



**POTENSI BAKTERI PELARUT FOSFAT (*Pseudomonas mallei* dan
Bacillus mycoides) DALAM MENGENDALIKAN NEMATODA
PARASIT *Pratylenchus coffeae* DAN MENINGKATKAN
PERTUMBUHAN TANAMAN KOPI ARABIKA**

SKRIPSI

Oleh :

**SRI WAHYU PURWANING TYAS
NIM 100210103028**

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



**POTENSI BAKTERI PELARUT FOSFAT (*Pseudomonas mallei* dan
Bacillus mycoides) DALAM MENGENDALIKAN NEMATODA
PARASIT *Pratylenchus coffeae* DAN MENINGKATKAN
PERTUMBUHAN TANAMAN KOPI ARABIKA**

SKRIPSI

Oleh
SRI WAHYU PURWANING TYAS
NIM 100210103028

DOSEN PEMBIMBING I : Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si.
DOSEN PEMBIMBING II : Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.

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

PERSEMBAHAN

Puji syukur alhamdulillah kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan segala ketulusan dan keikhlasan, kupersembahkan karya ini kepada:

1. Keluargaku Ibunda Nanik dan Ayahanda Purnomo Tercinta serta Ibunda Siti atas cinta kasih yang senantiasa memberikan doa dan serta dukungan moril dan materiil untuk keberhasilanku sampai saat ini, tak lupa adikku tersayang ananda Rizcha yang telah menyemangatiku ketika lemah dan membantuku;
2. Keluargaku ke 2 Ibu Admim Kholisina dan Bapak Soebianto atas kasih sayang yang diberikan dan telah mendidik dan membimbingku untuk mencapai keberhasilanku dan kesuksesanku.
3. Guru-guru dan dosen-dosenku yang menempati satu sudut sanubari dan telah menyirami hatiku dengan berbagai nasihat dan ilmu yang menjadi penerang serta mendewasakan setiap langkahku;
4. Almamater tercinta, Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

“Sesungguhnya Allah telah ridha terhadap orang-orang mukmin ketika mereka berjanji setia kepadamu di bawah pohon, maka Allah mengetahui apa yang ada dalam hati mereka lalu menurunkan ketenangan atas mereka dan memberi balasan kepada mereka dengan kemenangan yang dekat (waktunya) ”.
(terjemahan Surat *Al-Fath*:18)^{*)}

“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan (mengerjakan) shalat, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”(terjemahan Surat *Al-Baqarah*:153)^{*)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Quran dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa :

Nama : Sri Wahyu Purwaning Tyas

NIM : 100210103028

Prodi : S1 Pendidikan Biologi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika” adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan subtransi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Maret 2015

Yang menyatakan

Sri Wahyu Purwaning Tyas

NIM. 100210103028

SKRIPSI

**POTENSI BAKTERI PELARUT FOSFAT (*Pseudomonas mallei* dan
Bacillus mycoides) DALAM MENGENDALIKAN NEMATODA
PARASIT *Pratylenchus coffeae* DAN MENINGKATKAN
PERTUMBUHAN TANAMAN KOPI ARABIKA**

Oleh:

SRI WAHYU PURWANING TYAS

NIM 100210103028

Pembimbing:

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.

PERSETUJUAN

**POTENSI BAKTERI PELARUT FOSFAT (*Pseudomonas mallei* dan
Bacillus mycoides) DALAM MENGENDALIKAN NEMATODA
PARASIT *Pratylenchus coffeae* DAN MENINGKATKAN
PERTUMBUHAN TANAMAN KOPI ARABIKA**

SKRIPSI

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

Nama Mahasiswa : Sri Wahyu Purwaning Tyas
NIM : 100210103028
Jurusan : Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Biologi
Tahun Angkatan : 2010
Daerah Asal : Tulungagung
Tempat, Tanggal Lahir : Nganjuk, 05 November 1991

Pembimbing I, Disetujui Pembimbing II,

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

Dr. Iis Nur Asyiah S.P., M.P.
NIP. 197306142200801 2 008

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika” telah diuji dan disahkan pada:

Hari :
Tanggal : Maret 2015
Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

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

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

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

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

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

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd
NIP. 195405011983031005

RINGKASAN

Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika; Sri Wahyu Purwaning Tyas; 100210103028; 2015; 79 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi; Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Kopi (*Coffea* spp.) sebagai komoditas dan prioritas kedua dan merupakan komoditas unggulan nasional diarahkan untuk meningkatkan nilai tambah produk kopi nasional sehingga mempunyai daya saing di pasar internasional. Budaya minum kopi di negara-negara konsumen yang telah berlangsung berabad-abad berpengaruh terhadap dinamika selera berupa preferensi konsumen untuk menikmati citarasa yang lebih beragam. Kopi yang sering disukai dan diminati adalah kopi arabika, karena memiliki aroma dan rasa yang khas. Akan tetapi kopi arabika lebih rentan terhadap penyakit

Hampir semua sentra produksi kopi di Indonesia terserang nematoda *Pratylenchus coffeae* sehingga hal ini merupakan kendala utama dalam pengembangan kopi. Nematoda parasit merusak akar kopi dan berpotensi besar menurunkan produktivitas kopi. Melihat potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh *Pratylenchus coffeae*, banyak dilakukan pengendalian terhadap nematoda ini diantaranya dengan menggunakan nematisida, tetapi hal tersebut berpengaruh terhadap keberlangsungan fungsi lingkungan dalam mendukung daya tanam tanaman, sehingga menimbulkan berbagai perdebatan di berbagai kalangan untuk menggunakan agen hayati dalam mengendalikan nematoda parasit pada kopi. Salah satu agen hayati yang dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan populasi nematoda parasit dan membantu pertumbuhan kopi adalah Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) yaitu *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji kemampuan BPF *P. mallei* dan *B. mycoides* dalam mengendalikan populasi

nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika

Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu pembuatan ekstraksi akar kopi dilakukan di Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Kecamatan Jenggawah, *Green house* Dr. Iis Nur Asyiah di perumahan Tidar. Tahap persiapan bakteri dilakukan di laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi dan Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Jember. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan jumlah sampel kopi arabika sebanyak 80 tumbuhan yang dibagi menjadi 8 kelompok perlakuan yang terdiri dari kelompok BPF *P. mallei* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml (A), BPF *P. mallei* dengan kerapatan 10^9 cfu/ml (B), BPF *B. mycoides* dengan jumlah bakteri sebanyak 10^8 cfu/ml (C), BPF *B. mycoides* dengan kerapatan 10^9 cfu/ml (D), Nematisida Carbofuran 5 gr/pot (E) dan Sinergisme BPF *P. mallei* dan *B. mycoides* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml (F), Tanpa Nematoda parasit dan juga perlakuan BPF (G) atau kontrol positif, dengan inokulasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* sebanyak 50 ekor/pot (H) atau kontrol negatif. Pengamatan dilaksanakan selama 16 minggu. Pengukuran parameter pertumbuhan (tinggi, diameter, jumlah daun) dilakukan setiap 2 minggu. Kemudian di akhir pengamatan dilakukan pemanenan tanaman untuk diukur massa basah, massa kering, skor kerusakan akar, dan juga ekstraksi nematoda untuk menghitung populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian BPF dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi dan mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*. Hasil analisis Anova menunjukkan bahwa BPF dapat menurunkan populasi *Pratylenchus coffeae* ($P= 0,001$) dengan prosentase 15-74% pada semua perlakuan BPF termasuk sinergisme antara *P. mallei* dan *B. mycoides*. Selain itu pemberian BPF juga meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pada parameter tinggi tanaman ($P= 0,000$), diameter batang ($P= 0,000$) berpengaruh secara signifikan, massa kering perlakuan dengan BPF lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata satu (S1) pada Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Jember.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian dengan judul Optimalisasi Peranan Mikoriza Dalam Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus coffeae* (>80%) dan Meningkatkan Ketersediaan P Tanah pada Tanaman Kopi dengan Penambahan *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB) dan *Phosphate Solubilizing Bacteria* (PSB) yang didanai oleh hibah KKP3N Deptan 2014, dan diketuai Dr. Iis Nur Asyiah, SP., MP.

Penyusunan Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr.Sunardi, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember;
3. Drs. Suratno, M.Si., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Prof. Dr. H. Joko Waluyo, M.Si., dosen pembimbing utama dan Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P., selaku Dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
5. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. dan Dra. Puji Astuti, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran dalam penulisan skripsi ini;

6. Semua dosen FKIP Pendidikan Biologi, atas semua pendidikan dan ilmu yang diberikan selama menjadi mahasiswa Pendidikan Biologi;
7. Bapak Soekadar Wiryadiputra, Ir. Slamet Haryono dan Bapak Rosidi selaku Teknisi Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia;
8. Bapak Tamyis, Bapak Adi, dan mbak Evi selaku teknisi laboratorium di Program Studi Pendidikan Biologi;
9. Keluargaku besarku Ayah dan Ibunda atas cinta kasih yang senantiasa memberikan doa, tak lupa adekku tersayang ananda Rizcha;
10. Semua Guru-guruku (TK, SD, SMP, SMA sampai dengan Perguruan Tinggi) yang telah memberikan ilmu dengan penuh ikhlas dan kesabaran;
11. Ibu Moel dan Pak Andre yang ikut serta membantu dalam penelitian;
12. Rekan-rekanku yang telah membantuku dalam penelitian Nafilah, Vika, Nui, Vina, Heni, Rifa, Novita, Resti, Wildan, Lovi, Findi, Luluk;
13. Sahabatku yang setia dalam suka duka Alm. Dita, Prisca, Galuh, dan Diah;
14. Teman-teman kosan Kalimantan IV dan II (Mbk Ifa, Kiki, Lisna, Agnes, Feva, Anis, dan warga kamar atas dkk) semua sahabat dan keluarga, semua orang-orang terdekat yang telah membantu serta memacu semangat untuk meraih yang terbaik.

Kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini, semoga Allah SWT memberikan balasan atas kebaikan semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jember, Maret 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	8
2.1.1 Deskripsi Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	8
2.1.2 Sistematika Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	8
2.1.3 Morfologi Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	9
2.2 Nematoda	12

2.2.1 Deskripsi Nematoda	12
2.2.2 Klasifikasi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	13
2.2.3 Morfologi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	14
2.2.4 Biologi Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	16
2.2.5 Gejala Kerusakan Akibat Serangan Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> Terhadap Akar Tumbuhan Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	18
2.3 Fosfor	19
2.3.1 Deskripsi Fosfor	19
2.4 Bakteri Pelarut Fosfat	21
2.4.1 Mekanisme Bakteri Pelarut Fosfat	22
2.4.2 Biologi <i>Pseudomonas mallei</i>	22
2.4.3 Biologi <i>Bacillus mycoides</i>	24
2.5 Pengendalian Penyakit Tanaman Secara Hayati Yang Ramah Lingkungan	25
2.6 Penggunaan Agen Hayati Dalam Mengendalikan Nematoda	26
2.7 BPF sebagai <i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i> (PGPR)	28
2.7.1 Mekanisme PGPR Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman	29
2.8 Hipotesis	30
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3 Identifikasi Variabel Penelitian	31
3.4 Definisi Operasional Variabel	32
3.5 Populasi dan Sampel	33
3.5.1 Populasi	33
3.5.2 Sampel	33

3.6 Alat dan Bahan Penelitian	33
3.6.1 Alat Penelitian.....	33
3.6.2 Bahan Penelitian	33
3.7 Prosedur Penelitian	34
3.7.1 Persiapan Penelitian	34
3.7.2 Uji Perlakuan	41
3.8 Analisis Data	44
3.9 Skema Alur Penelitian	45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Penelitian	46
4.1.1 Identifikasi Bakteri <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i>	46
4.1.2 Identifikasi Nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> dari akar tanaman kopi	48
4.1.3 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	48
4.1.3.1 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> Terhadap Tinggi Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	49
4.1.3.2 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> Terhadap Diameter Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	51
4.1.3.3 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> Terhadap Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	52
4.1.3.4 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> Terhadap Massa Basah Tajuk,	

Akar, dan Massa Kering Tajuk Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	54
4.1.4 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Populasi Nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> Pada Akar dan Tanah Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	55
4.2 Pembahasan	58
4.2.1 Hasil Identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i>	58
4.2.2 Pembuatan Suspensi dan Persiapan Bakteri BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> , Uji Biokimia dan Ekstraksi Nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i>	60
4.2.3 Pengaruh BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>) dan Populasi Nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i>	63
BAB 3. PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
DAFTAR LAMPIRAN	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Karakteristik isolat bakteri dari <i>Ictalurus punctatus</i>	24
3.1 Design Perlakuan Untuk Penelitian.	42
3.2 Kriteria Penilaian Skor Kerusakan Tajuk Daun Kopi	43
4.1 Hasil Uji Biokimia Untuk Identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat)...	47
4.2 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Tinggi Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	49
4.3 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Diameter Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	51
4.4 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	53
4.5 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Massa Basah Tajuk, Akar dan Massa Kering Tajuk Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	55
4.6 Pengaruh Pemberian BPF <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> Terhadap Populasi Nematoda Parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> Pada Akar dan Tanah Tanaman Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)....	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tumbuhan Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i> L.).....	9
2.2 Biji Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i> L.)	11
2.3 Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	13
2.4 Ekor nematoda Betina <i>Pratylenchus coffeae</i>	15
2.5 Bagian-bagian tubuh nematoda.....	15
2.6 Berbagai tipe stylet nematoda	16
2.7 Berbagai tipe makan Tylenchid pada jaringan akar	17
2.8 Daur hidup nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i>	17
2.9 Daun kopi yang terserang nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i>	19
3.1 Alat untuk ekstraksi akar dan cawan penghitung	35
3.2 Alat sentrifuse.....	37
3.9 Skema alur penelitian.....	45
4.1 Bakteri <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycoides</i> dengan perbesaran 400x.....	47
4.2 Nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> hasil ekstraksi dengan metode modifikasi Baerman dan perbesaran 400x	48
4.3 Grafik rerata tinggi tanaman kopi arabika selama 16 minggu setelah pengamatan.....	50
4.4 Grafik rerata diameter tanaman kopi arabika selama 16 minggu setelah pengamatan.....	52
4.5 Grafik rerata jumlah daun tanaman kopi arabika selama 16 minggu setelah pengamatan.....	54
4.6 Akar tanaman kopi Arabika pada saat dipanen	57

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A Matriks Penelitian	80
LAMPIRAN B Hasil Perhitungan dengan SPSS	84
LAMPIRAN C Data Mentah.....	104
LAMPIRAN D Foto Tanaman Kopi Arabika	116
LAMPIRAN E Alat dan Bahan Penelitian.....	120
LAMPIRAN F Foto Penelitian.....	121
LAMPIRAN G Surat Izin Penelitian di Laboratorium Mikrobiologi MIPA UNEJ.....	122

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi (*Coffea* spp.) sebagai komoditas dan prioritas kedua dan merupakan komoditas unggulan nasional diarahkan untuk meningkatkan nilai tambah produk kopi nasional sehingga mempunyai daya saing di pasar internasional (Alnopri dkk, 2011). Kopi (*Coffea* spp.) mulai diperkenalkan oleh VOC (Vereenigde Oostindische Compagnie) ke Indonesia pada tahun 1690 dan merupakan salah satu sumber pendapatan masyarakat. Ditinjau dari aspek sumber pendapatan masyarakat serta kesempatan kerja, produksi kopi mencapai 445.199 ton (Tandok dalam Baab, 2012). Kopi juga salah satu komoditas penting yang diperdagangkan secara luas di dunia. Budaya minum kopi di negara-negara konsumen yang telah berlangsung berabad-abad berpengaruh terhadap dinamika selera berupa preferensi konsumen untuk menikmati citarasa yang lebih beragam (Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, 2012: 1).

Ada beberapa jenis kopi yang dikenal dengan baik di Indonesia, yaitu kopi robusta, kopi arabika dan kopi liberika. Kopi Arabika adalah salah satu jenis kopi yang terkenal didunia, kopi arabika memiliki kualitas dan harga yang relatif lebih tinggi dari jenis kopi lainnya. Meskipun produksinya tidak terlalu tinggi tapi kualitas dan cita rasa dari kopi arabika yang membuatnya menjadi terkenal. Kopi arabika cocok dikembangkan di daerah dengan ketinggian 700-1700 m dpl, suhu 16-20°C, beriklim kering 3 bulan/tahun secara berturut-turut. Kopi Arabika peka terhadap penyakit karat daun *Hemileia vastatrix* (HV), terutama bila ditanam di daerah kurang dari 500 dpl (Lukiawan, 2009). Kopi arabika memiliki aroma dan rasa yang khas dibandingkan dengan kopi robusta, namun kopi arabika lebih rentan terhadap penyakit.

Secara garis besar penurunan produktivitas kopi ditentukan oleh berbagai faktor, di antaranya oleh Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Terdapat tiga (3)

jenis OPT utama yang menyerang tanaman kopi yaitu hama (Hama Penggerek Buah Kopi atau PBKo), nematoda parasit (*Pratylenchus coffeae*) dan penyakit (Penyakit Karat Daun Kopi). Hampir semua sentra produksi kopi di Indonesia terserang nematoda *Pratylenchus coffeae* sehingga hal ini merupakan kendala utama dalam pengembangan kopi. Penurunan produksi kopi Robusta oleh nematoda ini bisa mencapai 78.4%. Pada kopi arabika, tanaman hanya bisa hidup 2 tahun. 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.

Faktor yang mempengaruhi perkembangan populasi adalah tanaman inang, temperatur dan kondisi tanah. Lebih dari 200 spesies merupakan tanaman inang. Nematoda mampu bertahan 8 bulan ditanah tanpa tanaman inang. Tapi pada musim kemarau, nematoda tidak dapat tahan pada suhu 38°C dan peka terhadap kelembaban tanah tinggi serta sinar ultra violet (Prastowo dkk, 2010: 46).

Penyakit pada tanaman kopi terutama disebabkan oleh nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang dapat menyebabkan tanaman tumbuh kerdil, kurus, batang mengecil, daun tampak tua menguning dan gugur sehingga daun yang tertinggal adalah yang diujung-ujung cabang. Pada serangan berat, pucuk akan mati, bunga dan buah prematur. Jika serangan sudah terjadi dari dalam tanah, tanaman akan mudah dicabut karena akar-akar serabutnya membusuk berwarna coklat sampai hitam (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2008: 8).

Meskipun demikian di Indonesia, kerusakan tanaman karena nematoda parasit, kurang disadari baik oleh para petani maupun para petugas yang bekerja di bidang pertanian. Hal ini mungkin disebabkan oleh gejala serangan nematoda yang sulit diamati secara visual karena ukuran nematoda yang sangat kecil. Selain itu gejala serangan nematoda berjalan sangat lambat dan tidak spesifik, mirip atau bercampur dengan gejala kekurangan hara dan air, kerusakan akar dan pembuluh batang. Akibat terserangnya tanaman oleh nematoda, selain mengurangi kuantitas,

serangan nematoda juga dapat mengurangi kualitas produk. Kerugian lain yang disebabkan oleh nematoda, adalah tidak dapat dimafrakannya unsur hara yang diberikan kepada tanaman dalam upaya meningkatkan produksi (Mustika, 2005).

Pengendalian hayati nematoda pada tanaman kopi yang pernah dilakukan oleh Yus dkk (2014) adalah aplikasi isolat bakteri *P. fluorescens* (UB_Pf1) dan *B. subtilis* (UB_Bs1) mampu menyebabkan mortalitas juvenil II nematoda puru akar (*M. javanica*). Selain itu, pengaruh 3 taraf kerapatan koloni bakteri *P. fluorescens* (UB_Pf1) dan *B. subtilis* (UB_Bs1) dapat mempengaruhi mortalitas juvenil II nematoda puru akar (*Meloidogyne javanica*). Menurut Mustika (2005) tanaman terserang nematoda sistem perakarannya rusak, sehingga tanaman tidak mampu menyerap hara dan air meskipun keduanya tersedia cukup di dalam tanah. Kerusakkan akar karena nematoda menyebabkan berkurangnya suplai air ke daun, sehingga stomata menutup, akibatnya laju fotosintesis menurun (Wallace dalam Mustika, 2005).

Beberapa mikroorganisme tanah seperti rhizobium, *Azospirillum* dan *Azotobacter*, mikoriza, bakteri pelarut fosfat, mikoriza perombak selulosa an Effective Microorganism (EM) bila dimanfaatkan secara tepat dalam pertanian organik akan memberikan dampak positif baik bagi ketersediaan hara yang dibutuhkan tanaman, lingkungan edapik, maupun upaya pengendalian beberapa penyakit. Sehingga dapat diperoleh pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal dan hasil panen lebih sehat. Pemanfaatan mikroba untuk mempertahankan dan meningkatkan kesuburan tanah antara lain adalah daur ulang hara, penyimpanan sementara dan pelepasan untuk dimanfaatkan tanaman dan lain-lain.

Dalam tanah dijumpai fosfor organik dan anorganik, keduanya merupakan sumber penting bagi tanaman (Indranada, 1994: 58). Menurut Poerwidodo (1992: 284) fosfor juga merupakan unsur hara makro yang penting untuk pertumbuhan tanaman dan peranannya sebagai faktor pembatas. Masalah yang banyak dihadapi adalah jumlah P tersedia dalam tanah sangat sedikit.

Menurut Soesanto (2008: 44) banyak hal yang telah dilakukan dalam mengatasi masalah tidak tersedianya fosfor dalam tanah untuk bisa diserap oleh tanaman. Diantaranya adalah perlakuan secara fisik dan kimia yakni pemberian bahan organik, pengapuran, cara penempatan, jenis dan takaran pupuk P. Sedangkan secara biologi yakni dengan pemanfaatan mikroorganisme. Menurut Yulipriyanto (2010: 144) menegaskan bahwa fosfat juga diproduksi oleh bakteri dan organisme lain.

Penelitian yang dilakukan oleh Pradipta (2012), diketahui bahwa peran bakteri pelarut fosfat dalam meningkatkan serapan hara P diuji pada pertumbuhan tanaman sawi sendok (pakcoy) memberikan dampak positif pengaruh yang paling baik terhadap tinggi tanaman, bobot basah, dan bobot kering tanaman. Bakteri yang digunakan adalah *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* dan *Burkholderia* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Bacillus megaterium*, dan *Chromobacterium* sp. adalah sebagian dari kelompok BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) yang mempunyai kemampuan tinggi sebagai “biofertilizer” dengan cara melarutkan unsur P yang terikat pada unsur lain (Fe, Al, Ca, dan Mg), sehingga unsur P tersebut menjadi tersedia bagi tanaman. Unsur P adalah salah satu unsur hara penting dan mutlak diperlukan oleh mikroba tanah (selain BPF) maupun kelangsungan kehidupan tanaman. Persentase kandungan unsur P dalam ekosistem tanah juga sangat tergantung dari adanya BPF dalam ekosistem tanah tersebut. (Suliasih dan Widawati, 2005).

Sejumlah mikroorganisme mampu menghasilkan asam dan agen pengkhat. Mikroorganisme ini memiliki peranan penting dalam mempengaruhi larutan tanah dan pupuk fosfat. Spesies yang termasuk dalam mikroorganisme ini adalah : *Aspergillus niger*, strains dari *Escherichia freundii*, beberapa *Penicillium* dan *Pseudomonas*. Usaha untuk membuat unsur ini tersedia sering dilakukan dengan meningkatkan kelarutannya dalam tanah. Beberapa bakteri tanah seperti bakteri pelarut fosfat mempunyai kemampuan untuk melarutkan P organik menjadi bentuk fosfat terlarut yang tersedia bagi tanaman (Richardson dalam Pradipta, 2012).

Penelitian yang telah dilakukan Firnia dan Andree (2013) menunjukkan bahwa bakteri kelompok *Bacillus* sp. Dan *Pseudomonas* sp. dapat dimanfaatkan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman sekaligus berperan untuk mengendalikan penyakit tanaman.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “**Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah diantaranya adalah.

- a. Apakah Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* berpengaruh dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi arabika?
- b. Apakah Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* berpengaruh dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika?
- c. Apakah sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* berpengaruh dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi arabika?
- d. Apakah sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* berpengaruh dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika?

1.3 Batasan Masalah

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

- a. tanaman kopi yang digunakan adalah varietas kopi arabika yang sudah berumur 2 bulan dan muncul 2 daun diambil dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Jember.
- b. pengamatan hasil perlakuan untuk pertumbuhan meliputi pengukuran terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, diameter tanaman dan tajuk daun.
- c. di akhir penelitian dilakukan pengukuran massa basah akar, tajuk dan massa kering tajuk, populasi nematoda dalam tanah dan akar, skor kerusakan akar .
- d. ekstraksi akar untuk inokulasi menggunakan metode modifikasi Baermann dan waktu akhir (panen) penelitian menggunakan metode sentrifuse.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diteliti, terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai adalah:

- a. untuk menguji kemampuan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi arabika
- b. untuk menguji kemampuan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika
- c. untuk menguji sinergisme kemampuan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi arabika
- d. untuk menguji sinergisme kemampuan Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat, diantaranya adalah:

- a. bagi peneliti, dapat membuktikan secara ilmiah bahwa ada pengaruh bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* terhadap nematoda *Pratylenchus coffeae* pada kopi arabika.
- b. bagi petani perkebunan, memberikan informasi tentang pengendalian nematoda dengan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* pada kopi arabika agar tetap menjaga pertumbuhan tanaman dengan baik.
- c. bagi peneliti lain, dapat memberikan sumbangan pemikiran sebagai motivasi dalam rangka meneliti lebih lanjut pemanfaatan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*.
- d. bagi bidang keilmuan, sebagai tambahan ilmu pengetahuan mengenai formulasi berbahan aktif *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang efektif dalam mengendalikan nematoda *Pratylenchus coffeae* pada tanaman kopi arabika.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi arabika (*Coffea arabica* L.)

2.1.1 Deskripsi Kopi arabika (*Coffea arabica* L.)

Menurut Najiyati dan dan Danarti (2001: 7) kopi adalah spesies tanaman berbentuk pohon yang termasuk dalam famili Rubiaceae dan genus *Coffea*. Tanaman kopi memiliki batang kayu, daun yang kuat dan bunga hermaprodit (Luc, 2005: 529). kopi termasuk ke dalam famili Rubiaceae. Kopi arabika baik tumbuh dengan citarasa yang bermutu pada ketinggian di atas 1000 m dpl. Semakin tinggi lokasi perkebunan kopi, cita rasa yang dihasilkan akan semakin baik karena terhindar dari penyakit (Prastowo dkk, 2010: 1). Tanaman kopi dapat diperbanyak dengan cara vegetatif menggunakan bagian dari tanaman dan generatif menggunakan benih atau biji. Perbanyak secara generatif lebih umum digunakan karena mudah dalam pelaksanaannya, lebih singkat untuk menghasilkan bibit siap tanam dibandingkan dengan perbanyak bibit secara vegetatif (klonal) (Prastowo dkk, 2010: 16).

2.1.2 Sistematika Kopi arabika (*Coffea arabica* L.)

Menurut Tjitrosoepomo (2000), klasifikasi kopi arabika yaitu :

Kingdom: Plantae (Tumbuhan)

Divisi: Spermatophyta

Sub divisi: Angiospermae

Kelas: Dicotyledoneae

Ordo: Rubiales

Famili: Rubiaceae

Genus: *Coffea*

Spesies: *Coffea arabica* L.



Gambar 2.1 Tumbuhan Kopi arabika (sumber: koleksi pribadi, 2014)

2.1.3 Morfologi Kopi arabika (*Coffea arabica* L.)

a. Akar dan daun

Meskipun kopi merupakan tanaman tahunan, tetapi umumnya mempunyai perakaran yang dangkal. Oleh sebab itu mudah mengalami kekeringan pada kemarau yang panjang bila di daerah perakarannya tidak diberi mulsa. Secara alami tanaman kopi memiliki akar tunggang sehingga tidak mudah rebah. Tetapi akar tunggang tersebut hanya dimiliki oleh tanaman kopi yang bibitnya berupa bibit semaian atau bibit sambungan (okulasi) yang batang bawahnya merupakan semaian. Tanaman kopi yang bibitnya berasal dari bibit stek, cangkokan, atau bibit okulasi yang batang bawahnya merupakan bibit stek tidak memiliki akar tunggang sehingga relatif mudah rebah. Daun tumbuh berhadapan pada batang, cabang, dan ranting-rantingnya (Najiyati dan Danarti, 2001: 10).

b. Batang dan Cabang

Batang tanaman bercabang banyak, tegak dan bila dibiarkan tumbuh dapat mencapai tinggi 12 m. Kopi memiliki sistem percabangan yang agak berbeda dengan tanaman lain. Tanaman ini mempunyai beberapa jenis cabang yang sifat dan fungsinya agak berbeda yaitu:

- 1) cabang primer: cabang yang tumbuh pada batang utama atau cabang reproduksi berasal dari tunas primer. Cabang ini juga berfungsi sebagai penghasil bunga karena disetiap ketiak daunnya terdapat mata atau tunas yang dapat tumbuh menjadi bunga.
- 2) cabang sekunder: cabang yang tumbuh pada cabang primer dan berasal dari tunas sekunder. Memiliki sifat seperti cabang primer sehingga dapat menghasilkan bunga.
- 3) cabang kipas: cabang reproduksi yang tumbuh kuat pada cabang primer karena pohon sudah tua. Cabang ini memiliki sifat seperti batang utama .
- 4) cabang pecut: cabang kipas yang tidak mampu membentuk cabang primer meskipun tumbuhnya cukup kuat.
- 5) cabang balik: cabang reproduksi yang tumbuh pada cabang primer, berkembang tidak normal, dan mempunyai arah pertumbuhan menuju ke dalam mahkota tajuk.
- 6) cabang air (wiwilan): cabang reproduksi yang tumbuhnya pesat, ruas-ruas daunnya relatif panjang dan lunak atau banyak mengandung air. Cabang ini sering dipangkas dalam proses pemeliharaan tanman. (Najiyati dan Danarti, 2001: 7-10).

c. Bunga dan Buah

Tanaman kopi umumnya akan mulai berbunga setelah berumur ± 2 tahun. Mula-mula bunga keluar dari ketiak daun yang terletak pada batang utama atau cabang reproduksi. Tetapi bunga yang keluar dari kedua tempat tersebut biasanya tidak berkembang menjadi buah, jumlahnya terbatas, dan hanya dihasilkan oleh tanaman-tanaman yang masih sangat muda. Bunga yang jumlahnya banyak akan keluar dari ketiak daun yang terletak pada cabang primer. Bunga ini berasal dari kuncup-kuncup sekunder dan reproduktif yang berubah fungsinya menjadi kuncup bunga. Kuncup bunga kemudian berkembang menjadi bunga secara serempak dan bergerombol. Jumlah kuncup bunga pada setiap ketiak daun terbatas. Setiap ketiak daun dapat

menghasilkan 8-18 kuntum bunga, atau setiap buku menghasilkan 16-36 kuntum bunga. Bunga kopi berukuran kecil, mahkotanya berwarna putih dan berbau harum semerbak. Kelopak bunga berwarna hijau, pangkalnya menutupi bakal buah yang mengandung dua bakal biji. Benang sarinya terdiri dari 5-7 tangkai yang berukuran pendek. Bunga kopi akan mekar pada permulaan musim kemarau sehingga pada akhir musim kemarau telah berkembang menjadi buah yang siap dipetik. Pada awal musim hujan, cabang primer akan memanjang dan membentuk daun-daun baru yang siap mengeluarkan bunga pada awal musim kemarau mendatang (Najiyati dan Danarti, 2001: 10-12).



Gambar 2.2 Biji kopi arabika setelah dipanen (a) dan ketika masih dipohon (b)
(Sumber: <http://acehterkini.com>)

Buah terdiri dari daging buah dan biji. Daging buah terdiri atas 3 bagian lapisan kulit luar (*eksokarp*), lapisan daging (*mesokarp*), dan lapisan kulit tanduk (*endokarp*) yang tipis tetapi keras. Buah kopi umumnya mengandung dua butir biji, tetapi kadang-kadang hanya mengandung 1 butir atau bahkan tidak berbiji (hampa) sama sekali. Biji ini terdiri atas kulit biji dan lembaga. Lembaga atau sering disebut endosperm merupakan bagian yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan membuat minuman kopi (Najiyati dan Danarti, 2001: 13-14).

2.2 Nematoda

2.2.1 Deskripsi Nematoda

Nematoda menurut Pracaya (1990: 308) berbentuk seperti cacing kecil. Panjangnya \pm 200-1000 milimikron. Ada beberapa perkecualian yang panjangnya melebihi 1 cm. Nematoda bisa hidup di dalam atau diatas tanah, di dalam tanaman (endoparasit) atau di luar tanaman (ektoparasit). Nematoda umumnya hidup dalam lapisan tanah sampai sedalam \pm 30 cm. Ada nematoda yang makan tanaman yang masih hidup ada juga yang memakan tanaman yang telah mati. Jenis nematoda saprofit yang makan tanaman mati menguntungkan karena mempercepat tanaman menjadi tanah, biasanya nematoda saprofit tidak memiliki stilet (alat runcing seperti tombak), sedangkan nematoda jenis parasit atau predator memiliki stilet. Nematoda yang terdapat diatas tanah biasanya ditemukan pada jaringan tanaman, tunas daun, dalam batang dan bagian tanaman yang lainnya.

Nematoda yang berukuran kecil tidak mudah menembus tanah, sehingga gerakannya terbatas di dalam rongga-rongga atau pori-pori di antara partikel-partikel tanah. Nematoda parasit dibagi sesuai ekologiannya, yaitu (a) ektoparasit yang bermigrasi (*migratory ectoparasitic*) yang hidup di dalam tanah dengan memakan sel jaringan akar; (b) semi endoparasit yang bermigrasi (*semi endoparasitic*) dan hidup di dalam tanah, hanya dengan bagian depan (anterior) badannya berada di dalam akar inang; (c) endoparasit yang menetap (*sedentary endoparasitic*), yang daur hidupnya dapat mengalami modifikasi, betinanya hilang daya geraknya karena badannya menjadi seperti kantong . Nematoda endoparasit hanya hidup sebentar di dalam tanah dan masuk ke dalam akar, dan disini mereka dapat ditemukan. Sebaliknya nematoda ektoparasit akar seluruh hidupnya berada di dalam tanah sambil memarasit akar tumbuhan. Nematoda hanya bergerak aktif pada jarak pendek (sekitar 20-30 cm setahun). Tetapi angin, aliran air termasuk irigasi, dan hewan atau manusia dapat membantu penyebarannya, misalnya dengan mengangkut tanah, pupuk organik, biji, tanaman persemaian (khususnya yang diangkut beserta dengan tanahnya) atau alat-

alat pertanian. Nematoda hanya akan menimbulkan kerugian jika populasinya sangat tinggi (Semangun, 2001: 142-144).

2.2.2 Klasifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Klasifikasi nematoda peluka akar (*Pratylenchus coffeae*) menurut Dropkin (1988: 129) adalah.

Kingdom: Animalia

Ordo: Tylenchida

Sub ordo: Tylenchina

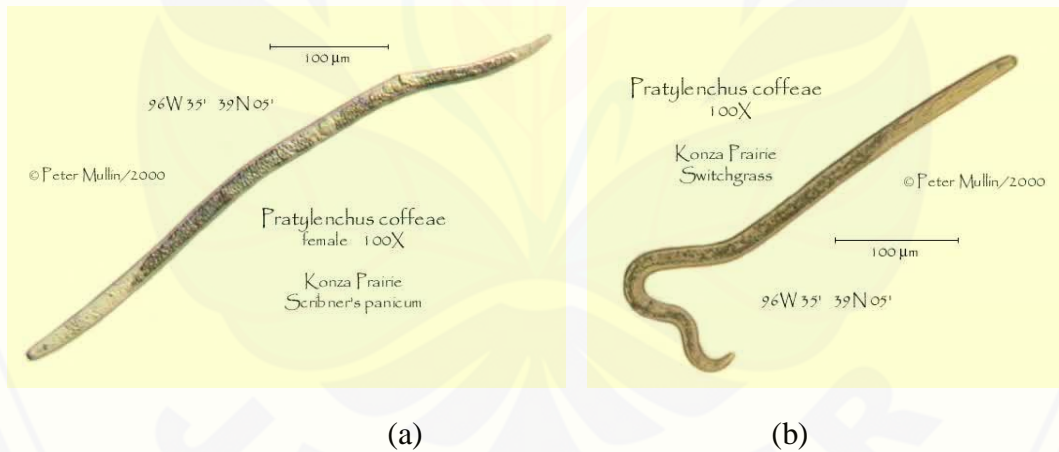
Super famili: Tylenchoidea

Famili: Pratylenchidae

Sub famili: Pratylenchinae

Genus: *Pratylenchus*

Spesies: *Pratylenchus coffeae*

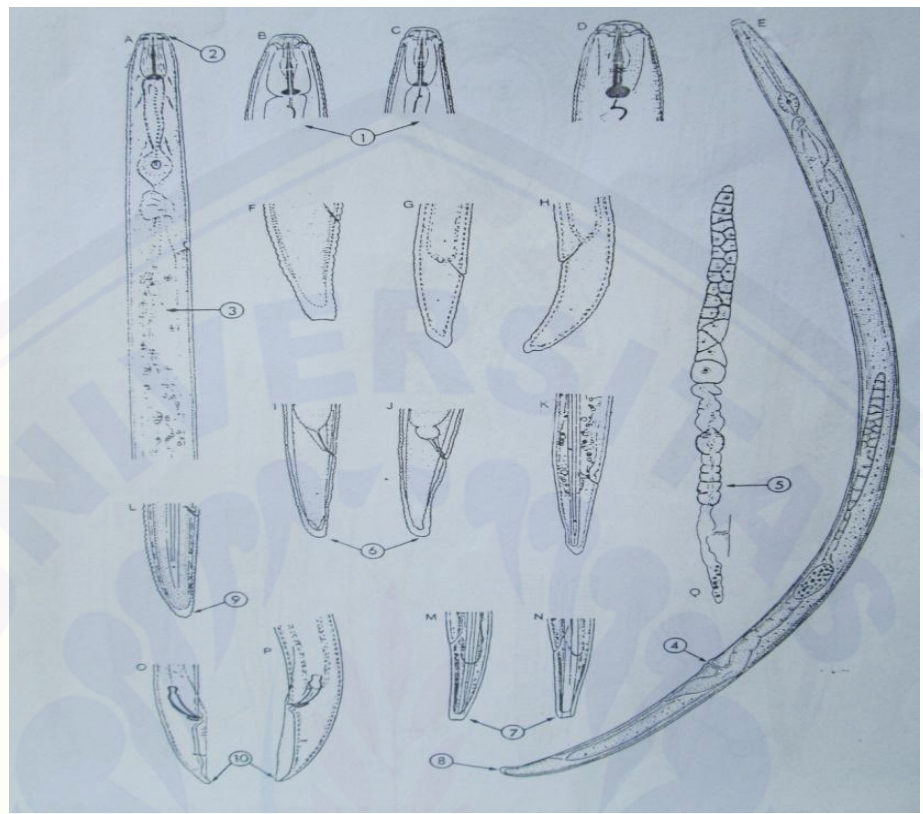


Gambar 2.3 Nematoda *Pratylenchus coffeae* a. betina; b. jantan (sumber: Peter Mullin, 2000).

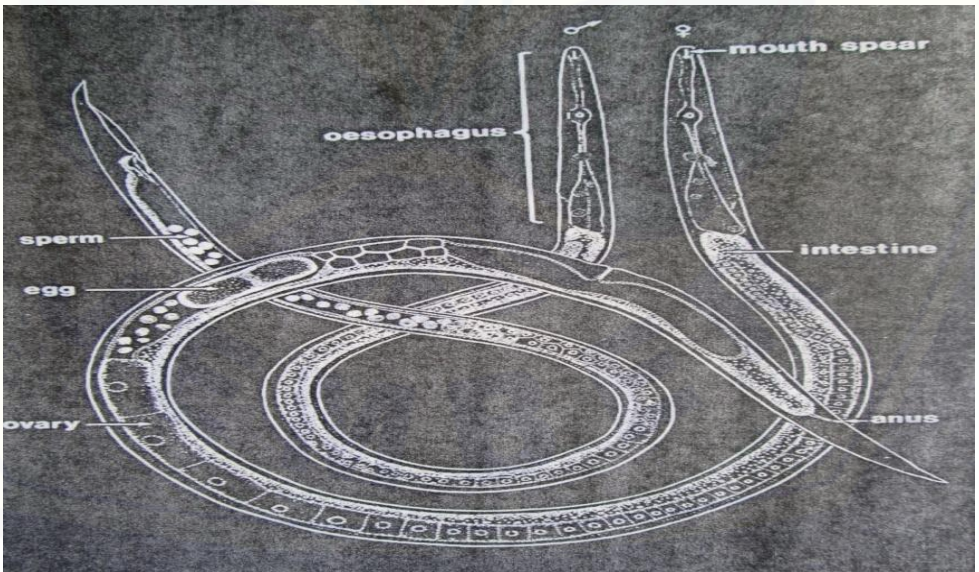
2.2.3 Morfologi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

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

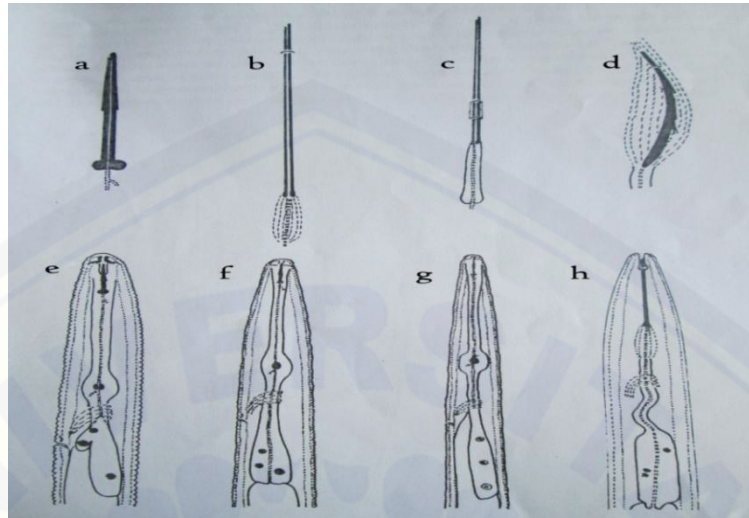
Nematoda betina vulvanya terletak di bagian posterior yaitu 70-80% panjang tubuhnya, sistem genitalnya mempunyai saluran tunggal yang mengarah ke bagian anterior tubuh, dan adanya berbagai variasi post-vulva, yang menunjukkan adanya berbagai diferensiasi namun bagian tersebut tidak berfungsi. Spermateknya berbentuk oval atau bulat, dan umumnya berisi sperma pada spesies nematoda biseksual, ekornya subsilindris atau kurang lebih seperti seperti kerucut dengan ujungnya lebar atau sempit dan tumpul atau terpancung dan kadang-kadang halus atau beranulasi (Luc *et al.*, 1995:31). Anulasinya halus dan mempunyai empat garis lateral, tetapi terdapat juga jenis yang memiliki garis lateral sampai berjumlah delapan. Ekornya lebar dan ujungnya membulat dan runcing, panjangnya antara 3,5-9% dari panjang tubuh (Dropkin, 1996: 130). Nematoda jantan ekornya pendek, bagian dorsalnya seperti kerucut yang melengkung, bursanya tumbuh sampai ke ujung ekor, spikulanya silindris memanjang dan melengkung (Luc *et al.*, 1995: 31).



Gambar. 2.4 Ekor nematoda Betina *P.coffeae* ditunjukkan huruf M,N (sumber: Luc, 1995: 32)



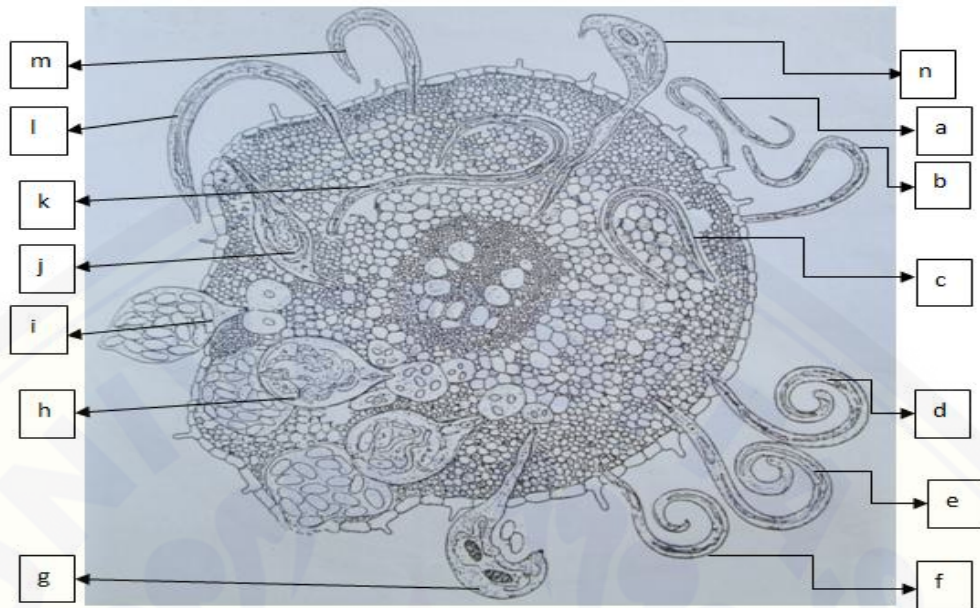
Gambar 2.5 Bagian-bagian tubuh nematoda (sumber: Whitehead, 1998: 3)



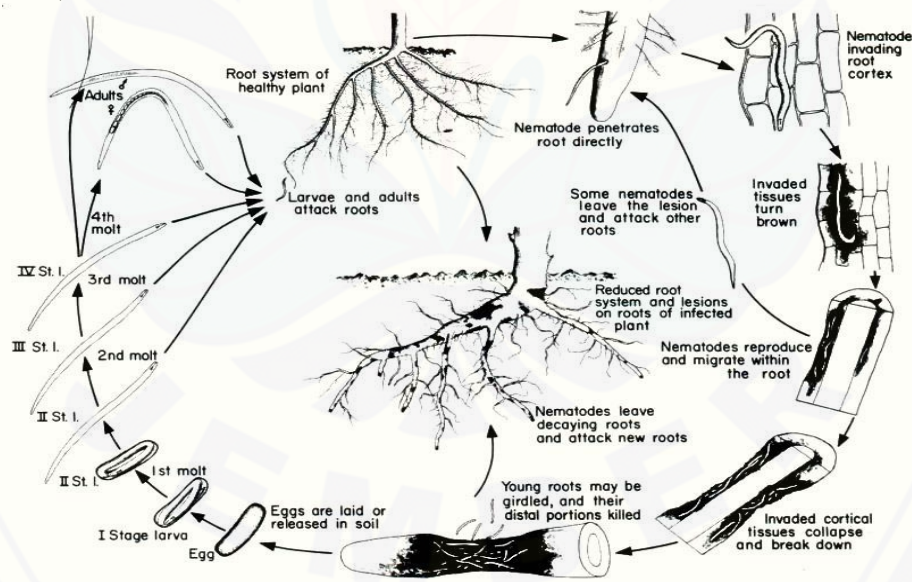
Gambar 2.6 Berbagai tipe stylet nematoda : a. *Tylenchid*; b. *Longidorus*; c. *Xiphinema*; d. *Trichodorid*; Berbagai tipe esophagus: e. *Tylenchid* (usus tumpang tindih); f. *Tylenchid* (usus berbatasan), g. *Aphelenchid*, dan h. *Dorylaimid*, *Pratylenchus coffeae* memiliki bentuk stylet tipe A (sumber: Whitehead, 1998: 4).

2.2.4 Biologi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Menurut Luc *et al.*, (1996: 31) nematoda *Pratylenchus coffeae* bersifat endoparasitik yang berpindah-pindah kisaran inang yang luas. Semua stadiumnya terdapat di dalam jaringan korteks inangnya. Populasinya di dalam tanah yang rendah dapat berasosiasi dengan populasi yang tinggi di dalam akar. Kebanyakan nematoda memperoleh makanannya pada sel-sel korteks dan membentuk suatu rongga yang berisi “sarang” atau koloni nematoda dengan berbagai stadium. Perubahan warna jaringan yang terserang umumnya tampak jelas. Gejala serangan di atas permukaan tanah berupa klorosis dan hambatan pertumbuhan. Beberapa spesies berkembangbiak secara seksual yang lain secara partenogenetik. Daur hidupnya berlangsung tiga atau empat minggu dan nematoda dapat bertahan hidup tanpa tumbuhan inang selama beberapa bulan. Menurut Mustika (2003) *P. coffeae* bertelur di dalam jaringan akar. Daur hidupnya berkisar antara 45-48 hari dengan rincian sebagai berikut: inkubasi telur selama 15-17 hari, perkembangan larva hingga menjadi dewasa sekitar 15-16 hari dan perkembangan nematoda dewasa hingga meletakkan telur sekitar 15 hari. *P. coffeae* mampu menginfeksi akar tanaman inang pada fase juvenil dan dewasa.



Gambar 2.7 Berbagai tipe makan Tylenchid pada jaringan akar. a.*Ditylenchulus*, b. *Tylenchirhynchus*, c.*Pratylenchus*, d.*Rotylenchus*, e.*Hoplolaimus*, f.*Helicotylenchus*, g.*Rotylenchulus*, h.*Meloidogyne*, i.*Heterodera*, j.*Nacobbus*, k.*Hirschmanniella* l.*Hemicycliophora*, m.*Criconebella*, n.*Tylenchulus* (sumber : Siddiqy dalam Luc *et al.*, 1995: 9).



Gambar 2.8. Daur hidup nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* (sumber: www.sardisa.gov.au)

2.2.5 Gejala Kerusakan Akibat Serangan Nematoda *Pratylenchus coffeae* Terhadap Akar Tumbuhan Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Nematoda *Pratylenchus coffeae* menyebabkan terjadinya luka akar yang bersifat endoparasit yang bermigrasi, memakan kulit akar sehingga akar menguning dan akhirnya berwarna ungu coklat. Luka berkembang melingkari akar, dan pada tingkat lanjut kulit akar dapat lepas (Semangun, 2000: 275). Nematoda yang masuk ke dalam akar tumbuh di dekat ujung akar, di daerah yang sel-selnya sedang memanjang. Akar tanaman dapat terpengaruh oleh tusukan stilet nematoda, sehingga terjadi sel-sel yang membesar dan berinti banyak, karena mitosis yang terjadi berulang-ulang tanpa disertai pembelahan sel (Semangun, 2001: 143-144). Akar akan bereaksi membentuk hyperplasia (tumor atau bisul) yang cukup besar seperti bonggol.

Nematoda tinggal di dalam akar bersama-sama dengan telurnya. Serangan nematoda menyebabkan nekrosis, kematian ujung akar tanaman, maka terjadi lagi pembentukan akar serabut baru yang jumlahnya lebih banyak. Kalau serangan hanya terjadi di bagian satu sisi maka akar akan tumbuh membengkok kemudian berbelit-belit. Luka akar yang ditimbulkan oleh stilet merangsang datangnya cendawan dan bakteri yang menyebabkan penyakit sekunder, akan menjadi busuk, dan bisa menjadi sumber penyakit tanaman (Pracaya, 1997: 310). Pertumbuhan tanaman terhambat, daun-daun menguning, layu, gugur, cabang-cabang samping tidak tumbuh. Semai kopi dapat mendadak mati karena serangan nematoda, dan tanaman menjadi lebih tua menderita dalam jangka waktu yang lama. Akar yang terserang nematoda melakukan regenerasi yang sangat lambat (Semangun, 2000: 276).

Rendahnya berat akar tanaman yang diinokulasi nematoda, disebabkan oleh kerusakan akibat penusukan stilet dan sekresi enzim yang dikeluarkan nematoda sewaktu nematoda makan. Menurut Agrios dalam Harni (2007), melaporkan bahwa nematoda yang mengkonsumsi sel akar mampu menurunkan kemampuan tanaman menyerap air dan hara dari tanah 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 pektinase yang mampu mendegradasi sel sehingga ujung akar luka dan pecah, hal ini menyebabkan auksin tidak aktif. Tidak aktifnya auksin menyebabkan pertumbuhan akar terhambat. Karena pertahanan tanaman mulai terganggu maka patogen maupun hama yang lain akan mudah menyerang tanaman kopi, dan lama kelamaan tanaman kopi akan mengalami kematian. Gejala yang kelihatan seperti terserang hama pengganggu inilah yang menyebabkan para petani kopi kurang menyadari keberadaan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*.



(Gambar 2.9 Daun kopi yang terserang nematoda *Pratylenchus coffeae* (sumber: koleksi pribadi, 2014)

2.3 Fosfor

2.3.1 Deskripsi Fosfor

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur utama yang diperlukan tanaman dan memegang peranan penting dalam proses metabolisme. Dalam tanah dijumpai fosfor organik dan anorganik, keduanya merupakan sumber penting bagi tanaman. Tanaman menyerap fosfor dalam bentuk H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} . Pada umumnya bentuk H_2PO_4^- lebih tersedia bagi tanaman daripada HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} (Winarso, 2005: 94). Ketersediaan fosfor anorganik sangat ditentukan oleh pH tanah, jumlah dan tingkat

dekomposisi bahan organik serta kegiatan jasad mikro dalam tanah (Indranada, 1994: 58-59). Menurut Poerwidodo (1992: 284) fosfor juga merupakan unsur hara makro yang penting untuk pertumbuhan tanaman, dan peranannya sebagai faktor pembatas pertumbuhan lebih penting daripada potasium. Masalah yang banyak dihadapi adalah jumlah P tersedia dalam tanah sangat sedikit.

Kadar total P di dalam tanah umumnya rendah dan berbeda-beda menurut jenis tanah. Tanah-tanah muda dan perawan biasanya memiliki kadar P yang lebih tinggi daripada tanah-tanah yang tua, begitu juga penyebarannya dalam profil tanah. Pada umumnya kadar P di dalam tanaman di bawah kadar N dan K, yaitu sekitar 0,1-0,2% (Winarso, 2005: 93). Kadar P anorganik makin bertambah dengan dalamnya lapisan tanah kecuali bentuk P organik. Mobilitas ion-ion fosfat dalam tanah sangat rendah karena retensinya dalam tanah sangat tinggi. Ini disebabkan retensi yang tinggi terhadap unsur P di dalam tanah menyebabkan konsentrasinya dalam larutan cepat sekali berkurang. Tetapi apabila kelarutan ini dapat diperbesar maka jumlah yang sedikit saja dari unsur ini akan segera memperlihatkan pengaruhnya yang positif terhadap pertumbuhan tanaman.

Unsur P disebut juga kunci untuk kehidupan karena fungsinya yang sangat sentral dalam proses kehidupan. Unsur ini berperan dalam proses pemecahan karbohidrat untuk energi, penyimpanan dan peredarannya keseluruhan tanaman dalam bentuk ADP dan ATP (Foth, 1994: 272). Unsur ini juga berperan dalam pembelahan sel melalui peranan nukleoprotein yang ada dalam inti sel, selanjutnya berperan dalam meneruskan sifat-sifat kebakaan dari generasi ke generasi melalui peranan DNA (*deoxyribonucleic acid*). Tanpa fosfat, proses-proses tersebut tidak dapat berlangsung. Unsur ini juga menentukan pertumbuhan akar, mempercepat kematangan dan produksi buah dan biji (Windi, 2012). Tanaman umumnya menyerap unsur fosfor dalam bentuk ion monofosfat atau fosfat primer ($H_2PO_4^-$) (Sanchez, 1992: 281).

2.4 Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*)

Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang berkemampuan melarutkan P yang terfiksasi dalam tanah dan mengubahnya menjadi bentuk yang tersedia sehingga dapat diserap tanaman. Mikroorganisme pelarut fosfat ini dapat berupa bakteri (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Eschericia*, *Actinomyctes*, dan lain lain). Sekitar sepersepuluh sampai setengah jumlah bakteri yang diisolasi dari tanah mampu melarutkan fosfat, jumlah bakteri tersebut berkisar $10^5 - 10^7$ per gram tanah dan banyak dijumpai di daerah perakaran tanaman (Dewi, 2007). Genus *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. memiliki kemampuan yang paling besar dalam melarutkan fosfat tak larut menjadi bentuk larut dalam tanah. Pelarutan ini disebabkan oleh adanya sekresi asam organik bakteri tersebut seperti asam formiat, asetat, propionat, laktat, glikolat, glioksilat, fumarat, tartarat, ketobutirat, suksinat, dan sitrat (Subba Rao dalam Kasmita, 2010).

Mikroba tanah mempunyai peran yang sangat penting dalam proses penguraian bahan organik kompleks yang secara enzimatik akan membebaskan nutrisi dari fraksi mineral tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Salah satu bakteri yang penting adalah bakteri pelarut fosfat (BPF) yang berperan dalam melarutkan fosfat organik dan anorganik menjadi fosfat terlarut, sehingga dapat digunakan/diserap oleh akar tanaman dan mikroba tanah lainnya. BPF juga dapat memacu pertumbuhan tanaman (Widawati dkk, 2001).

Banyak jamur dan bakteri (misalnya *Aspergillus*, *Penicillium*, *Bacillus*, dan *Pseudomonas*) yang merupakan pelarut potensial dari fosfat yang terikat. Bakteri pelarut fosfat diketahui mereduksi pH substrat dengan mensekresi sejumlah asam organik seperti asam-asam format, asetat, propionate, laktat, glikolat, fumarat dan suksinat. *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Bacillus megaterium*, dan *Chromobacterium* sp. adalah sebagian dari kelompok BPF yang mempunyai kemampuan tinggi sebagai “biofertilizer” dengan cara melarutkan unsur P yang terikat pada unsur lain (Fe, Al, Ca, dan Mg), sehingga unsur P tersebut menjadi tersedia bagi tanaman. Unsur P

adalah salah satu unsur hara penting yang berperan dalam metabolisme dan proses mikrobiologis tanah dan mutlak diperlukan oleh mikroba tanah (selain BPF) maupun kelangsungan kehidupan tanaman. Persentase kandungan unsur P dalam ekosistem tanah juga sangat tergantung dari adanya BPF dalam ekosistem tanah tersebut (Suliasih dan Widawati, 2005).

2.4.1 Mekanisme Bakteri Pelarut Fosfat

Mekanisme kerja BPF sehingga mampu melarutkan P tanah dan P asal pupuk yang diberikan diduga didasarkan pada sistem sekresi bakteri berupa asam organik. Beberapa di antara asam-asam ini (asam hidroksi) mungkin membentuk khelat dengan kation-kation seperti Ca dan Fe dan khelasi semacam ini berakibat pelarutan fosfat yang efektif (Rao dalam Kartika, 2008). Meningkatnya asam organik biasanya diikuti dengan pembentukan khelat dari Ca dengan asam organik tersebut sehingga P dapat larut dan P tersedia tanah meningkat. Mekanisme mikroorganisme dalam melarutkan P tanah yang terikat dan P yang berasal dari alam diduga karena asam-asam organik yang dihasilkan akan bereaksi dengan $AlPO_4$, $FePO_4$, dan $Ca(PO_4)_2$, dari reaksi tersebut terbentuk khelat organik dari Al, Fe, dan Ca sehingga P terbebaskan dan larut serta tersedia untuk tanaman (Rao dalam Dewi, 2007).

2.4.2 Biologi *Pseudomonas mallei*

Pseudomonas mallei yang sekarang telah berganti nama menjadi *Burkholderia mallei* berasal dari genus *Burkholderia*. Nama tersebut diciptakan setelah W.H Burkholder, yang awalnya di tahun 1950 terisolasi *B. cepasia* dari bawang dengan kulit asam yang membusuk. Pada tahun 1902 diciptakan untuk menutupi sejumlah bakteri gram negatif yang sebelumnya dianggap sebagai *Pseudomonas*, termasuk *Pseudomonas cepasia* (*B. cepasia*), *Pseudomonas gladioli* (*B. gladioli*), *Pseudomonas mallei* (*B. mallei*), *Pseudomonas pseudomallei* (*B. pseudomallei*). Klasifikasi *Pseudomonas mallei* menurut Liu (2014:301) adalah.

Kingdom: Bacteria

Filum: Proteobacteria

Kelas: Betaproteobacteria

Ordo: Burkholderiales

Famili: Burkholderiaceae

Genus: Burkholderia

Spesies: *Burkholderia mallei*

Pseudomonas mallei merupakan bakteri berbentuk coccobacilli (1-3 μm x 0.3 μm), gram negatif, aerob bipolar, tidak motil, tidak berflagel (berbeda dengan *B. pseudomallei* dan anggota genus lainnya yang motil), ukuran panjangnya 1,5-3 μm dan 0,5-1 μm diameternya dengan bagian ujungnya bulat (Liu, 2014:302). *Pseudomonas mallei* juga tidak membentuk spora, dan katalase positif, menggunakan H_2 , atau karbon sebagai sumber energinya, beberapa spesies bersifat patogen bagi tanaman, kebanyakan tidak dapat tumbuh pada kondisi masam (pH 4,5) dan pertumbuhan maksimal pada suhu 37⁰C (Dewi, 2007). Beberapa mekanisme *Pseudomonas* dalam mempengaruhi tanaman menurut Hanafiah (2005: 230) meliputi:

- a. dengan menghambat pertumbuhan patogen atau patogen minor.
- b. melalui produksi *plant growth promoting substance* (PGPS) seperti auksin, giberelin dan vitamin.
- c. melalui produksi senyawa pelarut fosfat seperti asam α ketoglukonik.
- d. bersifat antagonisme terhadap flora biota penyebab penyakit melalui produksi siderofor (senyawa organik pengkhelat Fe^{3+} dan antibiotik).

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

2.4.3 Biologi *Bacillus mycooides*

Bacillus memiliki sel yang berbentuk batang dan lurus dan sering berpasangan atau berantai, dengan bulat atau persegi diakhir. Selnya masuk golongan gram positif dan motil dengan flagela petrichois. Endospora berbentuk oval atau terkadang-kadng bulat atau silinderoval dan sangat resisten terhadap kondisi buruk. Selalu memiliki katalase positif, memiliki habitat yang luas. *Bacillus mycooides* juga mampu mengendalikan serangan *Cercospora* bercak daun (*Cercospora beticola* Sac.) pada gula bit dengan presentase 38-91% pada dua percobaan di rumah kaca dan lapangan. Pengendalian penyakit disebabkan kemampuan bakteri yang menginduksi ketahanan tanaman secara sistemik, yang ditunjukkan melalui induksi ketahanan dengan menggunakan enzim. *Bacillus mycooides* menunjukkan peningkatan aktivitas kitinase, β -1,3-glukanase, dan peroksidase, semua protein patogenesis terkait (Bargabus., *et al*, 2002). Untuk karakteristik dari *Bacillus mycooides* dapat dilihat pada Tabel 2.1. Klasifikasi bakteri *Bacillus mycooides* adalah.

Kingdom: Bacteria

Filum: Firmicutes

Kelas: Bacilli

Ordo: Bacillales

Famili: Bacillaceae

Genus: Bacillus

Spesies: *Bacillus mycooides* (ezbiocloud.net)

Tabel 2.1 Karakteristik isolat bakteri dari *Ictalurus punctatus*. Informasi tentang spesies *Bacillus* dari Harmon, 1982; Parry *et al.*, 1983; Claus & Berkeley, 1986; dan Sneath, 1986 dalam Goodwin (1994).

Karakteristik	Isolat	<i>Bacillus mycooides</i>	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Bacillus anthracis</i>
Endospora	+	+	+	+	+
Bentuk batang	+	+	+	+	+
Anaerobik	-	-	-	-	-
Katalase	+	+	+	+	+

Gram	+	+	+	+	+
Diameter sel < 2,5 µm	+	+	+	+	+
Asam dari D- glukosa	+	+	+	+	+
Voges Proscaruer (V-P)	+	+	+	+	+
pH di kaldu V-P <6	+	+	+	+	+
Indol	-	-	-	-	-
Hidrolisis gelatin	+	+	+	+	+
Diameter sel > 1µm	+	+	+	+	+
Spora oval	+	+	+	+	+
Lektinase	+	+	+	+	+
Hemolitik	+	+	+	+	-
Hidrolisis tirosin	+	+/-	+	+	-
Kristal parasporal	-	-	-	+	-
Motil	-	-	+	+	-
Koloni rhizoid	+	+	-	-	-

2.5 Pengendalian Penyakit Tanaman Secara Hayati Yang Ramah Lingkungan

Penggunaan pestisida yang berlebihan dan terus menerus telah menunjukkan suatu dampak negatif seperti timbulnya resistensi hama atau patogen ke dua, resisten jasad patogen, matinya musuh-musuh alami, sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem. Pengendalian penyakit tanaman secara hayati dalam arti luas adalah setiap cara pengendalian penyebab penyakit atau pengurangan jumlah atau pengaruh patogen tersebut yang berhubungan dengan mekanisme kehidupan organisme lain selain manusia. Pengendalian penyakit hayati oleh mikroorganisme baik jamur ataupun bakteri dapat terjadi melalui satu atau beberapa mekanisme seperti: antibiosis, kompetisi, hiperparasit, induksi resistensi dan memacu pertumbuhan tanaman.

Mekanisme antibiosis merupakan penghambatan patogen oleh senyawa metabolik yang dihasilkan oleh agensia hayati seperti: enzim, senyawa-senyawa volatil, zat pelisis dan senyawa antibiotik lainnya. (Burge dalam Nurhayati, 2011).

Antibiotik dapat juga mengakibatkan terjadinya endolisis atau autolisis yaitu pecahnya sitoplasma suatu sel oleh enzim yang diikuti kematian yang mungkin disebabkan kekurangan hara, antibiotik ataupun kerusakan dinding sel. Dengan demikian berhasil tidaknya suatu organisme pengendali hayati sebagai agensia hayati bergantung pada kemampuan antibiotik yang dihasilkannya menekan pertumbuhan dan perkembangan patogen tanaman (Baker dan Cook dalam Nurhayati, 2011)

Kompetisi adalah suatu mekanisme penekanan aktivitas patogen oleh agensia hayati terhadap sumber-sumber terbatas seperti zat organik, zat anorganik, ruang dan faktor-faktor pertumbuhan lainnya. Salah satu contoh adalah persaingan akan ruang/tempat pada akar. Mekanisme hiperparasit merupakan perusakan patogen oleh senyawa atau zat yang dihasilkan oleh agensia hayati seperti kitinase, selulase, glukonase, enzim pelisis dan lainnya. Agensia pengendali hayati juga dapat menginduksi resistensi tanaman terhadap patogen dengan cara mengaktifkan suatu lintasan sinyal dan melibatkan hormon asam jasmonat dan etilen tanaman. Mikroorganisme pendegradasi kitin umumnya berasal dari kelompok bakteri. Kelompok mikroorganisme yang telah dilaporkan memiliki aktivitas kitinolitik adalah *Aeromonas* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Serratia* sp., dan *Vibrio* sp. Beberapa agensia hayati juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman.

2.6 Penggunaan Agen Hayati dalam Mengendalikan Nematoda

Penelitian tentang penggunaan agen hayati dalam mengendalikan nematoda telah banyak dilakukan., salah satunya yaitu dengan menggunakan bakteri dan jamur. Bakteri antagonis merupakan mikroorganisme yang berpotensi sebagai agen pengendalian nematoda parasit secara biologis. Ditinjau dari segi keamanan lingkungan, pengendalian nematoda dengan menggunakan agen hayati (jamur atau bakteri) merupakan alternatif pilihan yang lebih baik dibandingkan dengan cara konvensional dengan menggunakan pestisida kimia (Mustika dan Riza, 2004).

Beberapa bakteri penyebab penyakit pada nematoda telah banyak dilaporkan dan bakteri lainnya menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi nematoda parasit

tanaman. Bakteri patogen nematoda yang banyak dikaji adalah dari genus *Pasteuria*. Bakteri tidak menyerang organisme tanah lainnya dan merupakan parasit obligat paling khas terhadap nematoda. Misalnya yang telah terbukti dapat menghambat nematoda adalah *Pasteuria penetrans* dengan spora yang dihasilkannya yang menghambat nematoda *Meloidogyne* spp. Spora *Pasteuria penetrans* berkecambah beberapa hari setelah nematoda, khususnya *Meloidogyne* spp. terkontaminasi akar tanaman. Bakteri berkembangbiak diseluruh tubuh nematoda betina, dan nematoda tersebut dibunuh maupun menjadi tua, tetapi tidak menghasilkan telur. (Soesanto, 2008: 502-503).

Bakteri gram negatif khususnya strain *Pseudomonas* telah banyak diteliti sebagai agen biokontrol karena kemampuannya memproduksi metabolit antimikroba. Strain *Pseudomonas* sp. dapat menghasilkan tropolone yang bersifat bioaktif pada tanaman, jamur dan bakteri, selain itu *P. fluorescens* pada rhizosphere tanaman kapas sehat dapat memproduksi antibiotik pyrrolnitrat dan pyoluteoren (Kloeppe dalam Setiawati, 2008). Kelompok bakteri kitinolitik seperti *Bacillus* dan *Pseudomonas* tersebut dapat mengendalikan perkembangan nematoda parasit pada akar dengan melakukan kolonisasi jaringan akar dan menekan perkembangan patogen melalui sekresi zat yang dikeluarkan oleh bakteri tersebut. Enzim-enzim yang dikeluarkan oleh bakteri tersebut berguna untuk mendegradasi dinding sel nematoda parasit, dan juga dapat mendegradasi lapisan telur nematoda parasit sehingga dapat mengendalikan perkembangannya (Harni *et. al.*, 2007).

Ketidakkonsistenan hasil dan ketidakefektifan aktifitas antagonis dari agen pengendalian biologis yang diaplikasikan secara tunggal merupakan alasan utama mengapa pengendalian secara biologis bukan merupakan pilihan utama dalam manajemen pengendalian penyakit. Satu langkah penting untuk meningkatkan efektifitas biokontrol adalah aplikasi lebih dari satu mikroba antagonis dengan metode penghambatan yang bervariasi. Berbagai laporan adanya efek saling menguatkan antar mikroba antagonis sangat menjanjikan bahwa kombinasi agen

pengendalian biologis bisa sangat efektif dalam pengendalian hama terpadu dimasa depan (Asyiah, 2009).

Sebuah penelitian rumah kaca yang dilakukan oleh Hadad dkk (2011), efek anti nematoda beberapa pupuk hayati bakteri termasuk bakteri pengikat nitrogen (NFB) *Paenibacillus polymyxa* (empat jenis), bakteri pelarut fosfat (PSB) *Bacillus megaterium* (tiga strain) dan bakteri pelarut kalium (KSB) *B. circulans* (tiga strain) dievaluasi secara individual pada tanaman tomat penuh dengan akar simpul nematoda *Meloidogyne incognita* di pot yang berisi tanah berpasir. Kemudian dibandingkan dengan kontrol yang diinokulasi nematoda penuh, inokulasi dengan *P. polymyxa* NFB7, *B. megaterium* PSB2 dan *B. circulans* KSB2.

Hasil yang diperoleh terbukti bahwa bakteri yang digunakan dapat meningkatkan jumlah total bakteri dan jumlah spora bakteri pada tanaman pot tanah 1,2-2,6 lipatan diperkirakan pasca 60 hari -inokulasi. Akibatnya, inokulasi dengan *P. polymyxa* NFB7 meningkat secara signifikan panjang tunas (cm), jumlah daun/tanaman, bobot kering (g)/tanaman dan berat kering akar (g)/tanaman sebesar 32,6%, 30,8%, 70,3% dan 14,2%, masing-masing. Umumnya, perawatan mayoritas secara signifikan mengurangi perbanyakan nematoda yang lebih jelas setelah 60 hari inokulasi. Di antara strain diterapkan, *P. polymyxa* NFB7, *B. megaterium* PSB2 dan *B. circulans* inokulasi KSB2 mengakibatkan penurunan tertinggi dalam populasi nematoda membandingkan dengan diinokulasi kontrol nematoda yang dipenuhi. Mereka mencatat penurunan tertinggi dalam jumlah menetas remaja/akar dengan 95,8%, perempuan/akar dengan 63,75% dan juvenil/tanah 1 kg dengan 57,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa pupuk hayati bakteri menjanjikan mikroorganisme tujuan ganda untuk memobilisasi hara tanah (nitrogen, fosfat dan kalium) dan untuk kontrol biologis *M. incognita*.

2.7 BPF sebagai Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)

Salah satu mikroorganisme yang menguntungkan tanaman adalah bakteri yang mengkolonisasi akar atau tanah rizhosfer tanaman. Terdapat beberapa inokulan PGPR

yang sudah dikomersialisasi untuk membantu pertumbuhan dengan setidaknya salah satu cara di atas, bakteri tersebut adalah dari genus *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, dan *Agrobacterium*. Bakteri-bakteri tersebut sudah di pelajari dengan baik dan dapat menekan penyakit tanaman melalui sedikitnya satu mekanisme berikut: menghasilkan fitohormon, produksi antibiotik dan induksi daya tahan sistemik tumbuhan.

2.7.1 Mekanisme PGPR Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman

a. Menekan penyakit tanaman (bioprotektan)

Bakteri ini sanggup membunuh organisme patogen atau penyakit tanaman setelah bakteri tersebut berkembang biak dengan baik. Agen pengendali biologis yang telah banyak diteliti adalah genus *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* dan *Agrobacterium*. Mikroba tersebut menekan pertumbuhan penyakit melalui mekanisme:

- 1) induksi resistensi sistemik dari tanaman
- 2) produksi siderofor yang mengkhelat besi sehingga besi tidak tersedia untuk patogen
- 3) sintesis metabolit yang bersifat anti jamur seperti antibiotik, enzim yang mendegradasi dinding sel jamur, atau hidrogen sianida yang menekan pertumbuhan jamur patogen
- 4) mampu berkompetisi dengan patogen untuk nutrisi atau tempat di akar

b. Memperbaiki ketersediaan nutrisi (biofertilizer)

Biofertilizer (pupuk hayati) yang sering digunakan untuk meningkatkan penyerapan tanaman adalah.

- 1) *Azotobacter* bakteri pemfiksasi nitrogen hidup bebas.
- 2) *Azospirillum* bakteri pemfiksasi nitrogen yang berasosiasi dengan rumput-rumputan
- 3) *Pseudomonas* bakteri yang menghasilkan siderofor, melarutkan fosfat,

c. Memproduksi fitohormon (Biostimulan)

Bakteri *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas*, dan *Bacillus* menghasilkan fitohormon atau faktor tumbuh (*growth regulator*) yang menyebabkan tanaman menghasilkan akar rambut dalam jumlah yang lebih besar sehingga meningkatkan permukaan absortif akar untuk menyerap unsur hara. Fitohormon yang dihasilkan adalah asam indol asetat (*Indole acetic acid/IAA*), sitokinin, giberelin. Bakteri juga menghasilkan fitohormon etilen yang menghambat pertumbuhan tanaman.

Penggunaan PGPR sebagai agen biokontrol terhadap penyakit sudah diteliti dengan baik. Mekanisme bakteri dalam mengontrol penyakit diantaranya dengan melibatkan kompetisi pencarian nutrisi dan produksi metabolit dari bakteri sendiri yang akan berpengaruh langsung terhadap patogen. Bakteri tersebut juga membantu tanaman dalam menginduksi mekanisme pertahanan untuk penyakit yang sudah diketahui dengan ISR (*Induced systemic resistance*) menjadi cara bagi bakteri dalam membantu tanaman menangkal datangnya penyakit.

2.8 Hipotesis

- a. Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dapat mengendalikan populasi nematoda *Pratylenchus coffeae*.
- b. Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dapat meningkatkan pertumbuhan kopi arabika (*Coffea arabica* L.).
- c. Sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dapat mengendalikan populasi nematoda *Pratylenchus coffeae*.
- d. Sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dapat meningkatkan pertumbuhan kopi arabika (*Coffea arabica* L.).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental lapang dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok. Penelitian ini menguji kemampuan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* untuk mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan ekstraksi akar kopi dilakukan di Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Kecamatan Jenggawah, *Green house* Dr. Iis Nur Asyiah di perumahan Tidar. Tahap persiapan bakteri dilakukan di laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi dan Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Jember. Waktu penelitian dimulai pada bulan Juli 2014 sampai November 2014.

3.3 Identifikasi Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember.
- b. Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah populasi nematoda yang diperlakukan dari ekstraksi akar dan tanah diakhir penelitian, diameter batang, jumlah daun, tinggi batang dan skor kerusakan akar, skor kerusakan tajuk daun, massa basah tajuk, massa kering tajuk.

- c. Variabel kontrol atau variabel kendali adalah variabel yang dikendalikan sehingga variabel bebas dan terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak ikut diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang diisolasi dari Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Kecamatan Jenggawah, media tanam yang digunakan merupakan tanah yang sama, tanaman kopi yang digunakan adalah tanaman kopi arabika.

3.4 Definisi Operasional Variabel

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

- a. Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* adalah organisme kelompok nematoda yang hidup memarasit tumbuhan kopi. Nematoda parasit ini menyerang ujung akar, di daerah sel yang sedang memanjang. Nematoda *P. coffeae* menyerang akar serabut tanaman kopi, masuk melalui ujung akar, makan jaringan korteks atau kulit akar sehingga menyebabkan kulit akar serabut luka berwarna coklat, dan membusuk (Wiryadiputra, *et al.*, 2010)
- b. Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang berkemampuan melarutkan P yang terfiksasi dalam tanah dan mengubahnya menjadi bentuk yang tersedia sehingga dapat diserap tanaman .
- c. Dampak serangan nematoda pada tanaman adalah warna akar berubah menjadi kuning, selanjutnya berwarna menjadi coklat dan kebanyakan akar lateralnya membusuk. Tanaman yang terserang nematoda menjadi kerdil dan terjadi klorosis pada daunnya. Berangsur-angsur layu dan kemudian sampai tahap kematian.

3.5 Populasi dan Sampel

3.5.1 Populasi

Populasi penelitian adalah seluruh nematoda akar kopi yang telah diisolasi dan tumbuhan kopi arabika.

3.5.2 Sampel

Sampel dalam penelitian adalah tanaman kopi arabika yang dibibitkan dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, yang diberikan perlakuan sebanyak 8 perlakuan dan 5x pengulangan nematoda akar *P. coffeae*.

3.6 Alat dan Bahan Penelitian

3.6.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain saringan 325 mesh (0,045 mm) dan 40 mesh, neraca/timbangan Ohaus, timbangan analitik, *refrigerator*, labu erlemeyer, pengaduk/spatula, silet/pisau, gunting, *autoclave*, blender, pemanas, bunsen, kamera digital, gelas ukur 10 ml (3 buah), mikro pipet 1 ml, mikro pipet 1 μ m, pipet tetes, jarum ose, *beaker glass* 400 cc (2 buah) dan 100 cc (1 buah), shaker, pot plastik, mikroskop, *counting disk*, cawan petri, tabung reaksi, laminar, rak tabung reaksi, penggaris, jangka sorong, pipet volume 10 ml dengan penghisap, gunting pangkas, piringan aluminium, cincin penjepit, alat penghitung (*counter*), stopwatch, *beaker glass* plastik volume 1000 ml, selang plastik diameter 3 mm, botol semprot, thermohigrometer, botol semprot, kaca benda dan kaca penutup.

3.6.2 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kopi arabika yang diperoleh dari Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Kecamatan Jenggawah, bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember, pasir steril, tanah kompos steril, aquades, alkohol 70%, nematisida Carbofuran, aluminium

foil, medium NA (*Nutrient Agar*) dan NB (*Nutrient Broth*), kertas label, kain panel atau tisu, kapas, kaolin.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Persiapan Penelitian

a. Tahap Persiapan Media Tanam

Pertama persiapan media tumbuh yang berupa tanah kompos dan pasir yang telah disterilkan pada *autoclave* pada suhu 135°C selama 2 jam untuk menghindari adanya kontaminasi dari nematoda maupun organisme lain dalam tanah yang akan dijadikan medium. Penanaman bibit kopi arabika pada bak plastik hingga umur 2 bulan. Penanaman bibit kopi pada bak besar ini menggunakan pasir yang sudah di sterilkan, tujuannya untuk mendapatkan bibit kopi yang homogen. Setelah bibit kopi berumur 2 bulan, dipindahkan ke dalam pot plastik yang memiliki diameter 15,3 cm dan diisi tanah kompos yang volumenya 1250 gram.

b. Tahapan Ekstraksi Akar dengan Metode Modifikasi Baerman untuk Inokulasi

Persiapan nematoda *P. coffeae* diperoleh dari pengambilan sampel beberapa akar tanaman kopi yang ada di daerah kebun Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Setelah didapatkan akar yang cukup maka dilakukan ekstraksi nematoda menggunakan metode Baermann sehingga didapatkan nematoda yang cukup kuat untuk menginfeksi tanaman kopi. Langkah ekstraksi dengan metode Baermann yang diperbaiki dalam buku Teknik Ekstraksi Dan Perhitungan Populasi Nematoda Parasit Pada Contoh Tanah dan Akar oleh Balai Proteksi Tanaman Perkebunan, 1997 yaitu :

- 1) Akar dicuci dipisahkan dari sisa-sisa tanah, kotoran lain yang melekat dan dicuci hingga bersih, dikering anginkan untuk menghilangkan sisa-sisa air yang menempel pada permukaan akar. Potong-potonglah akar sepanjang $\pm 0,5$ cm dengan gunting pangkas. Ambil akar secara random sebanyak 10 gram.

Kemudian masukkan ke dalam beaker plastik ditambahkan air sebanyak ± 100 ml.

- 2) Potongan akar dengan air 100 ml dimasukkan ke dalam blender dan dihaluskan selama 20 detik. Hasil halus akar disaring dengan saringan 40 mesh yang telah dipasang kain panel dengan bantuan cincin penjepit. Saringan 40 mesh diletakkan di dalam piringan aluminium, kemudian diisi air sebanyak 100 ml dan diendapkan selama 24 jam. Air endapan disaring dengan 2 saringan 235 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai ± 100 ml. Hasilnya dapat langsung diamati atau disimpan di dalam lemari pendingin (*refrigerator*) apabila belum diamati. Nematoda dapat bertahan sampai 3-7 hari (Balai Proteksi Tanaman Perkebunan, 1997: 4). Berikut gambar alat ekstraksi nematoda dengan metode Baerman pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alat untuk ekstraksi akar, a). Saringan modifikasi Baerman, b). Cawan penghitung (*Counting disk*), terdiri dari 8 lingkaran dan garis lurus dan garis ganda sebagai tanda pembatas untuk memudahkan dalam perhitungan populasi nematoda (sumber: koleksi pribadi, 2014).

- c. Tahapan Ekstraksi Akar dengan Metode Sentrifuse.

Tahapan ekstraksi akar dengan metode sentrifuse digunakan di akhir penelitian. Adapun langkah-langkah pembuatan ekstraksi.

- 1) Contoh akar dipisahkan dari sisa-sisa tanah, kotoran lain yang melekat dan dicuci sampai bersih, kemudian dikering anginkan. Contoh akar dipotong $\pm 0,5$ cm

dengan gunting pangkas, hasil potongan akar ditimbang 10 gram. Potongan akar dimasukkan ke dalam beaker plastik ditambahkan air sebanyak ± 100 ml. Kemudian potongan akar dengan air dimasukkan ke dalam blender dan dihaluskan sebanyak 2 kali. Penghalusan pertama dan kedua masing-masing selama 15 detik.

- 2) Hasil dari penghalusan disaring ke dalam saringan 40 mesh (0,358 mm) yang diletakkan di atas piringan aluminium. Hasil saringan dituangkan ke dalam beaker plastik dan diendapkan selama 1 jam. Kemudian dilakukan pengetapan (pengurangan volume) dengan selang plastik sampai ± 100 ml. Hasil pengetapan dituangkan ke dalam tabung sentrifuse yang telah berisi bubuk kaolin sebanyak 1 sendok teh (± 10 gram) dan diaduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- 3) Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu air pada lapisan atas dibuang, sedangkan endapan kaolin pada lapisan bawah diproses lebih lanjut. Larutan gula dengan BJ= 1,18 dituangkan ke dalam tabung sentrifuse setinggi endapan kaolin yang terbentuk, kemudian diaduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- 4) Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 3 menit. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu larutan gula pada lapisan atas diproses lebih lanjut, sedangkan endapan kaolin pada lapisan bawah dibuang. Lapisan gula yang terdapat pada bagian atas dituangkan ke dalam beaker plastik yang telah berisi air sebanyak ± 700 ml, kemudian disaring dengan 2 saringan 325 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai ± 100 ml. Hasilnya dapat langsung diamati.



Gambar 3.2 Alat sentrifuse (sumber: koleksi pribadi, 2014).

d. Tahapan Ekstraksi Tanah dengan Metode Sentrifuse.

Tahapan ekstraksi tanah dengan metode sentrifuse digunakan di akhir penelitian.

Adapun langkah-langkah pembuatan ekstraksi :

- 1) Contoh tanah dicampur sampai merata, kemudian diambil dengan beaker gelas sebanyak 100 ml. Kemudian tanah dituangkan ke dalam saringan 1 mm yang telah diletakkan di atas piring alumunium, ditambahkan air sebanyak 100 ml dan dihancurkan dengan jari tangan. Saringan diangkat, kotoran yang melekat disemprot dengan air dari botol semprot. Hasil saringan dituangkan ke dalam beaker plastik sampai volume ± 700 ml. Larutan tanah di dalam beaker plastik diaduk dan diendapkan selama 30 detik, hasilnya dituangkan ke dalam ember plastik 1 galon. Proses ini dilakukan sebanyak 3 kali. Larutan tanah kemudian disaring dengan saringan 325 mesh (0,045 mm) dan hasilnya dituangkan ke dalam beaker plastik, kemudian diendapkan selama 1 jam. Dilakukan pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai ± 100 ml. Hasil pengetapan dituangkan ke dalam tabung sentrifuse. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan kedalam alat sentrifuse.

- 2) Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 5 menit. Hasil sentrifuse terdapat 2 lapisan yaitu air pada lapisan atas dibuang, sedangkan endapan tanah pada lapisan bawah diproses lebih lanjut. Larutan gula dengan BJ= 1,18 dituangkan ke dalam tabung sentrifuse setinggi endapan tanah yang terbentuk, kemudian diaduk sampai merata. Ketinggian permukaan larutan dalam tabung sentrifuse harus sama, sebelum dimasukkan ke dalam alat sentrifuse.
- 3) Alat sentrifuse diputar dengan kecepatan 4000 rpm selama 3 menit. Hasil senrifuse terdapat 2 lapisan yaitu larutan gula pada lapisan atas diproses lebih lanjut, sedangkan endapan tanah pada lapisan bawah dibuang. Lapisan gula yang terdapat pada bagian atas dituangkan ke dalam beaker plastik yang telah berisi air sebanyak ± 700 ml, kemudian disaring dengan 2 saringan 325 mesh (0,045 mm). Hasil saringan diendapkan selama 1 jam. Pengurangan volume (ditap) dengan selang plastik sampai ± 100 ml. Hasilnya dapat langsung diamati.

e. Identifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae*

Identifikasi Nematoda *Pratylenchus coffeae* bertujuan untuk memastikan kebenaran spesies dan mempelajari morfologinya. Identifikasi dilakukan dengan pengamatan di bawah mikroskop.

f. Pewarnaan gram

Sediakan kaca objek yang sudah steril. Tetesi kaca objek dengan aquadest satu tetes, kemudian mengambil biakan bakteri satu ose dan letakkan diatas kaca objek dan diratakan. Tandai olesan bakteri yang telah diratakan dan difiksasi. Menetesi pada gelas objek dengan larutan kristal violet selama 1 menit. Dengan menggunakan pinset, miringkanlah kaca objek untuk membuang kelebihan kristal violet, lalu dibilastah dengan air dari botol semprot dan serap dengan kertas serap pinggirnya. Menetesi dengan larutan iodium selama 2 menit dan kemudian dibilas dengan air dari botol semprot. Menetesi dengan larutan alkohol 95%, tetes demi tetes selama 30 detik atau sampai kristal violet tidak terlihat lagi mengalir dari kaca objek. Mencuci dengan

air yang berasal dari botol semprot dan hisap dengan kertas serap bagian pinggirnya. Setelah itu tetesi dengan larutan safranin selama 30 detik, kemudian bilas dengan air dan diserap dengan kertas serap dan langsung bisa diamati di bawah mikroskop.

g. Pewarnaan Spora

Kaca benda yang sudah steril diambil dan ditetesi dengan aquadest, kemudian mengambil biakan bakteri dengan ose dan taruh di atasnya dan ratakan. Fiksasi kaca benda yang telah diberi bakteri. Tetesi ulasan bakteri pada kaca benda dengan *Malachite green* dan meletakkannya di atas kawat kassa diletakkan di atas air yang mendidih dan biarkan selama 5 menit. Dijaga jangan sampai kering, jika bagian pinggir mulai mengering maka tambahkan lagi *Malachite green*. Setelah dingin bilas kaca benda dengan air yang diwadahkan di botol semprot dan serap bagian pinggirnya yang masih mengandung air dengan kertas serap. Tetesi dengan safranin sebagai *counter stain*, didiamkan selama \pm 45 detik, kemudian bilas dengan air dan serap bagian pinggirnya dengan kertas serap dan langsung bisa diamati di bawah mikroskop.

h. Uji katalase

Tetesan larutan hidrogen peroksida 3% sebanyak 2 tetes pada kaca obyek yang bersih. Secara aseptik pindahkanlah dengan ose sedikit biakan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* ke atasnya dan campurkan baik-baik. Uji positif ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung oksigen yang menunjukkan bahwa organisme yang bersangkutan menghasilkan enzim katalase yang mengubah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

i. Uji fermentasi karbohidrat

Biakan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* diambil dengan ose kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi kaldu glukosa dengan indikator merah fenol. Masukkan tabung Durham ke dalam tabung reaksi yang berisi biakan. Bila medium berubah warna menjadi kuning, artinya bakteri tersebut

membentuk asam dari fermentasi glukosa. Bila pada tabung Durham yang diletakkan terbalik di dalam tabung reaksi terdapat gelembung, artinya dari fermentasi tersebut terbentuk gas.

j. Uji nitrit

Kaldu nitrat diisikan ke dalam tabung-tabung reaksi. Ditambahkan pada masing-masing tabung 2-3 tetes larutan A (Asam sulfanilat) dan 2-3 tetes larutan B (Dimetil α naftilamin). Bila dalam biakan yang di uji terdapat nitrit maka segera terbentuk warna merah, artinya uji ini positif. Bila tidak terlihat perubahan warna, dengan menggunakan tusuk gigi tambahkanlah sedikit debu seng ke dalam tabung biakan. Bila terbentuk warna merah artinya uji tersebut negatif, sedangkan bila tidak terjadi perubahan warna artinya uji tersebut positif.

k. Uji hidrolisis pati

Cawan yang telah berisi agar pati dan telah diinokulasi bakteri diambil, kemudian genangi seluruh permukaan agar pati dengan iodium garam. Uji positif ditandai dengan tampaknya area jernih disekitar pertumbuhan bakteri yang telah digoreskan.

l. Uji indol

Mengambil biakan bakteri yang akan diuji, kemudian ditambahkan dalam 10-12 tetes reagen Kovac. Uji positif ditandai dengan di bagian atas biakan bakteri akan segera terbentuk warna merah.

m. Tahap Pembuatan dan Pengenceran Bakteri

Biakan murni bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember diremajakan pada media cawan petri dengan medium NA. Pengambilan bakteri menggunakan jarum ose. Pertama pengambilan isolat bakteri kemudian diremajakan pada medium NA miring selama ± 24 jam. Kemudian bakteri yang telah diremajakan tadi diluruhkan

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

n. Tahap Formulasi Bakteri dengan CFU

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

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

3.7.2 Uji Perlakuan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok. Tahapan Pengujian Bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* terhadap nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* serta pengamatannya meliputi :

- 1) Inokulasi *Pratylenchus coffeae* diberikan dengan menggunakan *beaker glass* yang sudah berisi nematoda dengan jumlah yang sama untuk tiap pot yaitu 50 ekor nematoda.

- 2) Pengujian dilakukan pada tanaman kopi arabika dengan 8 perlakuan dengan 5 kali pengulangan. Tiap ulangan terdiri dari 2 sampel tumbuhan. Dapat dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Design perlakuan untuk penelitian

Perlakuan	Pengulangan				
	1	2	3	4	5
P1	P1 U1	P1 U2	P1 U3	P1 U4	P1 U5
P2	P2 U1	P2 U2	P2 U3	P2 U4	P2 U5
P3	P3 U1	P3 U2	P3 U3	P3 U4	P3 U5
P4	P4 U1	P4 U2	P4 U3	P4 U4	P4 U5
P5	P5 U1	P5 U2	P5 U3	P5 U4	P5 U5
P6	P6 U1	P6 U2	P6 U3	P6 U4	P6 U5
P7	P7 U1	P7 U2	P7 U3	P7 U4	P7 U5
P8	P8 U1	P8 U2	P8 U3	P8 U4	P8 U5

Keterangan :

- a. Perlakuan bakteri *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan 10^8 /ml sebanyak 5 ml (P₁)
 - b. Perlakuan bakteri *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan 10^9 /ml sebanyak 5 ml (P₂)
 - c. Perlakuan bakteri *Bacillus mycoides* dengan kerapatan 10^8 /ml sebanyak 5 ml (P₃)
 - d. Perlakuan bakteri *Bacillus mycoides* dengan kerapatan 10^9 /ml sebanyak 5 ml (P₄)
 - e. Perlakuan menggunakan nematisida carbofuran dengan dosis 5g/pot (P₅)
 - f. Perlakuan sinergisme bakteri *Pseudomonas mallei* dan bakteri *Bacillus mycoides* dengan kerapatan 10^8 /ml sebanyak masing-masing 2,5 ml (P₆)
 - g. Kontrol positif (K+) tanpa nematoda dan bakteri (P₇)
 - h. Kontrol negatif (K-) dengan menggunakan nematoda saja (P₈)
- 3) Pengamatan pertumbuhan kopi arabika dilakukan selama 4 bulan dengan pengambilan data (diameter batang, tinggi tanaman, skor kerusakan tajuk dan jumlah daun) setiap 2 minggu sekali. Tinggi tanaman diukur dari leher akar

sampai ujung titik tumbuh tanaman menggunakan penggaris. Jumlah daun dihitung secara keseluruhan. Daun-daun tanaman kopi yang masih kuncup atau belum terbuka sempurna tidak turut dihitung. Selain itu juga dilakukan pengamatan gejala serangan nematoda yang timbul juga dicatat setiap 2 minggu sekali. Berikut penjelasan tentang skor penilaian kerusakan tajuk dan gejala serangan nematoda yang disajikan dalam berbagai kriteria.

Tabel 3.2 Kriteria penilaian skor kerusakan tajuk daun kopi

Rentang skor	Keterangan
Skor 0	Hijau sehat
Skor 1	Jika 1-2 daun menguning, belum ada yang gugur.
Skor 2	Jika ada sekitar $\pm 25\%$ daun menguning, belum ada yang gugur.
Skor 3	Jika terdapat 25-50% daun menguning, beberapa daun telah gugur.
Skor 4	Jika $> 50\%$ daun menguning, banyak daun yang gugur.
Skor 5	Jika tanaman atau bibit mati, sebagian daun telah gugur.

- 4) Pada akhir penelitian, diamati skor kerusakan akar, massa basah dan kering tajuk, akar tanaman dan populasi nematoda pada tanah dan akar, serta kerusakan akar. Skor kerusakan akar dilihat dari tingkat kerusakan akar, dengan asumsi bahwa akar yang rusak berwarna coklat kehitaman dan umumnya akar lateralnya habis. Cara menghitung populasi nematoda *Pratylenchus coffeae* sebagai berikut.
- a. Suspensi nematoda yang diperoleh dari hasil ekstraksi dituangkan ke dalam beker gelas, volumenya dijadikan 100 ml.
 - b. Suspensi nematoda diaduk sampai merata dengan cara dihisap dengan menggunakan pipet kemudian disemprotkan kembali dilakukan sampai 3 kali. Suspensi nematoda diambil sebanyak 10 ml dengan menggunakan pipet diletakkan di dalam cawan penghitung (*counting disk*).
 - c. Lakukan penghitungan populasi dan jenis nematoda di bawah mikroskop binokuler dengan mengurutkan sesuai jalur yang ada pada cawan penghitung searah jarum jam. Penghitungan dilakukan sebanyak 3 kali. Suspensi nematoda yang telah selesai dihitung dikembalikan lagi ke dalam beker gelas. Setiap akan dilakukan pengambilan suspensi nematoda 10 ml,

dilakukan pengadukan sampai merata. Penghitungan populasi per 10 gram contoh akar atau 100 ml contoh tanah adalah sebagai berikut :

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

Keterangan :

P : Populasi nematoda setiap satuan contoh yang diambil

p1, p2, p3 : Perhitungan setiap 10 ml suspensi nematoda dengan tiga ulangan

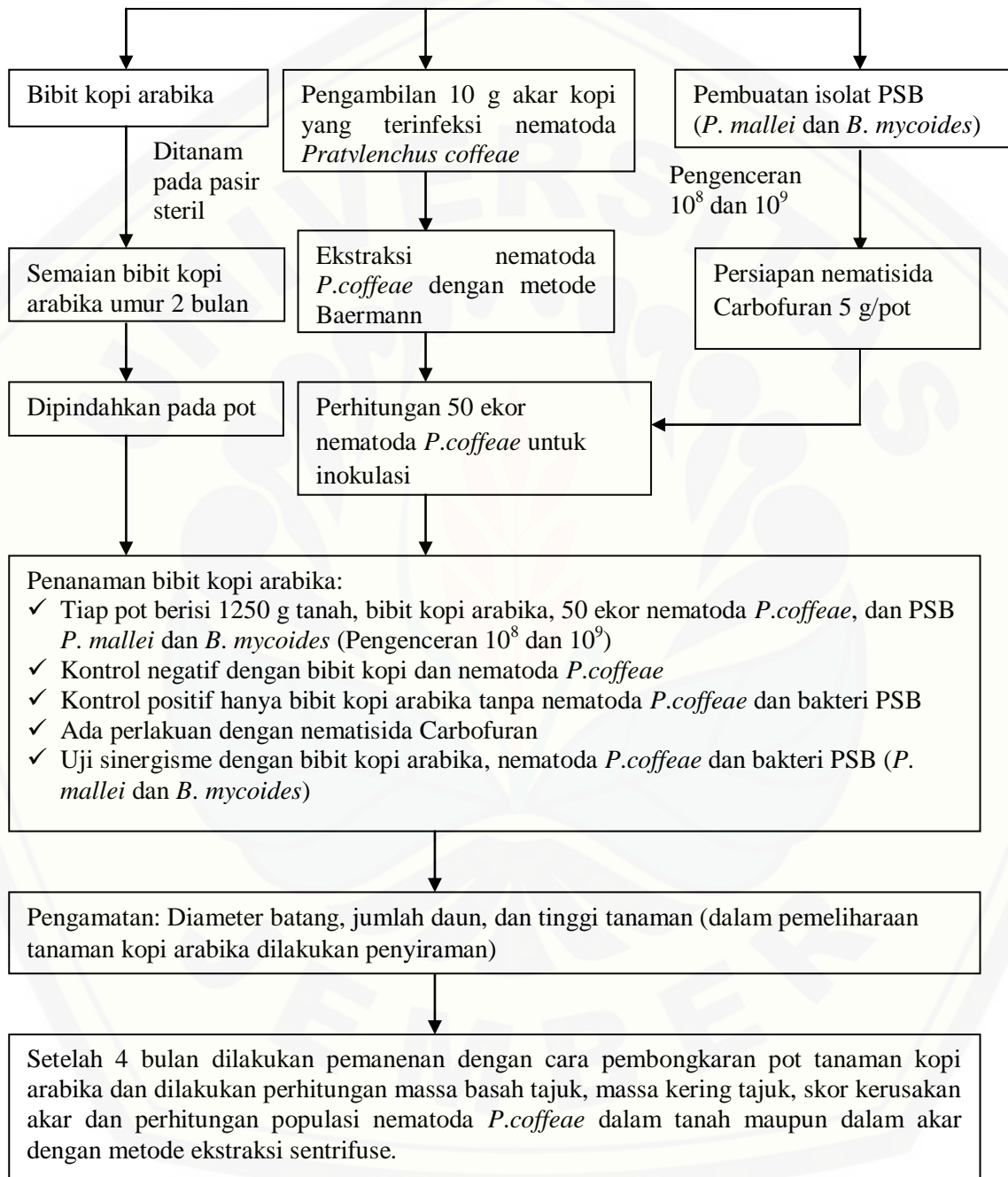
10 : $\frac{100 \text{ ml}}{101}$

3.8 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan uji Annava dengan tingkat kepercayaan 95% dan jika terdapat pengaruh yang signifikan maka akan dilanjutkan pada uji Duncan dengan taraf 5% untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan kemampuan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dalam mengendalikan *Pratylenchus coffeae* dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika.

3.9 Skema Alur Penelitian

Persiapan alat dan bahan penelitian



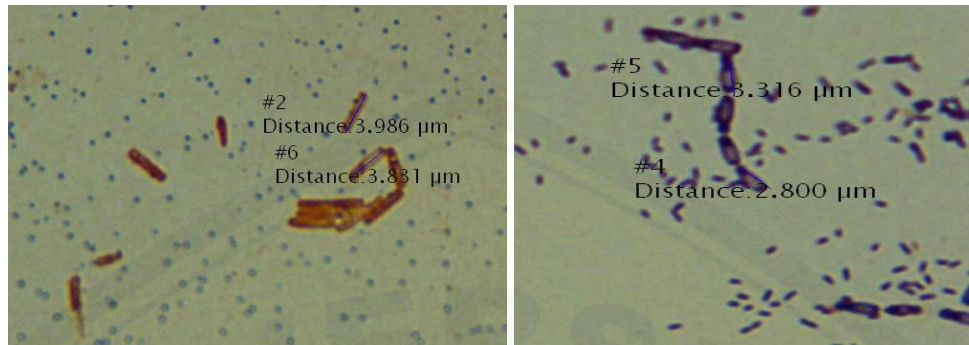
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* yang termasuk dalam bakteri BPF (*Bakteri Pelarut Fosfat*) yang digunakan sebagai pengendali populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan juga sebagai penguat pertumbuhan tanaman pada tanaman kopi arabika (*Coffea arabica* L.) telah dilaksanakan mulai bulan Juli sampai November 2014 di Laboratorium Mikrobiologi FKIP Universitas Jember, Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Jember, *Green house* Dr. Iis Nur Asyiah di Perumahan Tidar Kaliurang dan Laboratorium Perlindungan Tanaman, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Kecamatan Jenggawah. Adapun hasil penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

4.1.1 Identifikasi Bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*.

Pengujian biokimia untuk mengidentifikasi BPF dilakukan dengan beberapa uji yaitu uji fermentasi karbohidrat (terdiri dari uji glukosa, laktosa, sukrosa, mannitol dan maltosa), uji hidrolisis pati, uji perbedaan suhu, uji reduksi nitrat, uji katalase, uji indol, pewarnaan gram dan pengamatan endospora. Hasil dari uji biokimia yang telah dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi FKIP Laboratorium Mikrobiologi MIPA Universitas Jember dan dicocokkan dengan buku *Bergeys Determinative Biology* dalam setiap point yang diujikan, sehingga bila point yang diujikan sama dengan literatur, maka jelas bakteri sudah teridentifikasi dengan benar dan sesuai yaitu *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* sehingga bakteri bisa digunakan. Hasil dari identifikasi bakteri yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan pada Tabel 4.1.



(a)

(b)

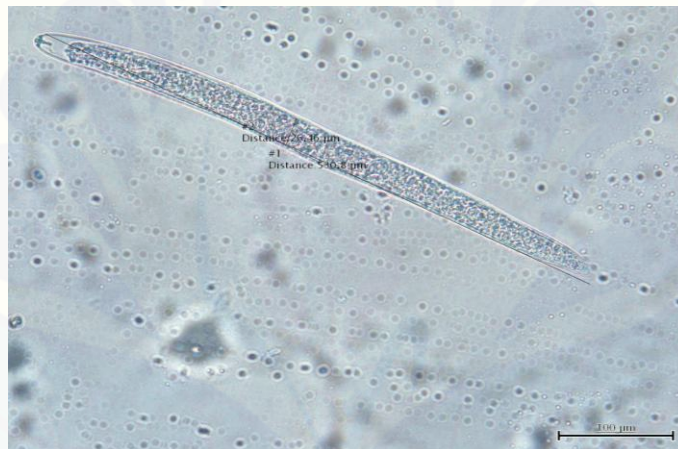
(Gambar 4.1 Bakteri *Pseudomonas mallei* (a); dan bakteri *Bacillus mycoides*) dengan perbesaran 400x, (sumber: koleksi pribadi)

Tabel 4.1 Hasil Uji Biokimia untuk identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat)

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

4.1.2 Identifikasi Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dari tanaman kopi

Identifikasi Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* bertujuan untuk memastikan kebenaran spesies dan mempelajari morfologinya. Identifikasi dilakukan dengan menggunakan buku acuan yang berjudul Nematoda Parasitik Tumbuhan (M.Luck dkk, 1995). Nematoda *Pratylenchus coffeae* dimasukkan ke dalam kategori parasit karena memiliki stylet yang dapat merusak akar pada tanaman. *Pratylenchus coffeae* memiliki ukuran panjang stilet rata-rata 15 μm dengan bentuk stilet knob yang membulat hingga bentuk yang lebih menyempit (Nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* hasil ekstraksi modifikasi Baerman sebagai berikut.



(Gambar 4.2 Nematoda *Pratylenchus coffeae* hasil ekstraksi dengan metode modifikasi Baerman, perbesaran 400x), (sumber : dokumentasi pribadi).

4.1.3 Pengaruh BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Pengukuran parameter pertumbuhan ini dilakukan selama 9 kali pengamatan. Data parameter pertumbuhan tanaman kopi arabika diambil dengan interval waktu pengamatan setiap 2 minggu sekali. Sebelum pengambilan data setiap 2 minggu, dilakukan pengamatan pendahuluan sebelum dilakukan perlakuan bakteri untuk mengetahui perbandingan sebelum dan setelah perlakuan menggunakan BPF. Setiap pengamatan dilakukan pengukuran terhadap 4 parameter yaitu tinggi tanaman, jumlah

daun, kerusakan tajuk dan juga diameter batang tanaman kopi arabika. Pengukuran parameter pertumbuhan ini berlangsung selama 16 minggu. Pengukuran skor kerusakan akar dilakukan di akhir penelitian dimasukkan sebagai nilai tingkat kerusakan akar dengan beberapa kriteria untuk memberikan skor kerusakan akar, hal ini didasarkan pada penampakan performansi akar setelah diberikan perlakuan.

4.1.3.1 Pengaruh Pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* Terhadap Tinggi Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Pengukuran parameter tinggi tanaman kopi arabika menggunakan penggaris dengan ketelitian 1 mm. Tinggi tanaman diukur dengan penggaris dengan ketelitian 1 mm. Pengukuran di mulai dari leher batang sampai dengan ujung batang bibit kopi. Tanaman mulai dilakukan pengukuran pada sebelum perlakuan dan 16 minggu setelah perlakuan (msp) dapat dilihat pada Tabel 4.2.

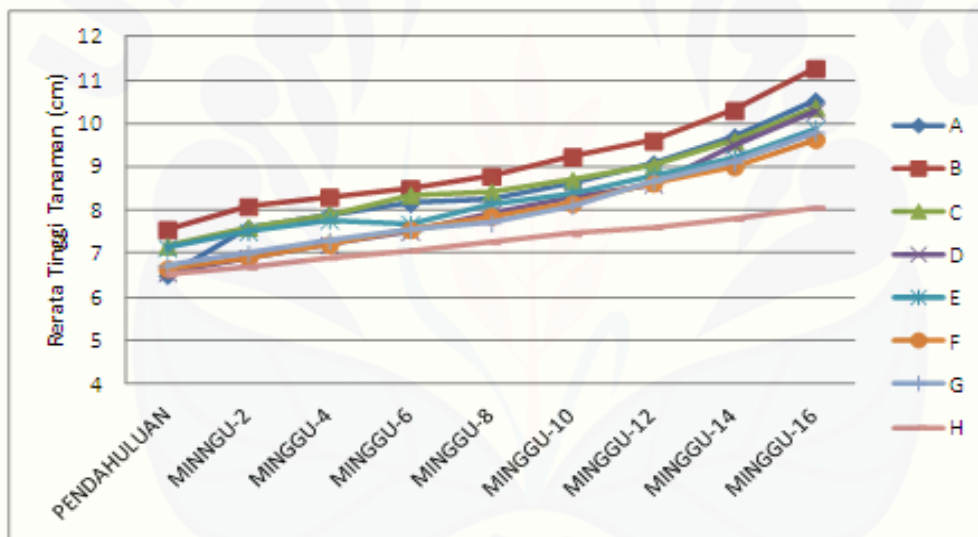
Tabel 4.2 Pengaruh pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap tinggi tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada pengukuran sebelum perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)	
	Sebelum perlakuan	16 msp
A (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁸)	6,94 ± 0,780 ^{ab}	10,53 ± 1,686 ^{bc}
B (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁹)	7,55 ± 0,540 ^b	11,27 ± 1,727 ^c
C (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁸)	7,17 ± 0,733 ^{ab}	10,37 ± 1,281 ^{bc}
D (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁹)	6,55 ± 0,478 ^a	10,28 ± 1,752 ^{bc}
E (Carbofuran 5gr/pot)	7,13 ± 0,818 ^{ab}	9,88 ± 1,779 ^{bc}
F (<i>P.mallei</i> dan <i>B.mycooides</i>)	6,65 ± 0,090 ^{ab}	9,63 ± 1,146 ^{ab}
G (Tanpa perlakuan)	6,71 ± 0,470 ^{ab}	9,80 ± 1,502 ^{bc}
H (Inokulasi nematoda)	6,51 ± 0,348 ^{ab}	8,06 ± 0,569 ^a

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

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas terlihat bahwa sebelum perlakuan, rerata tinggi tanaman hampir sama antara perlakuan satu dan perlakuan lainnya. Sedangkan pada 16 minggu setelah perlakuan, perlakuan BPF memberikan pengaruh secara signifikan

terhadap tinggi tanaman ($P= 0,000$). Peningkatan tinggi tanaman dari perlakuan BPF berkisar antara 23,80% - 56,94%. Pada perlakuan A, B, C, dan D berpengaruh secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan H (inokusi nematoda) sebagai kontrol negatif. Tetapi untuk perlakuan F (sinergisme) tidak menunjukkan penambahan tinggi tanaman yang signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perlakuan B menunjukkan rerata tinggi tanaman paling tinggi dari semua perlakuan. Perlakuan B juga menunjukkan perbedaan yang sangat nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol dapat terlihat pada Tabel 4.2. Untuk mengetahui hasil pengamatan dari parameter tinggi tanaman mulai pengamatan pendahuluan hingga 16 minggu setelah perlakuan dapat dilihat pada dan Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Rerata tinggi tanaman Kopi arabika selama 16 minggu pengamatan

*Keterangan : A (*Pseudomonas mallei* 10^8), B (*Pseudomonas mallei* 10^9), C (*Bacillus mycoides* 10^8), D (*Bacillus mycoides* 10^9), E (Carbofuran 5gr/pot), F (*P.mallei* dan *B.mycoides*), G (Tanpa perlakuan) atau Kontrol +, H (Inokulasi nematoda) atau Kontrol -.

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa rerata parameter tinggi tanaman, pada perlakuan A, B, C, D menunjukkan peningkatan tinggi tanaman dibandingkan dengan perlakuan H (Inokulasi nematoda) atau K-. Pada perlakuan A sempat mengalami keterlambatan, hal ini karena pertumbuhannya terganggu pada

minggu ke-6 setelah perlakuan dengan adanya jamur patogen *Rhizoctonia* yang tumbuh di sekitar tanaman. *Rhizoctonia* dapat diatasi dengan pemberian fungisida Rhidomild, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi normal kembali..

4.1.3.2 Pengaruh Pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* Terhadap Diameter Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Pada pengukuran diameter tanaman kopi arabika digunakan jangka sorong yang memiliki tingkat ketelitian 0,01 mm. Diameter tanaman diukur dengan ketentuan pengukuran diameter di bawah daun yang tumbuh pertama. Pengukuran diameter batang pada tumbuhan kopi dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Pengaruh pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap diameter tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada pengukuran sebelum perlakuan dan 16 msp.

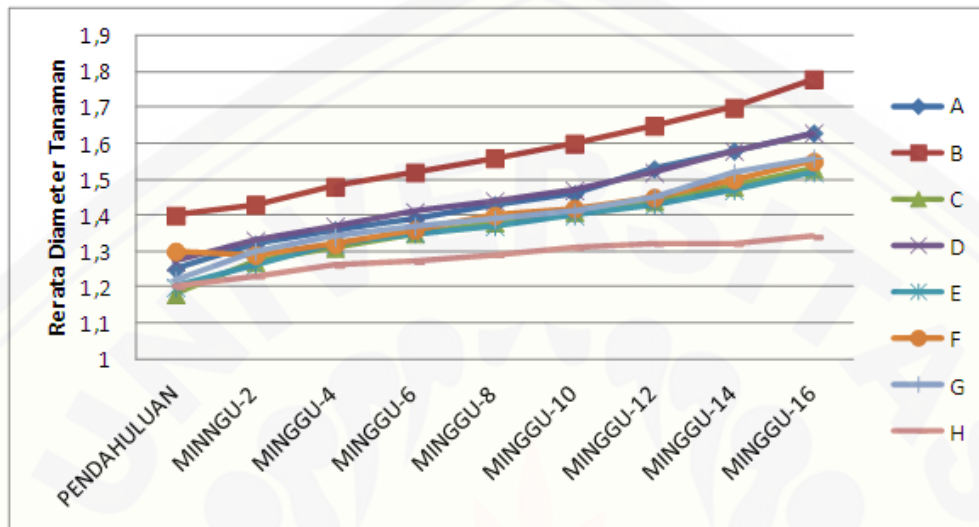
Perlakuan	Diameter Tanaman (mm)	
	Sebelum perlakuan	16 msp
A (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁸)	1,25 ± 0,154 ^a	1,63 ± 0,126 ^b
B (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁹)	1,40 ± 0,155 ^b	1,78 ± 0,129 ^c
C (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁸)	1,18 ± 0,079 ^a	1,53 ± 0,120 ^b
D (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁹)	1,27 ± 0,022 ^{ab}	1,63 ± 0,070 ^b
E (Carbofuran 5gr/pot)	1,20 ± 0,056 ^a	1,52 ± 0,028 ^b
F (<i>P.mallei</i> dan <i>B.mycooides</i>)	1,23 ± 0,107 ^a	1,55 ± 0,066 ^b
G (Tanpa perlakuan)	1,22 ± 0,089 ^a	1,56 ± 0,086 ^b
H (Inokulasi nematoda)	1,20 ± 0,086 ^a	1,34 ± 0,046 ^a

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

*Msp: minggu setelah perlakuan.

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui sebelum perlakuan, diameter batang tanaman kopi tidak begitu berbeda nyata antara satu perlakuan dan perlakuan lainnya, perlakuan dengan nilai tertinggi sebelum perlakuan yaitu perlakuan B. Selanjutnya pada 16 minggu setelah perlakuan, perlakuan BPF menunjukkan peningkatan diameter tanaman yang signifikan ($P= 0,000$). Prosentase peningkatan diameter dari perlakuan BPF adalah 11,66-30,40%. Hasil pertambahan diameter tanaman kopi

arabika yang paling besar pada perlakuan B dengan nilai 1,78 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rerata diameter tanaman Kopi arabika selama 16 minggu pengamatan.

*Keterangan : A (*Pseudomonas mallei* 10^8), B (*Pseudomonas mallei* 10^9), C (*Bacillus mycooides* 10^8), D (*Bacillus mycooides* 10^9), E (Carbofuran 5gr/pot), F (*P.mallei* dan *B.mycooides*), G (Tanpa perlakuan) atau Kontrol +, H (Inokulasi nematoda) atau Kontrol -.

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa perlakuan H (inokulasi nematoda) sebagai kontrol negatif diameternya pertumbuhannya sangat lambat dibandingkan perlakuan yang lainnya, karena adanya nematoda parasit yang di inokulasikan tanpa mendapat perlakuan apapun. Sedangkan pada perlakuan yang lainnya mengalami penambahan diameter batangnya. Pertambahan diameter batang yang paling besar pada perlakuan B sebesar 1,78 mm.

4.1.3.3 Pengaruh Pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* Terhadap Jumlah Daun Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.)

Parameter jumlah daun, pada masing masing percobaan digunakan daun kopi yang menggunakan 6 daun, tetapi sebagian ada yang 8 daun. Jumlah daun yang dihitung dari daun yang paling bawah hingga daun termuda yang sudah mekar

menjadi 2 daun, sedangkan daun yang masih menempel/mengatup tidak dihitung. Hasil pengamatan jumlah daun dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut dan juga Gambar 4.5 tentang rerata jumlah daun selama 16 minggu setelah perlakuan.

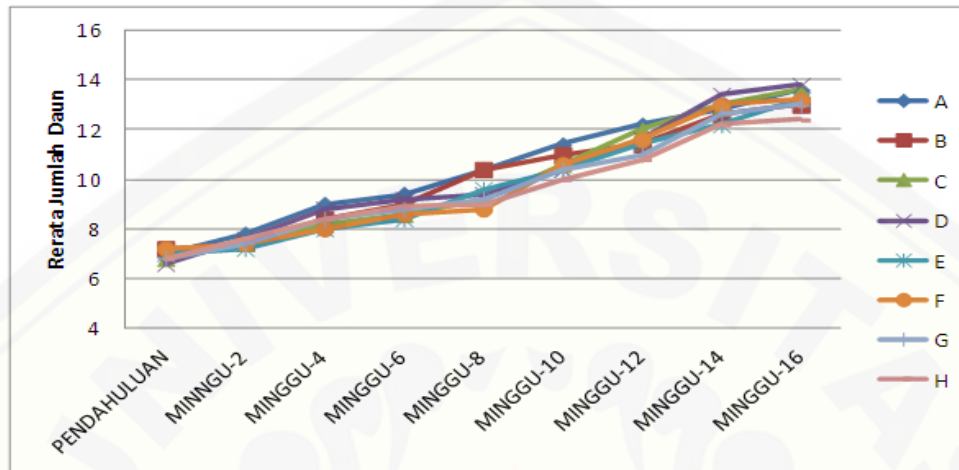
Tabel 4.4 Pengaruh pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap jumlah daun tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada pengukuran sebelum perlakuan dan 16 msp.

Perlakuan	Jumlah Daun Tanaman	
	Sebelum perlakuan	16 msp
A (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁸)	7,00 ± 0,707 ^a	13,60 ± 1,140 ^b
B (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁹)	7,20 ± 0,836 ^a	13,00 ± 1,707 ^{ab}
C (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁸)	6,80 ± 0,836 ^a	13,60 ± 1,547 ^b
D (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁹)	6,60 ± 0,547 ^a	13,80 ± 1,836 ^b
E (Carbofuran 5gr/pot)	7,00 ± 0,000 ^a	13,20 ± 1,095 ^{ab}
F (<i>P.mallei</i> dan <i>B.mycooides</i>)	7,20 ± 0,836 ^a	13,20 ± 1,836 ^{ab}
G (Tanpa perlakuan)	6,80 ± 0,836 ^a	13,00 ± 0,000 ^{ab}
H (Inokulasi nematoda)	6,80 ± 0,836 ^a	12,40 ± 1,547 ^a

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

*Msp: minggu setelah perlakuan.

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, pada parameter jumlah daun sebelum perlakuan, jumlah daun relatif sama antara satu perlakuan dengan lainnya. Pada 16 minggu setelah perlakuan, pemberian BPF tidak memberikan pengaruh secara signifikan ($P= 0,084$) terhadap jumlah daun. Pengamatan terhadap jumlah daun ini kurang efektif, jika dibuat sebagai parameter pengamatan. Hasil pengamatan mulai sebelum perlakuan sampai minggu ke-16 setelah perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Rerata jumlah daun tanaman kopi arabika selama 16 minggu setelah perlakuan
 *Keterangan : A (*Pseudomonas mallei* 10^8), B (*Pseudomonas mallei* 10^9), C (*Bacillus mycoides* 10^8), D (*Bacillus mycoides* 10^9), E (Carbofuran 5gr/pot), F (*P.mallei* dan *B.mycoides*), G (Tanpa perlakuan) atau Kontrol +, H (Inokulasi nematoda) atau Kontrol -.

Berdasarkan Gambar 4.5 di atas dapat dilihat bahwa terjadi naik turun jumlah daun antar perlakuan setiap minggunya. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian BPF tidak begitu mempengaruhi tanaman untuk cepat membentuk daun baru. Hampir semua perlakuan memiliki jumlah rerata daun yang sama. Perlakuan H atau kontrol negatif (inokulasi nematoda) mengalami keterlambatan dalam membentuk daun baru dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Hal ini karena pada perlakuan H atau kontrol negatif hanya diinokulasikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* saja.

4.1.3.4 Pengaruh Pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* Terhadap Massa Basah Tajuk, Akar dan Massa Kering Tajuk Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

Selain parameter pertumbuhan di atas, pada akhir pengamatan pada 16 minggu setelah perlakuan dilakukan pembongkaran tanaman dalam pot, untuk

mengukur berat basah dan berat kering tajuk. Massa basah tajuk dan massa kering tajuk untuk mengetahui tingkat pertumbuhan tanaman berdasarkan perlakuan bakteri yang sudah dilakukan. Massa basah tajuk digunakan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam setiap tanaman yang ada di perlakuan, dan massa kering digunakan untuk mengetahui pengaruh dari BPF terhadap pertumbuhan tanaman yang berkaitan dengan nutrisi yang diserap tanaman sehingga tanaman menjadi berat. Massa basah akar digunakan untuk mengetahui perbandingan massa akar dan juga populasi nematoda yang ada didalamnya. Hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Pengaruh pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* terhadap massa basah tajuk, akar dan massa kering tajuk tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

Perlakuan	Massa Basah (gram)		Massa Kering Tajuk (gram)
	Tajuk	Akar	
A (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁸)	1,43 ± 0,580 ^b	0,35 ± 0,144 ^d	0,44 ± 0,131 ^c
B (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁹)	1,38 ± 0,204 ^b	0,21 ± 0,099 ^{ab}	0,42 ± 0,050 ^{bc}
C (<i>Bacillus mycoides</i> 10 ⁸)	1,22 ± 0,195 ^{ab}	0,32 ± 0,313 ^{cd}	0,38 ± 0,031 ^{abc}
D (<i>Bacillus mycoides</i> 10 ⁹)	1,46 ± 0,200 ^b	0,32 ± 0,025 ^{cd}	0,41 ± 0,444 ^{bc}
E (Carbofuran 5gr/pot)	1,35 ± 0,397 ^{ab}	0,30 ± 0,051 ^{bcd}	0,40 ± 0,038 ^{abc}
F (<i>P.mallei</i> dan <i>B.mycoides</i>)	1,11 ± 0,194 ^{ab}	0,29 ± 0,075 ^a	0,32 ± 0,102 ^{ab}
G (Tanpa perlakuan)	1,12 ± 0,194 ^{ab}	0,19 ± 0,044 ^{abc}	0,30 ± 0,056 ^a
H (Inokulasi nematoda)	0,92 ± 0,3458 ^a	0,18 ± 0,045 ^a	0,30 ± 0,041 ^a

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

*Msp: minggu setelah perlakuan.

4.1.4 Pengaruh Pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* Terhadap Populasi Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Pada Akar dan Tanah Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.).

Penghitungan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dilakukan pada 16 minggu setelah perlakuan yang merupakan pengamatan terakhir pada penelitian ini. Ekstraksi nematoda untuk penghitungan populasi menggunakan metode ekstraksi sentrifuge. Untuk akar, jumlah populasi akar adalah per 100 ml air hasil ekstraksi dan

untuk jumlah populasi tanah per 1250 gram tanah. Hasil penghitungan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada akar dan tanah dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.6.

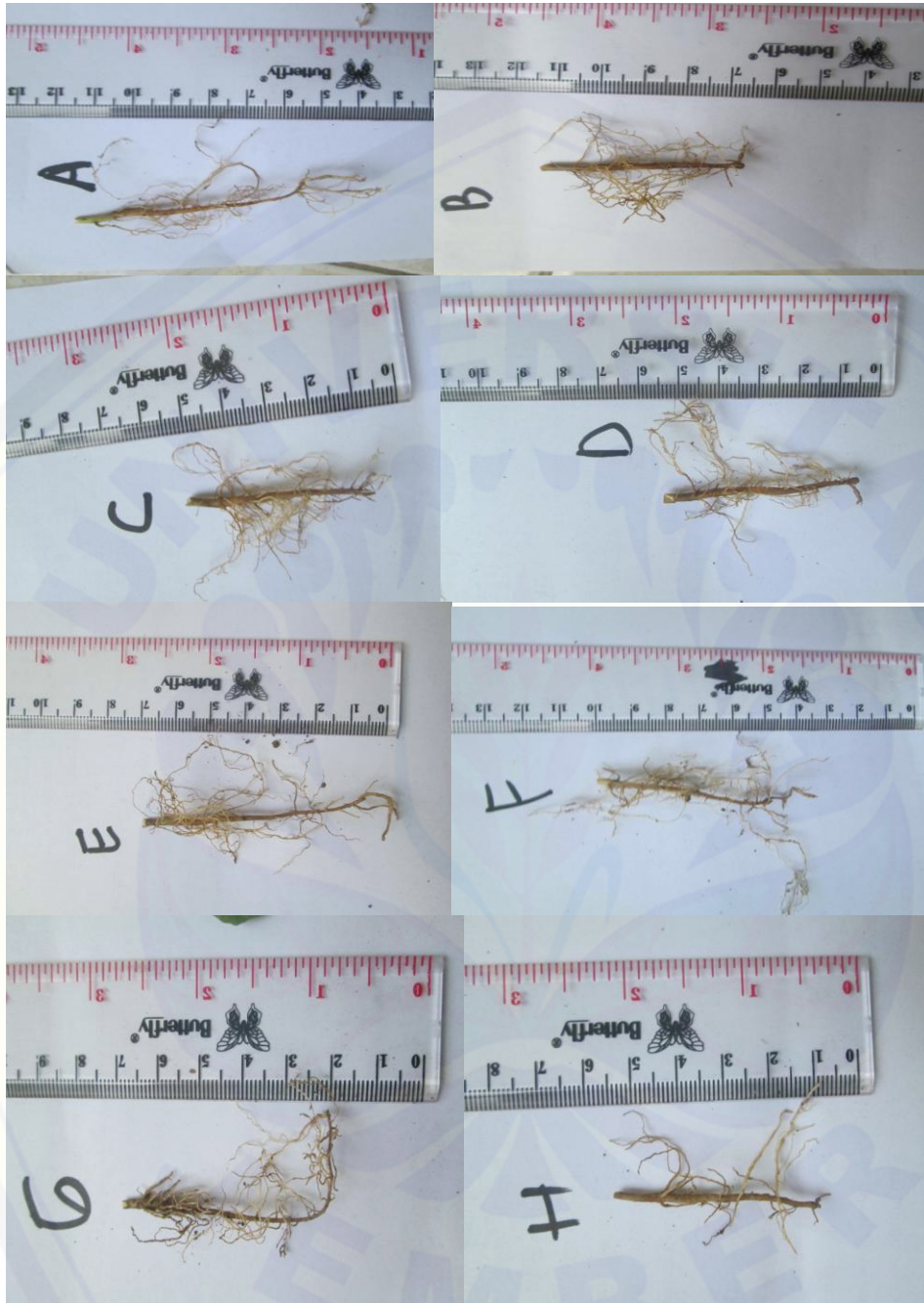
Tabel 4.6. Pengaruh pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada akar tanaman kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dan tanah.

Perlakuan	Rerata Luka Akar (%)	Rerata Populasi Nematoda (16 msp)		
		Akar	Tanah	Total
A (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁸)	22,5 ^b	248 ^{bc}	15 ^a	124,7 ^{bc}
B (<i>Pseudomonas mallei</i> 10 ⁹)	16 ^b	382,5 ^{cd}	5 ^a	193,7 ^{cd}
C (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁸)	17,5 ^b	210,5 ^{abc}	0 ^a	105,2 ^{bc}
D (<i>Bacillus mycooides</i> 10 ⁹)	17,5 ^b	170,5 ^{ab}	5 ^a	87,7 ^{ab}
E (Carbofuran 5gr/pot)	20,5 ^b	114 ^{ab}	15 ^a	57,7 ^{ab}
F (<i>P.mallei</i> dan <i>B.mycooides</i>)	18,5 ^b	114,3 ^{ab}	25 ^a	58,4 ^{ab}
G (Tanpa perlakuan)	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
H (Inokulasi nematoda)	40,5 ^c	450 ^d	40 ^a	227 ^d

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

*Msp: minggu setelah perlakuan.

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa perlakuan yang dapat mengendalikan nematoda dengan baik adalah pada perlakuan E yaitu perlakuan yang diberikan Nematisida Carbofuran. Sedangkan untuk aplikasi bakteri yang mengendalikan nematoda mendekati Nematisida Carbofuran adalah perlakuan F (Sinergisme antara bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dengan kerapatan 10⁸ cfu/ml). Pengendalian nematoda oleh BPF menghasilkan prosentase pengendalian sebesar 15-74%. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh antibiotik yang dihasilkan dari masing-masing bakteri, sehingga dapat mengendalikan nematoda dengan baik, meskipun pengendalian ini tidak diikuti dengan peningkatan pertumbuhan tanaman kopi arabika.



Gambar 4.6 Akar tanaman kopi arabika (*Coffea arabica* L.) pada saat dipanen.

*Keterangan : A (*Pseudomonas mallei* 10^8), B (*Pseudomonas mallei* 10^9), C (*Bacillus mycoides* 10^8), D (*Bacillus mycoides* 10^9), E (Carbofuran 5gr/pot), F (*P.mallei* dan *B.mycoides*), G (Tanpa perlakuan) atau Kontrol +, H (Inokulasi nematoda) atau Kontrol -.

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dijelaskan bahwa pemberian BPF berpengaruh secara signifikan terhadap populasi nematoda secara total baik didalam akar dan didalam tanah. Terdapat perbedaan populasi nematoda di akar antar perlakuan, Perlakuan G atau kontrol positif tidak terdapat nematoda baik di akar maupun di tanah karena tidak diberikan inokulasi nematoda. Pada perlakuan H (Inokulasi nematoda) atau kontrol negatif memiliki jumlah nematoda total yang terbanyak dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya, karena pada perlakuan H hanya diberikan perlakuan inokulasi nematoda. Tetapi perlakuan yang paling mendekati pembanding perlakuan E (nematocida Carbofuran) adalah perlakuan F. Perlakuan A, B, C, dan D juga menunjukkan hasil pengendalian nematoda yang signifikan di bandingkan dengan perlakuan H (kontrol negatif). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian BPF mempengaruhi jumlah nematoda parasit yang ada pada tanaman kopi arabika. Perlakuan yang meminimalisir luka akar adalah perlakuan B.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hasil identifikasi BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* .

Berdasarkan hasil identifikasi bakteri yang dilakukan di laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Dapat diketahui bahwa BPF yang digunakan adalah *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*. Uji yang dilakukan adalah uji pewarnaan gram, uji endospora, uji kandungan senyawa yang dilakukan meliputi uji fermentasi karbohidrat, uji hidrolisis pati, uji perbedaan suhu, uji reduksi nitrat, uji katalase, dan uji indol. Selain itu dilakukan juga pengambilan dokumentasi berupa foto untuk bakteri yang digunakan untuk mengetahui bentuk bakteri dan juga endospora yang terbentuk oleh bakteri.

Uji yang pertama adalah pewarnaan gram dengan menggunakan larutan *kristal violet* dan safranin. Berdasarkan uji yang dilakukan diperoleh bahwa *Pseudomonas mallei* termasuk gram negatif dan *Bacillus mycoides* termasuk gram positif. Uji selanjutnya adalah uji pewarnaan endospora, pada uji endospora

menggunakan larutan *Malachite green*. Bakteri *Pseudomonas mallei* menghasilkan hasil negatif atau tidak terdapat endospora dan *Bacillus mycooides* menghasilkan hasil positif atau menghasilkan endospora di dalam tubuhnya dengan ditandai endospora berwarna hijau saat diamati dengan mikroskop. Selanjutnya uji fermentasi karbohidrat yang meliputi uji glukosa, sukrosa, laktosa, mannitol dan maltosa. Setiap uji karbohidrat tersebut ditambahkan *Phenol red* untuk menunjukkan warna merah. Hasil yang diperoleh, pada uji glukosa pada *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* menunjukkan warna kuning menandakan bahwa kedua bakteri tersebut memfermentasi glukosa. Hasil uji sukrosa menunjukkan hasil yang sama seperti uji glukosa. Pada uji laktosa, *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* tidak merubah warna laktosa yang menunjukkan bahwa bakteri tersebut tidak memfermentasi laktosa, sehingga diketahui tidak memfermentasi laktosa. Uji mannitol merupakan kebalikan dari uji laktosa, *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* tidak merubah warna atau tetap. Uji fermentasi karbohidrat yang terakhir adalah uji maltosa yang menunjukkan bahwa baik *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* memfermentasi maltosa.

Uji selanjutnya adalah uji hidrolisis pati menggunakan pati agar dan juga iodine untuk pewarnaan, bila membentuk zona bening pada cawan petri maka menunjukkan bahwa bakteri menghidrolisis pati, pada bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* membentuk zona bening pada cawan petri yang mengindikasikan bakteri tersebut menghidrolisis pati. Untuk uji temperatur suhu, hal ini berfungsi untuk mengetahui pada suhu berapa bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* dapat tumbuh, dan hasil uji yang dilakukan menunjukkan bahwa bakteri tersebut menunjukkan pertumbuhan bakteri pada suhu 45°C baik pada bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*.

Uji katalase menggunakan larutan H₂O₂ (Hidrogen peroksida) yang ditetaskan pada bakteri yang sudah di ambil satu ose yang diletakkan diatas kaca benda, apabila muncul gelembung maka bakteri tersebut memiliki enzim katalase. Dari hasil uji biokimia, pada kedua bakteri muncul gelembung gas yang menandakan bahwa

bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* menghasilkan enzim katalase yang mengubah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Uji selanjutnya adalah uji indol, menggunakan reagen Kovac. Uji indol berfungsi untuk mengetahui indol triptofan yang terbentuk, berwarna merah berarti bakteri tersebut positif dapat mengurai protein, sedangkan bila tidak membentuk indol triptofan maka bakteri tidak menguraikan protein. Hasil positif uji indol ditunjukkan bila didalam bakteri terdapat indol maka bagian atas akan terbentuk lapisan warna merah. Pada hasil uji biokimia *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* tidak membentuk indol. Dari semua uji biokimia, hasil tersebut cocok dengan literatur *Bergeys Determinative Biology* untuk ciri dari bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*.

4.2.2 Pembuatan Suspensi dan Persiapan Bakteri BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*, Uji Biokimia dan Ekstraksi Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh pemberian BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap pertumbuhan tanaman kopi arabika dan juga sebagai agen hayati pengendali nematoda parasit *Pratylenchus coffeae*. Bakteri yang digunakan memiliki tingkat kerapatan masing-masing 10^8 cfu/ml dan 10^9 cfu/ml. Adapun untuk tanaman kopi arabika yang akan diuji adalah tanaman kopi arabika yang berumur 1 bulan yang dibibitkan dalam bak plastik besar di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Waktu 1 bulan dirasa sudah cukup untuk menunjukkan pertumbuhan tanaman kopi arabika yang akan diberikan perlakuan sehingga mudah dalam menunjukkan pengaruh dari perlakuan yang akan diberikan terhadap tanaman tersebut. Selain itu akar dari bibit kopi yang masih muda rentan diserang oleh nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* sehingga setelah perlakuan nantinya dapat dengan mudah dilihat pengaruh pemberian BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* terhadap populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* baik yang berada di dalam akar maupun pada tanah.

Pembuatan suspensi bakteri *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dilakukan di laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember. Beberapa tahapan yang dilakukan sehingga diperoleh suspensi bakteri dengan kerapatan 10^8 dan 10^9 cfu/ml, yaitu peremajaan bakteri dengan medium NA, Pengenceran bakteri, dan Tahap Formulasi Bakteri dengan CFU. Bakteri biakan murni diremajakan \pm 24 jam pada medium miring. Kemudian bakteri yang telah diremajakan tadi diluruhkan menggunakan jarum ose dan ditambahkan 1 ml aquadest sehingga menjadi suspensi bakteri. Diambil 1 ml dari suspensi bakteri dimasukkan pada medium NB 100 ml di labu erlenmeyer. Kemudian dishaker selama 24 jam dengan kecepatan 100 rpm. Setelah 24 jam, baru diaplikasikan ke tanaman kopi arabika sesuai dengan yang diperlakukan.

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahap yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian. Tahap persiapan meliputi identifikasi bakteri, persiapan media tanam kopi, persiapan suspensi bakteri BPF dan juga persiapan nematoda parasit yang akan diinokulasikan pada akar tanaman kopi. Sebelum dilakukan persiapan media, dilakukan identifikasi bakteri yang akan digunakan, identifikasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA, Universitas Jember. Identifikasi menggunakan serangkaian uji biokimia untuk mengetahui reaksi bakteri terhadap uji tersebut. Uji biokimia yang dilakukan diantaranya adalah uji pewarnaan gram, pewarnaan endospora, uji fermentasi karbohidrat, yaitu melihat kemampuan bakteri dalam memfermentasi karbohidrat, senyawa yang digunakan adalah glukosa, sukrosa, laktosa, mannitol, dan maltosa. Uji selanjutnya hidrolisis pati, uji perbedaan suhu, uji reduksi nitrat, uji katalase, uji indol, dan juga pengambilan dokumentasi berupa foto bakteri. Setelah dilakukan uji biokimia tersebut, hasilnya dicocokkan dengan literatur *Bergeys Determinative Biology* untuk diketahui bakteri yang sudah digunakan sesuai atau tidak. Selanjutnya media tanam kopi arabika yang digunakan adalah tanah, pasir dan pupuk kandang, pertama pada tahap persiapan media tanam, campuran pasir, tanah dan pupuk kandang yang sudah di saring di sterilisasi didalam autoclaf dengan suhu 135°C selama 2 jam untuk menghindari kontaminasi dari nematoda parasit

maupun organisme lain yang ada dalam tanah campuran yang akan dijadikan media tanam tersebut. Media pertama yang disterilisasi adalah pasir yang akan digunakan untuk media pembibitan tanaman kopi terlebih dahulu karena media ini dibutuhkan untuk menumbuhkan tanaman kopi selama 1 bulan, kemudian barulah media campuran pasir, tanah dan pupuk kandang yang disterilisasi yang kemudian digunakan untuk media dalam pot.

Tahap persiapan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dilakukan dengan melakukan ekstraksi akar tanaman kopi yang terserang nematoda dengan menggunakan metode ekstraksi modifikasi *Baerman*. Metode ekstraksi modifikasi *Baerman* adalah metode ekstraksi nematoda dengan menggunakan saringan, saringan yang digunakan menggunakan 2 ukuran yaitu 40 mesh dan 325 mesh dan juga kain untuk membantu menyaring akar tanaman kopi. Nematoda yang terekstraksi dengan metode modifikasi *Baerman* keluar secara sendirinya dari akar tanaman kopi yang di ekstrak, dengan begitu akan mendapatkan nematoda *Pratylenchus coffeae* cukup kuat untuk menginfeksi akar tanaman kopi arabika yang akan diujikan. Hal ini penting karena bila nematoda yang digunakan tidak kuat, maka tidak akan menginfeksi akar tanaman kopi dan bisa saja mati saat masuk ke dalam tanah sebelum menginfeksi akar tanaman kopi, sehingga menyebabkan pengamatan menjadi sulit dan memungkinkan timbulnya kerusakan data pengamatan. Setelah diekstraksi, nematoda *Pratylenchus coffeae* diamati dibawah mikroskop dan dihitung sebanyak 50 ekor untuk ditempatkan di tiap pot. Tahap pengujian adalah pemberian BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dengan kerapatan 10^8 cfu/ml dan 10^9 cfu/ml pada tanaman kopi arabika yang sudah dipindahkan dari bak pembibitan kedalam pot. Selanjutnya dilakukan pengamatan selama 16 minggu untuk mengetahui perkembangan dari pertumbuhan tanaman kopi setiap 2 minggu dan juga populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* di akhir pengamatan (minggu ke-16).

4.2.3 Pengaruh BPF (Bakteri Pelarut Fosfat) *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) dan Populasi Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae*.

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa pemberian BPF memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kopi arabika pada parameter tinggi tanaman (Tabel 4.2., Gambar 4.3), diameter batang (Tabel 4.3., Gambar 4.4), jumlah daun (Tabel 4.4., Gambar 4.5) dan juga massa basah tajuk, akar, dan kering tanaman kopi arabika (Tabel 4.5) dan juga populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* pada akar dan tanah (Tabel 4.6). Pada parameter tinggi tanaman, perlakuan A, B, C, D menunjukkan peningkatan tinggi tanaman dibandingkan dengan perlakuan H (Kontrol negatif) dan G (Kontrol positif), kenaikan tinggi tanaman mulai menunjukkan perubahan atau kenaikan pada minggu ke-8 sampai minggu ke-16 setelah perlakuan. Sedangkan parameter diameter tinggi tanaman perlakuan A, B, C, D dan G (Kontrol positif) juga menunjukkan kenaikan nilai dibandingkan dengan perlakuan H (Kontrol negatif). Perubahan yang terjadi mulai pada minggu ke-4 sampai minggu ke-16.

Hasil penelitian yang sudah dilakukan, diketahui bahwa pertambahan tinggi tanaman yang tertinggi terdapat pada perlakuan B dengan pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan 10^9 cfu/ml. Pada parameter diameter batang menunjukkan pertambahan diameter batang yang tertinggi terdapat pada perlakuan B dengan pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dengan kerapatan 10^9 cfu/ml. Perlakuan F (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) untuk parameter diameter batang kurang begitu efektif untuk peningkatan pertumbuhan tanaman kemungkinan karena, adanya kompetisi antara kedua bakteri yang merupakan bukan bakteri yang sejenis dan tidak berasal dari genus yang sama dan juga disebabkan kehadiran jamur patogen *Rhizoctonia* disekitar tanaman. Hal ini juga kemungkinan disebabkan *Pseudomonas mallei* dan bakteri *Bacillus mycoides* dan memiliki antibiotik yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme lain.

Parameter jumlah daun tidak menunjukkan hasil yang signifikan bila dibandingkan dengan perlakuan kontrol, analisis data yang sudah dilakukan menunjukkan signifikansi data dari parameter ini selalu diatas 0,05 mulai pengamatan pendahuluan hingga pengamatan pada minggu ke-16 dengan signifikansi ($P= 0,084$). Sehingga perlakuan BPF tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah daun, hal ini dikarenakan usia bibit yang terlalu muda untuk pengambilan data jumlah daun, sehingga perlakuan tidak terlihat begitu signifikan terhadap parameter jumlah daun ini. Massa kering tajuk menunjukkan jumlah nutrisi yang diperoleh oleh tanaman selama pertumbuhan dalam bentuk tajuk yang semakin besar dan berat, pertumbuhan tanaman dapat diukur dari massa kering tajuk karena semakin bertambah massa tajuk maka nutrisi yang diperoleh tanaman untuk tumbuh semakin banyak sehingga pertumbuhan tanaman semakin baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan BPF meningkatkan massa kering tajuk secara signifikan. Perlakuan A, B, dan D menunjukkan nilai massa kering yang tinggi sedangkan perlakuan C dan F menunjukkan nilai rerata massa kering yang signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Perlakuan A, B, dan D menunjukkan nilai yang tinggi dikarenakan adanya aktivitas fitohormon yang mempengaruhi penyerapan nutrisi yang akhirnya akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan meningkatkan massa kering tanaman, sedangkan pada perlakuan F diduga karena adanya kompetisi nutrisi diantara bakteri *Pseudomonas mallei* dengan *Bacillus mycoides* yang mengakibatkan kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi kurang baik, meskipun nilai massa keringnya lebih besar dibandingkan dengan control (Harni *et al.*, 2007).

Berdasarkan hasil pengamatan tentang pemberian BPF, didapatkan hasil bahwa rerata massa kering tajuk, penambahan tinggi tanaman dan juga diameter tanaman kopi arabika berbeda, hal ini disebabkan adanya perbedaan respon fisiologis dari tanaman kopi arabika dalam menanggapi BPF, baik *Pseudomonas mallei* maupun *Bacillus mycoides* dan juga perlakuan pembanding nematisida Carbofuran yang diberikan pada tanaman kopi. Respon fisiologis merupakan suatu fungsi dari tanaman yang berusaha untuk mempertahankan kondisi tanaman dari pengaruh luar

yang masuk ke dalam tanaman. Pengaruh luar yang dimaksudkan yang mempengaruhi respon fisiologis tanaman adalah BPF dan nematisida Carbofuran. Masing-masing perlakuan memiliki perbedaan mekanisme kerja dalam menurunkan populasi nematoda, dan juga memiliki pengaruh dalam pertumbuhan tanaman kopi arabika.

Respon fisiologis pada tanaman dengan peningkatan ketahanan tanaman secara terinduksi dapat melalui proses SAR (*Systemic Acquired Resistance*) atau ISR (*Induced Systemic Resistance*) yang melibatkan berbagai jenis gen, enzim dan protein. Baik SAR maupun ISR sama-sama penting peranannya untuk meningkatkan ketahanan tanaman. Induksi ketahanan dapat dipacu oleh beragam bahan penginduksi (*elisor*), baik hayati maupun kimia. Peningkatan ketahanan tanaman melalui SAR terjadi setelah adanya infeksi patogen secara lokal pada tanaman, kemudian tanaman yang terinfeksi mengaktifkan gen-gen yang berperan dalam ketahanan (*Pathogenic Related Genes; Protein Related*) yang memproduksi senyawa-senyawa kimia untuk pertahanan tanaman, seperti asam salisilat (SA). Sedangkan pemicu peningkatan ketahanan melalui ISR terjadi bukan karena infeksi patogen, tetapi oleh adanya infeksi mikroba non patogen pada perakaran, seperti bakteri, jamur atau mikoriza. Respon tanaman terhadap adanya infeksi mikroba nonpatogen, maka tanaman akan memproduksi senyawa-senyawa pertahanan tanaman, seperti asam jasmonat (JA) dan senyawa etilen (ET). Aktivasi senyawa pertahanan tersebut tidak berhubungan dengan peran gen-gen pertahanan (PR) seperti halnya pada SAR.

Beragam mikroba non patogenik diketahui berpotensi sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Namun, hanya dua kelompok bakteri yang paling banyak diteliti karena mempunyai potensi lebih baik, yaitu *Bacillus* spp., dan *Pseudomonas*. Mekanisme induksi ketahanan umumnya dapat dicirikan dengan meningkatnya pembentukan senyawa penginduksi seperti asam salisilat, siderofor, dan lipopolisakarida oleh tanaman (Bakker *et al.*, dalam Supriadi dan Rosita, Tanpa tahun).

Fungsi dari BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* sebagai PGPR adalah dengan memiliki 2 karakteristik sebagai PGPR yaitu dapat meningkatkan nutrisi mineral dan fiksasi fosfor sehingga dapat menyediakan nutrisi untuk tanaman. Mekanisme BPF sebagai PGPR sebagai biofertilizer pertumbuhan dengan memperbaiki keadaan nutrisi melalui mobilisasi hara dan melarutkan fosfat, sebagai biostimulan tanaman melalui produksi fitohormon, serta sebagai bioprotektan kemampuan membunuh terhadap patogen dan penyakit tanaman, peningkatan hara besi melalui siderofor pengkhelat besi, dan sintesis metabolit yang bersifat anti jamur seperti antibiotik, enzim yang mendegradasi dinding sel jamur, atau hidrogen sianida yang menekan pertumbuhan jamur patogen. Banyak spesies bakteri yang mampu memproduksi auksin, ACC deaminase, dan sintesis giberelin dan sitokinin (van Loon, 2007). PGPR, dengan antibiosis, kompetisi ruang, dan hara dan induksi resistensi sistemik dalam tanaman, melawan penyebaran patogen akar dan daun (Singh *et al.*, 2011). Sebagian besar isolat menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam pertumbuhan tinggi tanaman, panjang akar dan produksi massa kering tajuk dan akar tanaman. Beberapa PGPR diinokulasikan pada benih sebelum tanam, dapat memperkuat perakaran tanaman. Beberapa perubahan kimia tanah juga berhubungan dengan PGPR.

Mikroba pelarut P merupakan mikroba yang hidup di daerah rhizosfer meningkatkan ketersediaan P dengan mengeluarkan asam-asam organik yang mampu melarutkan P yang tidak tersedia menjadi tersedia. Asam-asam organik hasil sintesis mikrobial yang berperan dalam pelarutan senyawa P-anorganik meliputi asam laktat, format, glikolat, sitrat, asetat, malat, ketoglukonat dan suksinat (Alexander, 1978: 467). Meningkatnya asam-asam organik tersebut diikuti dengan penurunan pH. Penurunan pH dapat pula disebabkan oleh pembebasan asam sulfat dan nitrat pada oksidasi kemoautotrofik sulfur dan amonium. Perubahan pH berperan penting dalam peningkatan kelarutan fosfat. Asam-asam organik tersebut akan bereaksi dengan bahan pengikat fosfat seperti Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} atau Mg^{2+} membentuk khelat organik yang stabil yang mampu membebaskan ion fosfat terikat sehingga dapat

dimanfaatkan oleh tanaman. Asam organik yang memiliki daya pelarutan nisbi tinggi terhadap senyawa P-anorganik adalah asam α ketoglukonat karena memiliki afinitas yang lebih tinggi daripada P orthophospat terhadap kation-kation seperti Ca^{2+} , Fe^{3+} . Asam-asam tersebut banyak diproduksi oleh golongan bakteri *Pseudomonas*. Pelarutan fosfat secara biologis juga terjadi karena mikroba menghasilkan enzim antara lain enzim fosfatase (Lynch, 1983: 191). Jumlah mikroba pelarut P dalam tanah biasanya tidak cukup banyak untuk berkompetisi dengan mikroba lainnya dalam rhizosfer sehingga inokulasi mikroba ini akan memberikan pengaruh menguntungkan.

Mikroba yang termasuk dalam kelompok bakteri pelarut fosfat antara lain *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. Selain melarutkan P-terikat, BPF juga mampu menghasilkan fitohormon seperti auksin dan giberelin (GA3), sitokinin, siderofor, antibiotika, vitamin, non vitamin, substansi pemacu pertumbuhan seperti *Indole Acetic Acid* (IAA) serta sifat BPF yang mampu mengkolonisasi akar dengan cepat dan luas (Gopi dan Ponmurugan, 2006). Fitohormon GA3 dapat merangsang pemanjangan sel dan juga bersinergi dengan hormon pertumbuhan lainnya untuk membantu perkembangan. Bakteri penghasil IAA mempunyai kemampuan membantu berbagai proses pertumbuhan dengan memasukkan IAA ke dalam bagian auksin tanaman. Akar merupakan organ tanaman yang paling sensitive terhadap fluktuasi kadar IAA dan responsnya pada peningkatan jumlah IAA eksogenous meluas dari pemanjangan akar primer, pembentukan akar lateral dan akar liar, sampai penghentian pertumbuhan. Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa tinggi tanaman tertinggi dihasilkan oleh perlakuan B (*Pseudomonas mallei* 10^9 cfu/ml), kemudian disusul oleh perlakuan A (*Pseudomonas mallei* 10^8 cfu/ml), kemudian diameter batang (Tabel 4.3) perlakuan menggunakan bakteri *Pseudomonas mallei* yang paling baik, karena memiliki kandungan sitokinin. Untuk massa kering tajuk (Tabel 4.5) perlakuan A dan B juga memperlihatkan hasil tertinggi karena adanya hormon pertumbuhan yang membantu pembelahan sel dan juga perbanyakkan sel membuat massa tajuk semakin besar dan memunculkan hasil massa kering tajuk

dengan nilai yang tinggi. Hal tersebut merupakan simbiosis dari adanya hormon pertumbuhan yang dihasilkan oleh bakteri tersebut. Selain itu, jumlah bakteri dengan kerapatan koloni 10^9 cfu/ml merupakan jumlah yang baik untuk optimalisasi hormon pertumbuhan tanaman yang memang membutuhkan kondisi yang sesuai, tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit.

Populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* mengalami penambahan untuk semua perlakuan, tetapi penambahan yang paling banyak adalah populasi nematoda parasit pada perlakuan H atau kontrol negatif (inokulasi nematoda *Pratylenchus coffeae*). Sedangkan perlakuan yang menunjukkan pengendalian yang paling baik dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* adalah perlakuan E yang merupakan perlakuan pembanding yang menggunakan nematisida Carbofuran, sedangkan perlakuan BPF yang paling baik dalam mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* adalah perlakuan F dengan pemberian BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mallei* kerapatan 10^8 cfu/ml. Sinergisme bakteri ini cukup baik dalam mengendalikan nematoda baik di akar maupun di tanah. Pengendalian populasi yang baik tersebut kemungkinan karena, metabolit kitinase dari kedua bakteri dapat berinteraksi dengan baik dengan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* meskipun sebagian metabolitnya juga ada yang berinteraksi kembali dalam sinergisme bakteri tersebut. Adanya perbedaan sensitivitas dinding sel dari kedua bakteri tersebut ternyata juga menjadi kendala, sehingga tidak dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman (Widyawati, 2010). Selain itu kehadiran mikroorganisme lainnya yang tidak dapat dicegah dan dipaksakan seperti jamur *Rhizoctonia*.

Terjadinya penurunan populasi nematoda *Pratylenchus coffeae* kadang-kadang tidak selalu sejalan dengan peningkatan pertumbuhan tanaman. Sinergisme *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides* dapat menekan populasi nematoda cukup tinggi tetapi tidak diikuti peningkatan pertumbuhan tanaman. Hal ini kemungkinan karena penggunaan nutrisi bersama yang akhirnya terjadi interaksi antar bakteri yang lebih tinggi daripada interaksi bakteri dengan tanaman, sehingga

fungsinya dalam menginisiasi pertumbuhan kurang maksimal. Sedangkan yang paling baik untuk meminimalisir luka akar adalah perlakuan B (*Pseudomonas mallei* 10^9 cfu/ml) dapat dilihat pada Tabel 4.6. BPF selain sebagai PGPR juga dapat mensekresikan enzim ekstraseluler seperti kitinase, protease dan selulose serta menginduksi resistensi tanaman terhadap invasi patogen. Dalam penelitian yang telah dilakukan enzim ekstraseluler yang berperan dalam mengendalikan populasi nematoda parasit adalah kitinase baik yang dihasilkan oleh *Pseudomonas mallei* maupun *Bacillus mycoides*. Selain itu genus *Pseudomonas* juga penghasil siderofor yang dapat menghambat pertumbuhan patogen karena Fe^{3+} menjadi tidak tersedia bagi patogen. Selain itu antibiotik juga dapat menekan jumlah mikroorganisme yang berkompetisi, glucanase dan kitinase dapat mendegradasi sel-sel mikrobial.

Kitinase adalah enzim yang mengkatalisis degradasi hidrolitik kitin, suatu polimer linier tersusun dari monomer β -1,4-N-asetil-D-glukosamin (GlcNAc) yang terdistribusi luas di alam. Kitinase bekerja dengan dua cara yaitu mendegradasi kitin secara acak dari dalam molekul sehingga menghasilkan molekul pendek hasil perpecahan kitin dan cara kedua adalah dengan memotong kitin dari ujung non reduksinya saja (Haliza *et al.*, 2012). β -1,4-N-asetilglukosaminidase merupakan suatu kitinase yang bekerja pada pemutusan diasetilkitobiose, kitotriose dan kitotetraose dengan menghasilkan monomer-monomer GlcNAc. Produk akhir yang terbentuk bersifat mudah larut berupa oligomer pendek N-asetilglukosamin (GlcNAc) yang mempunyai berat molekul rendah seperti kitotetraose. Kitoooligosakarida berperan sebagai pertahanan tanaman.

Kitinase dapat bekerja mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dengan menghancurkan dinding tubuh nematoda yang terbuat dari kitin, sehingga terjadi kerusakan pada tubuh yang bisa berakibat rusaknya keseimbangan tubuh akibat hilangnya fungsi pembatas tubuh nematoda dengan dunia luar. Selain itu kitinase akan menghidrolisis kitin yang membentuk telur nematoda sehingga telur akan terdegradasi akibat kehilangan kekuatan struktural dari cangkangnya, dengan begitu nematoda akan lebih sulit berkembang biak. Selain itu, berdasarkan laporan

akhir penelitian (Asyiah, 2014), *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* memiliki aktivitas peroksidase yang cukup peroksidase dapat memperlambat proses infeksi dan berhubungan dengan lignifikasi dan juga menginduksi hipersensitif reaksi terhadap jaringan untuk mempertahankan jaringan dari nematoda.

Berdasarkan penjabaran diatas, dapat diketahui bahwa BPF *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides* memiliki kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, dan juga massa kering, selain itu juga mampu mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dengan baik. Bahkan kemampuan mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dari BPF mendekati nematisida Carbofuran yang digunakan sebagai pembanding untuk perlakuan BPF ini. Carbofuran merupakan senyawa spektrum N-methyl carbamate aktif sebagai insektisida dan nematisida yang terdaftar untuk pengendalian hama tanah dan daun pada berbagai tanaman, buah, dan tanaman sayuran. Carbofuran atau Furadan 3G bekerja pada tumbuhan dengan cara masuk ke jaringan melalui absorpsi perakaran yang selanjutnya ditranslokasikan melalui sistem vasculer ke bagian tanaman yang lainnya tetapi tidak ditranslokasikan ke bunga dan buah. Bereaksi dengan bantuan sinar ultraviolet.

Mekanisme kerja Carbofuran dalam menurunkan populasi nematoda parasit adalah dengan cara menghambat kerja enzim cholinesterase pada sistem saraf. Cholinesterase adalah enzim yang berperan penting dalam perjalanan impuls saraf, hal ini karena, cholinesterase memiliki tipe enzim khusus yang disebut asetilkolineras yang berfungsi untuk memecah asetilkolin dan menghentikan impuls saraf sesuai rangsangan yang diterima oleh pusat saraf. Sinyal listrik atau impuls saraf dibawa oleh molekul asetilkolin di persimpangan saraf dan otot yang merangsang otot untuk bergerak, setelah respon tercapai maka cholinesterase akan terlepas dan bersama dengan asetilkolineras akan menghancurkan asetilkolin dan menghentikan stimulasi otot. Bila asetilkolineras tidak bisa memecah asetilkolin, maka otot akan bergerak tidak terkontrol. Impuls saraf yang berjalan terus menerus tanpa dihentikan

oleh cholinesterase dapat menyebabkan kelumpuhan pernafasan kejang, dan dalam kasus yang ekstrim adalah kematian (Bradbury, 2007).

Carbofuran dapat menurunkan populasi nematoda lebih baik daripada perlakuan BPF tetapi tidak memiliki kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, carbofuran hanya mengendalikan populasi nematoda sehingga mengurangi luka akar (Tabel 4.6) yang disebabkan oleh nematoda. Oleh karena itu tanaman dapat tumbuh dengan cukup baik karena nutrisi dari akar masih bisa terkontrol. Disisi lainnya, BPF memiliki kemampuan menurunkan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang mendekati kemampuan dari nematisida Carbofuran, dan juga berpengaruh secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan H atau kontrol negatif (Inokulasi *Pratylenchus coffeae*) dan juga kemampuan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi dengan baik, dengan menghasilkan fitohormon dan juga enzim, yang memberikan bahkan lebih baik daripada perlakuan pembanding Carbofuran (Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Tabel 4.5). BPF memiliki keunggulan dibandingkan dengan perlakuan Carbofuran sebagai perlakuan pembanding, BPF lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan Carbofuran, selain itu BPF juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan dengan menghasilkan fitohormon dan juga dapat mengendalikan nematoda dengan baik dengan enzim yang dimilikinya.

Carbofuran memiliki kelemahan dibandingkan dengan BPF yaitu residu yang ditinggalkan didalam tanah maupun perairan, toksik yang tertinggal tidak memiliki aktivitas fitotoksik terhadap tumbuhan baik tumbuhan perairan maupun tumbuhan terestrial, tetapi memiliki efek yang dapat mematikan bagi dan perairan seperti burung, mamalia, serangga, ikan dan hewan terestrial. Meskipun kemanjurannya sebagai pestisida pertanian, Carbofuran dan perumusan teknis umum yang dimilikinya Carbofuran diketahui menjadi sangat beracun untuk spesies non target terutama burung. Ancaman Carbofuran atau Furadan untuk satwa liar, terutama burung, telah dilaporkan di Afrika Selatan dan Uganda dengan banyak kasus melibatkan keracunan langsung dan tidak langsung yang berbeda spesies burung

hering. Di Kenya, keracunan Carbofuran telah mempengaruhi burung, hyena, unta, singa dan kuda nil, melalui langsung dan tidak langsung keracunan sejak 2003, dengan satu kasus khusus pada tahun 2004 di mana 187 Afrika burung bangkai putih yang didukung (*Gyps africanus*) dan hynena yang tewas di dekat Sungai Athi (Otieno *et al.*, 2010). Carbofuran memiliki kadar air yang tinggi kelarutan dan dapat larut dengan mudah dari titik aplikasi untuk mencemari permukaan dan air tanah.

Metabolit utama Carbofuran yang telah ditemukan di berbagai matriks adalah 3-hydroxy carbofuran dan 3-keto carbofuran yang lebih polar tetapi juga beracun untuk target dan non organisme sasaran (Lalah *et al.*, dalam Otieno *et al.*, 2010). Metabolit Carbofuran termasuk fenol karbofuran, 3-hidroksi-7-carbofuran fenol dan 3-keto-7-carbofuran fenol (fenil melalui cincin oksidasi / reduksi dan reaksi hidroksilasi) dan N-hydroxymethyl carbofuran dan 3-hidroksi-N-hydroxymethyl carbofuran (Hassall dalam Otieno *et al.*, 2010). Proses ini melibatkan pengikatan bagian cincin fenil molekul pestisida AChE dan carbamylation untuk memberikan ikatan stabil kovalen yang terikat enzim pestisida. Butiran Carbofuran dapat dengan mudah terkena burung kecil, mamalia dan invertebrata di bidang pertanian serta predator besar dan pemangsa melalui transfer rantai makanan (Eisler dalam Otieno, 2010). Selain itu waktu untuk menguraikan Carbofuran juga cukup lama antara 28 hari hingga 75 hari (Bradbury, 2007). Berdasarkan penjelasan diatas, BPF dapat dijadikan alternatif sebagai agen hayati bionematisida untuk mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dan juga sebagai PGPR untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika. BPF (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) tidak memiliki residu yang berbahaya bagi mikroorganisme non patogen yang ada disekitar tanaman, sehingga aman digunakan secara berkelanjutan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan terhadap hasil penelitian Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- a. Pemberian Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*) berpengaruh secara signifikan dalam memperkecil luka akar, dan mengendalikan populasi nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* ($P= 0.001$).
- b. Pemberian Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*) berpengaruh secara signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi dari parameter :
 - 1) tinggi tanaman, peningkatan tinggi tanaman memberikan pengaruh secara signifikan ($P= 0,000$) dan memiliki prosentase kenaikan berkisar antara 23,80% - 56,94%.
 - 2) peningkatan diameter tanaman yang signifikan ($P= 0,000$). Prosentase peningkatan diameter dari perlakuan BPF adalah 11,66-30,40%.
 - 3) jumlah daun, tidak memberikan pengaruh secara signifikan ($P= 0,084$),
 - 4) dan massa kering tajuk meningkat dibandingkan dengan perlakuan kontrol.
- c. Sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*) berpengaruh secara signifikan dalam mengendalikan nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* dibandingkan dengan perlakuan kontrol negatif (inokulasi nematoda). Akan tetapi penurunan nematoda ini tidak diimbangi dengan peningkatan pertumbuhan tanaman kopi arabika.
- d. Sinergisme Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycooides*) berpengaruh secara signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan

tanaman kopi arabika dibandingkan dengan perlakuan kontrol negatif (inokulasi nematoda). Namun, lebih bagus jika dalam penggunaannya menggunakan salah satu bakteri agar pemanfaatan bakteri dalam meningkatkan pertumbuhan jadi semakin baik.

5.2 Saran

Saran yang dapat dituliskan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Kemampuan BPF dari bakteri yang lainnya dapat terus diteliti dengan menggunakan spesies yang berbeda yang diaplikasikan pada nematoda dan pertumbuhan tanaman
- b. Penggunaan sebagai pengendalian nematoda akan lebih baik menggunakan sinergisme antara bakteri PSB (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) karena lebih efektif.
- c. Sedangkan jika untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika menggunakan *Pseudomonas mallei*, meskipun dalam pengendalian nematoda *Pratylenchus coffea* tidak sebaik sinergisme *Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*.
- d. Penelitian ini perlu dilanjutkan ke pembuatan formulasi Bio-nematisida dengan bahan aktif BPF sehingga dapat menjadi produk alternatif alami yang dapat digunakan untuk masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1978. *Introduction to Soil Microbiology*. Wiley Eastern Privat Limited.
- Alnopri, Prasetyo, dan Ganefianti D. W. 2009. Penampilan Morfologi dan Isoenzym Peroksidase Kopi Arabika Dataran Rendah. *Jurnal Akta Agrosia*, 12(1): 15-20.
- Alnopri, Prasetyo, Hermawan. 2011. Idiotipe Kopi Arabika Tanaman Belum Menghasilkan Pada Lingkungan Dataran Rendah dan Menengah. *Jurnal Agrovisor*. 4(2): 62-69.
- Baab, Yunita. 2012. "Identifikasi Sifat Fisika Tanah Pada Lahan Pertanaman Kopi Di Kebun Percobaan Anggori Kabupaten Manokwari." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Papua: Program Studi Budidaya Pertanian Universitas Negeri Papua.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2008. *Teknologi Budaya Kopi Poliklonal*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Bargabus, R.L., *et al.* 2002. Characterisation Of Systemic Resistance In Sugar Beet Elicited By A Non-Pathogenic, Phyllosphere-Colonizing *Bacillus mycooides*, Biological Control Agent. *Physiol Mol Plant Pathol*. 61: 289-298.
- Bradbury, S. 2007. Registration Eligibility Decision for Carbofuran. US Environmental Protection Agency of Pesticide Programs. [on line] www.epa.gov/pesticides/reregistration/REDS/carbofuran. [4 Januari 2015]
- Dewi, Intan Ratna. 2007. "Bakteri Pelarut Fosfat." Tidak Diterbitkan. Makalah. Jatinagor: Universitas Padjajaran.
- Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian. 2013. *Pedoman Teknis Pengembangan Tanaman Kopi Tahun 2013*. Jakarta: Badan Penerbit Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Ezbiocloud Report. 2014. *Bacillus mycooides*, Flugge. [on line] www.ezbiocloud.net [23 Juli 2014].
- Firnia dan Andree. 2013. *Bacillus* sp Dan *Pseudomonas* sp Asal Endofit Akar Jagung (*Zea mays* L.) Yang Berpotensi Sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*, 2 (1): 19-27.

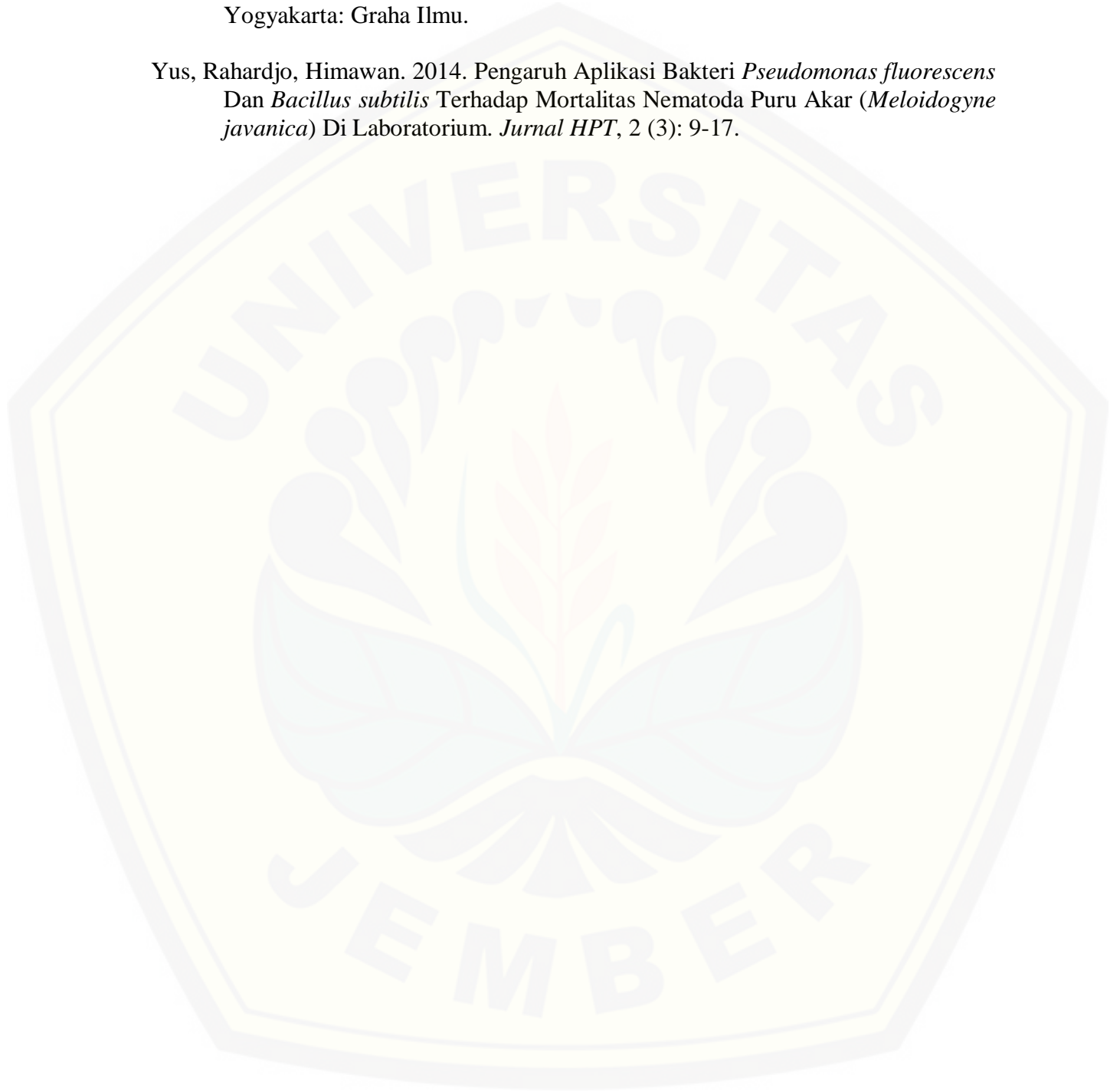
- Foth, Hendry D. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Alih bahasa Soenartono Adisoemarto. 1994. Jakarta: Erlangga.
- Goodwin, J. Spencer, John M, dan M Terrell. 1994. *Bacillus mycoides* : a Bacterial Pathogen of Channel Catfish. *Journal Diseases of Aquatic Organisms*, 18 (173-179).
- Gopi, C & Ponmurugan, P. 2006. In Vitro production Of Growth Regulators And Phosphatase Activity By Phosphate Solubilizing Bacteria. *Journal of Biotechnology*, 5 (4): 348-350.
- Hadad, Mustafa, Selim, Tayeb, Mahgoob, dan Aziz. 2011. The Nematicidal Effect Of Some Bacterial Biofertilizers On *Meloidogyne incognita* In Sandy Soil. *Jurnal Microbiol Braz*, 42 (1): 105-113.
- Hanafiah, Kemas Ali. 2008. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta : PT RajaGrafindo
- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2006. Pengaruh Metode Aplikasi Bakteri Endofit Terhadap Perkembangan Nematoda Peluka Akar (*Pratylenchus brachyurus*) Pada Tanaman Nilam. *Jurnal Littro*, 12 (4): 161-165.
- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2007. Potensi Pengendali Nematoda Peluka akar. *Journal of Bioscience*, 14 (1): 7-12.
- Harni, Munif, Supramana, dan Mustika. 2012. Mekanisme Bakteri Endofit Mengendalikan Nematoda *Pratylenchus brachyurus* Pada Tanaman Nilam. *Jurnal Littro*, 23 (1): 102-114.
- Haliza, W., Suhartono, M. T. 2012. Karakteristik Kitinase dari Mikrobial. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 8 (1): 1-14.
- Hikmah, Nurhijatul. 2012. "Ringkasan Jenis-Jenis Pestisida". Makalah. Bandung : FMIPA ITB
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A, James, T.S., Williams, S.T.1994. *Bergeys Manual® of Determinative Bacteriology: Ninth edition*. Baltimore: William & wilkins
- Indranada, Henry. 1994. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kasmita. 2010. "Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi Molekuler Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) Dari Beberapa Sampel Tanah Di Bogor, Nusa Tenggara Barat

- (NTB), Dana Nusa Tenggara Timur (NTT)”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bogor: Program Manajemen Sumberdaya Lahan Institut Pertanian Bogor.
- Liu, Dongyou. 2014. *Manual Of Security Sensitive Microbes And Toxins*. Francis. CRC Press.
- Luc, M., R.A Sikora., dan J.Bridge. 1995. *Nematoda Parasitik Tumbuhan di Pertanian Subtropik dan Tropik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Lukiawan, Reza. 2009. “Analisis Respon Penawaran Kopi di Indonesia.” Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bogor: Departemen Ilmu Ekonomi Institut Pertanian Bogor.
- Lynch, J. 1983. *Soil Biotechnology*. London: Blackwell Sci. Pub. Co.,
- Mullin, Peter. 2000. *Pratylenchus coffeae*. [on line] <http://www.nematode.unl.edu>. [9 September 2014]
- Mustika, Ika. 2005. Konsepsi Dan Strategi Pengendalian Nematoda Parasit Tanaman Perkebunan Di Indonesia. *Jurnal Perspektif*, 4 (1): 20-32.
- Mustika dan Y. Nuryani. 2003. “Penyakit-penyakit Utama Tanaman yang Disebabkan Oleh Nematoda. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat”. Makalah pada ”Pelatihan Identifikasi dan Pengelolaan Nematoda Parasit Utama Tumbuhan.” Bogor: Pusat Kajian Pengendalian Hama Terpadu (PKPHT)-HPT, Institut Pertanian Bogor.
- Najiati, Sri & Danarti. 2001. *Kopi, Budi Daya dan Penanganan Lepas Panen*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Nurhayati. 2011. Penggunaan Jamur Dan Bakteri Dalam Pengendalian Penyakit Tanaman Secara Hayati Yang Ramah Lingkungan. Prosiding Semirata. Sumatera Selatan: Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Unsri.
- Otieno, Lalah, Virani, Jondiko dan Schramm. 2010. Carbofuran and its Toxic Metabolites Provide Forensic Evidence for Furadan Exposure in Vultures (*Gyps africanus*) in Kenya. *Bull Environ Contam Toxicol*. Springer Science Business Media.
- Poerwowidodo. 1992. *Metode Selidik Tanah* . Surabaya: Usaha Offset Printing.
- Pracaya, Ir. 1997. *Hama dan Penyakit Tanaman*. Cetakan V. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Pradipta, Marsha Y. 2012. "Penggunaan Bakteri Pelarut Fosfat Serta Kombinasinya pada Pertumbuhan Tanaman Sawi Sendok," Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bogor: Program Studi Manajemen Sumber Lahan Institut Pertanian Bogor.
- Semangun, Haryono. 2000. *Penyakit-Penyakit Tanaman Perkebunan di Indonesia*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Semangun, Haryono. 2001. *Pengantar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Setiawati, Tri Candra dan Paniman A.H. 2008. Identifikasi Dan Kuantifikasi Metabolitme Bakteri Pelarut Fosfat. *Jurnal Tanah Trop*, 13 (3): 233-240.
- Soesanto, Loekas.2008. *Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman Supemen ke Gulma dan Nematoda*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Tjitrosoepomo, G. 2000. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Van Loon, L. 2007. Plant Responses to Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Jurnal Plant Pathology*, 119: 243-254
- Whitehead, A.G. 1998. *Plant Nematoda Control*. CAB Internasional. Cambridge University Press. UK.
- Widawati dan Suliasih. 2005. Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa Serta Kemampuannya Melarutkan P Terikat Di Medium Pikovskaya Padat. *Jurnal Biodiversitas*, 7 (2): 109-113.
- Widiyawati, B. N. 2010. Uji Sensitivitas Bakteri Gram Positif dan Negatif Isolat Laboratorium Mikrobiologi Unimus Terhadap Penicilin, Tetrasiklin dan Khloramfenikol. [on line] <http://digilib.unimus.ac.id/gdl.php> [6 Februari 2015].
- Windi. 2012. "Pengaruh Pupuk Hayati Dan Pupuk P Terhadap Ketersediaan Fosfor Dan Pertumbuhan Krisan (*Chrysanthemum* sp) Di Tanah Regosol Cimacan." Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bogor: Program Manajemen Sumberdaya Lahan Institut Pertanian Bogor.
- Wiryadiputra, Anggraini, Waluyo, dan Pujiastuti. 2010. Pengaruh Ekstrak Biji Sirsak (*Anona muricata*) Terhadap Perkembangan Nematoda *Pratylenchus coffeae* Pada Tanaman Kopi Arabika. *Jurnal Pelita Perkebunan*, 26 (3): 156-168.

Yulipriyanto, Hieronymus. 2010. *Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Yus, Rahardjo, Himawan. 2014. Pengaruh Aplikasi Bakteri *Pseudomonas fluorescens* Dan *Bacillus subtilis* Terhadap Mortalitas Nematoda Puru Akar (*Meloidogyne javanica*) Di Laboratorium. *Jurnal HPT*, 2 (3): 9-17.



LAMPIRAN A
Matriks Penelitian

JUDUL	LATAR BELAKANG	RUMUSAN MASALAH	VARIABEL	INDIKATOR	METPEN	ANALISIS
Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (<i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i>) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit (<i>Pratylenchus coffeae</i>) Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Kopi Arabika.	Kopi (<i>Coffea</i> spp.) sebagai komoditas dan prioritas kedua dan merupakan komoditas unggulan nasional (Alnopri dkk, 2011). Kopi ada 2 jenis yaitu kopi arabika dan kopi robusta. kopi arabika memiliki rasa dan aroma yang khas, akan tetapi kopi arabika lebih rentan terkena penyakit dibandingkan robusta. Secara garis besar penurunan produktivitas kopi ditentukan oleh berbagai faktor, di antaranya oleh Organisme Pengganggu Tanaman (OPT). Terdapat tiga (3) jenis OPT utama yang menyerang tanaman kopi yaitu hama (Hama Penggerek Buah Kopi atau PBKo), nematoda parasit (<i>Pratylenchus coffeae</i>) dan penyakit (Penyakit Karat Daun Kopi). Hampir semua sentra produksi kopi di Indonesia terserang nematoda <i>Pratylenchus coffeae</i> . kerusakan tanaman karena	a. Apakah <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> dapat mempengaruhi dalam nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> pada kopi arabika ? b. Apakah <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> dapat mempengaruhi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kopi arabika?	a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bakteri <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> yang diperoleh dari laboratorium mikrobiologi FKIP Biologi Universitas Jember. b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah nematoda yang diperlakukan dari ekstraksi akar dan tanah , diameter batang, jumlah daun, tinggi batang dan skor kerusakan tajuk daun, massa	<ul style="list-style-type: none"> • Tinggi tanaman (cm) • Jumlah daun • Diameter tanaman • Skor kerusakan akar • Skor kerusakan tajuk • Populasi nematoda pada akar dan tanah • Massa basah akar dan tajuk • Massa kering tajuk 	<ul style="list-style-type: none"> • Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental lapang dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok. Penelitian ini menguji kemampuan bakteri <i>Pseudomonas mallei</i> dan <i>Bacillus mycooides</i> untuk mengendalikan nematoda parasit <i>Pratylenchus coffeae</i> dan meningkatkan pertumbuhan pada kopi arabika 	ANOVA satu arah dan apabila ada perbedaan maka dilanjutkan dengan uji Duncan dengan taraf kepercayaan 95%

nematoda parasit, kurang disadari baik oleh para petani maupun para petugas yang bekerja di bidang pertanian. Hal ini mungkin disebabkan oleh gejala serangan nematoda yang sulit diamati secara visual karena ukuran nematoda yang sangat kecil (Mustika, 2005). Akibat terserangnya tanaman oleh nematoda, selain mengurangi kuantitas, serangan nematoda juga dapat mengurangi kualitas produk. Beberapa mikroorganisme tanah seperti *Rhizobium*, *Azospirillum* dan *Azotobacter*, mikoriza, bakteri pelarut fosfat, mikoriza perombak selulosa dan Effective Microorganism (EM) bila dimanfaatkan secara tepat dalam pertanian organik akan memberikan dampak positif baik bagi ketersediaan hara yang dibutuhkan tanaman, lingkungan edapik, maupun upaya pengendalian beberapa penyakit. Sehingga dapat diperoleh pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal dan hasil panen lebih

basah tajak,
massa kering tajak.
c. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah nematoda parasit *Pratylenchus coffeae* yang diisolasi dari Laboratorium Nematologi Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Kecamatan Jenggawah, media tanam yang digunakan merupakan tanah yang sama, tanaman kopi yang digunakan adalah tanaman kopi arabika.

- Metode pengumpulan data:
 - Penelitian
 - Dokumentasi

sehat. Penelitian yang telah dilakukan Firnia dan Andre (2013) menunjukkan bahwa bakteri kelompok *Bacillus* sp. Dan *Pseudomonas* sp. dapat dimanfaatkan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman sekaligus berperan untuk mengendalikan penyakit tanaman.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul “Potensi Bakteri Pelarut Fosfat (*Pseudomonas mallei* dan *Bacillus mycoides*) Dalam Mengendalikan Nematoda Parasit *Pratylenchus coffeae* Pada Tanaman Kopi Arabika”.

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN DENGAN ANALISIS SPSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.208 ^a	11	.019	1.966	.073
Intercept	62.413	1	62.413	6488.692	.000
PERLAKUAN	.165	7	.024	2.456	.043
BLOK	.043	4	.011	1.107	.373
Error	.269	28	.010		
Total	62.890	40			
Corrected Total	.477	39			

a. R Squared = .436 (Adjusted R Squared = .214)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.157 ^a	11	.014	1.551	.169
Intercept	68.421	1	68.421	7441.776	.000
PERLAKUAN	.131	7	.019	2.036	.086
BLOK	.026	4	.006	.701	.598
Error	.257	28	.009		
Total	68.836	40			
Corrected Total	.414	39			

a. R Squared = .379 (Adjusted R Squared = .134)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.184 ^a	11	.017	1.762	.111
Intercept	72.644	1	72.644	7631.073	.000
PERLAKUAN	.149	7	.021	2.240	.061

BLOK	.035		4	.009	.925	.464
Error	.267		28	.010		
Total		73.095	40			
Corrected Total	.451		39			

a. R Squared = .409 (Adjusted R Squared = .177)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.210 ^a	11	.019	2.002	.068
Intercept	76.369	1	76.369	8026.768	.000
PERLAKUAN	.173	7	.025	2.601	.034
BLOK	.036	4	.009	.955	.447
Error	.266	28	.010		
Total		40			
Corrected Total	.476	39			

a. R Squared = .440 (Adjusted R Squared = .220)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.232 ^a	11	.021	2.300	.037
Intercept	79.792	1	79.792	8690.389	.000
PERLAKUAN	.212	7	.030	3.291	.011
BLOK	.021	4	.005	.565	.690
Error	.257	28	.009		
Total		40			
Corrected Total	.489	39			

a. R Squared = .475 (Adjusted R Squared = .268)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.266 ^a	11	.024	2.853	.012
Intercept	82.714	1	82.714	9769.256	.000
PERLAKUAN	.238	7	.034	4.016	.004
BLOK	.028	4	.007	.817	.525
Error	.237	28	.008		
Total	83.217	40			
Corrected Total	.503	39			

a. R Squared = .528 (Adjusted R Squared = .343)

DIAMETER6

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.313000000		
E	5	1.401000000	1.401000000	
C	5	1.413000000	1.413000000	
G	5	1.414000000	1.414000000	
F	5	1.422000000	1.422000000	
A	5		1.468000000	
D	5		1.470000000	
B	5			1.603000000
Sig.		.104	.307	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.360 ^a	11	.033	4.321	.001
Intercept	87.350	1	87.350	11542.824	.000
PERLAKUAN	.328	7	.047	6.185	.000
BLOK	.032	4	.008	1.059	.395
Error	.212	28	.008		
Total	87.921	40			
Corrected Total	.572	39			

a. R Squared = .629 (Adjusted R Squared = .484)

DIAMETER7

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.320000000		
E	5		1.433000000	
C	5		1.444000000	
G	5		1.456000000	
F	5		1.457000000	
D	5		1.525000000	
A	5		1.532000000	
B	5			1.655000000
Sig.		1.000	.123	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.459 ^a	11	.042	5.473	.000
Intercept	92.888	1	92.888	12183.647	.000
PERLAKUAN	.417	7	.060	7.815	.000
BLOK	.042	4	.010	1.374	.268
Error	.213	28	.008		
Total	93.560	40			
Corrected Total	.672	39			

a. R Squared = .683 (Adjusted R Squared = .558)

DIAMETER8

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.328000000		
E	5		1.476000000	
C	5		1.488000000	
F	5		1.503000000	
G	5		1.523000000	
D	5		1.580000000	
A	5		1.584000000	
B	5			1.709000000
Sig.		1.000	.095	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:DIAMETER9

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.600 ^a	11	.055	7.264	.000
Intercept	98.942	1	98.942	13173.486	.000
PERLAKUAN	.541	7	.077	10.296	.000
BLOK	.059	4	.015	1.959	.128
Error	.210	28	.008		
Total	99.752	40			
Corrected Total	.810	39			

a. R Squared = .741 (Adjusted R Squared = .639)

DIAMETER9

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	1.343000000		
E	5		1.523000000	
C	5		1.539000000	
F	5		1.554000000	
G	5		1.569000000	
D	5		1.636000000	
A	5		1.637000000	
B	5			1.781000000
Sig.		1.000	.076	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .008.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.725 ^a	11	.339	.630	.788
Intercept	1918.225	1	1918.225	3568.791	.000
PERLAKUAN	1.575	7	.225	.419	.882
BLOK	2.150	4	.538	1.000	.424
Error	15.050	28	.538		
Total	1937.000	40			
Corrected Total	18.775	39			

a. R Squared = .198 (Adjusted R Squared = -.117)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.025 ^a	11	.820	1.355	.248
Intercept	2235.025	1	2235.025	3692.077	.000
PERLAKUAN	1.175	7	.168	.277	.958
BLOK	7.850	4	1.963	3.242	.026
Error	16.950	28	.605		
Total	2261.000	40			
Corrected Total	25.975	39			

a. R Squared = .347 (Adjusted R Squared = .091)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22.650 ^a	11	2.059	4.351	.001
Intercept	2856.100	1	2856.100	6035.532	.000
PERLAKUAN	3.500	7	.500	1.057	.416
BLOK	19.150	4	4.788	10.117	.000
Error	13.250	28	.473		
Total	2892.000	40			

Corrected Total	35.900	39			
-----------------	--------	----	--	--	--

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

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	5.400 ^a	11	.491	.848	.597
Intercept	3168.400	1	3168.400	5476.247	.000
PERLAKUAN	2.800	7	.400	.691	.679
BLOK	2.600	4	.650	1.123	.365
Error	16.200	28	.579		
Total	3190.000	40			
Corrected Total	21.600	39			

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

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.550 ^a	11	1.414	1.619	.147
Intercept	3610.000	1	3610.000	4134.151	.000
PERLAKUAN	12.800	7	1.829	2.094	.078
BLOK	2.750	4	.687	.787	.543
Error	24.450	28	.873		
Total	3650.000	40			
Corrected Total	40.000	39			

a. R Squared = .389 (Adjusted R Squared = .149)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JMLHDAUN6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16.625 ^a	11	1.511	2.187	.046
Intercept	4601.025	1	4601.025	6657.814	.000
PERLAKUAN	8.775	7	1.254	1.814	.124
BLOK	7.850	4	1.962	2.840	.043
Error	19.350	28	.691		
Total	4637.000	40			
Corrected Total	35.975	39			

a. R Squared = .462 (Adjusted R Squared = .251)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JMLHDAUN7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.850 ^a	11	1.168	2.487	.025
Intercept	5290.000	1	5290.000	11263.878	.000
PERLAKUAN	7.600	7	1.086	2.312	.054
BLOK	5.250	4	1.312	2.795	.045
Error	13.150	28	.470		
Total	5316.000	40			
Corrected Total	26.000	39			

a. R Squared = .494 (Adjusted R Squared = .296)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JMLHDAUN8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.575 ^a	11	1.416	4.720	.000
Intercept	6477.025	1	6477.025	21590.083	.000
PERLAKUAN	5.975	7	.854	2.845	.023
BLOK	9.600	4	2.400	8.000	.000

Error	8.400	28	.300		
Total	6501.000	40			
Corrected Total	23.975	39			

a. R Squared = .650 (Adjusted R Squared = .512)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JMLHDAUN9

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.325 ^a	11	1.211	2.485	.025
Intercept	6996.025	1	6996.025	14350.821	.000
PERLAKUAN	6.975	7	.996	2.044	.084
BLOK	6.350	4	1.587	3.256	.026
Error	13.650	28	.487		
Total	7023.000	40			
Corrected Total	26.975	39			

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

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI1

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8.930 ^a	11	.812	2.035	.063
Intercept	1905.090	1	1905.090	4776.639	.000
PERLAKUAN	4.615	7	.659	1.653	.162
BLOK	4.315	4	1.079	2.705	.051
Error	11.167	28	.399		
Total	1925.188	40			
Corrected Total	20.097	39			

a. R Squared = .444 (Adjusted R Squared = .226)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI2

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.636 ^a	11	1.149	2.330	.035
Intercept	2127.222	1	2127.222	4315.439	.000
PERLAKUAN	7.825	7	1.118	2.268	.058
BLOK	4.811	4	1.203	2.440	.070
Error	13.802	28	.493		
Total	2153.660	40			
Corrected Total	26.438	39			

a. R Squared = .478 (Adjusted R Squared = .273)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI3

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	13.756 ^a	11	1.251	2.730	.016
Intercept	2295.983	1	2295.983	5013.062	.000
PERLAKUAN	7.972	7	1.139	2.487	.041
BLOK	5.784	4	1.446	3.157	.029
Error	12.824	28	.458		
Total	2322.563	40			
Corrected Total	26.580	39			

a. R Squared = .518 (Adjusted R Squared = .328)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI4

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14.690 ^a	11	1.335	2.669	.018
Intercept	2468.041	1	2468.041	4932.955	.000
PERLAKUAN	8.188	7	1.170	2.338	.052
BLOK	6.502	4	1.626	3.249	.026

Error	14.009	28	.500		
Total	2496.740	40			
Corrected Total	28.699	39			

a. R Squared = .512 (Adjusted R Squared = .320)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI5

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12.541 ^a	11	1.140	2.275	.039
Intercept	2589.686	1	2589.686	5168.020	.000
PERLAKUAN	7.554	7	1.079	2.154	.070
BLOK	4.987	4	1.247	2.488	.066
Error	14.031	28	.501		
Total	2616.257	40			
Corrected Total	26.572	39			

a. R Squared = .472 (Adjusted R Squared = .265)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15.098 ^a	11	1.373	2.842	.013
Intercept	2801.439	1	2801.439	5801.529	.000
PERLAKUAN	9.413	7	1.345	2.785	.025
BLOK	5.684	4	1.421	2.943	.038
Error	13.521	28	.483		
Total	2830.058	40			
Corrected Total	28.618	39			

a. R Squared = .528 (Adjusted R Squared = .342)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI7

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	16.965 ^a	11	1.542	3.036	.009
Intercept	3077.393	1	3077.393	6057.594	.000
PERLAKUAN	11.649	7	1.664	3.276	.011
BLOK	5.315	4	1.329	2.616	.056
Error	14.225	28	.508		
Total	3108.583	40			
Corrected Total	31.189	39			

a. R Squared = .544 (Adjusted R Squared = .365)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI8

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	25.763 ^a	11	2.342	4.014	.001
Intercept	3464.252	1	3464.252	5937.112	.000
PERLAKUAN	18.392	7	2.627	4.503	.002
BLOK	7.371	4	1.843	3.158	.029
Error	16.338	28	.583		
Total	3506.353	40			
Corrected Total	42.101	39			

a. R Squared = .612 (Adjusted R Squared = .459)

TINGGI8

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	7.810000000		
F	5		9.000000000	
G	5		9.180000000	

E	5		9.270000000	9.270000000
D	5		9.500000000	9.500000000
C	5		9.670000000	9.670000000
A	5		9.720000000	9.720000000
B	5			10.300000000
Sig.		1.000	.200	.065

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .583.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TINGGI9

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	40.676 ^a	11	3.698	4.715	.000
Intercept	3982.020	1	3982.020	5077.633	.000
PERLAKUAN	30.300	7	4.329	5.519	.000
BLOK	10.377	4	2.594	3.308	.024
Error	21.958	28	.784		
Total	4044.655	40			
Corrected Total	62.635	39			

a. R Squared = .649 (Adjusted R Squared = .512)

TINGGI9

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
H	5	8.060000000		
F	5		9.630000000	
G	5		9.800000000	
E	5		9.880000000	
D	5		10.280000000	10.280000000

C	5		10.370000000	10.370000000
A	5		10.530000000	10.530000000
B	5			11.270000000
Sig.		1.000	.168	.116

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .784.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BBAKAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.160 ^a	11	.015	2.892	.011
Intercept	2.793	1	2.793	553.686	.000
PERLAKUAN	.153	7	.022	4.340	.002
BLOK	.007	4	.002	.358	.836
Error	.141	28	.005		
Total	3.095	40			
Corrected Total	.302	39			

a. R Squared = .532 (Adjusted R Squared = .348)

BBAKAR

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset			
		1	2	3	4
H	5	.184000000			
F	5	.191000000			
B	5	.211000000	.211000000		
G	5	.236000000	.236000000	.236000000	
E	5		.297000000	.297000000	.297000000
C	5			.322000000	.322000000

D	5			.323000000	.323000000
A	5				.350000000
Sig.		.301	.080	.086	.291

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

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

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:BBTAJUK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.705 ^a	11	.155	1.551	.169
Intercept	62.906	1	62.906	629.519	.000
PERLAKUAN	1.262	7	.180	1.805	.126
BLOK	.443	4	.111	1.108	.372
Error	2.798	28	.100		
Total	67.409	40			
Corrected Total	4.503	39			

a. R Squared = .379 (Adjusted R Squared = .135)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:BKTAJUK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.125 ^a	11	.011	2.227	.043
Intercept	5.689	1	5.689	1110.780	.000
PERLAKUAN	.110	7	.016	3.058	.016
BLOK	.016	4	.004	.772	.553
Error	.143	28	.005		
Total	5.958	40			
Corrected Total	.269	39			

a. R Squared = .467 (Adjusted R Squared = .257)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:SKORAKAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4435.625 ^a	11	403.239	19.342	.000
Intercept	14630.625	1	14630.625	701.769	.000
PERLAKUAN	4256.875	7	608.125	29.169	.000
BLOK	178.750	4	44.687	2.143	.102
Error	583.750	28	20.848		
Total	19650.000	40			
Corrected Total	5019.375	39			

a. R Squared = .884 (Adjusted R Squared = .838)

SKORAKAR

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset		
		1	2	3
G	5	.000000000		
B	5		16.000000000	
C	5		17.500000000	
D	5		17.500000000	
E	5		18.500000000	
F	5		20.500000000	
A	5		22.500000000	
H	5			40.500000000
Sig.		1.000	.055	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 20.848.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5.000.

b. Alpha = .05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: nematoda AKAR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	803798,088 ^a	11	73072,553	3,377	,005
Intercept	1784640,025	1	1784640,025	82,472	,000
PERLAKUAN	764116,175	7	109159,454	5,044	,001
BLOK	39681,913	4	9920,478	,458	,765
Error	605902,388	28	21639,371		
Total	3194340,500	40			
Corrected Total	1409700,475	39			

a. R Squared = ,570 (Adjusted R Squared = ,401)

NEMATODA AKAR

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset			
		1	2	3	4
G	5	,00000			
E	5	114,00000	114,00000		
F	5	114,30000	114,30000		
D	5	170,50000	170,50000		
C	5	210,50000	210,50000	210,50000	
A	5		248,00000	248,00000	
B	5			382,50000	382,50000
H	5				450,00000
Sig.		,050	,209	,090	,474

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 21639,371.

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

b. Alpha = ,05.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TANAH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	174,844 ^a	11	15,895	,925	,531
Intercept	237,656	1	237,656	13,827	,001
PERLAKUAN	146,094	7	20,871	1,214	,328
BLOK	28,750	4	7,188	,418	,794
Error	481,250	28	17,188		
Total	893,750	40			
Corrected Total	656,094	39			

a. R Squared = ,266 (Adjusted R Squared = -,022)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:TOTAL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	203939,108 ^a	11	18539,919	3,442	,004
Intercept	456516,639	1	456516,639	84,748	,000
PERLAKUAN	194252,723	7	27750,389	5,152	,001
BLOK	9686,384	4	2421,596	,450	,772
Error	150828,441	28	5386,730		
Total	811284,188	40			
Corrected Total	354767,548	39			

a. R Squared = ,575 (Adjusted R Squared = ,408)

TOTAL

Duncan^{a,b}

PERLAKUAN	N	Subset			
		1	2	3	4
G	5	,00000			
E	5	57,75000	57,75000		
F	5	58,40000	58,40000		
D	5	87,75000	87,75000		
C	5		105,25000	105,25000	

A	5		124,75000	124,75000	
B	5			193,75000	193,75000
H	5				227,00000
Sig.		,093	,208	,081	,480

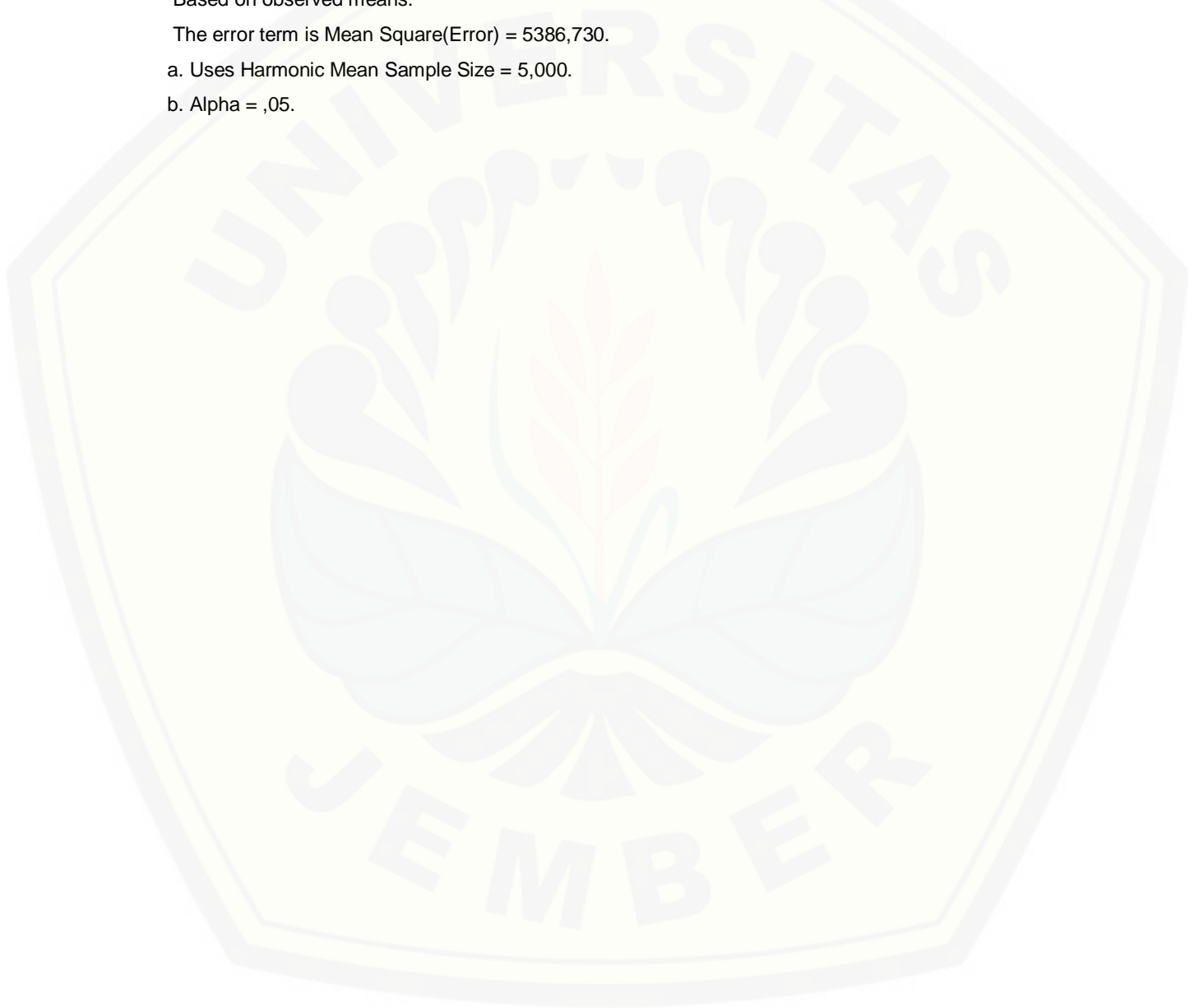
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 5386,730.

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

b. Alpha = ,05.



LAMPIRAN C
DAT MENTAH

TINGGI TANAMAN

PERLAKUAN	BLOK	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
A	1	7,85	8,3	8,55	8,65	8,75	9,15	9,95	10,85	11,8
A	2	7,1	7,9	8,25	8,95	9,05	9,55	10,1	10,9	12,05
A	3	7,35	8,2	8,6	8,65	8,7	9,1	9,55	10,25	11,25
A	4	6,6	7,4	7,8	7,95	8,15	8,4	8,6	8,95	9,4
A	5	5,8	6,15	6,5	6,55	6,65	6,9	7,2	7,65	8,15
B	1	7,8	8,4	8,65	8,75	9,1	9,9	10,55	11,35	12
B	2	7,8	8,75	9	9,05	9,1	9,45	9,9	10,05	11,15
B	3	7,2	7,65	8,05	8,15	8,25	8,65	9,15	9,7	11,1
B	4	6,8	7	7,1	7,5	8,05	8,55	9,05	9,65	10,2
B	5	8,15	8,6	8,8	9,05	9,4	9,6	9,75	10,75	11,9
C	1	7,8	8,6	8,85	8,95	9	9,35	9,65	10,05	10,9
C	2	6,55	7	7,4	8,75	8,8	8,9	9	10,5	11,35
C	3	7,95	8,55	8,9	9	9,05	9,35	9,65	10,35	11
C	4	6,3	6,5	6,7	7,15	7,3	7,45	7,75	7,9	8,15
C	5	7,25	7,4	7,7	7,9	8	8,45	9,05	9,55	10,45
D	1	6,75	7,4	7,7	7,9	8,65	8,95	9,3	10,1	10,95
D	2	6,15	6,85	7,35	8	8,25	8,55	8,95	9,9	10,65
D	3	7,3	7,75	8	8,25	8,65	9,05	9,25	10,1	10,85
D	4	6,3	6,4	6,55	6,6	7,1	7,5	8	8,7	9,3
D	5	6,25	6,5	6,7	6,8	7	7,5	7,9	8,7	9,65
E	1	6,6	6,9	7,25	7,4	7,5	7,75	8,25	8,85	9,3
E	2	6,7	7,2	7,6	8,1	8,25	8,5	8,85	9,35	10,1
E	3	7,5	7,7	7,95	8,1	8,2	8,55	9,05	9,75	11
E	4	6,45	7,1	7,35	7,55	7,7	8	8,35	8,8	9
E	5	8,4	8,6	8,7	9	9,05	9,15	9,5	9,6	10
F	1	6,75	7,2	7,55	7,85	8,1	8,45	8,8	9,1	9,75
F	2	6,45	6,8	7,25	9	9,05	9,3	9,6	9,7	9,9
F	3	8,3	8,4	8,8	8,85	8,9	9,15	9,7	10,15	11,1
F	4	6,5	6,65	6,75	6,85	7,2	7,6	8,1	8,7	9,5

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

DIAMETER TANAMAN

PERLAKUAN	BLOK	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
A	1	1,39	1,43	1,46	1,48	1,52	1,58	1,68	1,72	1,78
A	2	1,39	1,43	1,49	1,52	1,55	1,57	1,62	1,68	1,75
A	3	1,31	1,34	1,36	1,36	1,38	1,43	1,51	1,56	1,61
A	4	1,13	1,27	1,3	1,33	1,44	1,44	1,49	1,52	1,54
A	5	1,05	1,14	1,18	1,24	1,27	1,31	1,35	1,43	1,49
B	1	1,31	1,32	1,37	1,41	1,45	1,51	1,58	1,66	1,82
B	2	1,29	1,33	1,38	1,39	1,44	1,47	1,55	1,59	1,66
B	3	1,52	1,57	1,59	1,63	1,64	1,66	1,69	1,74	1,79
B	4	1,27	1,33	1,35	1,40	1,46	1,49	1,57	1,60	1,65
B	5	1,61	1,64	1,73	1,78	1,84	1,86	1,87	1,94	1,97
C	1	1,14	1,39	1,42	1,44	1,45	1,48	1,52	1,56	1,62
C	2	1,12	1,15	1,16	1,2	1,24	1,27	1,29	1,33	1,4
C	3	1,2	1,26	1,3	1,43	1,48	1,51	1,54	1,63	1,7
C	4	1,32	1,37	1,38	1,39	1,41	1,42	1,44	1,45	1,47
C	5	1,15	1,18	1,27	1,30	1,33	1,36	1,41	1,45	1,50
D	1	1,25	1,39	1,43	1,43	1,45	1,47	1,52	1,60	1,65
D	2	1,28	1,33	1,38	1,54	1,55	1,57	1,59	1,62	1,74
D	3	1,29	1,30	1,34	1,37	1,39	1,42	1,51	1,58	1,62

D	4	1,30	1,33	1,36	1,37	1,43	1,45	1,51	1,57	1,62
D	5	1,25	1,29	1,35	1,36	1,4	1,42	1,48	1,52	1,54
E	1	1,2	1,25	1,29	1,31	1,33	1,37	1,42	1,46	1,53
E	2	1,23	1,29	1,33	1,36	1,36	1,4	1,43	1,46	1,52
E	3	1,25	1,25	1,3	1,36	1,42	1,43	1,44	1,49	1,53
E	4	1,22	1,27	1,3	1,31	1,33	1,35	1,38	1,44	1,47
E	5	1,11	1,26	1,38	1,42	1,43	1,44	1,48	1,52	1,55
F	1	1,19	1,25	1,28	1,32	1,37	1,38	1,39	1,44	1,49
F	2	1,14	1,2	1,26	1,36	1,38	1,39	1,42	1,45	1,52
F	3	1,39	1,44	1,46	1,47	1,50	1,53	1,59	1,63	1,66
F	4	1,15	1,24	1,26	1,30	1,35	1,37	1,42	1,49	1,53
F	5	1,29	1,33	1,36	1,38	1,39	1,42	1,45	1,5	1,56
G	1	1,18	1,40	1,45	1,48	1,49	1,5	1,53	1,61	1,64
G	2	1,19	1,22	1,27	1,31	1,33	1,34	1,37	1,45	1,5
G	3	1,26	1,28	1,32	1,35	1,37	1,39	1,45	1,51	1,58
G	4	1,14	1,20	1,23	1,25	1,31	1,34	1,38	1,43	1,46
G	5	1,35	1,38	1,43	1,45	1,45	1,49	1,53	1,61	1,65
H	1	1,15	1,21	1,25	1,27	1,29	1,3	1,30	1,30	1,31
H	2	1,24	1,28	1,3	1,31	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37
H	3	1,23	1,25	1,28	1,3	1,32	1,35	1,36	1,37	1,41
H	4	1,19	1,21	1,22	1,23	1,26	1,27	1,27	1,29	1,31
H	5	1,19	1,22	1,25	1,26	1,27	1,29	1,3	1,30	1,31

JUMLAH DAUN

PERLAKUAN	BLOK	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
A	1	8	9	9	10	12	13	14	14	15
A	2	7	9	10	10	11	12	13	13	14
A	3	7	8	10	10	11	12	12	13	14
A	4	6	6	7	8	9	10	11	11	12
A	5	7	7	9	9	9	10	11	13	13
B	1	8	8	8	9	11	11	12	13	13
B	2	8	8	9	9	10	11	12	13	14
B	3	7	7	9	9	10	11	11	13	13
B	4	6	6	7	9	10	11	11	12	13

B	5	7	8	9	9	11	11	11	12	12
C	1	8	8	8	9	10	12	13	14	14
C	2	7	7	8	8	9	11	13	14	14
C	3	6	8	9	9	9	10	11	13	13
C	4	6	7	7	8	9	9	12	12	14
C	5	7	7	9	9	9	11	11	12	13
D	1	6	8	8	9	9	11	12	14	15
D	2	6	7	8	8	8	12	12	14	14
D	3	7	8	10	10	10	11	11	13	13
D	4	7	7	8	9	10	11	11	13	14
D	5	7	8	10	10	10	12	12	13	13
E	1	7	7	8	9	11	11	11	13	14
E	2	7	7	9	9	9	11	12	12	14
E	3	7	7	8	8	9	10	11	12	12
E	4	7	7	8	9	10	11	11	12	12
E	5	7	8	9	9	9	9	12	12	14
F	1	6	7	7	8	8	12	12	14	14
F	2	7	7	8	8	8	10	11	12	12
F	3	8	8	9	9	10	10	12	13	13
F	4	8	8	8	10	10	11	12	13	14
F	5	7	7	8	8	8	10	11	13	13
G	1	7	7	7	8	9	11	11	13	13
G	2	7	7	9	9	9	10	11	12	13
G	3	6	8	9	10	10	11	11	13	13
G	4	6	6	8	8	8	10	10	12	13
G	5	8	9	9	9	10	10	12	13	13
H	1	6	7	7	8	8	10	11	13	13
H	2	8	8	10	10	10	11	11	13	13
H	3	7	9	10	10	10	11	11	12	12
H	4	6	6	7	8	9	10	11	11	12
H	5	7	8	8	8	8	8	10	12	12

POPULASI NEMATODA

PERLAKUAN	BLOK	RATA-RATA		TOTAL
		AKAR	TANAH	
A	1	165	2,5	83,75
A	2	292,5	2,5	147,5

A	3	157,5	0	78,75
A	4	225	2,5	113,75
A	5	400	0	200
B	1	537,5	0	268,75
B	2	352,5	2,5	177,5
B	3	152,5	2,5	77,5
B	4	352,5	10	181,25
B	5	517,5	10	263,75
C	1	217,5	0	108,75
C	2	182,5	0	91,25
C	3	487,5	0	243,75
C	4	60	0	30
C	5	105	0	52,5
D	1	102,5	0	51,25
D	2	210	5	107,5
D	3	285	12,5	148,75
D	4	110	5	57,5
D	5	145	2,5	73,75
E	1	175	5	90
E	2	85	0	42,5
E	3	145	0	72,5
E	4	45	0	22,5
E	5	120	2,5	61,25
F	1	204,5	10	107,25
F	2	80	0	40
F	3	117,5	0	58,75
F	4	54,5	0	27,25
F	5	115	2,5	58,75
G	1	0	0	0
G	2	0	0	0
G	3	0	0	0
G	4	0	0	0

G	5	0	0	0
H	1	107,5	0	53,75
H	2	667,5	2,5	335
H	3	147,5	17,5	82,5
H	4	630	0	315
H	5	697,5	0	348,75

BERAT BASAH (BB) TAJUK (gram)

PERLAKUAN	SAMPEL		RATA-RATA
	1	2	
A	1,35	2,91	2,13
A	1,16	2,34	1,75
A	1,32	1,46	1,39
A	1,29	1,428	1,359
A	0,7	0,43	0,565
B	1,87	0,96	1,415
B	1,8	0,6	1,2
B	1,71	0,83	1,27
B	1,49	1,17	1,33
B	2,05	1,4	1,725
C	1,5	1,2	1,35
C	1,37	0,786	1,078
C	1,56	1,36	1,46
C	1,76	0,786	1,273
C	0,6	1,37	0,985
D	2,18	1,33	1,755
D	1,61	1,12	1,365
D	1,03	1,49	1,26
D	1,62	1,08	1,35
D	1,76	1,38	1,57
E	1,63	0,9	1,265
E	1,42	1,42	1,42

E	1,68	1,11	1,395
E	1,35	1,9	1,625
E	1,03	1,15	1,09
F	1,34	1,04	1,19
F	1	1,07	1,035
F	2,27	1,16	1,715
F	0,62	0,624	0,622
F	1,09	0,89	0,99
G	1,26	0,81	1,035
G	1,04	1,23	1,135
G	1,03	1,31	1,17
G	0,93	0,81	0,87
G	1,3	1,5	1,4
H	1,11	1,11	1,11
H	1,65	1,14	1,395
H	0,56	0,78	0,67
H	0,82	1,02	0,92
H	0,53	0,53	0,53

BERAT BASAH (BB) AKAR (gram)

PERLAKUAN	SAMPEL		RATA-RATA
	1	2	
A	0,38	0,64	0,51
A	0,39	0,3	0,345
A	0,39	0,26	0,325
A	0,45	0,31	0,38
A	0,31	0,07	0,19
B	0,24	0,08	0,16
B	0,19	0,16	0,175
B	0,16	0,09	0,125
B	0,4	0,36	0,38
B	0,11	0,32	0,215

C	0,56	0,18	0,37
C	0,31	0,26	0,285
C	0,43	0,19	0,31
C	0,4	0,26	0,33
C	0,2	0,43	0,315
D	0,41	0,22	0,315
D	0,48	0,17	0,325
D	0,21	0,39	0,3
D	0,46	0,16	0,31
D	0,43	0,3	0,365
E	0,46	0,17	0,315
E	0,44	0,21	0,325
E	0,29	0,13	0,21
E	0,33	0,35	0,34
E	0,32	0,27	0,295
F	0,17	0,16	0,165
F	0,13	0,12	0,125
F	0,38	0,26	0,32
F	0,16	0,16	0,16
F	0,23	0,14	0,185
G	0,24	0,16	0,2
G	0,21	0,34	0,275
G	0,23	0,24	0,235
G	0,21	0,16	0,185
G	0,3	0,27	0,285
H	0,14	0,24	0,19
H	0,35	0,17	0,26
H	0,13	0,16	0,145
H	0,18	0,13	0,155
H	0,17	0,17	0,17

BERAT KERING (BK) TAJUK (gram)

PERLAKUAN	SAMPEL		
	1	2	RATA-RATA
A	0,45	0,78	0,615
A	0,41	0,63	0,52
A	0,38	0,38	0,38
A	0,4	0,51	0,455
A	0,31	0,23	0,27
B	0,57	0,28	0,425
B	0,53	0,32	0,425
B	0,52	0,3	0,41
B	0,41	0,32	0,365
B	0,63	0,38	0,505
C	0,43	0,31	0,37
C	0,37	0,37	0,37
C	0,4	0,43	0,415
C	0,45	0,37	0,41
C	0,31	0,37	0,34
D	0,62	0,35	0,485
D	0,5	0,29	0,395
D	0,33	0,4	0,365
D	0,5	0,31	0,405
D	0,45	0,39	0,42
E	0,45	0,28	0,365
E	0,42	0,43	0,425
E	0,52	0,29	0,405
E	0,4	0,52	0,46
E	0,37	0,38	0,375
F	0,4	0,3	0,35
F	0,3	0,3	0,3
F	0,64	0,35	0,495
F	0,16	0,3	0,23
F	0,28	0,26	0,27

G	0,35	0,2	0,275
G	0,29	0,37	0,33
G	0,26	0,36	0,31
G	0,26	0,22	0,24
G	0,38	0,4	0,39
H	0,42	0,29	0,355
H	0,48	0,32	0,34
H	0,32	0,26	0,29
H	0,25	0,29	0,27
H	0,24	0,29	0,265

SKOR KERUSAKAN AKAR (%)

PERLAKUAN	SAMPEL		RATA-RATA
	1	2	
A	25	5	15
A	35	15	25
A	35	20	27,5
A	15	20	17,5
A	30	25	27,5
B	15	20	17,5
B	15	30	22,5
B	15	20	17,5
B	10	5	7,5
B	25	5	15
C	15	25	20
C	20	20	20
C	20	5	12,5
C	20	20	20
C	25	5	15
D	10	25	17,5
D	10	30	20
D	30	10	20

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

LAMPIRAN D

FOTO TANAMAN KOPI ARABIKA



P. coffeae + *P. mallei*
(10^8 cfu/ml)
Usia 6 bulan (panen)



P. coffeae + *P. mallei*
(10^9 cfu/ml)
usia 6 bulan (panen)



P. coffeae + *B. mycooides*
(10^8 cfu/ml)
usia 6 bulan (panen)



P. coffeae + *B. mycooides*
(10^9 cfu/ml)
usia 6 bulan (panen)



E

P. coffeae + Carbofuran
(5 gram/pot)
usia 6 bulan (panen)



F

P. coffeae + *P. mallei* + *B. mycoides* (10^8 cfu/ml)
usia 6 bulan (panen)



G

Tanpa Perlakuan
(Kontrol positif)
usia 6 bulan (panen)



H

P. coffeae
(Kontrol negatif)
usia 6 bulan (panen)

LAMPIRAN E

FOTO ALAT DAN BAHAN PENELITIAN



KETERANGAN :

1. Saringan 235 mesh (0,045 mm).
2. Blender
3. Saringan 40 mesh yang telah dipasang kain panel dengan bantuan cincin penjepit.
4. Penggaris
5. Counter
6. Gelas ukur 100 ml
7. Botol semprot
8. Pancingan nematoda
9. Pipet ukur pegas
10. Mikroskop cahaya
11. Mikroskop binokuler
12. Neraca O'haus

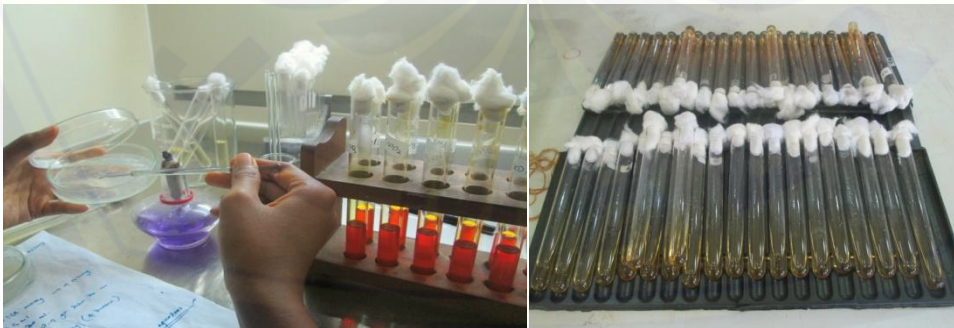
LAMPIRAN F. FOTO PENELITIAN



Tanaman kopi arabika di lokasi penelitian




Perhitungan nematoda dan pengukuran tanaman



Persiapan bakteri dan pembuatan medium

LAMPIRAN G
SURAT IZIN

 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

Nomor : 49 11 /UN25.1.5/LT/2014 20 JUN 2014
Lampiran : -
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

Yth. Dekan Fakultas MIPA
Universitas Jember
Jember

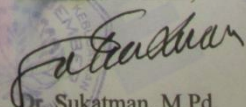
Diberitahukan dengan hormat, bahwa mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

No.	Nama Mahasiswa	NIM	Program Studi
1.	Sri Wahyu P. T.	100210103028	Pendidikan Biologi
2.	Nuryanitra D.W	100210103049	Pendidikan Biologi
3.	Vika Firma N.	100210103088	Pendidikan Biologi
4.	Novitasari	100210103078	Pendidikan Biologi
5.	Rifatul Adabiyah	110210153002	Pendidikan Biologi
6.	Nurohmah Heny H.	110210153012	Pendidikan Biologi

Berkenaan dengan penyelesaian studinya, mahasiswa tersebut bermaksud melaksanakan penelitian di Laboratorium Mikrobiologi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, untuk penelitian dosen Dr.Iis Nur Asyiah S.P, M.P. berkenaan dengan uji biokimia bakteri *Pseudomonas mallei*, *Pseudomonas dimimuta*, *Bacillus subtilis*, dan *Bacillus mycoides*.

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

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


Dekan
Pembantu Dekan I,
Dr. Sukatman, M.Pd.
NIP 19640123 199512 1 001

Tembusan Yth:
1. Ketua Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA UNEJ.
2. Arsip.