incognita* pada tomat dibanding *P. putida* MT16 yang diaplikasikan secara tunggal. Hal ini disebabkan karena masing-masing memiliki mekanisme kerja yang berbeda dan saling menunjang (sinergis) sehingga kemampuan menekan nematoda jauh lebih besar dibandingkan aplikasi secara tunggal, dan ada yang saling menghambat.

2.3.8 Konsorsium Beberapa Strain Agen Biokontrol

Agen biokontrol adalah makhluk hidup yang berperan sebagai penekan perkembangan patogen dengan cara menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen tersebut. Konsep dari penggunaan agens biokontrol didasarkan pada kemampuan agens biokontrol itu untuk berkolonisasi di rizosfer, untuk mendukung perkembangan agens biokontrol, untuk menghasilkan antibiotik dalam jaringan tanaman, dan mencegah atau menghambat perkembangan patogen (Hayward & Hartman, 1994 dalam Handini, 2011).

Kemampuan suatu agen biokontrol dapat ditingkatkan dengan mengkonsorsiumkan 2 atau lebih agen biokontrol dimana aplikasi konsorsium dari dua agen biokontrol mengakibatkan penekanan yang lebih baik (Guetsky *et al.*, 2001). Dua atau lebih jasad yang berbeda ditumbuhkan bersama-sama dalam suatu medium, maka aktivitas metabolismenya secara kualitatif maupun

kuantitatif akan berbeda jika dibandingkan dengan jumlah aktivitas masing-masing jasad yang ditumbuhkan dalam medium yang sama tetapi terpisah. Fenomena ini merupakan hasil interaksi metabolisme atau interaksi dalam penggunaan nutrisi yang dikenal sebagai sinergistik (Sumarsih, 2003).

Persyaratan agar konsorsium 2 agen biokontrol atau lebih dapat bekerja secara optimal yaitu: 1) bekerja pada tempat yang berbeda, misalnya pada rizosfer atau sisa-sisa bahan organik, 2) memiliki mekanisme pengendalian yang berbeda, misalnya kompetisi dan antibiosis, 3) memerlukan substrat yang berbeda, misalnya lender tanaman dan bakteri untuk cendawan dan eksudat akar untuk bakteri kelompok *Pseudomonas*, dan 4) hidup kompatibel dengan lingkungan tanah serta perubahan yang terjadi karena peningkatan cara bercocok tanam (Graham & Mitchell, 1999).

Berdasarkan hal tersebut maka konsep penggunaan agens biokontrol di dasarkan pada kemampuan agen biokontrol itu untuk mengkolonisasi di rizosfer, untuk menghasilkan antibiotik dalam jaringan tanaman, untuk mendukung perkembangan agens biokontrol, dan mencegah atau menghambat perkembangan patogen (Hayward & Hartman, 1994 dalam Handini, 2011).

Konsorsium antar agen biokontrol ada yang bersifat sinergis dan ada yang antagonis. Bakteri yang memiliki sifat saling antagonis tidak dapat dikonsorsiumkan karena adanya kompetisi diantara bakteri tersebut. Kompetisi ruang dan nutrisi dapat terjadi sehingga mempengaruhi penghambatan patogen. Nutrisi yang kurang pada medium tanam akan memperparah kompetisi antar agen biokontrol yang dikonsorsiumkan (Nurbaya *et al.*, 2011).

2.4 Buku Nonteks

Buku adalah karya tulis yang diterbitkan sebagai sumber belajar (Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia, 2008). Buku merupakan sumber belajar yang di buat untuk keperluan umum. Buku cenderung informatif dan lebih menekankan pada sajian materi dengan cakupan yang luas dan umum (Munadi, 2010). Buku pendidikan berdasarkan ruang lingkup kewenangannya di kelompokkan menjadi dua, yaitu buku teks pelajaran dan buku nonteks pelajaran.

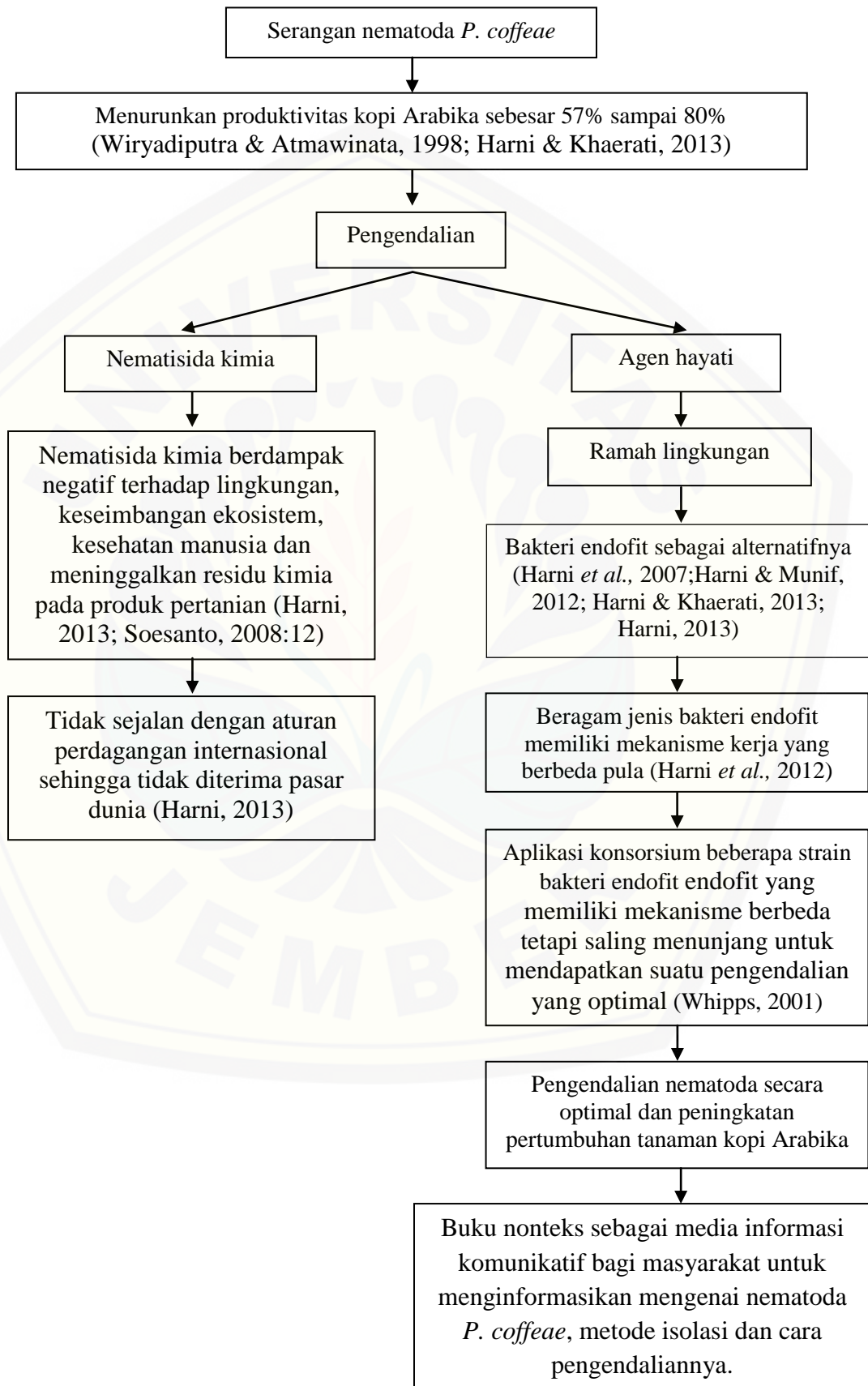
Pengendalian mutu buku pada buku nonteks pelajaran tidak sama dengan buku teks pelajaran, karena buku nonteks pelajaran tidak dinaungi oleh BSNP (Badan Standardisasi Nasional Pendidikan).

Buku nonteks pelajaran berfungsi sebagai bahan pengayaan, panduan pendidik atau referensi dalam kegiatan pendidikan dan pembelajaran. buku pengayaan, referensi dan panduan pendidik. Penyajian buku nonteks menggunakan cara yang longgar, kreatif, inovatif, serta dapat dimanfaatkan pembaca lintas jenjang dan tingkatan kelas atau pembaca umum (Ristekdikti, 2014).

Buku pengayaan di masyarakat sering dikenal dengan istilah buku bacaan atau buku perpustakaan. Buku ini memuat kumpulan bacaan, informasi, atau uraian yang dimaksudkan untuk memperkaya pengetahuan, keterampilan maupun pengembangan kepribadian (misal buku-buku tentang fiksi dan non fiksi). Oleh karena itu, buku nonteks pelajaran diklasifikasikan lagi menjadi tiga, yaitu buku pengayaan pengetahuan, buku pengayaan keterampilan dan buku pengayaan kepribadian (Muslich, 2010:25; Ristekdikti, 2014). Buku pengayaan pengetahuan bisa digunakan oleh masyarakat umum maupun sekolah, akan tetapi buku ini bukan merupakan buku pegangan utama yang digunakan peserta didik dalam kegiatan pembelajaran (Pusat Perbukuan Depdiknas, 2005).

Pusat kurikulum dan perbukuan menjelaskan bahwa pengendalian mutu (standar) buku non teks pelajaran dilakukan dengan tujuan untuk menyediakan buku non teks yang layak untuk meningkatkan mutu pendidikan nasional, meningkatkan mutu sumber daya perbukuan Indonesia, melindungi peserta didik dari buku-buku yang tidak berkualitas, meningkatkan minat dan kegemaran membaca. Kriteria mutu (standar) buku non teks pelajaran meliputi: 1) Kelayakan isi/materi; 2) Kelayakan penyajian; 3) Kelayakan Bahasa; 4) Kelayakan Kegrampilan.

2.5 Kerangka Berpikir



2.6 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. mampu menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.
- b. Inokulan konsorsium bakteri endofit *Bacillus* spp. lebih efektif menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika dibandingkan dengan inokulan tunggal.
- c. Inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. yang paling efektif untuk menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika adalah inokulan konsorsium *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15.
- d. Buku nonteks mengenai nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya layak digunakan sebagai buku bacaan yang menyajikan informasi serta mampu membuka wawasan pengetahuan pembacanya.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental laboratoris dan eksperimental lapang dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Penelitian ini melakukan pengujian terhadap 3 jenis bakteri endofit, yaitu *Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15 baik secara tunggal maupun secara konsorsium untuk mengendalikan nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian aplikasi lapang dilaksanakan di *Green house* milik Dr. Iis Nur Asyiah S.P, M.P. Perum Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa Timur. Tahap persiapan dilakukan di laboratorium mikrobiologi FMIPA (Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam) dan laboratorium parasitologi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan pada 1 Oktober 2016 – 12 Mei 2017.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah isolat bakteri endofit dengan jenis yang berbeda baik diinokulasikan secara tunggal maupun konsorsium. Bakteri endofit tersebut yaitu *Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanah dan akar (populasi total) tanaman kopi Arabika, serta pertumbuhan kopi Arabika yang meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan akar dan berat basah akar.

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Media tanam yang digunakan memiliki komposisi dan jumlah yang sama, yaitu terdiri dari konsorsium tanah, pasir, dan kompos steril dengan perbandingan 1:1:1. Dimana setiap pot di isi media tanam sebanyak 1 kg.
- b. Bibit kopi yang digunakan adalah bibit kopi dengan jenis yang sama dan berusia sama yaitu bibit kopi jenis Arabika yang berumur 3 bulan dan memiliki 4 daun. Benih kopi Arabika di dapatkan dari perkebunan kopi Kalibendo, Banyuwangi, Jawa Timur.
- c. Nematoda *Pratylenchus coffeae* yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sumber dan tempat yang sama, yaitu berasal dari hasil ekstraksi akar kopi Arabika yang terserang nematoda *P. coffeae* dengan metode ekstraksi Baermann dimodifikasi dan akar kopi diambil dari hasil rearing. Metode aplikasi nematoda *P. coffeae* dilakukan dengan penyiraman di sekitar akar tanaman.
- d. Aplikasi bakteri endofit dilakukan dengan metode penyiraman yang dilakukan di sekitar akar tanaman. Jumlah suspensi bakteri endofit diberikan sebanyak 10 ml/perlakuan kecuali pada perlakuan kontrol.
- e. Air penyiraman tanaman kopi yang digunakan berasal dari sumber air yang sama. Penyiraman dilakukan setiap 2 hari sekali untuk menjaga kelembaban tanah.

3.4 Definisi Operasional Variabel

- a. Bakteri endofit adalah bakteri yang hidup mengkolonisasi pada jaringan bagian dalam tanaman, yaitu pada akar, batang, daun maupun biji tanpa menyebabkan gangguan pada tanaman tersebut tapi justru memberikan keuntungan bagi tanaman (Hallmann, 2001). Bakteri endofit diperoleh dari isolasi akar tanaman kopi yang secara morfologi terlihat sehat di antara tanaman kopi yang sakit atau pertumbuhan tanaman yang paling baik dibandingkan dengan tanaman sekitarnya. Bakteri endofit yang diperoleh dari hasil isolasi dan telah dimurnikan kemudian di tanam pada media TSA

(*Trypticase Soy Agar*) miring untuk diremajakan. Tujuan dari peremajaan bakteri adalah untuk memperoleh bakteri yang aktif.

- b Inokulan bakteri endofit tunggal adalah bakteri endofit yang di aplikasikan ke tanaman secara tunggal.
- c Inokulan bakteri endofit konsorsium adalah bakteri endofit yang di aplikasikan ke tanaman secara konsorsium atau beberapa jenis bakteri endofit yang di aplikasikan secara bersama dan telah dilakukan uji antagonisme.
- d Nematoda *P. coffeae* merupakan nematoda endoparasit berpindah dan semua stadiumnya terdapat di dalam jaringan korteks inangnya (Luc *et al.*, 1995).
- e Populasi nematoda *P. coffeae* adalah jumlah nematoda total baik yang masih hidup maupun yang mati, yang dihitung pada sampel akar maupun tanah yang digunakan saat penelitian.
- f Pertumbuhan tanaman kopi di ukur melalui parameter tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan akar, berat basah akar dan jumlah populasi total nematoda *P. coffeae*.

3.5 Desain penelitian

Penelitian ini merupakan percobaan dengan rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari 7 perlakuan, 4 pengulangan dan tiap ulangan terdiri atas 3 sub unit tanaman kopi Arabika. Sehingga diperoleh jumlah sampel percobaan sebanyak $7 \times 4 \times 3 = 84$ tanaman percobaan. Aplikasi bakteri endofit dilakukan ketika usia bibit 1 minggu setelah *transplanting* atau penanaman di dalam pot. 7 perlakuan itu sebagai berikut:

1. Perlakuan 1: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
2. Perlakuan 2: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK14 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
3. Perlakuan 3: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK15 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.

4. Perlakuan 4: inokulasi konsorsium menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
5. Perlakuan 5: inokulasi konsorsium menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
6. Perlakuan 6: kontrol tanpa bakteri endofit + 50 ekor nematoda.
7. Perlakuan 7: kontrol tanpa bakteri endofit dan nematoda.

3.6 Populasi dan Sampel

3.6.1 Populasi

Populasi penelitian ini adalah seluruh tanaman kopi Arabika berumur 3 bulan yang di bibitkan di *Green house* Perum Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa Timur.

3.6.2 Sampel

Sampel penelitian ini adalah 84 tanaman kopi Arabika yang dibibitkan dengan usia 3 bulan dan memiliki 4 daun di *Green house* Perum Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa Timur.

3.7 Alat dan Bahan Penelitian

3.7.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tabung reaksi, cawan petri, beaker glass, gelas ukur, erlenmeyer, pipet tetes, pipet volume, neraca analitik, mikropipet 1000 ml, mikropipet 50 ml, tip kuning, tip biru, inkubator (30°C dan 37°C), ose, jarum N, autoclave, penangas, bak plastik, L glass, pengaduk, bunsen dan korek, laminar air flow, rak tabung reaksi, kulkas, vortex, oven, pot kecil, gunting, blender, botol semprot, saringan 40 mesh (0,358 mm), kain panel atau kain tipis, piring plastik, saringan 325 mesh (0,045 mm), selang plastik diameter 3 mm, alat pemusing (sentrifuse) dengan tabung, stop watch,

ember plastik, mikroskop, cawan penghitung nematoda (*counting disk*), spidol, kertas HVS, camera, *hand counter*.

3.7.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah kopi Arabika umur 3 bulan dengan 4 daun, nematoda *P. coffeae*, bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, *Bacillus* sp. SK15, media tanam steril dengan komposisi pasir: tanah: pupuk = 1:1:1, aquades, medium *Trypticase Soy Agar* (TSA), medium *Trypticase Soy Broth* (TSB), agar, Alkohol 70%, spirtus, air, bubuk kaolin, larutan gula BJ = 1,18, kertas label, karet gelang, plastik sil, *aluminium foil*, kapas, tissue, kertas kayu.

3.8 Prosedur Penelitian

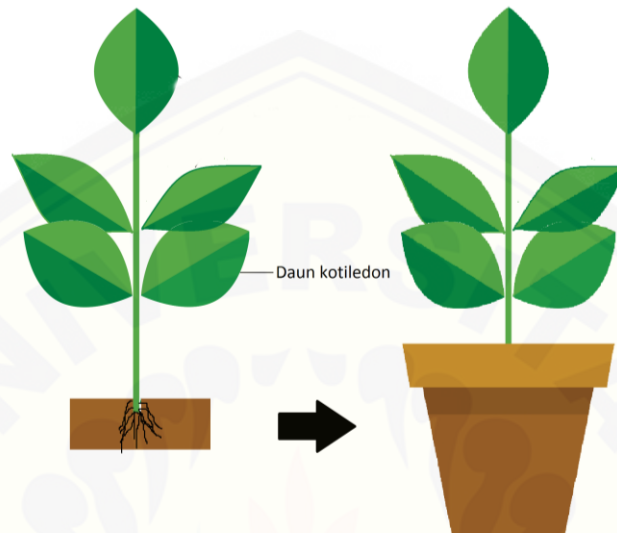
3.8.1 Tahap Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan untuk penyemaian benih adalah berupa tanah, pasir, dan kompos dengan perbandingan 1:1:1. Media tanam yang digunakan telah diayak sehingga didapatkan tanah, pasir dan kompos yang halus. Penggunaan media tanam halus bertujuan agar mempermudah pengambilan nutrisi bibit kopi yang akan tumbuh. Campuran tanah dan kompos kemudian disterilisasi menggunakan autoclave pada suhu 121°C dengan tekanan 2 atm selama 2 jam. Tujuan sterilisasi adalah untuk menghindari adanya kontaminasi dari nematoda, bakteri maupun organisme lain dalam tanah yang akan dijadikan media tanam sehingga tidak mengganggu akurasi perlakuan yang diberikan.

3.8.2 Tahap Penyemaian Benih Kopi Arabika

Penyemaian benih kopi Arabika dilaksanakan di *Green house* Perum Istana Tidar B1/1 Jember, Jawa Timur. Penyemaian benih kopi Arabika dilakukan dengan mengupas bagian kulit biji kopi yang keras kemudian merendamnya dengan air selama ± 24 jam. Setelah direndam selama ± 24 jam, benih di tanam pada media tanah steril. Penyemaian dilakukan pada bak plastik besar hingga berumur 3 bulan dan muncul 4 daun. Penyemaian dilakukan untuk mendapatkan

bibit kopi yang seragam. Setelah bibit kopi berusia 3 bulan dan memiliki 4 daun, dipindahkan ke dalam pot plastik berdiameter 15,3 cm dan di isi media tanam steril yang telah dipersiapkan.



Gambar 3.1 Tanaman Kopi berusia 3 bulan dan memiliki 4 daun dipindahkan dari media penyemaian ke media tanah steril di pot.

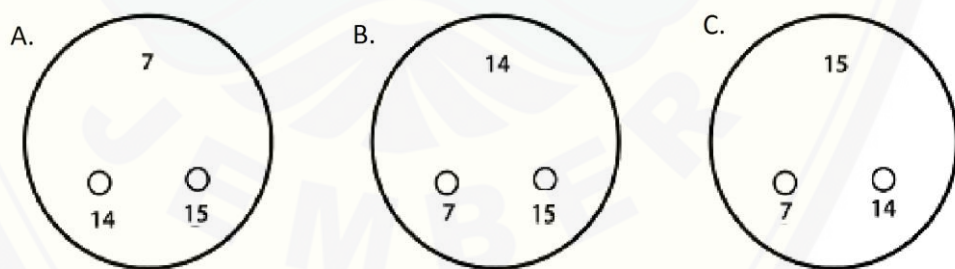
3.8.3 Tahap Persiapan Suspensi Bakteri Endofit

a. Uji Antagonis Bakteri Endofit

Uji antagonis dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi FMIPA. Uji antagonis dilakukan terhadap bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15. Uji antagonis dilakukan menggunakan metode *double layer* (Lisboa *et al.*, 2006). Metode ini memiliki kelebihan yaitu memungkinkan senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh bakteri endofit dapat berfusi dengan baik dengan media TSA (*Trypticase Soy Agar*) semi padat sehingga zona bening yang dihasilkan terlihat jelas. Zona bening merupakan bagian media yang tidak dapat ditumbuhi bakteri uji karena adanya difusi senyawa antimikroba yang dihasilkan oleh bakteri. Bakteri yang tidak saling antagonis dapat dikonsorsium. Berikut adalah tahap-tahap uji antagonis yang dilakukan :

1. Menuang medium TSA ke dalam cawan petri steril masing-masing 10 ml dan menunggu hingga memadat.

2. Menginokulasikan kultur cair bakteri uji (*Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15) sebanyak 500 µl ke dalam 50 ml TSA (*Trypticase Soy Agar*) semipadat kemudian menuang pada permukaan cawan yang telah berisi TSA (*Trypticase Soy Agar*) padat masing-masing sebanyak 10 ml.
3. Setelah permukaan *double layer* memadat, isolat bakteri endofit (*Bacillus* sp. SK7, *Bacillus* sp. SK14, dan *Bacillus* sp. SK15) dari medium TSA (*Trypticase Soy Agar*) miring yang berumur dua hari ditusukkan menggunakan jarum N steril untuk selanjutnya diinkubasikan pada suhu 30°C. Perlakuan yang diberikan adalah sebagai berikut :
 - a) Bakteri *Bacillus* sp. SK7 → di tusuk bakteri *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15.
 - b) Bakteri *Bacillus* sp. SK14 → di tusuk bakteri *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK15.
 - c) Bakteri *Bacillus* sp. SK15 → di tusuk bakteri *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14.
4. Pengamatan zona bening dilakukan setiap hari selama 2 hari.
5. Isolat yang membentuk zona bening tidak digunakan untuk uji konsorsium.



Gambar 3.2 Skema perlakuan uji antagonis, A) Bakteri *Bacillus* sp. SK7 ditotol bakteri *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15; B) Bakteri *Bacillus* sp. SK14 ditotol bakteri *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK15; C) Bakteri *Bacillus* sp. SK15 ditotol bakteri *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14

b. Uji Kerapatan Bakteri (Cfu/ml)

Beberapa tahap yang dijalani sehingga diperoleh suspensi bakteri dengan kerapatan 10^9 cfu/ml, yaitu peremajaan bakteri dan pengenceran. Bakteri diremajakan dengan medium TSA (*Trypticase Soy Agar*) miring. Peremajaan bertujuan untuk menjaga agar bakteri tidak rusak, karena kerusakan bakteri akan mempengaruhi produksi senyawa metabolit yang dihasilkannya sehingga akan mempengaruhi percobaan yang dilakukan. Setelah dilakukan peremajaan, kemudian dilakukan pengenceran bakteri hingga diperoleh kerapatan 10^9 cfu/ml. Berikut ini adalah tahap-tahap yang dilakukan :

1. Tahap Peremajaan bakteri murni, langkah yang dilakukan adalah dengan menyiapkan medium TSA (*Trypticase Soy Agar*) miring pada tabung reaksi, kemudian menginokulasikan isolat bakteri dengan metode streak. Menginkubasi isolat bakteri pada suhu 37°C selama 48 jam.
2. Tahap pengenceran bakteri dilakukan hingga diperoleh kerapatan 10^9 cfu/ml. Langkah yang dilakukan adalah menjentikkan bakteri endofit murni usia 48 jam dengan menggunakan ose steril ke dalam 100 ml medium TSB yang berada di dalam erlenmeyer. *Shaker* medium TSB yang telah diinokulasi bakteri endofit selama 48 jam dengan kecepatan 100 rpm. Selanjutnya proses pengenceran dilakukan dengan cara mengambil 1 ml suspensi bakteri yang telah di *shaker* selama 48 jam dan dimasukkan ke dalam 9 ml aquades steril (pengenceran 10^{-1}). Dari pengenceran 10^{-1} dilakukan pengambilan 1 ml dan dituangkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml aquades steril berbeda yang telah dipersiapkan (pengenceran 10^{-2}). Kegiatan pengambilan tersebut dilakukan hingga pengenceran 10^{-8} . Setelah pengenceran selesai, hasil dari pengenceran 10^{-5} sampai 10^{-8} diambil 50 μm dengan mikropipet untuk kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang telah berisi medium TSA (*Trypticase Soy Agar*) 10 ml dengan menggunakan teknik *spread plate* dan diratakan dengan *L glass*. Hasil biakan pada cawan petri di inkubasi selama 24 jam. Pengamatan dilakukan dengan menghitung jumlah koloni bakteri yang tumbuh. Indikator bahwa

bakteri dapat digunakan dalam uji apabila koloni bakteri antara 30-300 koloni bakteri dengan kerapatan 10^9 cfu/ml.

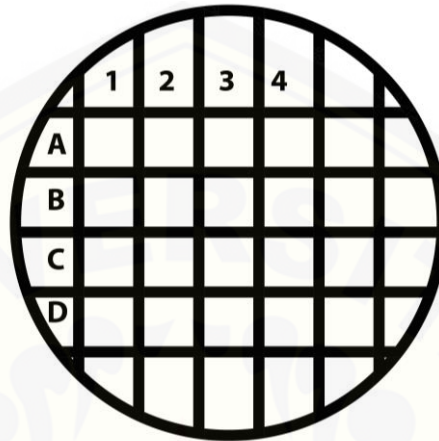
$$\sum \text{sel} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{\text{faktor pengenceran}}$$

3.8.4 Tahap Persiapan Nematoda *P. coffeae*

Tahap persiapan nematoda dilakukan dengan cara ekstraksi dari akar tanaman kopi yang terinfeksi nematoda *P. coffeae* yang diambil dari hasil rearing. Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan metode Baermann dimodifikasi. Langkah yang dilakukan dalam ekstraksi nematoda *P. coffeae* adalah sebagai berikut:

- a. Memisahkan akar tanaman kopi Arabika yang terserang nematoda *P. coffeae* dari sisa-sisa tanah dan kotoran lain yang melekat, kemudian mencuci dengan air hingga bersih.
- b. Mengering anginkan contoh akar yang telah dibersihkan.
- c. Memotong akar $\pm 0,5$ cm menggunakan gunting.
- d. Memasukkan potongan akar ke dalam *beaker glass* dan kemudian menambahkan air sebanyak ± 100 ml.
- e. Memasukkan potongan akar yang telah dicampur air (no. d) ke dalam blender dan dihaluskan sebanyak 1 kali selama 15 detik.
- f. Menyaring hasil penghalusan (no. e) dengan menggunakan saringan 40 mesh (0.358 mm) yang telah dipasang kain panel atau kain tipis.
- g. Meletakkan saringan 40 mesh (0.358 mm) diatas piring alumunium. Kemudian mengisi air sebanyak ± 100 ml dan mengendapkannya selama 24 jam.
- h. Menyaring air endapan dengan saringan 325 mesh (0,045 mm), kemudian mengendapkan hasil saringan selama 1 jam.
- i. Mengurangi volume (ditap) dengan selang plastik sampai ± 100 ml.
- j. Mengamati air saringan yang sudah di tap hingga volume 100 ml di bawah mikroskop kemudian menghitung jumlah nematoda dibawah mikroskop. Perhitungan dilakukan secara manual dengan menghitung setiap nematoda *P. coffeae* yang ada pada kotak-kotak cawan perhitungan (*counting disk*)

dengan bantuan *hand counter*. Karena tujuannya adalah untuk aplikasi maka nematoda yang di hitung hanya nematoda yang hidup. Setiap 50 ekor nematoda yang telah terhitung dimasukkan ke dalam botol kaca yang telah disiapkan untuk di aplikasikan ke tanaman.



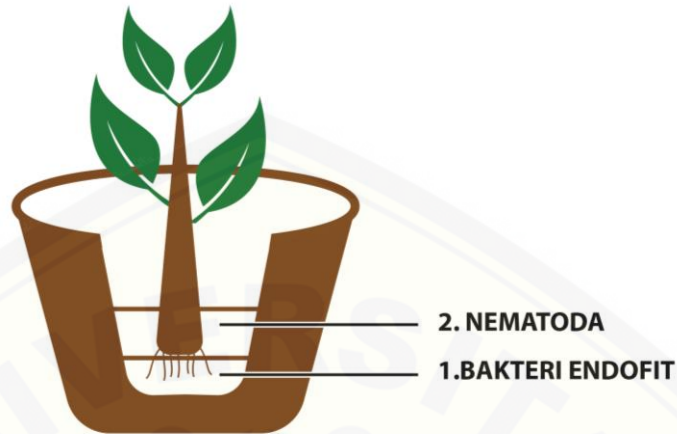
Gambar 3.3 Skema cawan penghitung (*Counting disk*), terdiri dari 4 kolom ke bawah (1-4) dan 4 baris ke samping (A-D) untuk memudahkan dalam perhitungan populasi nematoda.

3.8.5 Tahap Aplikasi Lapang

Metode aplikasi lapang merupakan modifikasi dari metode Harni dan Khaerati (2013). Berikut ini adalah tahap-tahap aplikasi lapang yang dilakukan:

- a. Penanaman bibit kopi Arabika hasil semaian dilakukan pada pot plastik berdiameter 15,3 cm yang telah di isi media tanam steril sebanyak 1 kg/pot. Penanaman bibit kopi dilakukan setelah tanaman kopi berumur 3 bulan atau tanaman kopi berdaun empat. Inokulasi bakteri endofit dilakukan 1 minggu setelah tanaman kopi Arabika di pindah ke pot. Aplikasi dilakukan dengan cara menyiramkan 10 ml suspensi bakteri endofit *Bacillus* sp. sesuai perlakuan yang diberikan di sekeliling akar tanaman kopi. Untuk perlakuan tunggal setiap bibit disiram sebanyak 10 ml suspensi bakteri endofit dan untuk perlakuan konsorsium disiram sebanyak 5 ml dari 2 suspensi bakteri yang dikonsorsiumkan (total 10 ml/perlakuan). Satu minggu setelah perlakuan bakteri endofit, tanaman diinokulasi dengan nematoda. Inokulasi

nematoda dilakukan dengan cara menuangkan suspensi nematoda di sekeliling tanaman. Populasi nematoda per tanaman adalah 50 ekor.



Gambar 3.4 Skema penempatan inokulasi bakteri endofit dan nematoda dalam pot. (1) Aplikasi bakteri endofit 1 minggu setelah tanaman dipindahkan ke pot; (2) Aplikasi nematoda 1 minggu setelah aplikasi bakteri endofit.

- b. Pengujian dilakukan pada tanaman kopi dengan 7 perlakuan dimana masing-masing perlakuan dilakukan 4 pengulangan. Berikut ini adalah perlakuan yang dilakukan, yaitu :
1. Perlakuan 1: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
 2. Perlakuan 2: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK14 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
 3. Perlakuan 3: inokulasi tunggal menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK15 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
 4. Perlakuan 4: inokulasi konsorsium menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK7 dan *Bacillus* sp. SK14 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
 5. Perlakuan 5: inokulasi konsorsium menggunakan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK14 dan *Bacillus* sp. SK15 dengan kerapatan 10^9 cfu/ml + 50 ekor nematoda.
 6. Perlakuan 6: kontrol tanpa bakteri endofit + 50 ekor nematoda.
 7. Perlakuan 7: kontrol tanpa bakteri endofit dan nematoda.

- c. Pengamatan pertumbuhan kopi Arabika dilakukan setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan dengan pengambilan data pertumbuhan tanaman yaitu tinggi tanaman dan jumlah daun.
- d. Pada akhir percobaan, dilakukan pengamatan terhadap berat basah tajuk, berat kering tajuk, skor kerusakan akar, berat basah akar, populasi total nematoda *P. coffeae* pada tanah dan akar.

3.9 Parameter Penelitian

Pengukuran parameter penelitian dilakukan terhadap tanaman kopi Arabika setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan dimulai sejak awal pemberian perlakuan dan pengamatan pada akhir percobaan atau ketika tanaman berusia 4 bulan, yaitu sebagai berikut:

3.9.1 Berat Basah Akar

Berat basah akar ditimbang pada akhir penelitian yaitu setelah 4 bulan masa perlakuan. Penimbangan berat basah akar dilakukan sebelum kadar air dalam tanaman banyak berkurang. Bagian akar yang ditimbang yaitu bagian pangkal akar tanaman hingga bagian ujung akar kopi Arabika. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik.

3.9.2 Berat Basah Tajuk

Berat basah tajuk ditimbang pada akhir penelitian yaitu setelah 4 bulan masa perlakuan. Penimbangan berat basah tajuk dilakukan sebelum kadar air dalam tanaman banyak berkurang. Bagian tajuk yang ditimbang yaitu bagian pangkal batang tanaman hingga bagian ujung tajuk tanaman kopi Arabika. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik. Penimbangan dilakukan di laboratorium Biologi FKIP Biologi Universitas Jember.

3.9.3 Berat Kering Tajuk

Berat kering tajuk ditimbang pada akhir penelitian yaitu setelah 4 bulan masa perlakuan, tepatnya dilakukan setelah pengukuran berat basah. Pengukuran

berat kering dilakukan setelah tajuk tanaman kopi Arabika di oven dengan temperatur 60°C hingga berat tanaman konstan. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan analitik.

3.9.4 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan perlakuan. Pengukuran dimulai dari pangkal batang sampai ujung tanaman yang baru tumbuh. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan bantuan alat ukur berupa penggaris. Pengambilan data ini digunakan untuk mengetahui selisih pertumbuhan tanaman kopi yaitu dengan mengetahui perubahan tinggi tanaman seiring bertambahnya umur tanaman.

3.9.5 Jumlah Daun

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan setiap 2 minggu sekali selama 4 bulan perlakuan. Perhitungan jumlah daun dilakukan terhadap keseluruhan daun yang muncul kecuali daun yang masih kuncup atau belum terbuka sempurna tidak dihitung. Pengamatan terhadap jumlah daun ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh inokulan bakteri endofit baik secara tunggal maupun konsorsium terhadap pertumbuhan tanaman.

3.9.6 Skor Kerusakan Akar

Skor kerusakan akar dalam penelitian ini dilakukan di akhir penelitian, yaitu setelah 4 bulan masa perlakuan. Pengukuran kerusakan akar dapat dilakukan dengan penyekoran sebagai berikut :

- a. Stadium 1 = <25% luka nekrosis akar,
- b. Stadium 2 = ± 25% luka nekrosis akar,
- c. Stadium 3 = 25-50% luka nekrosis akar,
- d. Stadium 4 = 50-75% luka nekrosis akar,
- e. Stadium 5 = tanaman/bibit mati dengan 100% luka nekrosis akar.

3.9.7 Jumlah Populasi Nematoda *P. Coffeae* pada Tanah dan Akar

Populasi nematoda *P. coffeae* dihitung pada saat akhir penelitian atau setelah 4 bulan masa perlakuan. Perhitungan populasi nematoda *P. coffeae* dilakukan dengan menggunakan metode sentrifuse. Cara ekstraksi nematoda pada akar adalah sebagai berikut :

- a. Setelah panen, akar dipisahkan dari sisa-sisa tanah dan kotoran lain yang melekat, kemudian dicuci dengan air hingga bersih.
- b. Akar yang telah dibersihkan dikering-anginkan.
- c. Akar dipotong-potong $\pm 0,5$ cm menggunakan gunting pangkas tanaman.
- d. Potongan akar dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan air sebanyak ± 100 ml. kemudian dimasukkan ke dalam blender dan dihaluskan sebanyak 2 kali, masing-masing dilakukan selama 15 detik.
- e. Hasil penghalusan (no. d) disaring dengan menggunakan saringan 40 mesh (0.358 mm) yang diletakkan diatas piringan plastik.
- f. Hasil saringan dituangkan ke dalam *beaker glass* dan diendapkan selama 1 jam.
- g. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai volume ± 100 ml.
- h. Hasil pengurangan volume dimasukkan ke dalam tabung sentrifuse yang telah berisi bubuk kaolin sebanyak 1 sendok teh (± 10 gr) dan diaduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- i. Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit.
- j. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu air pada lapisan atas dibuang, sedangkan endapan kaolin pada lapisan bawahnya di proses lanjut.
- k. Larutan gula dengan berat $1,18 \text{ gr/cm}^3$ dituangkan ke dalam tabung sentrifuse setinggi endapan kaolin yang terbentuk, kemudian diaduk hingga merata. Ketinggian larutan harus sama sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- l. Alat sentrifuse diputar selama 3 menit dengan kecepatan 4000 rpm.
- m. Hasil sentrifuse menghasilkan 2 lapisan, yaitu lapisan gula dan lapisan kaolin. Lapisan gula diproses lebih lanjut dengan dituangkan ke dalam

beaker glass yang berisi ± 500 ml air kemudian disaring dengan menggunakan saringan 325 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam.

- n. Pengurangan volume dengan selang plastik hingga volume ± 100 ml.
- o. Hasilnya diamati di bawah mikroskop dengan menggunakan *counting disk* untuk dihitung populasinya.

Cara ekstraksi nematoda dari tanah tidak begitu berbeda dari ekstraksi akar, caranya adalah sebagai berikut :

- a. Contoh tanah hasil panen diambil sebanyak 100 gr per pot.
- b. Contoh tanah dituangkan ke dalam saringan 1 mm yang sudah diletakkan di atas piring plastik, kemudian ditambah air sebanyak 100 ml dan dihancurkan dengan jari tangan.
- c. Saringan diangkat, kotoran yang melekat disemprot dengan air dari botol semprot.
- d. Hasil saringan dituangkan ke dalam *beaker glass* sampai volume ± 500 ml.
- e. Larutan larutan tanah di dalam beaker diaduk dan diendapkan selama 30 detik, hasilnya dituangkan ke dalam *beaker glass* lain. Proses ini dilakukan sebanyak 3 kali.
- f. Larutan tanah pada proses no. e disaring dengan saringan 325 mesh (0,045 mm) dan hasilnya dituangkan ke dalam *beaker glass*, kemudian diendapkan selama 1 jam.
- g. Pengurangan volume (di tap) dengan selang plastik sampai volume 100 ml.
- h. Hasil pengurangan volume dimasukkan ke dalam tabung sentrifuse. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- i. Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit.
- j. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu air pada lapisan atas dibuang, sedangkan endapan tanah pada lapisan bawahnya di proses lanjut.
- k. Larutan gula dengan berat $1,18 \text{ gr/cm}^3$ dituangkan ke dalam tabung sentrifuse setinggi endapan tanah yang terbentuk, kemudian diaduk hingga

merata. Ketinggian larutan harus sama sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.

- l. Alat sentrifuse diputar selama 3 menit dengan kecepatan 4000 rpm.
- m. Hasil sentrifuse menghasilkan 2 lapisan yaitu larutan gula pada lapisan atas di proses lebih lanjut sedang endapan tanah pada lapisan bawah dibuang.
- n. Lapisan gula yang terdapat pada bagian atas dituangkan ke dalam *beaker glass* yang berisi ± 500 ml air kemudian disaring dengan menggunakan 2 saringan 325 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam.
- o. Pengurangan volume dengan selang plastik hingga volume ± 100 ml.
- p. Hasilnya diamati di bawah mikroskop untuk dihitung populasinya.

Cara menghitung populasi nematoda *P. coffeae* adalah sebagai berikut :

- a. Suspensi nematoda yang diperoleh dari hasil ekstraksi dituangkan kedalam beaker gelas, volumenya dijadikan 100 ml (di tap).
- b. Suspensi nematoda diaduk sampai merata dengan cara dihisap dengan menggunakan pipet kemudian disemprotkan kembali sebanyak 3 kali.
- c. Suspensi nematoda diambil sebanyak 10 ml dengan menggunakan pipet diletakkan di dalam cawan penghitung (*counting disk*).
- d. Melakukan perhitungan populasi nematoda di bawah mikroskop binokuler dengan mengurutkan sesuai jalur yang ada pada cawan penghitung sesuai angka yang tertera pada cawan hitung. Perhitungan dilakukan sebanyak tiga kali. Suspensi nematoda yang telah selesai dihitung dikembalikan kembali lagi ke dalam beaker gelas. Setiap akan dilakukan pengambilan suspensi nematoda 10 ml, dilakukan pengadukan sampai merata.
- e. Perhitungan populasi per 100 ml contoh tanah dan akar 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/ 10 ml

3.10 Teknik Penyusunan Buku Nonteks

Penyusunan buku nonteks dengan menggunakan model 4-D yang dimodifikasi. Tahap 4-D meliputi pendefinisian (*define*), perancangan (*design*), pengembangan (*develop*) dan penyebaran (*disseminate*). Pada penelitian ini dilakukan modifikasi sehingga hanya dilakukan sampai tahap pengembangan (*develop*) yaitu hanya sampai pada uji validasi oleh validator.

Validasi dilakukan oleh 2 validator ahli dari dosen dalam bidang pendidikan/media dan dalam bidang nematoda. Uji validasi dilakukan dengan memberikan angket penilaian pada 2 validator ahli. Angket penilaian yang diberikan disesuaikan dengan bidang yang berkaitan dengan keahlian validator.

Komponen penilaian yang akan dinilai oleh validator terhadap buku nonteks yang dihasilkan adalah komponen kelayakan isi dan komponen kelayakan penyajian. Angket untuk validator materi, komponen kelayakan isi meliputi cakupan materi, akurasi materi dan kemutahiran materi, sedangkan komponen kelayakan penyajian meliputi teknik penyajian dan pendukung penyajian materi. Angket untuk validator media, komponen kelayakan isi meliputi artistik dan estetika, serta fungsi keseluruhan. Komponen kelayakan penyajian meliputi teknik penyajian dan pendukung penyajian materi.

3.11 Analisa Data

3.11.1 Analisis Data Penelitian

Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji ANOVA dengan taraf signifikansi 95% ($p < 5\%$). Digunakan uji ANOVA karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan inokulan bakteri endofit *Bacillus* spp. dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan pertumbuhan kopi Arabika. Jika terdapat pengaruh yang signifikan atau terdapat beda nyata maka akan dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%, sedangkan jika tidak berpengaruh signifikan atau tidak terdapat beda nyata maka tidak dilanjutkan uji Duncan.

3.11.2 Analisis Validasi Buku Nonteks

Analisis validasi digunakan untuk mengetahui kelayakan buku nonteks untuk digunakan sebagai buku bacaan yang diperuntukkan bagi pelajar ataupun masyarakat umum untuk memperkaya pengetahuan. Analisis data yang diperoleh dari validator bersifat deskriptif. Validator menilai media berdasarkan kriteria yang telah diberikan. Deskripsi penilaian produk buku nonteks dari masing-masing validator dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Deskripsi skor penilaian produk buku nonteks

Kategori	Skor	Skor Maksimum	
		Ahli materi	Ahli media
Tidak valid/kurang	1	1 x 15*) = 15	1 x 15*) = 15
Kurang valid/cukup	2	2 x 15*) = 30	2 x 15*) = 30
Valid/baik	3	3 x 15*) = 45	3 x 15*) = 45
Sangat valid/sangatbaik	4	4 x 15*) = 60	4 x 15*) = 60

*)merupakan jumlah item pada lembar validasi penilaian buku nonteks (Lampiran F).

Kelayakan buku nonteks sebagai buku bacaan masyarakat diketahui dengan mengkonversikan skor yang diperoleh ke dalam bentuk interval sebagai berikut:

$$\text{Presentase skor (P)} = \frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{Skor maksimal}} \times 100\%$$

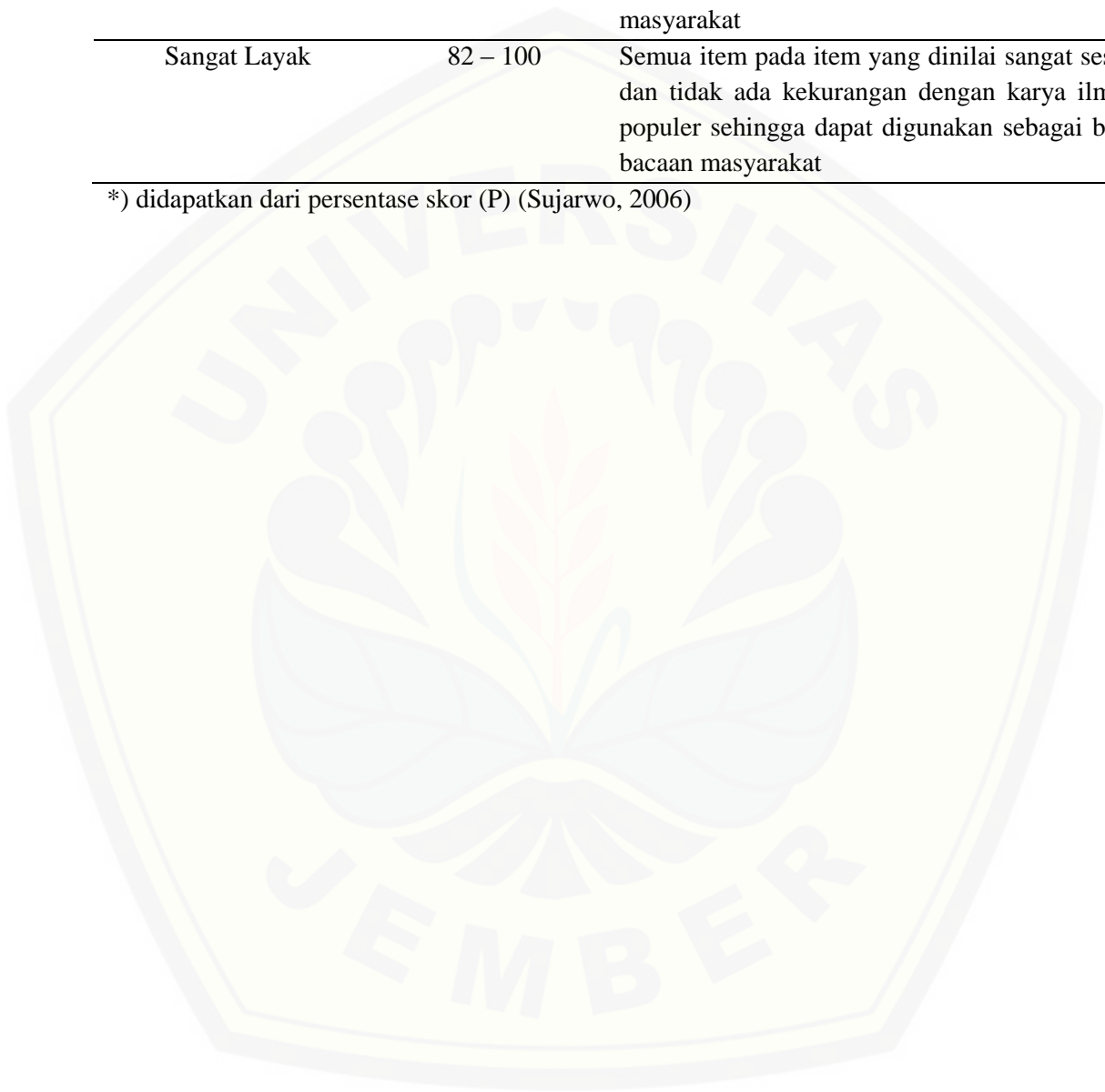
Hasil perhitungan persentase skor yang diperoleh diubah menjadi data kuantitatif deskriptif yang menggunakan kriteria validitasi yang termuat pada table 3.2.

Tabel 3.2 Kualifikasi kelayakan buku nonteks

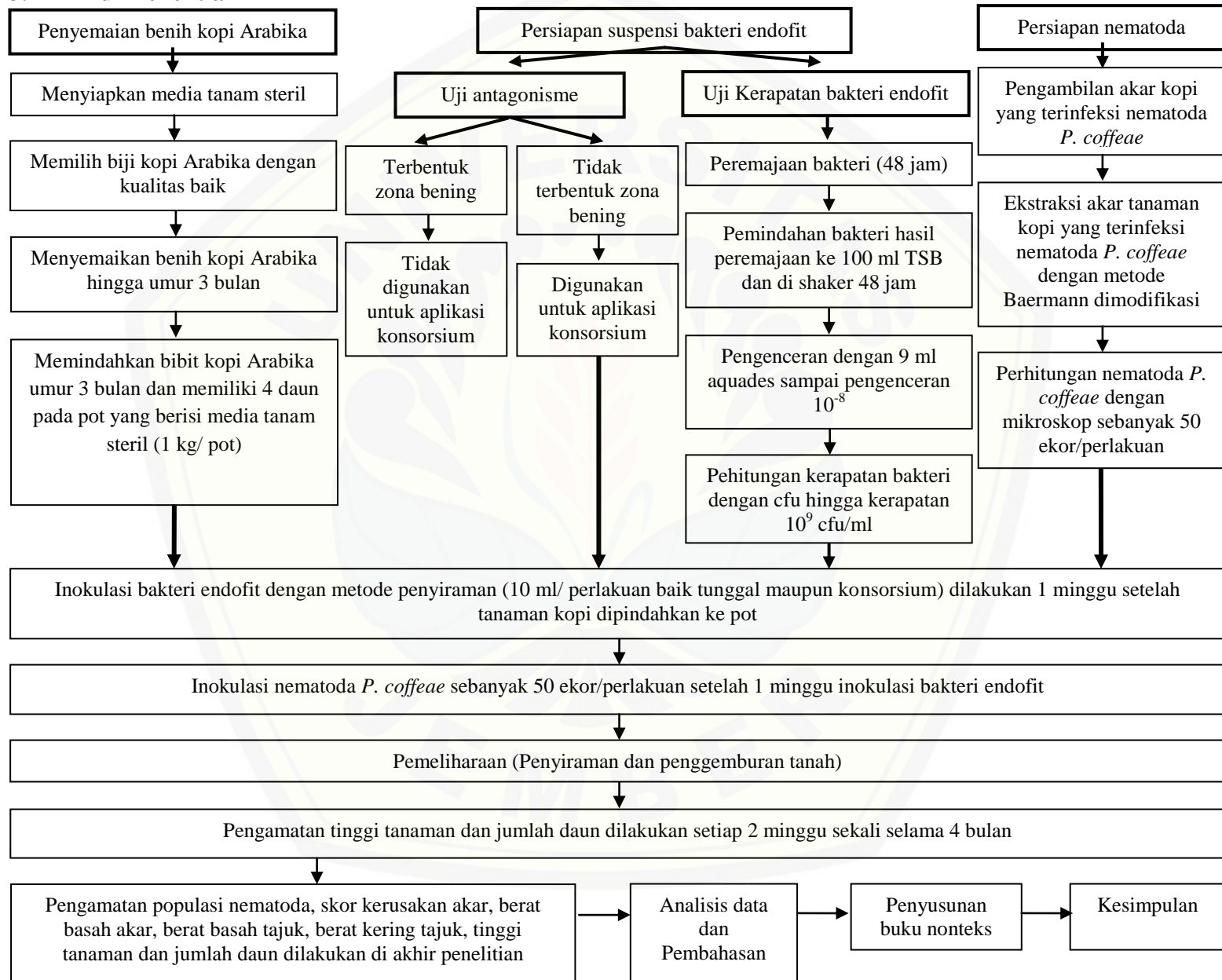
Kualifikasi	Skor* (%)	Keputusan
Kurang Layak	25 – 43	Masing-masing item pada unsur yang dinilai tidak sesuai dan ada kekurangan dengan produk ini sehingga sangat dibutuhkan pembenaran agar dapat digunakan sebagai buku bacaan masyarakat
Cukup Layak	44 – 62	Semua item pada unsur yang dinilai kurang sesuai dan ada sedikit kekurangan dan atau banyak dengan produk ini dan perlu pembenaran agar dapat digunakan sebagai buku bacaan masyarakat

Kualifikasi	Skor* (%)	Keputusan
Layak	63 – 81	Semua item pada unsur yang dinilai sesuai, meskipun ada sedikit kekurangan dan perlu pembenaran dengan produk ini, namun tetap dapat digunakan sebagai buku bacaan masyarakat
Sangat Layak	82 – 100	Semua item pada item yang dinilai sangat sesuai dan tidak ada kekurangan dengan karya ilmiah populer sehingga dapat digunakan sebagai buku bacaan masyarakat

*) didapatkan dari persentase skor (P) (Sujarwo, 2006)



3.12 Alur Penelitian



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh inoculan bakteri endofit *Bacillus* spp. tunggal dan konsorsium terhadap populasi nematoda *Pratylenchus coffeae* dan pertumbuhan kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dan pemanfaatannya sebagai buku non teks, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Bakteri endofit *Bacillus* spp. secara signifikan ($p=0,000$) mampu menekan populasi nematoda *P. coffeae*. Penurunan populasi nematoda *P. coffeae* berkisar antara 6,02%-37,95% dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Bakteri endofit *Bacillus* spp. juga mampu meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika. Namun, penurunan populasi nematoda tidak selalu sejalan dengan kenaikan pertumbuhan tanaman. Pada parameter pertumbuhan tanaman yang diamati, parameter berat basah akar, berat basah tajuk dan berat kering tajuk menunjukkan pengaruh yang signifikan, namun parameter tinggi tanaman dan jumlah daun tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan.
- b. Bakteri endofit *Bacillus* spp. yang diinokulasikan secara tunggal pada perlakuan t3 (dengan bakteri endofit *Bacillus* sp. SK15) menunjukkan pengaruh yang lebih baik daripada inoculasi secara konsorsium. Namun, tidak semua perlakuan tunggal menunjukkan pengaruh yang lebih baik dibandingkan perlakuan konsorsium, tergantung pada kemampuan setiap isolat bakteri endofit yang dimiliki dalam menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika. Jika dilihat dari rerata jumlah penekanan populasi nematoda pada perlakuan tunggal dan konsorsium, diketahui bahwa pada perlakuan konsorsium menunjukkan rerata penekanan terhadap populasi nematoda *P. coffea* yang lebih tinggi yaitu sebesar 22,48% dibandingkan pada perlakuan tunggal dengan rerata persentase penekanan terhadap populasi nematoda *P. coffeae* sebesar

- 19,78%. Pada pertumbuhan tanaman, perlakuan tunggal menunjukkan pengaruh lebih baik daripada perlakuan konsorsium dengan rerata berat basah akar, berat basah tajuk dan berat kering tajuk sebesar 10,6 g, 1,58 g dan 0,52 g, dibandingkan perlakuan tunggal dengan rerata berat basah akar, berat basah tajuk dan berat kering tajuk sebesar 10 g, 1,32 g dan 0,5 g.
- c. Bakteri endofit yang berpotensi paling tinggi terhadap penekanan nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika adalah pada inokulasi tunggal *Bacillus* sp. SK15 dengan persentase penekanan sebesar 37,95%.
 - d. Produk pendidikan berupa buku nonteks dengan judul “Nematoda *P. coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya” dinyatakan layak digunakan sebagai sumber informasi bagi masyarakat dengan persentase kelayakan oleh ahli materi sebesar 81,67% dan persentase kelayakan oleh ahli media sebesar 81%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka penelitian ini merekomendasikan untuk menggunakan bakteri endofit *Bacillus* spp. baik secara tunggal maupun konsorsium dalam menekan populasi nematoda *P. coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan kopi Arabika. Namun, lebih dianjurkan untuk menggunakan bakteri endofit *Bacillus* konsorsium karena mampu menghasilkan penekanan terhadap nematoda *P. coffeae* yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan menggunakan bakteri endofit *Bacillus* spp. secara tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1988. *Budidaya Tanaman Kopi*. Yogyakarta: Kanisius.
- Agrios, G. N. 1996. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology* (5th edition). Academic Press. San Diego, USA, 922 p.
- Annisa. 2013. *Kopi dan Variannya*. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpmedan/berita-209-kopi-dan-variannya-.html>. [Diakses pada 12 September 2016].
- Bacon C. W. dan S. S. Hinton. 2007. Bacterial endophytic niche, its occupants, and its utility. Di dalam Gnanamanickam SS. Gnanamanickam (ed.). *Plant-Associated Bacteria*. Springer, Berlin. pp.155-194.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2008. *Teknologi Budidaya Kopi Poliklonal*. Bogor: Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan pertanian.
- Benhamou, W. H. N., J. W. Kloepper, A. Quadt-Hallman dan S. Tuzun. 1996. Induction of Defense-related Ultrastructural Modification in Pea Root Tissues Inoculated with Endophytic Bacteria. *Plant Company*. Inc. P. 127-148.
- Bird, A. F., dan B. M. Zuckerman. Studies on the surface coat (*glycocalyx*) on the dauer larva of *Anguina agrotis*. *Intern. J. Parasitol.* 19:235-240.
- Broadbent P., K.F. Baker, N. Franks dan J. Holland. 1997. Effect of *Bacillus* spp. on increased growth of seedling in steamed and in nontreated soil. *Phytopathology*. 67: 1027-1034.
- Castillo, P. dan N. Vovlas. 2007. *Pratylenchus (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management*. Leiden: Kominklijke Brill NV.
- Claus, D. Dan Berkeley C. W. The genus *Bacillus*. 1986. In: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol. 2. Sneath PHA (Ed). Williams, Wilkins, Baltimore. 34: 1105-1139.

- Compant, S., B. Reiter, J. Nowak, E. Ait Barka. 2005. Endophytic colonization of *Vitis vinifera*. *Applied Environmental Microbiology*. 71: 1685-1693.
- Desriani, U. Maharani, P. Dafira, M. Bintang, A. Rivai, dan P. Lisdiyanti. 2014. Isolasi dan karakterisasi bakteri endofit dan tanaman binahong dan katepeng china. *Jurnal Kesehatan Andalas*. 3(2): 89-93.
- Direktorat Perlindungan Perkebunan. 2002. *Musuh Alami, Hama dan Penyakit Tanaman Kopi*. Jakarta: Direktorat perlindungan perkebunan.
- Dubert, K. H. dan R. A. Rohde. 1971. Nematodes enzymes. Dalam Zuckerman, B.M., W.F. Mai and R.A. Rohde (Eds). *Plant parasitic nematodes*. Vol. II. Acad. Press. N.Y. p. 73-90.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B. dan Mitchell, R. L. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (Diterjemahkan oleh: Herawati Susilo). Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Guetsky, R., D. Shtienberg, Y. Elad, dan A. Dinoor. 2001. Combining biocontrol agents to reduce the variability of biological control. *Phytopathology*. 91: 621-627.
- Graham, J. H. dan D. J. Mitchell. 1999. Biological control of soilborne plant pathogen and nematodes. In: DM Sylvania, JJ Fuhrmann, PG Hartel and DA Zuberer (Ed). Principles and application of soil microbiology. Prentice Hall. New Jersey. PP. 427-445.
- Hackenberg, C., A. Muehlchen, T. Forge, dan T. Vrain. 2000. *Pseudomonas chlororaphis* strain Sm3, bacterial antagonist of *Pratylenchus penetrans*. *Jurnal Nematol*. 32(2): 183-189.
- Halimah, D. 2016. *Potensi Bakteri Endofit Asal Tanaman Kopi untuk Pengendalian Nematoda Luka Akar Pratylenchus coffeae (Zimmermann) Filipjev & Schuurmans Stekhoven dan Pemacu Petumbuhan Tanaman*. Tidak Diterbitkan. Tesis. Bogor: Intitut Pertanian Bogor.
- Hallmann, J., A. Q. Hallmann, W. F. Mahaffe, dan J. W. Kloepper. 1997. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. microbial*. 43: 895-914.
- Hallmann, J. 2001. Plant interaction with endophytic bacteria. In: Jeger M. J., Spence N. J (ed). *Biotic Interaction in Plant-Pathogen Associations*. CAB International. p 87-119.

- Handini, Z. V. T. 2011. Keefektifan bakteri endofit dan *plant growth promoting rhizobacteria* dalam menekan penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada tomat. *Repository Institut pertanian Bogor*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/51180>. [Diakses pada 28 November 2016].
- Hanudin dan B. Marwoto. 2012. Prospek penggunaan mikroba Antagonis sebagai agens pengendali hayati penyakit utama pada tanaman hias dan sayuran. *Jurnal Litbang Pertanian*. 31(1): 8-13.
- Harni, R., A. Munif, Supramana, dan I. Mustika. 2007. Potensi bakteri endofit pengendali nematoda peluka akar (*Pratylenchus brachyurus*) pada nilam. *Journal of Biosciences*. 14(1): 7-12.
- Harni, R. 2010. Bakteri endofit untuk mengendalikan nematoda peluka akar (*Pratylenchus coffeae*) pada tanaman nilam. *Disertasi*. Bogor: Program Doktor IPB.
- Harni, R. dan M. S. D. Ibrahim. 2011. Potensi bakteri endofit menginduksi ketahanan tanaman lada terhadap infeksi *Meloidogine incognita*. *Jurnal Litri*. 17(3): 118-123.
- Harni, R. dan A. Munif. 2012. Pemanfaatan agen hayati endofit untuk mengendalikan penyakit kuning pada tanaman lada. *Buletin Ristri*. 3(3): 201-206.
- Harni, R., Suprana, S. M. Sinaga, Giyanto, dan Supriyadi. 2012. Mekanisme bakteri endofit mengendalikan nematoda *Pratylenchus brachyurus* pada tanaman nilam. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*. 23(1): 102-114.
- Harni, R. dan Khaerati. 2013. Evaluasi bakteri endofit untuk pengendalian nematoda *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi. *Buletin Ristri*. 4(2): 109-116.
- Harni, R. 2013. Potensi Bakteri endofit mengendalikan nematoda parasit pada tanaman kopi. *Sirinov*. 1(3): 117-122.
- Harni, R. 2014. Prospek penggunaan bakteri endofit untuk pengendalian nematoda *Pratylenchus brachyurus* pada tanaman nilam. *Jurnal Perspektif*. 13(1): 1-12.

- Hasky-Gunther, K., S. Hoffmann-Hergarten dan R. A. Sikora. 1998. Resistance against the potato cyst nematode *Globodera pallida* systemically induced by the rhizobacteria *Agrobacterium radiobacter* (G12) and *Bacillus sphaericus* (B43). *Fundam. Appl. Nematol.* 21(5): 511-517.
- Hendriyani, I.S. dan N. Setiari. 2009. Kandungan klorofil dan pertumbuhan kacang panjang (*Vigna sinensis*) pada tingkat penyediaan air yang berbeda. *J. Sains & Mat.* 17(3):145-150.
- Hidayah, N. dan T. Yulianti. 2008. Peranan Bakteri Endofit dalam Reaksi Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen. *Jurnal Pengendalian Hayati (Abstr.)* 1(2): 134-138.
- Hulupi, R. 2008. Pemuliaan ketahanan tanaman kopi terhadap nematoda parasit. *Review penelitian Kopi dan Kakao.* 24(1): 16-34.
- ITIS (Integrated Taxonomic information System). <https://www.itis.gov/> [Diakses pada 23 Agustus 2016].
- Indarti, S. 2008. *Biopeptisida Berbahan Aktif Mikroba Kitinolitik untuk Pengendalian Nematoda Parasit (Pratylenchus coffeae) pada Tanaman kopi.* <http://lib.ugm.ac.id> [Diakses pada 8 Maret 2017].
- Inserra R. N., L. W. Duncan, A. Troccoli, D. Dunn, J. Maia dos Santos, N. Kaplan, dan N. Vovlas. 2001. *Pratylenchus jaehni* sp. n. from citrus in Brazil and its relationship with *P. coffeae* and *P. loosi* (Nematode: Pratylenchidae). *Nematology.* 3: 653-665.
- James, J., C. Baker dan H. Swain. 2011. Prinsip-prinsip Sains Untuk keperawatan. Jakarta: Erlangga.
- Jawetz, Ernest, Melnick, Joseph L., dan Adelberg, Edward A. 1996. *Mikrobiologi Klinik.* Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Juwita. 2010. *Potensi Bakteri Endofit dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman kentang (Solanum tuberosum) terhadap Serangan Nematoda Sista Kuning (Globoderma rostochinensis).* Tidak Diterbitkan. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Keel, C., U. Schneider, M. Maurhofer, C. Voisard, J. Laville, U. Burger, P. Wirthner, D. Haas, dan G. Defago. 1992. Suppression of root disease by

Pseudomonas fluorescens. CHAO: Importance of the bacterial secondary metabolite 2,4-diacetylphloroglucinol. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 5: 4-13.

Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi. 2014. Penilaian Buku Nonteks Pelajaran. Nomor: 7377/H3/LL/2014. <http://www.kopertis12.or.id/2014/06/penilaian-buku-nonteks-pelajaran-2.html>. [Diakses pada 24 Maret 2017].

Khalid, A., M. Arshad, dan Z. A. Zahir. 2004. Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat (abstract). *App Micob.* 96:473.

Kubo, R. K. 2009. *Nematóides das lesões em cafeeiros*. http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/artigos_ok.php?id_artigo=106. [Diakses pada 20 November 2016].

Kumar, A. C. 1982. Studies on nematodes in coffee soils of South Undia. 7. Histopathology and host parasitic relationship of *Pratylenchus coffeae* and two species of coffee. *J Coffee Res.* 12:23-30.

Kloepper, J. W., R. Rodriguez-Kabana, J. A. McInroy, dan R.W. Young. 1999. Plant root-bacterial interactions in biological control of soilborne disease and potential extension to systemic and foliar diseases. *Australasian Plant Pathology.* 28(1): 21-26.

Kobayashi, D. Y. dan J. D. Palumbo. 2000. Bacterial endophytes and their effects on plants and uses in agriculture. In C. W. Bacon and J. F. White Jr. (Eds.). *Microbial Endophytes Marcel Dekker*. <http://books.google.co.id/books?id>. [Diakses pada 15 Oktober 2016].

Latupeirissa, Y. 2014. Seleksi dan Identifikasi Bakteri Bermanfaat asal Tanaman Pisang Tongkat Langit (*Musa troglodytarum*) untuk Mengendalikan Penyakit Darah Pisang. *Disertasi*. Bogor: Pascasarjana IPB.

Lay, B. W. 1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.

Li, W. D. P. Roberts, P. D. Dery, S. L. F. Meyer, S. Lohrke, R. D. Lumsden, dan K. P. Hebbbar. 2002. Broad spectrum antibiotic activity and disease suppression by the potential biocontrol agent burkholderia ambifaria BC-F. *Crop Protection* 21: 129-135.

- Liferdi, L. dan C. Saparinto. 2016. *Vertikultur Tanaman Sayur*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Luc, M., R. A. Sikora, dan J. Bridge. 1995. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agricultural*. London. CABI Institute of Parasitology.
- Mahaffe, W. F. & Kloepper, J. W. 1997. Bacterial communities of the rhizosphere and endorhiza associated with field-grown cucumber plants inoculated with a plant growth-promoting rhizobacterium or its genetically modified derivative. *Can J microbial*. 43: 34-35.
- McInroy, J. A. dan J. W. Kloepper. 1995. Population dynamics endophytic bacteria in field-grown sweet corn and cotton. *Canadian journal of Microbiology*. 41: 895-901.
- Maughan, H. dan G. V. D. Auwera. 2011. Bacillus taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Journal Infection, Genetics and Evolution*. 11: 789-797.
- Mekete, T., J. Hallmann, S. Kiewnick, dan R. Sikora. 2009. Endophytic bacteria from ethiopian coffee plants and their potential to antagonise *Meloidogyne incognita*. *Nematology*. 11(1): 117-127.
- Miller, P. M. dan Sans D. C. 1997. Enzymes effect nematodes. *J. Nematol*. 9(3): 192-197.
- Munadi, Yudhi. 2010. *Media Pembelajaran: Sebuah Pendekatan*. Jakarta: Gaung PersadaPr.
- Munif, A. 2001. Studies on the importance of endophytic bacteria for the biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato. Disertasi. Jerman (GM): Institut fur Pflanzen krankheiten der Rheinischen Friedrich-Wilhelms. Universitat Bonn.
- Munif, A. 2003. Prinsip-prinsip pengelolaan nematoda parasit tumbuhan di lapangan. *Makalah pada Pelatihan Identifikasi dan Pengelolaan Nematoda Parasit Utama Tumbuhan*. 3(1): 71-78.
- Munif, A. dan A. Hipi. 2011. Potensi bakteri endofit dan rhizosfer dalam meningkatkan pertumbuhan jagung. *Seminar Nasional Serealia*. p 1-8.

- Murthi, R.S., Lisnawita dan S. Oemry. 2015. Potensi bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman tembakau yang terinfeksi nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.). *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1): 1881-1889.
- Muslich, Mansur. 2010. *Text Book Writing Dasar-dasar Pemahaman, Penulisan, dan Pemakaian Buku Text*. Yogyakarta: Ar-Ruzz Media.
- Mustika, I. 2005. Konsepsi dan strategi pengendalian nematode parasite tanaman perkebunan di Indonesia. *Jurnal Perspektif*. 4(1): 20-32.
- Mustika, I. 2010. Konsepsi dan strategi pengendalian nematoda parasit tanaman di Indonesia. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian*. 3(2): 81-101.
- Nadiyah, A. 2012. *Dua Nematoda destroyer Akar Kopi*. Surabaya: Balai Pembenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpsurabaya/berita-719-dua-nematoda-destroyer-akar-kopi.html> [Diakses pada 30 Agustus 2016].
- Najiyati, S. dan Danarti. 2001. *Kopi Budidaya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Notz, R., M. Maurhofer, U. Schnider-Keel, B. Duffy, D. Hass, dan G. Defago. 2001. Biotic factors affecting expression of the 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthesis gene *phlA* in *Pseudomonas fluorescens* biological control strain CHA0 in the rizosphere. *Phytopathology*. 91: 973-881.
- Panggabean, E. 2011. *Buku Pintar Kopi*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Pelczar, M.J. dan E.C.S. Chan. 1998. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.
- Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia. 2014. *Pedoman Teknis Pembangunan Kebun Induk dan Kebun Entres Kopi Arabika dan Kopi Robusta* Nomor: 128/Permentan/OT.140/11/2014.
- Peraturan Menteri Pendidikan dan kebudayaan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2016 . *Buku yang Digunakan oleh Satuan Pendidikan*. 29 Februari 2016. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2016 Nomor 351.
- Ploetz, R. C. 2003. *Diseases of Tropical Fruit Crops*. USA: University of Florida, IFAS, Tropical Research and Education Center Home Stead, Florida.

- Prastowo, B., E. Karmawati, Rubijo, Siswanto, C. Indrawanto, dan S. J. Munarso. 2010. *Budidaya dan Pasca Panen Kopi*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Priest, F. G., Sonenshein A. L., Hoch J. A, Losick R. 1993. Eds. *Bacillus subtilis and Other Gram-Positive Physiology and Molecular Genetics*. Washington D. C., American Society for Microbiology.
- Pusat Perbukuan Depdiknas. 2005. Pedoman Penilaian Buku Nonteks Pelajaran. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Rochdjatun, I. 1992. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Rostinawati, T. 2008. *Skrining dan Identifikasi Bakteri penghasil Enzim Kitinase dari Air Laut di Perairan Pantai Pondok Bali*. Padjajaran: Fakultas Farmasi Universitas Padjadjaran Jatinangor.
- Rothfos, B. 1980. *Coffee Production*. Germany: Niedersachsische Buchdruckerei.
- Salisbury, F.B. dan C.W. Ross. 1995a. *Fisiologi tumbuhan Jilid 2*. (Diterjemahkan oleh: Diah R, Lukman dan Sumaryono). Bandung: Penerbit ITB.
- Salisbury, F.B. dan C.W. Ross. 1995b. *Fisiologi tumbuhan Jilid 3*. (Diterjemahkan oleh: Diah R, Lukman dan Sumaryono). Bandung: Penerbit ITB.
- San-Lang, W.C. Shin-Jen & W. Chuan-Lu. 2008. Purification and characterization of chitinases and chitosanases from a new species strain *Pseudomonas* sp. TKU015 using shrimp shells as a substrate. *J. Carbohydrate Res.* 343(7): 1171-1179.
- Schippers B., Bakker A.W., dan Bakker P.A.H.M. 1987. Interaction of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annu Rev Phytophatol.* 25: 339-358.
- Semangun, H. 1996. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan Cetakan Pertama*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Shiomi, H. F., H. S. A. Silva, I. Soares de Melo, F. V. Nunes, dan W. Bettiol. 2006. Bioprospecting Endophytic Bacteria for Biological Control of Coffee Leaf Rust. *Sci. Agric (Piracicaba, Braz.)*. 63(1): 32-39.

- Siahaan, I. R. T. U. 2013. *Pengenalan Nematoda parasit Akar Pada Tanaman Kopi*. <http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpmedan/berita-178-pengenalan-nematoda-parasit-akar-pada-tanaman-kopi.html>. [Diakses pada 12 September 2016].
- Siddiqi, M. R. 2000. *Tylenchida parasites of plants and insects (2nd edition)*, CAB International Wallingford UK. 833 p.
- Siddiqui, I. A. dan S. S. Shaukat. 2003. Endophytic bacteria: prospects and opportunities for the biological control of plant parasitic nematodes. *Nematological Mediterranca*. 31: 111-120.
- Sigee, D. C. 1993. *Bacterial Plant Pathology: Cell and Molecular Aspect*. Manchester: Cambridge University Press.
- Sikora, R. A., K. Schafer, dan A. A. Dababat. 2007. Modes of action associated with microbially induced in planta suppression of plant parasitic nematodes. *Australasian Plant Pathology*. Vol 36 (2): 124-134.
- Sitompul, S. M. dan Guritno, B. 1995. *Analisis Pertumbuhan tanaman*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Sujarwo. 2006. *Penyusunan Karya Tulis Ilmiah Populer*. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pengabdian/sujarwo-mpd/penyusunan-karya-tulis-ilmiah-populer.pdf> [Diakses pada 21 Maret 2017].
- Sulistyowati, E., D. S. Rahayu, dan F. N. Aini. 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*. *Pros. INSINAS*.
- Sumarsih, S. 2003. *Mikrobiologi Dasar*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Susilowati, D. N., Saraswati R., Hastuti D. Dan Yuniarti E. 2007. Peningkatan serapan N pada kedelai yang diinokulasi bakteri diazotrof endofit di medium vermiculit. *Indones Soil Climat J*.
- Sutedjo, M. M. 1987. Pupuk dan Cara Pemupukan. Jakarta: PT. Rineka Bumi Aksara.

- Soedibyo. 1998. *Alam Sumber Kesehatan*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Soesanto, L. 2008. *Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Tuyet, N. 2010. *A Comparative Study of 10 *Pratylenchus coffeae* Populations from Vietnam*. Lueven, Vietnam. Doctoraatsproefschrift nr. 894 aan de faculteit Bio ingenieurswetenschappen van de K.U.leuven
- Triharso. 2010. *Dasar-dasar Perlindungan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Van Loon L.C. 2000. Systemic Induced Resistance.: 521-574 In AJ Slusarenko, RSS, Fraser, LC van Loon (eds.), *Mechanisms of Resistance to Plant Diseases*. Kluwer Academic Publisher. London.
- Vasudevan, P. Kavitha S, Priyadarisini V.B., Babujee L. dan Gnanamanickam S.S. 2002. Biological control of rice diseases.11-32 In: S.S. Gnanamanickam (ed.) *Biological Control of Crop Diseases*.Marcel Dekker Inc. New York, 468.
- Wahyu, E. R., K. I. Purwani dan S. Nurhatika. 2013. Pengaruh *glomus fasciculatum* pada pertumbuhan vegetatif kedelai yang terinfeksi *sclerotium rolfsii*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(2): 2337-3520.
- Whipps, J. M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Jurnal of Experimental Botan*. 52: 467-511.
- White, J. F.,M. S. Torres, M. A. Soares, dan K. P. Kowalski. 2015. *Do Symbiotic Bacteria Increase the Invasiveness of Phragmites Australis?*. <http://greatlakesphragmites.net/blog/do-symbiotic-bacteria-increase-the-invasiveness-of-phragmites-australis/>. [8 Agustus 2016].
- Widyaningrum, E., S. Aprilya, dan M. Iqbal. 2015. Pengembangan Produk Penelitian Berupa Buku Nonteks sebagai Buku Pengayaan Pengetahuan. *Artikel Ilmiah Mahasiswa*. 1(1) : 1-5.
- Wiyono, Suryo. 2010. *Perubahan Iklim dan Ledakan Hama dan Penyakit Tanaman*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/30756>. [Diakses pada 16 Januari 2017].

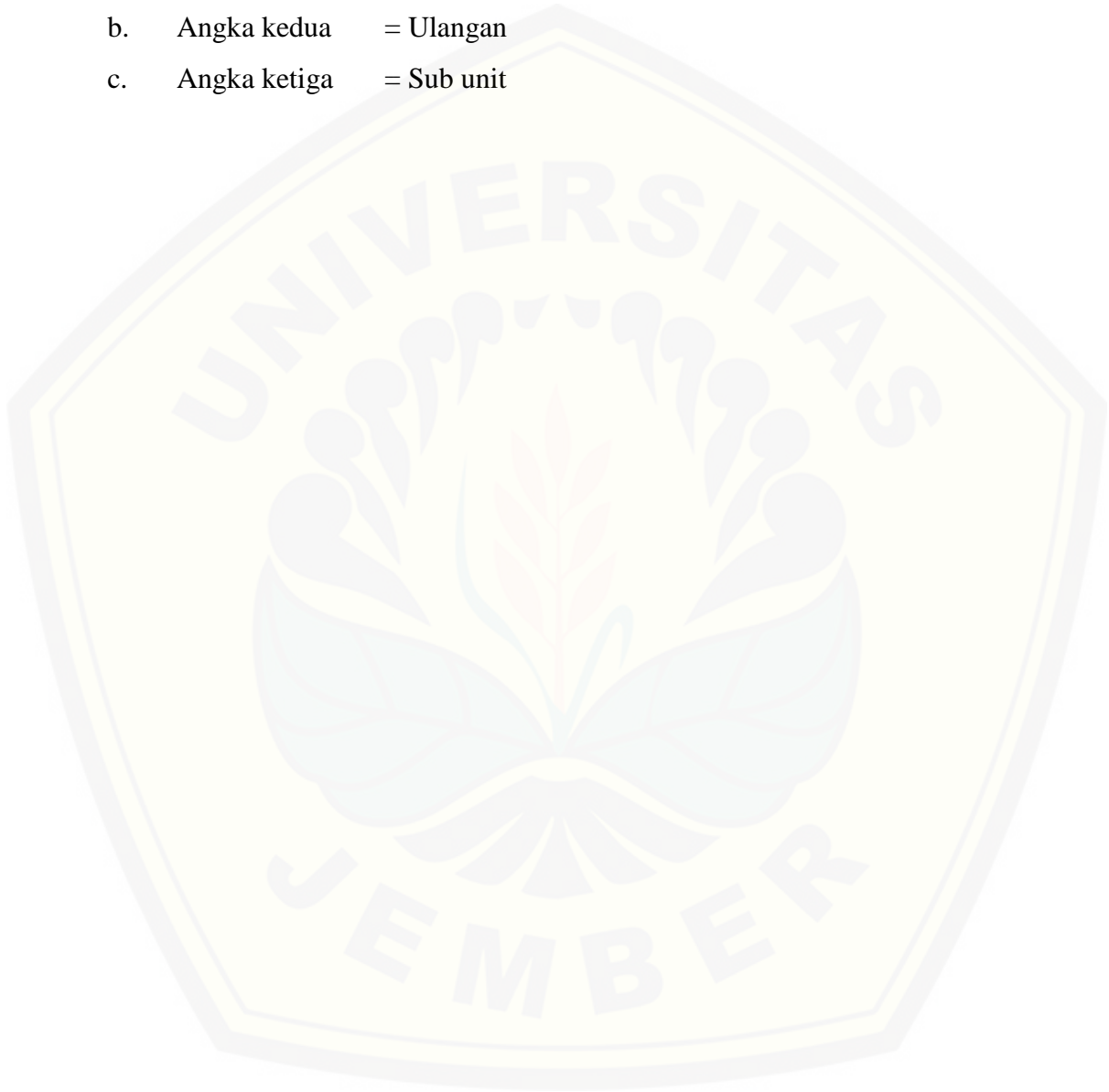
- Wiryadiputra, S. 1985. *Kajian Hubungan Antara Kepadatan Populasi Nematoda Pratylenchus coffeae dan Kerusakan yang Diakibatkan Pada Bibit Kopi Arabika dan Robusta*. Fakultas Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Wiryadiputra, S. dan O. Atmawinata. 1998. Kopi (*Coffea* spp.). Dalam pedoman Pengendalian Hama Terpadu Tanaman Perkebunan. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri, Bogor*. 53-59.
- Wiryadiputra, S., S. Mawardi, R. Hulupi, dan A. B. Santoso. 1998. Pengendalian Nematoda Parasit Berwawasan Lingkungan pada Perkebunan Kopi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao*. 15(1): 104-116.
- Wiryadiputra, S. dan K. T. Loang. 2008. Plant-parasitic Nematodes of Coffee: World Report. In: Souza, R. M (editor), *Plant Parasitic Nematodes of Coffee*. P.277-292. Spinger. The Netherlands.
- Yahmadi, M. 1976. *Budidaya dan Pengolahan Kopi*. Jember: Sub-Balai Penelitian Budidaya Jember.
- Yudiarti, T. 2012. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Lampiran A. Desain Tata Letak Unit Percobaan Penelitian**Desain Tata Letak Unit Percobaan Penelitian**

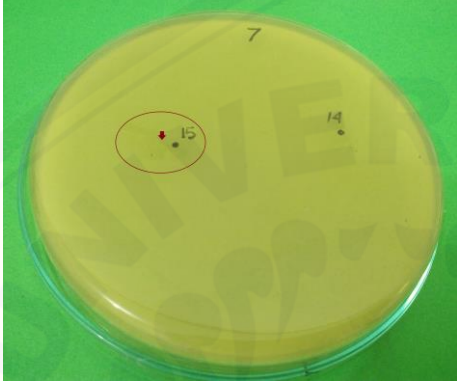
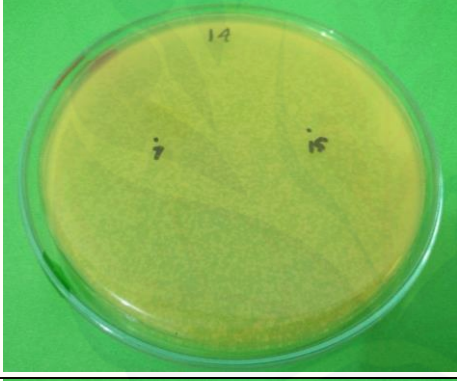
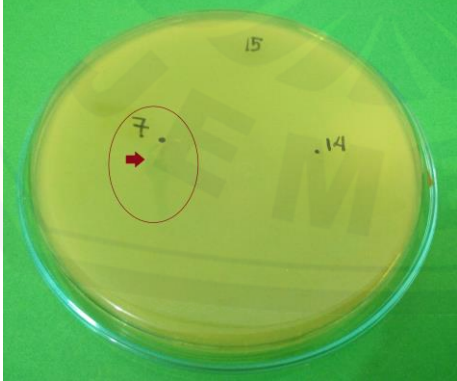
T4.3.3	T5.4.3	T5.3.2	T6.2.3	T4.1.3	T4.1.2
T6.1.2	T2.4.2	T4.3.1	T1.2.2	T3.3.2	T2,2,1
T3.1.3	T3.4.1	T1.2.3	T3.3.3	T3.4.2	T2.1.2
T5.2.3	T2.1.1	T2.3.2	T5.3.3	T2.4.3	T2.3.1
T1.3.3	T5.1.1	T7.4.3	T5.4.2	T5.4.1	T5.3.1
T4.2.2	T7.1.2	T5.2.2	T1.3.2	T4.1.1	T5.1.3
T4.2.1	T3.2.3	T5.1.2	T6.3.1	T7.4.2	T1.1.1
T7.4.1	T2.4.1	T2.2.2	T7.1.3	T1.1.2	T6.2.1
T7.3.3	T1.2.1	T6.4.3	T1.3.1	T3.3.1	T4.4.1
T6.1.1	T4.3.2	T6.4.2	T5.2.1	T7.3.2	T4.4.2
T6.1.3	T6.3.2	T6.3.3	T1.4.1	T6.4.1	T3.2.1
T7.2.1	T4.4.3	T4.4.1	T7.2.3	T1.4.3	T6.2.2
T3.1.2	T3.1.1	T7.3.1	T3.4.3	T4.2.3	T2.2.3
T2.3.3	T2.1.3	T1.4.2	T1.1.3	T3.2.2	T7.2.2

Keterangan kode tanaman:

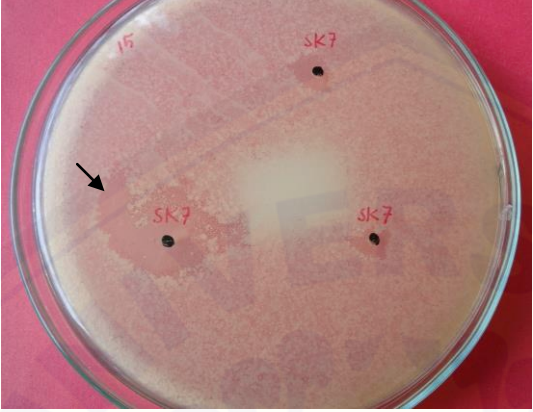
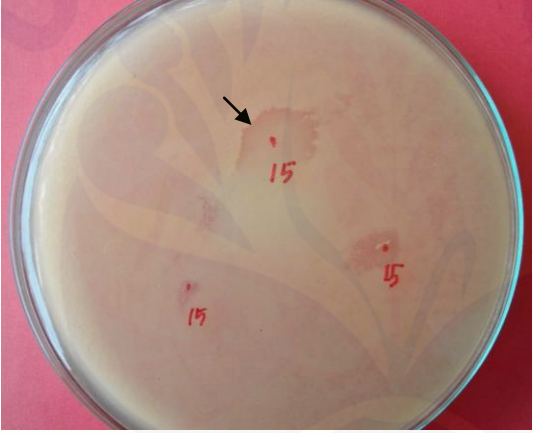
- a. Angka pertama = Perlakuan
- b. Angka kedua = Ulangan
- c. Angka ketiga = Sub unit



Lampiran B. Uji Antagonis Bakteri Endofit *Bacillus* spp.Uji Antagonis Bakteri Endofit *Bacillus* spp.

No.	Gambar	Uji Antagonis	
		Konsorsium	Zona Bening
1.		a. SK7 & SK15	Ada
		b. SK7 & SK14	Tidak ada
2.		a. SK14 & SK7	Tidak ada
		b. SK14 & SK5	Tidak ada
3.		a. SK15 & SK7	Ada
		b. SK15 & SK14	Tidak ada

Penegasan Uji Antagonis Bakteri Endofit *Bacillus* sp. SK7 & SK15

No.	Gambar	Uji Antagonis	
		Konsorsium	Zona Bening
1.		Konsorsium	Zona Bening
		<i>Bacillus</i> sp. SK7 & SK15	Ada
2.		Konsorsium	Zona Bening
		<i>Bacillus</i> sp. SK15 & SK7	Ada

Lampiran C. Surat Ijin Penelitian**C.1 Surat Ijin Penelitian Laboratorium Biologi**

 KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: 0331-334988, 330738 Fax: 0331-332475
Laman: www.fkip.unej.ac.id

PERMOHONAN IJIN PENELITIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Zahroh Istantini
NIM : 130210103087
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Biologi
Jurusan : Pendidikan MIPA
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan
No. Hp : 085731919751

Mengajukan permohonan ijin penelitian di Laboratorium Biologi FKIP Universitas Jember dengan judul "Pengaruh Bakteri Endofit Asal Sumberwringin Terhadap Pengendalian Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabica (*Coffea arabica*)". Dengan ketentuan bersedia mematuhi segala persyaratan yang telah ditentukan oleh laboratorium/ instansi tersebut di atas..

Mengetahui
Dosen Pembimbing I

Jember, 28 April 2016
Mahasiswa pemohon


Dr. Iis Nur Asyiah, M.P.
NIP. 19730614 200801 2 008


Zahroh Istantini
NIM 130210103087

Ketua Laboratorium Biologi,
FKIP Universitas Jember


Kamalia Fikri., S.Pd, M.Pd.
NIP. 19840223 2010122 004

C.2 Surat Ijin Penelitian Laboratorium Mikrobiologi



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: 0331-334988, 330738 Fax: 0331-332475
Laman: www.fkip.unej.ac.id

23 MAY 2016

Nomor 3:588/UN25.1.5/LT/2016
Lampiran :-
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

Yth. Dekan Fakultas MIPA
Universitas Jember

Diberitahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

Nama : Zahroh Istantini
NIM : 130210103087
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Biologi

Berkenaan dengan penyelesaian studinya, mahasiswa tersebut bermaksud melakukan penelitian identifikasi bakteri di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA Universitas Jember yang Saudara pimpin dengan judul "Pengaruh Konsorsium Bakteri Endofit *Bacillus* spp. terhadap Pengendalian Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica*)".

Sehubungan dengan hal tersebut, mohon Saudara berkenan memberikan izin dan sekaligus memberikan bantuan informasi yang diperlukannya.

Demikian atas perkenan dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.

a.n. Dekan
Pembantu Dekan I,

Dr. Sukatman, M.Pd.
NIP 19640123 199512 1 001

Tembusan Yth:

1. Kepala Laboratorium Mikrobiologi FMIPA UNEJ
2. Arsip.

C.3 Surat Ijin Penelitian Laboratorium Parasitologi



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121
Telepon: 0331-334988, 330738 Fax: 0331-332475
Laman: www.fkip.unej.ac.id

Nomor : 0588/UN25.1.5/LT/2017 24 JAN 2017
Lampiran : -
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

Yth. Dekan Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Jember

Diberitahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

Nama : Zahroh Istantini
NIM : 130210103087
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Biologi

Berkean dengan penyelesaian studinya, mahasiswa tersebut bermaksud melakukan penelitian identifikasi nematoda di Laboratorium Parasitologi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember yang Saudara pimpin, dengan judul penelitian "Pengaruh Konsorsium Isolat Bakteri Endofit Asal Sumberwringin terhadap Populasi Nematoda (*Pratylenchus coffeae*) Pertumbuhan Bibit Kopi Arabika (*Coffea arabica*)".

Sehubungan dengan hal tersebut, mohon Saudara berkenan memberikan izin dan sekaligus memberikan bantuan informasi yang diperlukannya.

Demikian atas perkenan dan kerjasama yang baik kami sampaikan terima kasih.

a.n. Dekan
Pembantu Dekan I,

Dr. Sukatman, M.Pd.
NIP. 19640123 199512 1 001

Tembusan Yth:

Lampiran D. Data Hasil Analisis SPSS

D.1 Uji Normalitas One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test pada Seluruh Parameter Penelitian

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Perlakuan	28	4,0000	2,03670	1,00	7,00
Berat basah akar	28	,1057	,01419	,08	,13
Berat basah tajuk	28	1,6279	,48816	,92	2,48
Berat kering tajuk	28	,5364	,09472	,41	,74
Skor kerusakan akar	28	46,4286	24,31876	,00	85,00
Estimasi Nematoda akar	28	103,5125	52,07292	,00	180,00
Estimasi nematoda tanah	28	49,7023	27,88546	,00	105,00
estimasi total nematode	28	152,9113	73,96814	,00	238,34

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Perlakuan	Berat basah akar	Berat basah tajuk	Berat kering tajuk
N		28	28	28	28
Normal Parameters(a,b)	Mean	4,0000	,1057	1,6279	,5364
	Std. Deviation	2,03670	,01419	,48816	,09472
Most Extreme Differences	Absolute	,123	,121	,163	,096
	Positive	,123	,121	,163	,096
	Negative	-,123	-,093	-,108	-,083
Kolmogorov-Smirnov Z		,649	,639	,860	,507
Asymp. Sig. (2-tailed)		,793	,809	,450	,960

Skor kerusakan akar	Estimasi Nematoda akar	Estimasi nematoda tanah	estimasi total nematoda
28	28	28	28
46,4286	103,5125	49,7023	152,9113
24,31876	52,07292	27,88546	73,96814
,181	,175	,106	,172
,115	,119	,106	,124
-,181	-,175	-,088	-,172
,960	,924	,558	,910
,315	,360	,914	,378

a Test distribution is Normal.
 b Calculated from data.

D.2 Uji ANOVA terhadap Berat Basah Akar

Descriptives

Berat basah akar

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	,1038	,01031	,00515	,0873	,1202	,10	,12
T2	4	,1013	,01031	,00515	,0848	,1177	,09	,11
T3	4	,1200	,00816	,00408	,1070	,1330	,11	,13
T4	4	,1075	,00866	,00433	,0937	,1213	,10	,12
T5	4	,0938	,00479	,00239	,0861	,1014	,09	,10
T6	4	,0900	,01155	,00577	,0716	,1084	,08	,10
T7	4	,1238	,00629	,00315	,1137	,1338	,12	,13
Total	28	,1057	,01419	,00268	,1002	,1112	,08	,13

Test of Homogeneity of Variances

Berat basah akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,057	6	21	,103

ANOVA

Berat basah akar

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,004	6	,001	8,030	,000
Within Groups	,002	21	,000		
Total	,005	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Berat basah akar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
T6	4	,0900			
T5	4	,0938	,0938		
T2	4	,1013	,1013		
T1	4	,1038	,1038		
T4	4		,1075	,1075	
T3	4			,1200	,1200
T7	4				,1238
Sig.		,056	,056	,059	,556

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.3 Uji ANOVA terhadap Berat Basah Tajuk

Descriptives

Berat basah tajuk

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	1,4575	,32056	,16028	,9474	1,9676	1,01	1,69
T2	4	1,5750	,45481	,22740	,8513	2,2987	1,20	2,19
T3	4	1,7300	,68221	,34111	,6444	2,8156	,92	2,48
T4	4	1,4200	,28009	,14004	,9743	1,8657	1,07	1,75
T5	4	1,2175	,22603	,11302	,8578	1,5772	,93	1,46
T6	4	1,7075	,51167	,25584	,8933	2,5217	1,25	2,43
T7	4	2,2875	,22629	,11315	1,9274	2,6476	1,96	2,48
Total	28	1,6279	,48816	,09225	1,4386	1,8171	,92	2,48

Test of Homogeneity of Variances

Berat basah tajuk

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,726	6	21	,164

ANOVA

Berat basah tajuk

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,781	6	,464	2,665	,044
Within Groups	3,653	21	,174		
Total	6,434	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Berat basah tajuk

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
T5	4	1,2175	
T4	4	1,4200	
T1	4	1,4575	
T2	4	1,5750	
T6	4	1,7075	1,7075
T3	4	1,7300	1,7300
T7	4		2,2875
Sig.		,138	,076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
 a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.4 Uji ANOVA terhadap Berat Kering Tajuk

Descriptives

Berat kering tajuk

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	,5188	,04871	,02436	,4412	,5963	,45	,56
T2	4	,5225	,08930	,04465	,3804	,6646	,41	,62
T3	4	,5275	,12373	,06186	,3306	,7244	,41	,66
T4	4	,5213	,07761	,03880	,3978	,6447	,43	,60
T5	4	,4800	,05958	,02979	,3852	,5748	,41	,56
T6	4	,4963	,06945	,03472	,3857	,6068	,42	,56
T7	4	,6888	,04768	,02384	,6129	,7646	,63	,74
Total	28	,5364	,09472	,01790	,4997	,5732	,41	,74

Test of Homogeneity of Variances

Berat kering tajuk

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,434	6	21	,061

ANOVA

Berat kering tajuk

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,115	6	,019	3,177	,022
Within Groups	,127	21	,006		
Total	,242	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Berat kering tajuk

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
T5	4	,4800	
T6	4	,4963	
T1	4	,5188	
T4	4	,5213	
T2	4	,5225	
T3	4	,5275	
T7	4		,6888
Sig.		,453	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.5 Uji ANOVA terhadap Skor Kerusakan Akar

Descriptives

Skor kerusakan akar

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	55,0000	12,24745	6,12372	35,5116	74,4884	40,00	70,00
T2	4	51,2500	10,30776	5,15388	34,8480	67,6520	40,00	65,00
T3	4	37,5000	6,45497	3,22749	27,2287	47,7713	30,00	45,00
T4	4	50,6250	10,48312	5,24156	33,9440	67,3060	40,00	65,00
T5	4	48,1250	5,54339	2,77169	39,3042	56,9458	40,00	52,50
T6	4	82,5000	3,53553	1,76777	76,8742	88,1258	77,50	85,00
T7	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
Total	28	46,4286	24,31876	4,59581	36,9987	55,8584	,00	85,00

Test of Homogeneity of Variances

Skor kerusakan akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,194	6	21	,348

ANOVA

Skor kerusakan akar

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14614,732	6	2435,789	37,803	,000
Within Groups	1353,125	21	64,435		
Total	15967,857	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Skor kerusakan akar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
T7	4	,0000			
T3	4		37,5000		
T5	4		48,1250	48,1250	
T4	4			50,6250	
T2	4			51,2500	
T1	4			55,0000	
T6	4				82,5000
Sig.		1,000	,075	,280	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.6 Uji ANOVA terhadap Estimasi Nematoda Akar

Descriptives

Estimasi Nematoda akar

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	130,0013	24,22778	12,11389	91,4494	168,5531	106,67	158,34
T2	4	115,4175	25,29059	12,64529	75,1745	155,6605	101,67	153,34
T3	4	79,5838	19,64185	9,82093	48,3292	110,8383	53,34	98,33
T4	4	128,3338	19,86132	9,93066	96,7300	159,9375	105,00	153,34
T5	4	125,8338	44,64721	22,32360	54,7901	196,8774	71,67	180,00
T6	4	145,4175	20,06229	10,03114	113,4939	177,3411	126,67	166,67
T7	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
Total	28	103,5125	52,07292	9,84086	83,3207	123,7043	,00	180,00

Test of Homogeneity of Variances

Estimasi Nematoda akar

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,961	6	21	,117

ANOVA

Estimasi Nematoda akar

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	60004,669	6	10000,778	15,900	,000
Within Groups	13208,226	21	628,963		
Total	73212,896	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Estimasi Nematoda akar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
T7	4	,0000		
T3	4		79,5838	
T2	4		115,4175	115,4175
T5	4			125,8338
T4	4			128,3338
T1	4			130,0013
T6	4			145,4175
Sig.		1,000	,056	,143

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.7 Uji ANOVA terhadap Estimasi Nematoda Tanah

Descriptives

Estimasi nematoda tanah

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	71,2500	17,23267	8,61633	43,8290	98,6710	48,34	90,00
T2	4	65,8350	21,62475	10,81237	31,4252	100,2448	35,00	81,67
T3	4	53,3325	19,57947	9,78973	22,1772	84,4878	35,00	80,00
T4	4	47,4975	11,58623	5,79312	29,0612	65,9338	31,67	58,33
T5	4	40,0000	10,80123	5,40062	22,8128	57,1872	25,00	50,00
T6	4	70,0013	25,31245	12,65623	29,7235	110,2790	48,34	105,00
T7	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
Total	28	49,7023	27,88546	5,26986	38,8895	60,5152	,00	105,00

Test of Homogeneity of Variances

Estimasi nematoda tanah

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,570	6	21	,205

ANOVA

Estimasi nematoda tanah

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14876,430	6	2479,405	8,510	,000
Within Groups	6118,733	21	291,368		
Total	20995,163	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Estimasi nematoda tanah

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
T7	4	,0000		
T5	4		40,0000	
T4	4		47,4975	47,4975
T3	4		53,3325	53,3325
T2	4		65,8350	65,8350
T6	4			70,0013
T1	4			71,2500
Sig.		1,000	,061	,090

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.8 Uji ANOVA terhadap Estimasi Total Nematoda

Descriptives

estimasi total nematoda

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	201,2513	36,72507	18,36254	142,8135	259,6890	161,67	233,34
T2	4	181,2525	39,73010	19,86505	118,0331	244,4719	138,34	233,34
T3	4	132,9163	38,13460	19,06730	72,2356	193,5969	88,34	178,33
T4	4	174,9563	24,72073	12,36036	135,6201	214,2924	151,67	208,17
T5	4	165,8338	42,47988	21,23994	98,2388	233,4287	116,67	220,00
T6	4	214,1688	25,98103	12,99051	172,8271	255,5104	178,34	238,34
T7	4	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
Total	28	152,9113	73,96814	13,97867	124,2294	181,5931	,00	238,34

Test of Homogeneity of Variances

estimasi total nematoda

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,621	6	21	,191

ANOVA

estimasi total nematoda

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	125308,347	6	20884,725	19,565	,000
Within Groups	22416,382	21	1067,447		
Total	147724,729	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

estimasi total nematoda

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
T7	4	,0000		
T3	4		132,9163	
T5	4		165,8338	165,8338
T4	4		174,9563	174,9563
T2	4		181,2525	181,2525
T1	4			201,2513
T6	4			214,1688
Sig.		1,000	,067	,073

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.9 Uji Normalitas One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Perlakuan	28	4,0000	2,03670	1,00	7,00
Pengukuran awal	28	10,3125	1,14743	7,55	13,50
Pengukuran minggu ke 2	28	10,9586	1,07563	8,65	14,15
Pengukuran minggu ke 4	28	11,4732	1,12862	9,10	14,50
Pengukuran minggu ke 6	28	12,6179	1,32722	9,80	16,10
Pengukuran minggu ke 8	28	14,2786	1,43968	12,10	18,95
Pengukuran minggu ke 10	28	15,1268	1,39154	12,75	19,50
Pengukuran minggu ke 12	28	16,1268	1,62392	13,15	20,30
Pengukuran minggu ke 14	28	16,5411	1,67410	13,50	20,55
Pengukuran minggu ke 16	28	16,8836	1,76478	13,60	21,00

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

		Perlakuan	Pengukuran awal	Pengukuran minggu ke 2	Pengukuran minggu ke 4	Pengukuran minggu ke 6
N		28	28	28	28	28
Normal Parameters(a,b)	Mean	4,0000	10,3125	10,9586	11,4732	12,6179
	Std. Deviation	2,03670	1,14743	1,07563	1,12862	1,32722
Most Extreme Differences	Absolute	,123	,167	,145	,189	,137
	Positive	,123	,167	,145	,189	,137
	Negative	-,123	-,093	-,085	-,117	-,114
Kolmogorov-Smirnov Z		,649	,886	,769	,999	,723
Asymp. Sig. (2-tailed)		,793	,413	,595	,271	,673

Pengukuran minggu ke 8	Pengukuran minggu ke 10	Pengukuran minggu ke 12	Pengukuran minggu ke 14	Pengukuran minggu ke 16
28	28	28	28	28
14,2786	15,1268	16,1268	16,5411	16,8836
1,43968	1,39154	1,62392	1,67410	1,76478
,112	,109	,138	,105	,092
,112	,109	,138	,105	,092
-,070	-,060	-,084	-,068	-,071
,595	,574	,732	,556	,488
,871	,896	,658	,917	,971

D.10 Uji ANOVA Tinggi Tanaman Kopi Arabika pada Pengukuran Awal

Descriptives

Pengukuran awal

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	9,5500	,77996	,38998	8,3089	10,7911	9,00	10,70
T2	4	10,6250	,75000	,37500	9,4316	11,8184	9,50	11,00
T3	4	10,5375	,45894	,22947	9,8072	11,2678	9,85	10,80
T4	4	11,3750	1,49304	,74652	8,9992	13,7508	10,00	13,50
T5	4	10,2750	,11902	,05951	10,0856	10,4644	10,15	10,40
T6	4	9,7500	1,80370	,90185	6,8799	12,6201	7,55	11,95
T7	4	10,0750	1,41215	,70607	7,8280	12,3220	8,10	11,45
Total	28	10,3125	1,14743	,21684	9,8676	10,7574	7,55	13,50

Test of Homogeneity of Variances

Pengukuran awal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,476	6	21	,234

ANOVA

Pengukuran awal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8,931	6	1,489	1,174	,357
Within Groups	26,617	21	1,267		
Total	35,548	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Pengukuran awal

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05
		1
T1	4	9,5500
T6	4	9,7500
T7	4	10,0750
T5	4	10,2750
T3	4	10,5375
T2	4	10,6250
T4	4	11,3750
Sig.		,056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.11 Uji ANOVA Tinggi Tanaman Kopi Arabika Pengukuran Minggu ke-16

Descriptives

Pengukuran minggu ke 16

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	15,7375	1,74230	,87115	12,9651	18,5099	13,60	17,50
T2	4	16,4600	1,47402	,73701	14,1145	18,8055	14,64	18,25
T3	4	16,5375	1,93966	,96983	13,4511	19,6239	14,00	18,70
T4	4	17,1500	2,80297	1,40149	12,6898	21,6102	14,30	21,00
T5	4	17,2375	1,45452	,72726	14,9230	19,5520	15,60	19,00
T6	4	16,8250	1,47676	,73838	14,4751	19,1749	15,50	18,45
T7	4	18,2375	1,43025	,71513	15,9616	20,5134	16,15	19,30
Total	28	16,8836	1,76478	,33351	16,1993	17,5679	13,60	21,00

Test of Homogeneity of Variances

Pengukuran minggu ke 16

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,421	6	21	,856

ANOVA

Pengukuran minggu ke 16

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14,582	6	2,430	,734	,628
Within Groups	69,508	21	3,310		
Total	84,090	27			

Post Hoc Tests (Homogeneous Subsets)

Pengukuran minggu ke 16

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05
		1
T1	4	15,7375
T2	4	16,4600
T3	4	16,5375
T6	4	16,8250
T4	4	17,1500
T5	4	17,2375
T7	4	18,2375
Sig.		,102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

D.12 Uji Normalitas Jumlah Daun Kopi Arabika

Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Perlakuan	28	4,0000	2,03670	1,00	7,00
Pengukuran awal	28	4,0000	,00000	4,00	4,00
Pengukuran minggu ke-2	28	4,1786	,39002	4,00	5,00
Pengukuran minggu ke-4	28	5,8929	,41627	5,00	7,00
Pengukuran minggu ke-6	28	6,3571	,48795	6,00	7,00
Pengukuran minggu ke-8	28	7,8929	,56695	7,00	9,00
Pengukuran minggu ke-10	28	8,6786	,77237	8,00	11,00
Pengukuran minggu ke-12	28	9,5357	,79266	8,00	11,00
Pengukuran minggu ke-14	28	9,6429	,91142	7,00	11,00
Pengukuran minggu ke-16	28	9,6429	,91142	7,00	11,00

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	Perlakuan	Pengukuran awal	Pengukuran minggu ke-2	Pengukuran minggu ke-4	Pengukuran minggu ke-6
N	28	28	28	28	28
Normal Parameters(a,b) Mean	4,0000	4,0000	4,1786	5,8929	6,3571
Std. Deviation	2,03670	,00000(c)	,39002	,41627	,48795
Most Extreme Differences Absolute	,123		,498	,459	,411
Positive	,123		,498	,363	,411
Negative	-,123		-,324	-,459	-,263
Kolmogorov-Smirnov Z	,649		2,635	2,427	2,173
Asymp. Sig. (2-tailed)	,793		,000	,000	,000

Pengukuran minggu ke-8	Pengukuran minggu ke-10	Pengukuran minggu ke-12	Pengukuran minggu ke-14	Pengukuran minggu ke-16
28	28	28	28	28
7,8929	8,6786	9,5357	9,6429	9,6429
,56695	,77237	,79266	,91142	,91142
,361	,274	,292	,331	,331
,318	,274	,208	,240	,240
-,361	-,197	-,292	-,331	-,331
1,908	1,452	1,547	1,751	1,751
,001	,029	,017	,004	,004

a Test distribution is Normal.
 b Calculated from data.
 c The distribution has no variance for this variable.
 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test cannot be performed.

D.13 Uji ANOVA Jumlah Daun pada Pengukuran Awal

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T2	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T3	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T4	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T5	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T6	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
T7	4	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00
Total	28	4,0000	,00000	,00000	4,0000	4,0000	4,00	4,00

Pengukuran awal

Test of Homogeneity of Variances

Pengukuran awal

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.	6	.	.

ANOVA

Pengukuran awal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	6	,000	.	.
Within Groups	,000	21	,000		
Total	,000	27			

D.14 Uji Anova Jumlah Daun pada Pengukuran Minggu ke-16

Descriptives

Pengukuran minggu ke-16

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
T1	4	10,0000	,81650	,40825	8,7008	11,2992	9,00	11,00
T2	4	10,0000	,00000	,00000	10,0000	10,0000	10,00	10,00
T3	4	10,0000	,00000	,00000	10,0000	10,0000	10,00	10,00
T4	4	8,7500	1,25831	,62915	6,7478	10,7522	7,00	10,00
T5	4	9,7500	,50000	,25000	8,9544	10,5456	9,00	10,00
T6	4	8,7500	,95743	,47871	7,2265	10,2735	8,00	10,00
T7	4	10,2500	,95743	,47871	8,7265	11,7735	9,00	11,00
Total	28	9,6429	,91142	,17224	9,2894	9,9963	7,00	11,00

Test of Homogeneity of Variances

Pengukuran minggu ke-16

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,790	6	21	,037

ANOVA

Pengukuran minggu ke-16

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9,429	6	1,571	2,538	,052
Within Groups	13,000	21	,619		
Total	22,429	27			

**Post Hoc Tests
Homogeneous Subsets**

Pengukuran minggu ke-16

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
T4	4	8,7500	
T6	4	8,7500	
T5	4	9,7500	9,7500
T1	4	10,0000	10,0000
T2	4	10,0000	10,0000
T3	4	10,0000	10,0000
T7	4		10,2500
Sig.		,058	,430

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Lampiran E. Analisis Kebutuhan (Need Assesment) Buku Nonteks

ANGKET ANALISIS KEBUTUHAN KARYA ILMIAH POPULER
"NEMATODA *Pratylenchus coffeae*, METODE ISOLASI DAN
PENGENDALIANNYA"

I. PETUNJUK UMUM

1. Mohon Bapak/Ibu/Saudara/i memberikan penilaian dengan memberikan tanda cek (✓) pada kotak yang tersedia dalam angket ini.
2. Sebelum memberikan penilaian dalam angket ini, dimohon Bapak/Ibu/Saudara/i terlebih dahulu mengisi identitas diri pada tempat yang sudah disediakan di bawah ini.
3. Angket yang telah diisi dapat diserahkan kembali.

II. IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Pak. Heri
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tanggal Lahir : Bondowoso, 28 Januari 1971
Alamat : Sukosari Jem
Pekerjaan : Petani
Pendidikan Terakhir : SMP

1. Menurut bapak/ibu apa yang menyebabkan tanaman kopi rusak?
Jamur Serangga Nematoda

2. Bagaimanakah ciri-ciri tanaman kopi yang rusak?
Daun menguning Layu kerdil

3. Tahukah bapak/ibu mengenai nematoda *Pratylenchus coffeae*?
Ya Tidak

(Jika anda tahu tentang nematoda *P. coffeae*, tuliskan di bawah ini!)

.....
.....
.....

4. Tahukah bapak/ibu bahwa nematoda *Pratylenchus coffeae* hidup di dalam jaringan akar tanaman dan menyebabkan kerusakan pada sistem perakaran tanaman?

Ya

Tidak

5. Apakah bapak/ibu tahu cara mengetahui keberadaan nematoda *Pratylenchus coffeae* di dalam jaringan akar tanaman?

Ya

Tidak

6. Tahukah bapak/ibu mengenai bakteri endofit?

Ya

Tidak

(Jika anda tahu tentang bakteri endofit, tuliskan di bawah ini!)

.....
.....
.....

7. Apakah bakteri endofit dapat mengurangi kerusakan pada tanaman kopi?

Ya

Tidak

8. Tahukah bapak/ibu bahwa bakteri endofit mengeluarkan senyawa racun untuk membunuh nematoda yang merusak tanaman kopi?

Ya

Tidak

9. Apakah anda setuju bila akan disusun buku yang berisi informasi tentang nematoda *Pratylenchus coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya?

Ya

Tidak

10. Tuliskan saran bapak/ibu tentang buku yang bapak/ibu inginkan dan seharusnya disusun untuk memberikan informasi kepada masyarakat umum mengenai nematoda *Pratylenchus coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya!

Saran tentang buku :

- Saya mau buku yang bagus & jelas.
- Kalau bisa gambarnya bagus.

ANGKET ANALISIS KEBUTUHAN KARYA ILMIAH POPULER
"NEMATODA *Pratylenchus coffeae*, METODE ISOLASI DAN
PENGENDALIANNYA"

I. PETUNJUK UMUM

1. Mohon Bapak/Ibu/Saudara/i memberikan penilaian dengan memberikan tanda cek (√) pada kotak yang tersedia dalam angket ini.
2. Sebelum memberikan penilaian dalam angket ini, dimohon Bapak/Ibu/Saudara/i terlebih dahulu mengisi identitas diri pada tempat yang sudah disediakan di bawah ini.
3. Angket yang telah diisi dapat diserahkan kembali.

II. IDENTITAS PRIBADI

Nama Lengkap : Rizka Alif Fitrachia
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat/Tanggal Lahir : Jember / 2 Maret 1995
Alamat : Pem. Gebang Permai B5
Pekerjaan : Mahasiswa
Pendidikan Terakhir : SMA

1. Menurut bapak/ibu apa yang menyebabkan tanaman kopi rusak?
Jamur Serangga Nematoda
2. Bagaimanakah ciri-ciri tanaman kopi yang rusak?
Daun menguning Layu kerdil
3. Tahukah bapak/ibu mengenai nematoda *Pratylenchus coffeae*?
Ya Tidak

(Jika anda tahu tentang nematoda *P. coffeae*, tuliskan di bawah ini!)

.....
.....
.....

4. Tahukah bapak/ibu bahwa nematoda *Pratylenchus coffeae* hidup di dalam jaringan akar tanaman dan menyebabkan kerusakan pada sistem perakaran tanaman?

Ya

Tidak

5. Apakah bapak/ibu tahu cara mengetahui keberadaan nematoda *Pratylenchus coffeae* di dalam jaringan akar tanaman?

Ya

Tidak

6. Tahukah bapak/ibu mengenai bakteri endofit?

Ya

Tidak

(Jika anda tahu tentang bakteri endofit, tuliskan di bawah ini!)

bakteri yang hidup dalam jaringan.

7. Apakah bakteri endofit dapat mengurangi kerusakan pada tanaman kopi?

Ya

Tidak

8. Tahukah bapak/ibu bahwa bakteri endofit mengeluarkan senyawa racun untuk membunuh nematoda yang merusak tanaman kopi?

Ya

Tidak

9. Apakah anda setuju bila akan disusun buku yang berisi informasi tentang nematoda *Pratylenchus coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya?

Ya

Tidak

10. Tuliskan saran bapak/ibu tentang buku yang bapak/ibu inginkan dan seharusnya disusun untuk memberikan informasi kepada masyarakat umum mengenai nematoda *Pratylenchus coffeae*, metode isolasi dan cara pengendaliannya!

Ya

Tidak

Saran tentang buku :

- penjelasan / isi buku harus detail
- tampilan harus menarik
- Perbanyak foto / gambar.

Lampiran F. Lembar Penelitian dan Validasi Buku Nonteks**F1. Lembar Penelitian dan Validasi Buku Nonteks oleh Ahli Media**

**LEMBAR VALIDASI PRODUK BUKU NONTEKS
OLEH AHLI MEDIA**

I. Identitas peneliti

Nama : Zahroh Istantini
NIM : 130210103087
Jurusan/Prodi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP)
Universitas Jember

II. Pengantar

Dalam rangka menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada program Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, penyusun melaksanakan penelitian sebagai salah satu bentuk tugas akhir dan kewajiban yang harus diselesaikan. Penelitian yang dilakukan berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dan Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks”.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penyusun memohon dengan hormat kesediaan bapak/ibu untuk melakukan pengisian daftar validasi yang peneliti ajukan sesuai dengan keadaan sebenarnya. Kerahasiaan jawaban serta identitas bapak/ibu akan dijamin oleh kode etik dalam penelitian. Penulis mengucapkan terimakasih atas perhatian dan kesediaan bapak/ibu mengisi daftar kuisioner yang saya ajukan.

Hormat saya,

Penyusun
Zahroh Istantini

III. Identitas Validator

Nama : Vendi Eko S08110
 Alamat : Perum Kebanuri Lurah Blok 7.11
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Usia : 29
 Pekerjaan : Dosen
 No. Telepon : 085 313 580 445

IV. Petunjuk Penilaian

5. Mohon bapak/ibu memberikan penilaian pada setiap aspek dengan memberi tanda *check list* (√) pada kolom skor yang telah disediakan.
6. Jika perlu diadakan revisi, mohon memberikan revisi pada bagian saran atau langsung pada naskah yang divalidasi.
7. Mohon bapak/ibu memberikan tanggapan pada bagian kesimpulan dengan melingkari salah satu pilihan yang tersedia guna keberlanjutan produk buku yang telah disusun.
8. Keterangan penilaian:
 - 4 = sangat valid
 - 3 = valid
 - 2 = cukup valid
 - 1 = kurang valid

V. Keterangan Skor Penilaian

No.	Skor	Kriteria	Rubrik Penilaian
1.	4	Sangat valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai sesuai dan tidak ada kekurangan dengan produk buku.
2.	3	Valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai sesuai dan ada sedikit kekurangan dengan produk buku.
3.	2	Cukup valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai kurang sesuai dan ada sedikit kekurangan dan atau banyak dengan produk buku.

4.	1	Kurang valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai tidak sesuai dan ada kekurangan dengan produk buku.
----	---	--------------	---

VI. Instrumen Penilaian

A. KOMPONEN KELAYAKAN ISI

Sub Komponen	Butir	Skor			
		1	2	3	4
A. Artistik dan estetika	1. Komposisi buku sesuai dengan tujuan penyusunan buku			✓	
	2. Keserasian teks dan grafis			✓	
	3. Pemilihan warna yang menarik				✓
	4. Kemenarikan <i>lay out</i> dan tata letak			✓	
	5. Tata letak unsur grafika estetik, dinamis dan menarik, serta menggunakan ilustrasi yang memperjelas pemahaman materi/ isi buku			✓	
B. Fungsi keseluruhan	6. Produk buku membantu mengembangkan pengetahuan pembaca				✓
	7. Produk bersifat informatif			✓	
	8. Produk buku menumbuhkan rasa ingin tahu pembaca			✓	
Jumlah Skor Komponen Kelayakan Keagrafikan		26			

C. KOMPONEN KELAYAKAN PENYAJIAN

Sub Komponen	Butir	Skor			
		1	2	3	4
A. Teknik penyajian	9. Konsistensi sistematika sajian			✓	
	10. Kelogisan penyajian dan keruntutan konsep			✓	
	11. Koherensi substansi antar bab			✓	
	12. Keseimbangan substansi antar bab			✓	
B. Pendukung penyajian materi	13. Kesesuaian dan ketepatan ilustrasi dengan materi			✓	
	14. Kesesuaian gambar dan keterangan			✓	
	15. Adanya rujukan atau sumber acuan				✓
Jumlah Skor komponen Kelayakan Pengembangan		22			

JUMLAH SKOR KESELURUHAN	48
-------------------------	----

(Sumber : Diadaptasi dari Rahmah (2013))

Saran dan Komentar Perbaikan Produk Buku Nonteks

Pada dasarnya buku ini sudah bagus dan layak, akan tetapi perlu sedikit revisi pada beberapa bagian, jumlah ukuran font yg proporsional dan gambar yang jelas

Kesimpulan

Berdasarkan penilaian di atas, maka produk buku ini:

- d. Belum dapat digunakan dan masih memerlukan konsultasi
- e. Dapat digunakan dengan revisi
- f. Dapat digunakan tanpa revisi

Jember, 10 Mei 2017

Validator


Agus Sunio

NIP.

F2. Lembar Penelitian dan Validasi Buku Nonteks oleh Ahli Materi

**LEMBAR VALIDASI PRODUK BUKU NONTEKS
OLEH AHLI MATERI**

I. Identitas peneliti

Nama : Zahroh Istantini
NIM : 130210103087
Jurusan/Prodi : Pendidikan MIPA/Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP)
Universitas Jember

II. Pengantar

Dalam rangka menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada program Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, penyusun melaksanakan penelitian sebagai salah satu bentuk tugas akhir dan kewajiban yang harus diselesaikan. Penelitian yang dilakukan berjudul “Pengaruh Inokulan Bakteri Endofit *Bacillus* spp. Tunggal dan Konsorsium terhadap Populasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* dan Pertumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dan Pemanfaatannya sebagai Buku Nonteks”.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penyusun memohon dengan hormat kesediaan bapak/ibu untuk melakukan pengisian daftar validasi yang peneliti ajukan sesuai dengan keadaan sebenarnya. Kerahasiaan jawaban serta identitas bapak/ibu akan dijamin oleh kode etik dalam penelitian. Penulis mengucapkan terimakasih atas perhatian dan kesediaan bapak/ibu mengisi daftar kuisioner yang saya ajukan.

Hormat saya,

Penyusun
Zahroh Istantini

III. Identitas Validator

Nama : Ir. SOEKARTO, MS
 Alamat : Jl. Halmahera V-5 Jember
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Usia : 65 tahun
 Pekerjaan : Dosen Fak Pertanian Unej
 No. Telepon : 0331-337132 / 08124953355

IV. Petunjuk Penilaian

1. Mohon bapak/ibu memberikan penilaian pada setiap aspek dengan memberi tanda *check list* (√) pada kolom skor yang telah disediakan.
2. Jika perlu diadakan revisi, mohon memberikan revisi pada bagian saran atau langsung pada naskah yang divalidasi.
3. Mohon bapak/ibu memberikan tanggapan pada bagian kesimpulan dengan melingkari salah satu pilihan yang tersedia guna keberlanjutan produk buku yang telah disusun.
4. Keterangan penilaian:
 - 4 = sangat valid
 - 3 = valid
 - 2 = cukup valid
 - 1 = kurang valid

V. Keterangan Skor Penilaian

No.	Skor	Kriteria	Rubrik Penilaian
1.	4	Sangat valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai sesuai dan tidak ada kekurangan dengan produk buku.
2.	3	Valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai sesuai dan ada sedikit kekurangan dengan produk buku.
3.	2	Cukup valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai kurang sesuai dan ada sedikit kekurangan dan atau banyak dengan produk buku.

4.	1	Kurang valid	Jika masing-masing item pada unsur yang dinilai tidak sesuai dan ada kekurangan dengan produk buku.
----	---	--------------	---

VI. Instrumen Penilaian

A. KOMPONEN KELAYAKAN ISI

Sub Komponen	Butir	Skor			
		1	2	3	4
A. Cakupan materi	1. Kejelasan tujuan penyusunan buku			✓	
	2. Keluasan materi sesuai dengan tujuan penyusunan buku				✓
	3. Kedalaman materi sesuai dengan tujuan penyusunan buku				✓
	4. Kejelasan materi			✓	
B. Akurasi materi	5. Akurasi fakta dan data		✓		
	6. Akurasi konsep atau teori			✓	
	7. Akurasi gambar atau ilustrasi				✓
C. Kemutakhiran materi	8. Kesesuaian dengan perkembangan terbaru ilmu pengetahuan saat ini			✓	
	9. Menyajikan contoh-contoh mutakhir dari lingkungan lokal/nasional/regional/internasional				✓
Jumlah Skor Komponen Kelayakan isi				30	

B. KOMPONEN KELAYAKAN PENYAJIAN

Sub Komponen	Butir	Skor			
		1	2	3	4
A. Teknik penyajian	10. Konsistensi sistematika sajian			✓	
	11. Kelogisan penyajian dan keruntutan konsep				✓
	12. Koherensi substansi antar bab			✓	
B. Pendukung penyajian materi	13. Kesesuaian dan ketepatan ilustrasi dengan materi			✓	
	14. Pembangkit motivasi pembaca			✓	
	15. Ketepatan pengetikan dan pemilihan gambar			✓	
Jumlah Skor komponen Kelayakan Penyajian				19	
JUMLAH SKOR KESELURUHAN				49	

(Sumber : Diadaptasi dari Puskurbuk (2013))

Saran dan Komentar Perbaikan Produk Buku Nonteks

- Lihat saran di lembar tambahan
- Usaha pengendalian dengan agen hayati merupakan harapan untuk mengurangi kerugian akibat gangguan OPT.
- Kekurangannya adalah penggunaan agen hayati yang tidak konkrit

Kesimpulan

Berdasarkan penilaian di atas, maka produk buku ini:

- a. Belum dapat digunakan dan masih memerlukan konsultasi
- b. Dapat digunakan dengan revisi
- c. Dapat digunakan tanpa revisi

Hal ini disebabkan
adalah karena
penggunaan
agen hayati. makhluk
hidup apabila dalam

kan pada saat yang
kurang tepat misal
saat lembab hujan atau hujan dan saat
kurang lembab/kemarau maka agen
hayati tersebut mengalami penecahan
atau mati sebelum menemui OPT
Sasaran. Hal karena itu kajian lebih
dan faktor lain misal umur agen hayati
perlu di perhalika.

Jember, 19-5-2017

Validator

IN. SUTIKARTO, MS

NIP. 195210211982031001

Sutikarto

SARAN DAN KOMENTAR dari Ir. Soekarto, MS

Untuk buku Zahroh Istantini

Tambahan ekstraksi contoh akar metode Baermann

4.1 Ekstraksi contoh akar dengan metode Baermann (gunakan penomoran 4.1.1; dalam naskah tidak perlu dilakukan perubahan/tidak ada masalah). Yang perlu diperhatikan adalah setelah hasil endapan disaring dengan saringan 325 mesh maka filtratnya (larutan) akan tercampur antara nematoda dengan serpihan-serpihan akar/kayu dan apabila diamati di bawah mikroskop, tampilan larutan kurang bersih (kotor) sehingga menyulitkan pengamatan

4.1.2. Cara lain Ekstraksi contoh akar dengan metode Baermann

Butir a, b, dan c tetap.

d. Potongan akar diletakkan di atas piring/wadah yang di atasnya ada saringan dengan ukuran 40 mesh dilengkapi dengan kain saring halus. Akar ditata secara teratur.

e. Selanjutnya akar dan saringan ini ditambahkan air sampai akarnya tergelam.

f. Diamkan selama 24 jam agar nematodanya keluar dari akar ke dalam air dan jatuh ke dasar piring.

g. Tuangkan air ke *beaker glass*, tambahkan air jadi 100 ml dan kurangi bila larutan lebih dari 100 ml.

h. Amati larutan yang telah mengendap dengan menggunakan mikroskop

Alasan penggunaan metode alternatif ini adalah karena nematoda *P. coffeae* adalah nematoda yang bersifat endoparasit migratori (bebas bergerak baik di dalam tanah maupun di dalam akar), sehingga nematoda akan keluar dari dalam akar ke dalam air.

Tambahan ekstraksi contoh akar dan tanah metode pusingan (sentrifuse)**4.2 Ekstraksi contoh akar metode pusingan (sentrifuse)**

Metode ekstraksi sudah runtut dan bagus.

Halaman 22. Huruf k kata **diaduh** agar dibetulkan menjadi **diaduk**, serta huruf o kata **beum** diperbaiki dengan kata **belum**. Hal ini juga berlaku pada metoda ekstraksi pada Baermann dan metode pusingan (sentrifuse) contoh tanah.

Halaman 23. Huruf f. Dihapus.

Alasannya adalah karena apabila tanah yang mengandung nematoda dan disaring dengan menggunakan saringan 325 mesh ($45 \mu\text{m} / 0.045 \text{ mm}$), maka filtratnya sudah tidak mengandung nematoda lagi. Namun demikian kalimat selanjutnya tetap digunakan yaitu kalimat **kemudian diendapkan selama 1 jam**.

Tambahkan kalimat : Penggunaan larutan gula adalah dengan Berat jenis antara 1,18 – 1,22. Agar lebih meyakinkan/akurat tera (ukur) campuran gula dan air (sesuai tabel) dengan menggunakan alat tera berat jenis (areometer).

Halaman 25 huruf n. Disaring dengan menggunakan 2 saringan 325 mesh **seharusnya** angka 2 dihapus.

Jember, 16 Mei 2017

Verivikator

Ir. Soekarto, MS

Lampiran G. Alat dan Bahan Penelitian



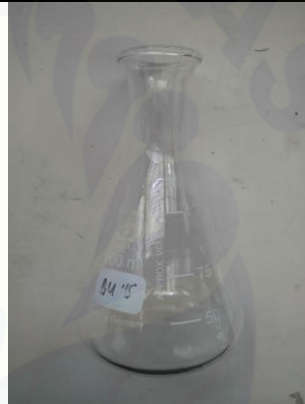
Gambar G.1 Tabung reaksi.



Gambar G.2 Cawan Petri.



Gambar G.3 Beaker glass.



Gambar G.4 Erlenmeyer.



Gambar G.5 Gelas Ukur.



Gambar G.6 Tip 1ml dan 0,5 ml.



Gambar G.7 Mikropipet



Gambar G.8 Ose dan Jarum N



Gambar G.9 L glass.



Gambar G.10 Pipet ukur.



Gambar G.11 Rak Tabung Reaksi.



Gambar G.12 Autoclave.



Gambar G.13 Penangas.



Gambar G.14 Laminar Air Flow.



Gambar G.15 Neraca Analitik.



Gambar G.16 Blender.



Gambar G.17 Inkubator.



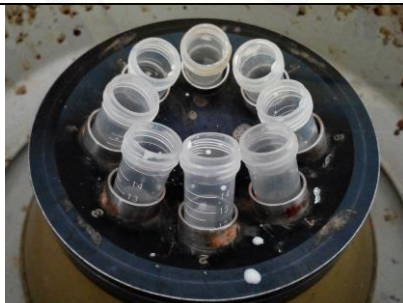
Gambar G.18 Lemari Pendingin.



Gambar G.19 Vortex.



Gambar G.20 Oven.



Gambar G.21 Sentrifuse.



Gambar G.22 Selang karet.



Gambar G.23 Saringan 325 mesh.



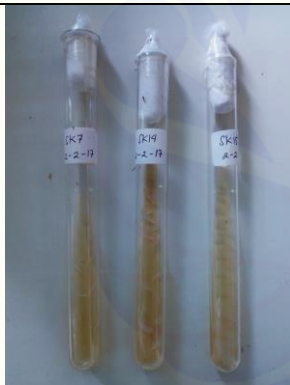
Gambar G.24 Plastik sill.



Gambar G.25 Kopi Arabika.



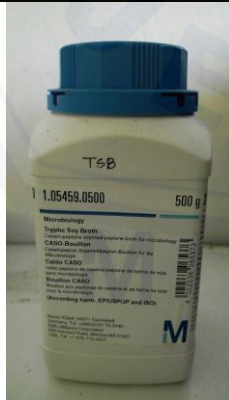
Gambar G.26 Nematoda *P. Coffeae*.



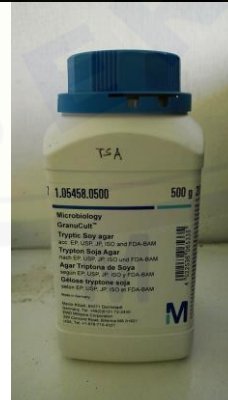
Gambar G.27 Bakteri *Bacillus* spp.



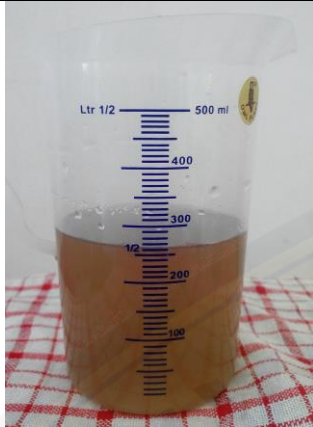
Gambar G.28 Alkohol 70%.



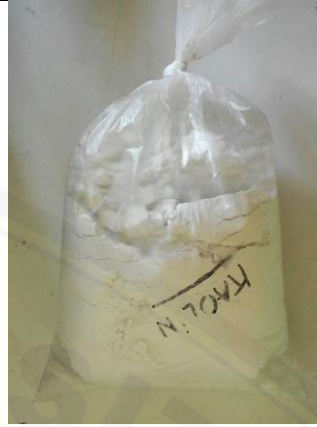
Gambar G.29 Medium *Trypticase Soy Broth* (TSB).



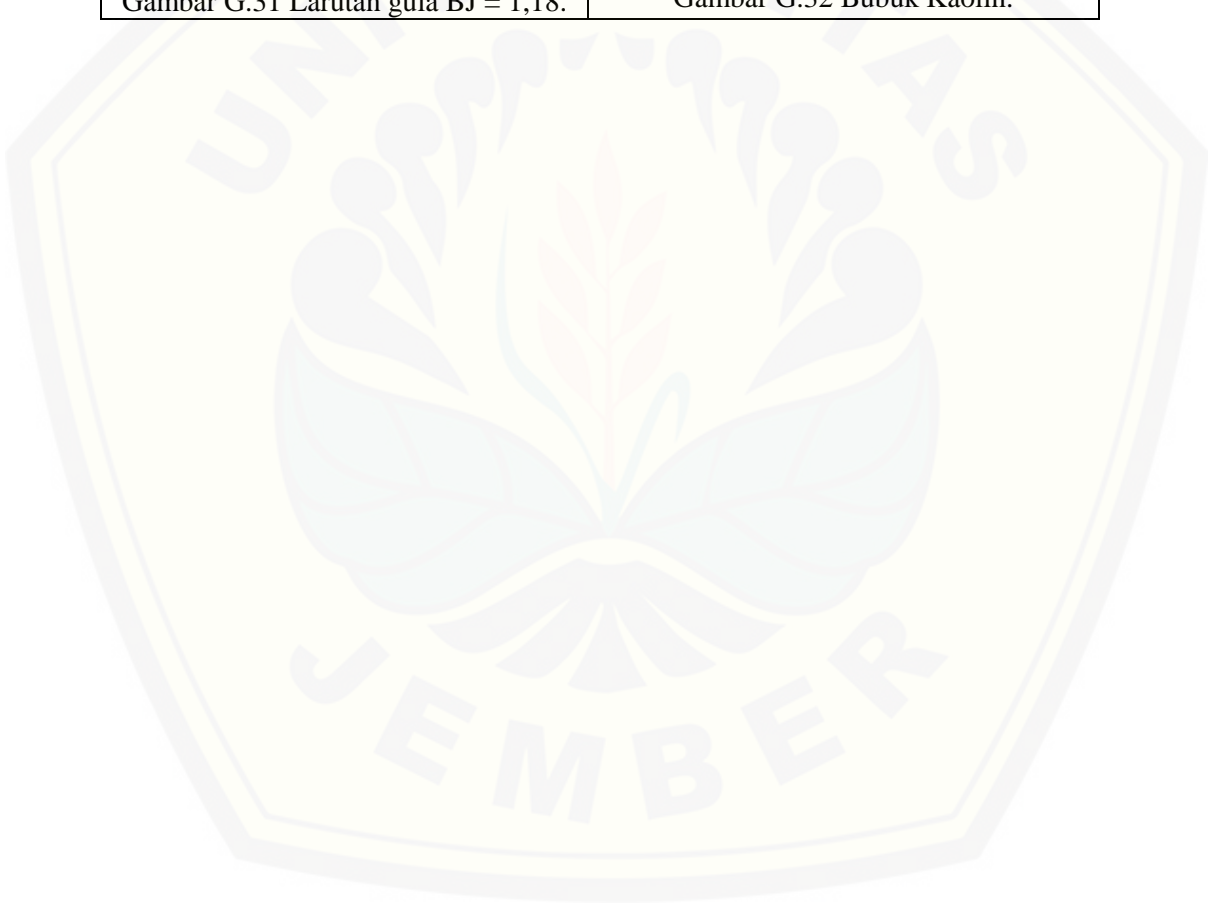
Gambar G.30 Medium *Trypticase Soy Agar* (TSA).



Gambar G.31 Larutan gula BJ = 1,18.



Gambar G.32 Bubuk Kaolin.



Lampiran H. Dokumentasi Penelitian



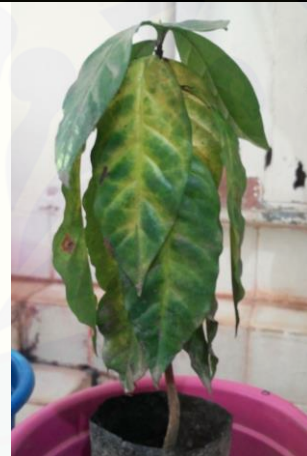
Gambar H.1 Pembibitan Kopi Arabika.



Gambar H.2 Akar kopi yang terserang nematoda *P.coffeae*.



Gambar H.3 Pemindahan Bibit Kopi Arabika Usia 4 Bulan dengan 4 Daun.



Gambar H.4 Tanaman kopi yang terserang nematoda *P. coffeae*.



Gambar H.5 Proses ekstraksi akar dengan metode Baermann.



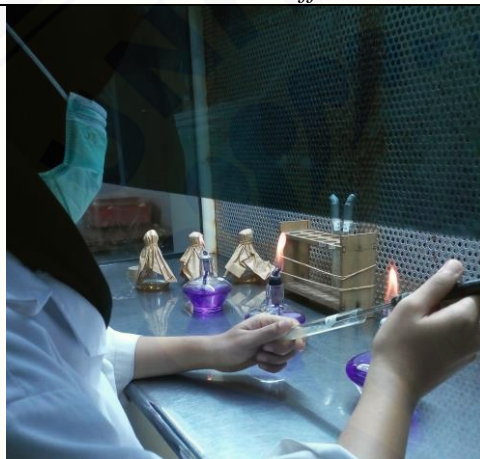
Gambar H.6 Blender akar kopi dalam proses ekstraksi akar tanaman kopi



Gambar H.7 Proses pengamatan mikroskop nematoda *P. coffeae*.



Gambar H.8 Proses Pewarnaan Bakteri.



Gambar H.9 Proses persiapan bakteri endofit untuk diaplikasikan ke tanaman.



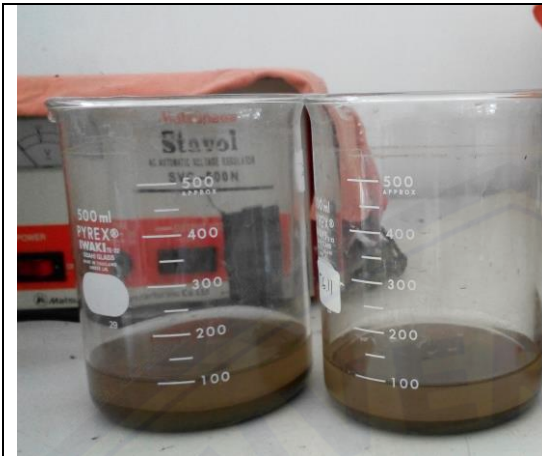
Gambar H.10 Aplikasi bakteri endofit dengan metode penyiraman ke akar.



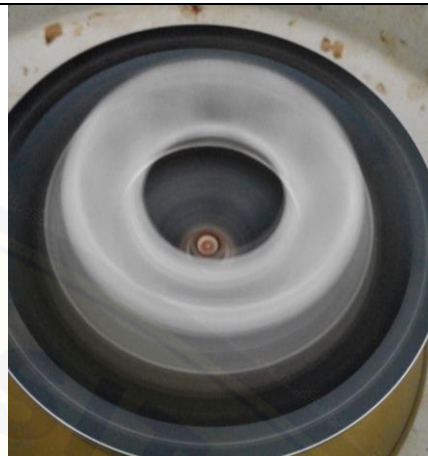
Gambar H.11 Proses pengukuran tinggi tanaman.



Gambar H.12 Proses pengambilan 100 g tanah.



Gambar H.13 Proses pengendapan tanah dalam proses ekstraksi nematoda pada tanah



Gambar H.14 Proses sentrifuse dalam proses ekstraksi nematoda



Gambar H.15 Penimbangan berat kering



Gambar H.17 Penyebaran *Need Assesment* kepada petani kopi.