



**IDENTIFIKASI DAN UJI POTENSI JAMUR NEMATOFAGUS
PADA LAHAN AGROFORESTRI KOPI KAWASAN GUNUNG
IJEN SERTA PEMANFAATANNYA SEBAGAI *BOOKLET***

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi Pendidikan Biologi (S1).*

SKRIPSI

Oleh

**Mellysa Aprilia Tunggu Jama
190210103057**

**KEMETERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN
TEKNOLOGI**

UNIVERSITAS JEMBER

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PENDIDIKAN BIOLOGI**

JEMBER

2024

PERSEMBAHAN

Segala puji serta syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kasih sayang, pertolongan, dan anugerah-Nya melalui orang-orang yang membimbing dan mendukung dengan berbagai cara sehingga penulis dapat menulis dan menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mempersembahkan skripsi yang telah penulis susun ini kepada :

1. Keluargaku tersayang, Papa Aprianus Tunggu Jama dan Mama Suswaningtyas yang selalu memberikan cinta, kasih sayang, dan doa restu yang tiada henti kepada anaknya, serta adikku Karin Juana Tunggu Jama dan nenek Supiah yang telah memberikan semangat dan keceriaan dalam menyelesaikan penulisan ini;
2. Bapak dan Ibu guru saya mulai dari TK, SD, SMP, SMA, serta seluruh dosen Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember yang telah memberikan segala ilmu dan bimbingannya sehingga saya berada pada titik ini;
3. Almamater Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang sangat saya banggakan.

MOTTO

“Apapun yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk
Tuhan dan bukan untuk manusia”
(Kolose 3:23)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mellysa Aprilia Tunggu Jama

NIM : 190210103057

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : *Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen serta Pemanfaatannya sebagai Booklet* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2024

Yang menyatakan,

Mellysa Aprilia Tunggu Jama

NIM190210103057

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen serta Pemanfaatannya sebagai Booklet* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : __ Juli 2024

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.

(.....)

NIP : 197306142008012008

2. Pembimbing Anggota

Nama : Kuswati, S.Pd., M.Si.

(.....)

NIP : 199301082019032018

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Dr. Ir. Imam Mudakir, M.Si

(.....)

NIP : 196405101990021001

2. Penguji Anggota 1

Nama : Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd.

(.....)

NIP : 198402232010122004

ABSTRACT

Plant pest organisms (PPO) such as parasitic nematodes have a negative impact on coffee plants, causing a reduction in production of up to 28.7%-78.4%, and control still uses harmful chemicals. The concept of Integrated Pest Management (IPM) is an alternative solution by limiting pesticides and utilizing natural enemies, such as nematophagous fungi which can control parasitic nematodes. Nematophagous fungi are often found in the same places as nematode habitats and contain high levels of organic matter. One of them is in places that have litter, such as agroforestry land. Sampling of nematophagous fungi was carried out on the Mount Ijen Coffee Agroforestry Field. The research went through the stages of fungal isolation, potency testing and identification and then 11 fungal isolates were found. The genera that have been identified are Paecilomyces, Aspergillus, Unidentified, and Fusarium, all of which have the ability to predate nematodes or have the potential to be nematophagous fungi. The results of this research were distributed through information media, namely booklets, to the public.

Keywords: *Agroforestry, Aspergillus, Booklet, Fusarium, Nematophagous fungi, Paecilomyces.*

RINGKASAN

Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen serta Pemanfaatannya sebagai *Booklet*; Mellysa Aprilia Tunggu Jama, 190210103057; 2024; 44 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Organisme pengganggu tanaman (OPT) pada kopi memiliki dampak merugikan bagi tanaman budidaya, salah satunya yaitu nematoda parasit. Nematoda parasit menyebabkan tanaman kopi mati secara perlahan, sehingga produksi kopi menurun. Penurunan produksi kopi akibat serangan nematoda parasit pada tanaman kopi robusta mencapai 28,7%-78,4%. Fokus pengendalian nematoda parasit pada tanaman kopi sampai saat ini masih menggunakan bahan kimia yang berdampak negatif pada penurunan kualitas lahan, resurjensi hama non-target, serta resistensi nematoda parasit. Pencarian alternatif pengendalian sangat perlu dilakukan dengan menerapkan konsep pengendalian hama terpadu (PHT) yaitu membatasi penggunaan pestisida serta memberdayakan musuh alami. Pemberdayaan musuh alami dapat menekan populasi hama dan penjagaan ekosistem. Salah satu musuh alami potensial yang mampu digunakan untuk mengendalikan nematoda parasit yaitu jamur nematofagus. Jamur nematofagus adalah organisme yang dapat mempredasi nematoda untuk mendapatkan nutrisi. Jamur nematofagus banyak ditemukan di tempat yang sama dengan habitat nematoda serta mengandung bahan organik yang tinggi. Salah satunya yaitu pada tempat yang memiliki serasah, seperti lahan agroforestri. Oleh karenanya perlu dilakukan identifikasi dan uji potensi jamur nematofagus di Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, serta hasil yang didapat kemudian disebarluaskan kepada masyarakat melalui media informasi berupa *booklet* yang layak digunakan.

Penelitian ini berlangsung selama 7 bulan dari 5 Mei 2023 sampai 30 November 2023. Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif. Penelitian ini terdiri dari tahap isolasi, uji potensi, dan identifikasi jamur yang dilakukan di

Laboratorium Gembio FKIP UNEJ. Pada tahap isolasi jamur yang menggunakan *soil dilution* dengan sampel tanah dari Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen diperoleh 11 kode isolat jamur. 11 isolat jamur yang ditemukan kemudian dilakukan uji potensi jamur nematofagus dan uji *in vitro* nematoda. Kemudian ditemukan 7 kode isolat yang berpotensi sebagai jamur nematofagus. Identifikasi jamur dilakukan dengan cara mengamati secara makroskopis yaitu morfologi pada koloni jamur dan mikroskopis yaitu melihat hifa dan konidia, lalu dicocokkan dengan kunci identifikasi.

Hasil dari penelitian ini yaitu didapatkan 4 genus yang berhasil diidentifikasi yaitu *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Unidentified*, dan *Fusarium*. Pada uji potensi jamur yang ditemukan yaitu pada genus *Paecilomyces*, *Unidentified*, dan *Fusarium* memiliki enzim protease dan fosfatase, sedangkan pada *Aspergillus* memiliki enzim kitinase, protease, dan fosfatase. Hasil uji *in vitro* menyatakan bahwa jamur dengan kode isolat F5 dari genus *Aspergillus* mendapatkan jumlah mortalitas paling tinggi, sedangkan F2 mendapatkan jumlah mortalitas paling rendah. Hasil yang telah ditemukan ini kemudian disebarluaskan kepada masyarakat melalui media informasi berupa *booklet*. *Booklet* yang berjudul “Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen” layak dan dapat digunakan sebagai media informasi kepada masyarakat dengan dilakukan beberapa revisi yang memiliki validasi *booklet* mencapai 88,6%.

PRAKATA

Segala puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas anugerah dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen serta Pemanfaatannya sebagai *Booklet*”. Skripsi ini disusun untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan dan mencapai gelar (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
2. Ibu Prof. Erlia Narulita S.Pd., M.Si., Ph.D selaku Koodinator Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
3. Ibu Prof. Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah tulus dan ikhlas meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penelitian skripsi ini.
4. Ibu Kuswati, S.Pd., M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah bersedia memberikan saran, perhatian serta motivasi dalam penelitian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir.Imam Mudakir, M. Si. dan Ibu Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd. selaku Dosen Penguji Utama dan Anggota yang telah bersedia memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Ibu Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd., selaku dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing dan memberikan motivasi selama menjalani perkuliahan.

7. Semua dosen FKIP Pendidikan Biologi, atas semua ilmu yang telah diberikan selama menjadi mahasiswa Pendidikan Biologi.
8. Bapak Aprianus Tunggu Jama dan Ibu Suswaningtyas, selaku orang tua yang senantiasa memberikan nasihat, doa, motivasi, dan dukungan materi maupun moral.
9. Mbak Ellena, mbak Evi, dan seluruh teknisi laboratorium yang telah memberikan banyak bantuan dalam penelitian di Laboratorium.
10. Sahabat-sahabat saya dan tim penelitian Jurnal Tidar yang telah memberikan semangat dan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Teman-teman seperjuangan Biologi 2019 yang telah memberikan semangat dan kenangan yang sangat berkesan dan tak terlupakan.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

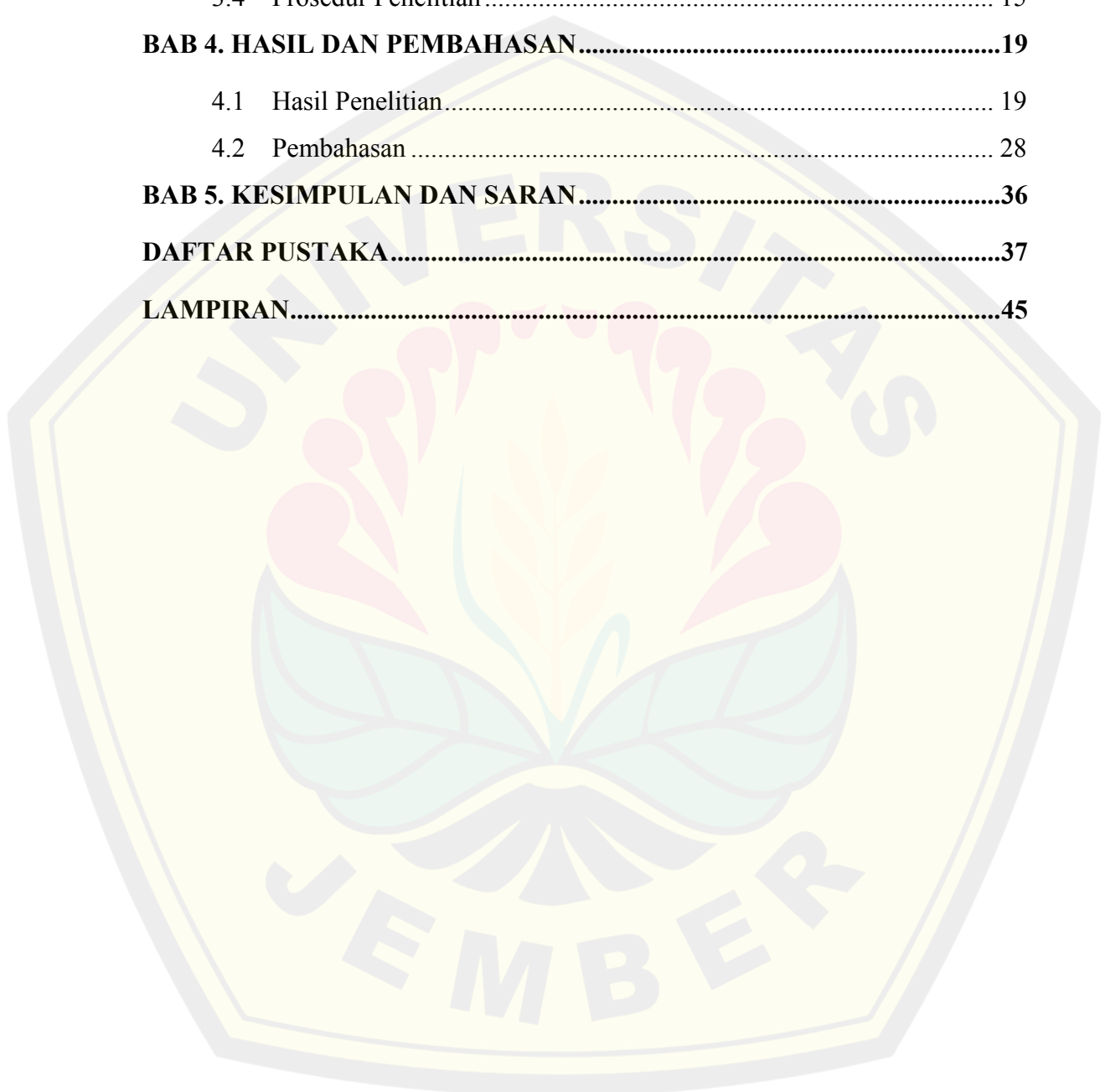
Jember, Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

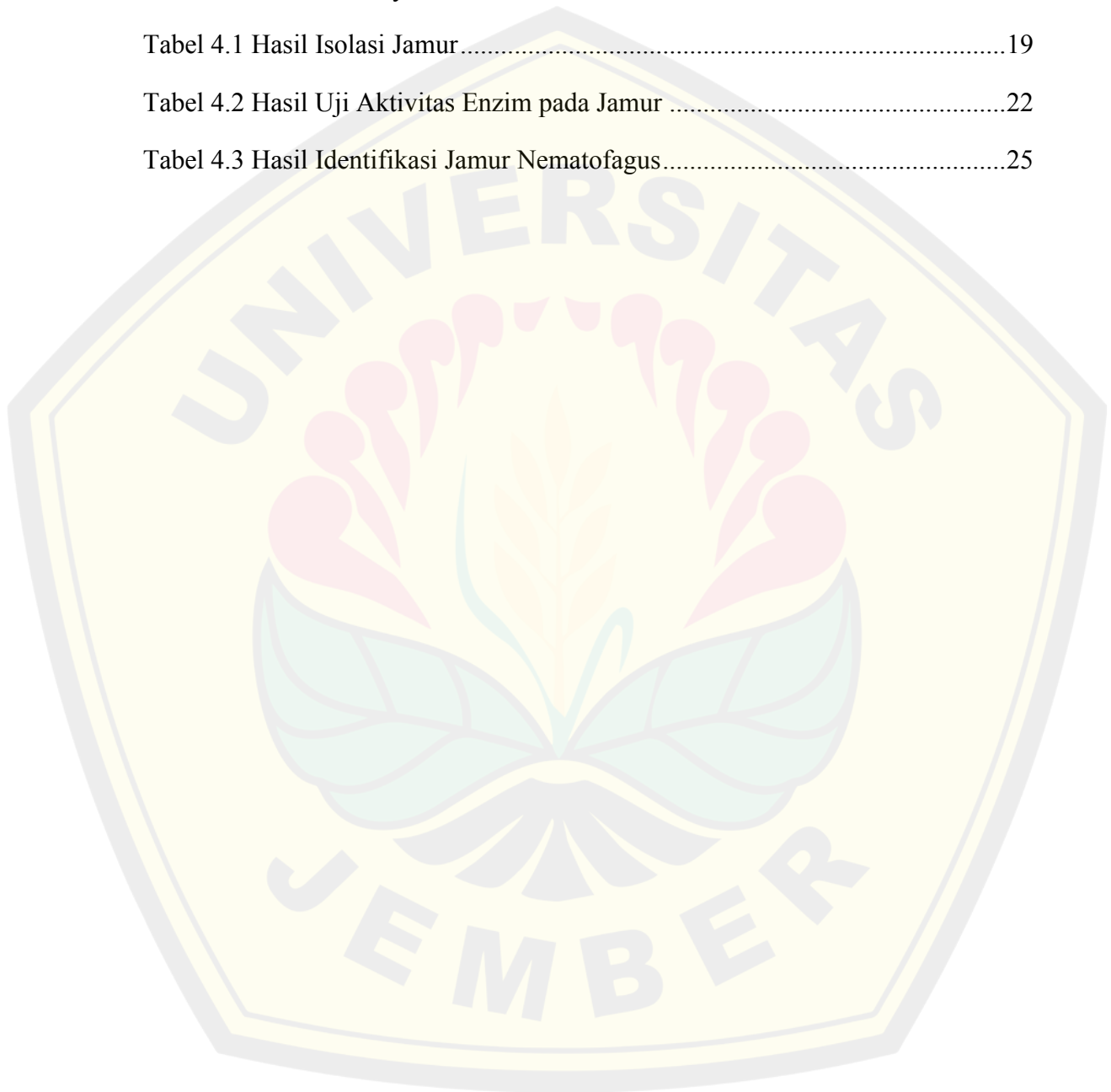
	Halaman
HALAMAN SAMBUNG.....	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
ABSTRACT	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Serangan Nematoda Parasit pada Lahan Kopi	5
2.2 Jamur Nematofagus	6
2.3 Uji Potensi Jamur Nematofagus	9
2.4 Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen.....	10
2.5 Metode Identifikasi Jamur Nematofagus.....	12
2.6 Booklet.....	12

BAB 3. METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Jenis Penelitian	14
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	14
3.3 Alat dan Bahan	14
3.4 Prosedur Penelitian	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Hasil Penelitian.....	19
4.2 Pembahasan	28
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN.....	45



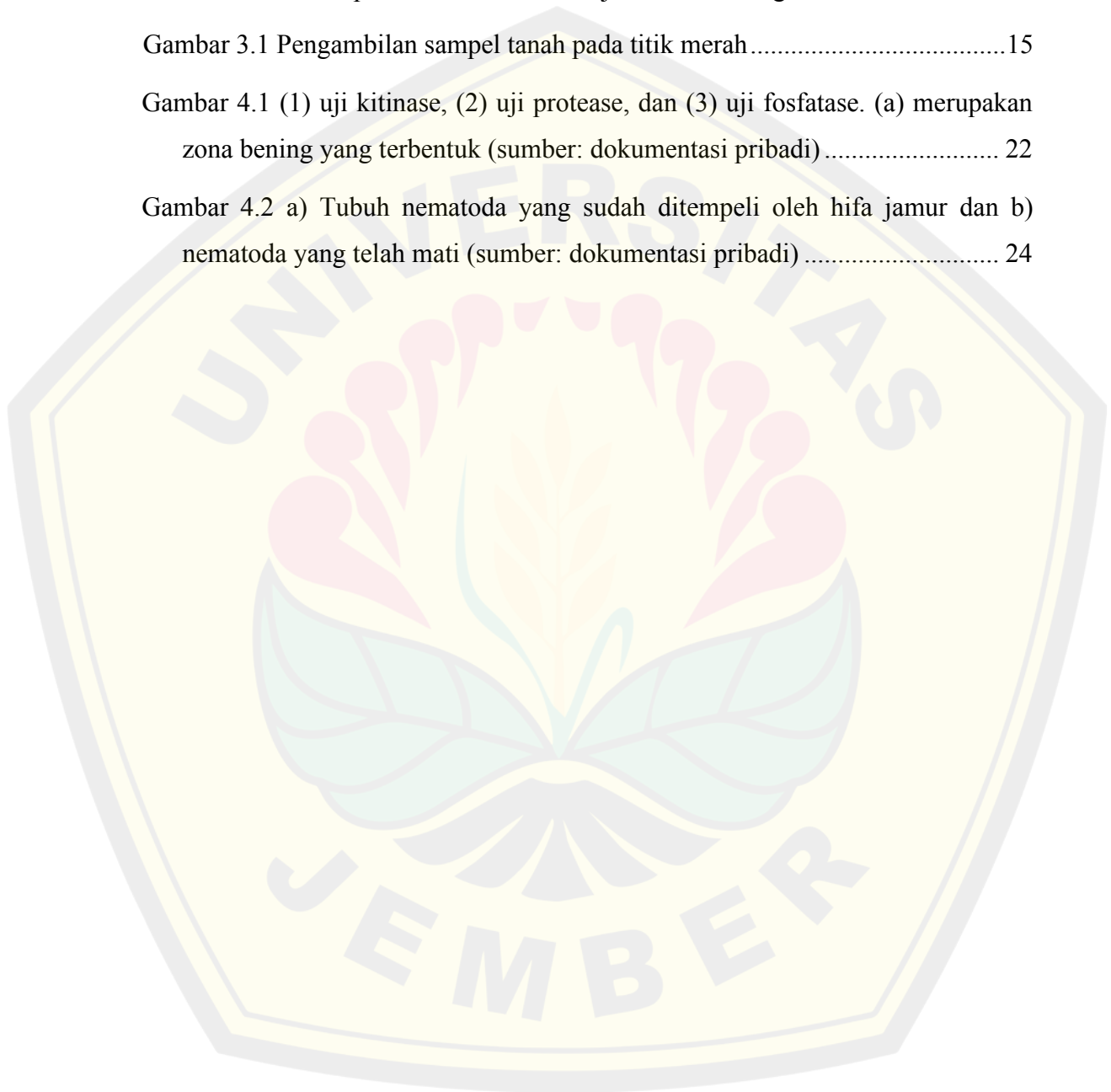
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Skala Likert Penilaian Validasi Booklet.....	18
Tabel 3.2 Kriteria Kelayakan Analisis Presentase.....	18
Tabel 4.1 Hasil Isolasi Jamur.....	19
Tabel 4.2 Hasil Uji Aktivitas Enzim pada Jamur	22
Tabel 4.3 Hasil Identifikasi Jamur Nematofagus.....	25



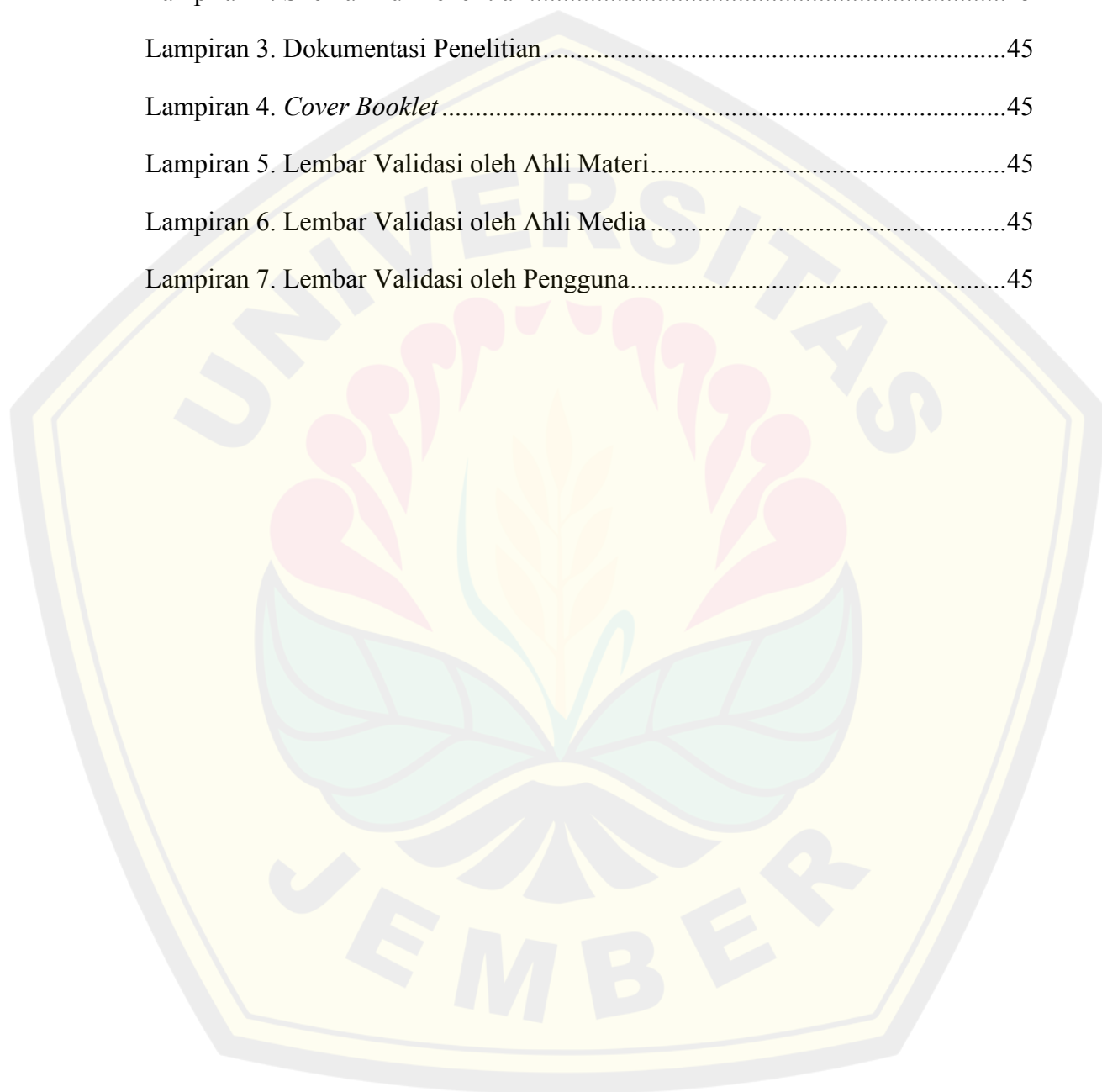
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jamur Nematofagus (Lopez-Llorca <i>et al.</i> , 2008)	7
Gambar 2.2 Proses predasi nematoda oleh jamur nematofagus	8
Gambar 3.1 Pengambilan sampel tanah pada titik merah	15
Gambar 4.1 (1) uji kitinase, (2) uji protease, dan (3) uji fosfatase. (a) merupakan zona bening yang terbentuk (sumber: dokumentasi pribadi)	22
Gambar 4.2 a) Tubuh nematoda yang sudah ditemplei oleh hifa jamur dan b) nematoda yang telah mati (sumber: dokumentasi pribadi)	24



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Matriks Penelitian.....	45
Lampiran 2. Skema Alur Penelitian.....	45
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian.....	45
Lampiran 4. <i>Cover Booklet</i>	45
Lampiran 5. Lembar Validasi oleh Ahli Materi.....	45
Lampiran 6. Lembar Validasi oleh Ahli Media.....	45
Lampiran 7. Lembar Validasi oleh Pengguna.....	45



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Organisme pengganggu tanaman (OPT) pada kopi memiliki dampak merugikan bagi tanaman budidaya, salah satunya yaitu nematoda parasit (Rachmawati *et al.*, 2013; Fahmawati *et al.*, 2021). Nematoda parasit menyebabkan tanaman kopi mati secara perlahan, sehingga produksi kopi menurun (Swibawa *et al.*, 2019). Penurunan produksi kopi akibat serangan nematoda parasit pada tanaman kopi robusta mencapai 28,7%-78,4% (Asyiah *et al.*, 2020; Fahmawati *et al.*, 2021). Fokus pengendalian nematoda parasit pada tanaman kopi sampai saat ini masih menggunakan bahan kimia yang berdampak negatif pada penurunan kualitas lahan, resurgensi hama non-target, serta resistensi nematoda parasit (Harni, 2017; Dhiaswari *et al.*, 2019). Pencarian alternatif pengendalian sangat perlu dilakukan dengan menerapkan konsep pengendalian hama terpadu (PHT) yaitu membatasi penggunaan pestisida serta memberdayakan musuh alami (Winarto *et al.*, 2019). Pemberdayaan musuh alami dapat menekan populasi hama dan penjagaan ekosistem (Triman & Mulyadi, 2001; Mustika *et al.*, 2001; 2003; 2005; Cho *et al.*, 2003). Salah satu musuh alami potensial yang mampu digunakan untuk mengendalikan nematoda parasit yaitu jamur nematofagus (Zhu *et al.*, 2022).

Jamur nematofagus adalah organisme yang dapat mempredasi nematoda untuk mendapatkan nutrisi (Lopez-Llorca *et al.*, 2008). Jamur nematofagus dibagi menjadi empat kelompok utama: 1) jamur penangkap nematoda; 2) jamur endoparasit; 3) jamur parasit telur dan kista; dan 4) jamur penghasil toksin. Beberapa spesies jamur nematofagus termasuk ke dalam Ascomycetes dan Deutromycetes. Mekanisme dari jamur nematofagus ini terbagi menjadi 4 tahap yaitu pengenalan inang, adhesi, penetrasi, dan pencernaan. Tahapan ini terbantu karena adanya aktivitas mekanik dan enzimatis dari jamur nematofagus. Karena adanya kemampuan menghasilkan enzim hidrolitik serta metabolit nematisidal, memungkinkan kelompok jamur ini dijadikan sebagai agen pengendali hayati nematoda (Indarti & Rahayu, 2014). Melalui aktivitas enzim jamur dapat

diketahui potensinya melalui uji aktivitas enzim. Enzim yang dapat diujikan yaitu kitinase, protease, dan fosfatase. Jamur nematofagus banyak ditemukan di tempat yang sama dengan habitat nematoda serta mengandung bahan organik yang tinggi. Salah satunya yaitu pada tempat yang memiliki serasah, seperti lahan agroforestri.

Lahan agroforestri merupakan penggunaan lahan yang memadukan tanaman pertanian dengan tanaman kehutanan (Martini *et al.*, 2017). Sebagaimana pencarian solusi untuk mengatasi permasalahan pada kopi maka dilakukan pencarian musuh alami potensial pada Lahan agroforestri kopi. Lahan agroforestri kopi berpeluang sebagai tempat pengambilan sampel karena memiliki karakteristik yang sesuai sebagai tempat hidup jamur nematofagus. Lahan agroforestri kopi memiliki kandungan bahan organik yang tinggi karena jarang terkena camur tangan manusia dan tidak dilakukan pra-pengolahan lahan (Surono & Soekarno, 2008). Bahan organik dan kualitas tanah yang baik pada lahan agroforestri kawasan Gunung Ijen menjadi tempat yang cocok untuk pengambilan sumber jamur nematofagus.

Informasi mengenai jamur nematofagus yang masih minim di Indonesia menjadi penghambat pengembangan potensi dari jamur ini. Penyebarluasan hasil penelitian ini menjadi penting karena peran jamur nematofagus yang mampu menekan populasi nematoda parasit serta tidak menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan. *Booklet* dipilih sebagai media informasi karena mudah dipahami serta menarik. *Booklet* merupakan buku berukuran kecil dan tipis terdiri dari 5-40 halaman, berisi informasi-informasi penting yang mudah dimengerti serta dilengkapi dengan gambar menarik (Darmoko, 2012; Pradina, *et al.*, 2021). Melalui *booklet* ini diharapkan informasi dari hasil penelitian dapat lebih mudah dipahami dan bermanfaat bagi masyarakat. Berdasarkan uraian tersebut maka dilakukan penelitian mengenai **“Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen serta Pemanfaatannya sebagai *Booklet*”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Apa sajakah genus jamur nematofagus yang berasal dari Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen?
- b. Bagaimanakah hasil uji potensi jamur nematofagus yang telah ditemukan?
- c. Bagaimana hasil uji kelayakan *booklet* mengenai jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diteliti, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui genus jamur nematofagus yang ditemukan pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen.
- b. Untuk mengetahui potensi sebagai jamur nematofagus dari genus yang telah ditemukan
- c. Untuk menghasilkan *booklet* yang tervalidasi sebagai media informasi mengenai jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan setelah dilakukannya penelitian ini yaitu:

- a. Bagi peneliti, dapat memberikan wawasan mengenai teknik identifikasi jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen.
- b. Bagi peneliti selanjutnya, dapat digunakan sebagai pustaka awal mengenai identifikasi jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi serta pengembangan jamur nematofagus sebagai agen pengendali hayati.
- c. Bagi masyarakat, dapat menambah informasi mengenai potensi jamur nematofagus sebagai agen pengendali hayati.

BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Serangan Nematoda Parasit pada Lahan Kopi

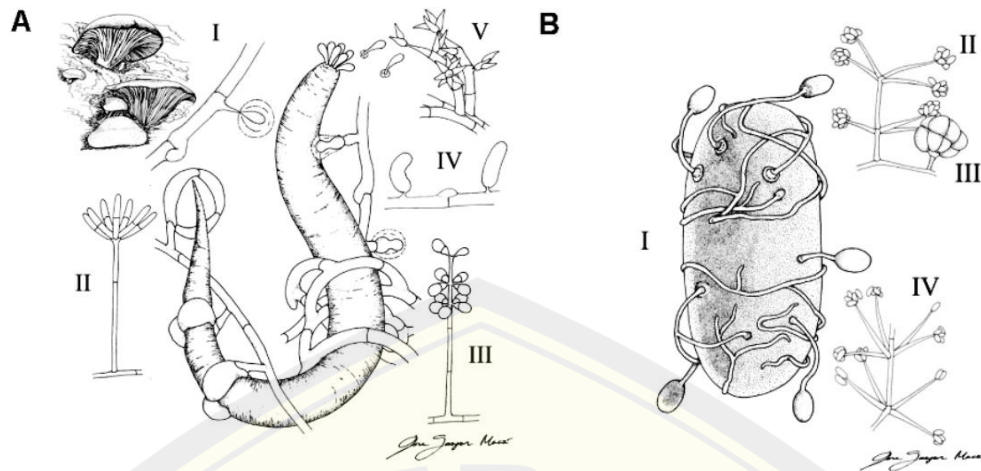
Nematoda merupakan salah satu biota tanah yang memiliki peran penting dalam proses perombakan organik, siklus hara, dan mengatur kesuburan tanah melalui aliran energi serta perubahan dan pemanfaatan hara (Lerian *et al.*, 2018). Nematoda yang ikut terlibat dalam perombakan bahan organik sebagian besar berasal dari ordo Rhabditida, Dorylaimida, dan Mononchida, selain merombak bahan organik terdapat juga nematoda yang dapat menyerang dan menyebabkan kerusakan tanaman. Campos & Villain (2005) menyebutkan beberapa genus nematoda yang kerap menimbulkan masalah serius pada budidaya kopi adalah *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, dan *Radopholus*. Nematoda merusak tanaman dengan cara masuk ke dalam akar dan menginfeksi tanaman, mengambil nutrisi dari sitoplasma sel tanaman sehingga menimbulkan kerusakan akar. Dengan rusaknya sistem perakaran, penyerapan unsur hara dan air akan terganggu (Rachmawati *et al.*, 2013).

Akibat serangan nematoda pada tanaman kopi menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu dan menurunkan produksi baik kuantitas maupun kualitas. Serangan *P. coffeae* pada kopi Robusta dapat menurunkan produksi sampai 57%, sedangkan serangan *R. similis* bersama-sama dengan *P. coffeae* pada kopi Arabika dapat mengakibatkan kerusakan 80% dan tanaman akan mati pada umur kurang dari 3 tahun (Harni, 2017). Asyiah *et al.* (2020) dan Fahmawati *et al.*, (2021) menyatakan bahwa penurunan produksi kopi akibat serangan nematoda parasit pada tanaman kopi robusta mencapai 28,7%-78,4%. Apalagi kopi merupakan sumber devisa negara dan penghasilan bagi satu setengah juta jiwa petani kopi di Indonesia (Lerian *et al.*, 2018). Masalah ini menjadi penting untuk diperhatikan dan dilakukan tindakan untuk mengurangi dampak negatif dari nematoda parasit. Pengendalian nematoda parasit pada tanaman kopi umumnya menggunakan bahan kimia yang berdampak negatif pada penurunan kualitas lahan, resurgensi karena musnahnya musuh alami, serta resistensi nematoda parasit terhadap bahan kimia (Harni, 2017; Dhiaswari *et al.*,

2019). Pencarian alternatif pengendalian perlu dilakukan dengan menerapkan konsep pengendalian hama terpadu (PHT) yaitu membatasi seminimal mungkin penggunaan pestisida serta memberdayakan musuh alami dan potensi biologi lainnya (Winarto *et al.*, 2019). Pemberdayaan musuh alami dilakukan melalui penekanan populasi hama dan penjagaan ekosistem (Triman & Mulyadi, 2001; Mustika *et al.*, 2001; 2003; 2005; Cho *et al.*, 2003).

2.2 Jamur Nematofagus

Jamur nematofagus merupakan istilah untuk menggambarkan beragam kelompok organisme dengan kemampuan mempredasi nematoda untuk mendapatkan nutrisi (Lopez-Llorca *et al.*, 2008). Beberapa jamur nematofagus adalah mikroorganisme parasit obligat nematoda, namun sebagian besar bersifat saprofit fakultatif (Soares *et al.*, 2018). Jamur nematofagus secara tradisional dibagi menjadi empat kelompok utama berdasarkan mekanisme yang mereka gunakan untuk menyerang nematoda: (i) jamur penangkap nematoda, menghasilkan jaringan hifa yang luas, kenop, dan cincin penyempit sebagai alat perangkap untuk menangkap dan menahan nematoda hidup; (ii) jamur endoparasit, sebagai parasit obligat yang hidup dalam bentuk konidia di lingkungan dan menginfeksi nematoda dengan cara menempel pada permukaan mangsanya atau langsung tertelan oleh nematoda yang diikuti dengan perkecambahan, pertumbuhan, dan pembunuhan nematoda; (iii) jamur parasit telur dan kista, sebagai parasit fakultatif yang tumbuh dan menjadi parasit pada nematoda tahap menetap seperti telur; dan (iv) jamur penghasil toksin, menghasilkan senyawa toksin yang aktif melawan nematoda (Khan *et al.*, 2023). Pada keempat kelompok jamur nematofagus, parasitisme nematoda menghasilkan aktivitas pencernaan mangsa atau telur secara lengkap yang memasok nutrisi dan energi bagi jamur untuk melanjutkan pertumbuhan. Beberapa karakteristik kelompok ini dilanjutkan dan ditunjukkan pada Gambar 2.1.

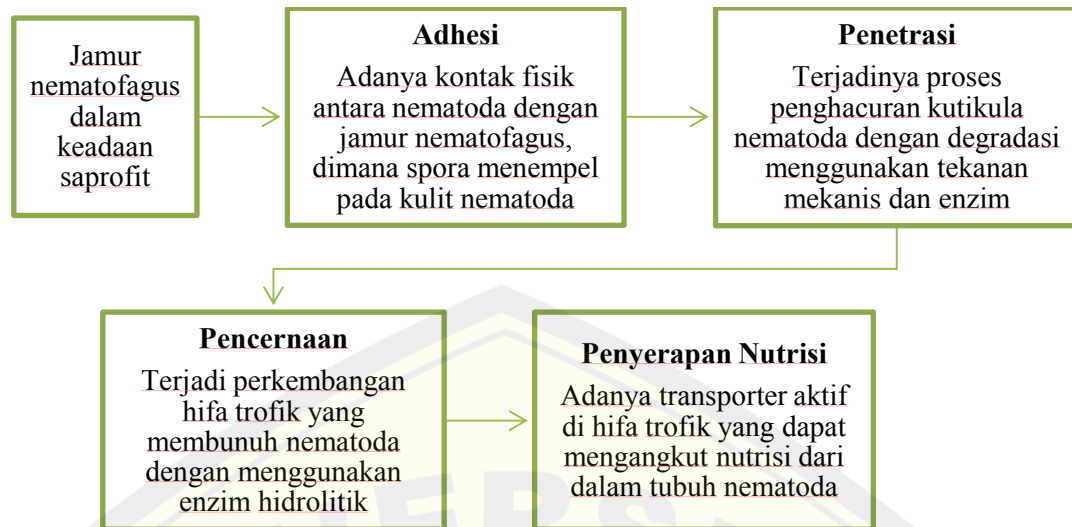


(A) menunjukkan struktur infeksi: (I) jamur penghasil toksin [*Pleurotus* sp.], jamur penangkap nematoda (II) *Drechlerella* sp. (III) *Arthrobotrys* sp., (IV) *Nematoctonus* sp. dan (V) endoparasit *Drechmeria* sp.. (B) merupakan telur nematoda, ciri serupa dapat ditemukan pada massa telur, betina dan kista yang menunjukkan struktur infeksi: hifa menembus dan appressoria jamur parasit telur (I), konidia (II) dan klamidospora (III) dari *Pochonia* sp., dan konidia *Lecanicillium* sp. (IV).

Gambar 2.1 Jamur Nematofagus (Lopez-Llorca *et al.*, 2008)

Posisi taksonomi beberapa spesies telah diperjelas dengan ditemukannya tahap seksual jamur yang sesuai. Misalnya, tahapan seksual (*teleomorph*) dari sejumlah spesies *Arthrobotrys*, *Monacrosporium* dan *Dactylella* (*anamorphs*) telah diidentifikasi sebagai *Orbilia* spp. termasuk dalam kelompok *discomycetes* (*Ascomycetes*). Spesies dari genus *Nematoctonus* dibedakan dari semua *Deuteromycetes* penangkap nematoda lainnya, tidak hanya karena menjebak nematoda dan endoparasit tetapi juga memiliki hifa dengan sambungan penjepit, khas untuk *Basidiomycetes* (Nordbring-hertz *et al.*, 2006).

Sebagai jamur nematofagus ada beberapa tahapan dalam mempredasi nematoda yaitu adhesi, penetrasi, pencernaan, dan penyerapan nutrisi seperti pada Gambar 2.2 (Youshar *et al.*, 2019).



Gambar 2.2 Proses predasi nematoda oleh jamur nematofagus (Youshar *et al.*, 2019)

Sebagai karakteristik umum di antara semua jenis jamur nematofagus, pengenalan inang dan adhesi pada kutikula nematoda atau kulit telur oleh jamur merupakan langkah pertama dalam infeksi (Aldina *et al.*, 2017). Kutikula nematoda adalah kerangka luar padat yang sebagian besar terdiri dari protein. Kerangka luar bertindak sebagai penghalang terhadap tekanan lingkungan dan potensi serangan patogen. Spora jamur dapat masuk atau menginfeksi kutikula nematoda melalui kekuatan mekanik dan aktivitas enzimatik dari kombinasi jamur antara dua mekanisme. Infeksi spora jamur ke dalam kutikula nematoda dapat terjadi karena adanya kekuatan mekanis (*mechanic force*) dan aktivitas enzimatik (Indarti *et al.*, 2010). Saat ini, bagaimana jamur nematofagus menembus kerangka luar nematoda belum sepenuhnya dijelaskan. Hasil penelitian saat ini menunjukkan bahwa enzim yang disekresikan dari jamur nematofagus memainkan peran utama selama invasi nematoda oleh jamur (Cruz *et al.*, 2009). Secara khusus, studi genetik, ultrastruktural, dan histokimia menunjukkan bahwa keberadaan enzim hidrolitik ekstraseluler seperti kitinase, kolagenase, dan protease sangat penting untuk penetrasi kutikula nematoda (Ocampo-Gutiérrez *et al.*, 2021). Untuk telur nematoda, yang komponen utamanya adalah kitin, sejumlah penelitian telah menunjukkan peran kitinase dalam penghancuran telur-telur ini (Braga *et al.*, 2014). Penetrasi biasanya diikuti dengan pencernaan isi, menghasilkan pembentukan biomassa jamur baru di dalam dan kemudian di luar

nematoda (Zhang *et al.*, 2020a). Selain menghasilkan beberapa enzim, jamur nematofagus ini juga dikenal memiliki kemampuan menghasilkan berbagai macam metabolit sekunder, salah satunya adalah metabolit yang bersifat nematisidal. Karena adanya kemampuan menghasilkan enzim hidrolitik serta metabolit nematisidal, memungkinkan kelompok jamur ini dijadikan sebagai agen pengendali hayati nematoda (Indarti & Rahayu, 2014). Jamur tersebut menggunakan biomassa dari nematoda sebagai sumber karbon, nitrogen, dan elemen penting yang lainnya (Soares *et al.*, 2023).

Habitat jamur nematofagus pada material yang memiliki kandungan bahan organik tinggi (daun-daunan, sampah, kotoran ternak, tinja, dan kompos pertanian) dikarenakan dapat merangsang pertumbuhan jamur nematofagus (Shindy *et al.*, 2020; Mustika & Ahmad, 2004). Namun, hanya sedikit jamur nematofagus yang bersifat saprotrof fakultatif, yaitu mengambil nutrisi dari bahan organik yang mati dan membusuk tanpa adanya nematoda, dan oleh karena itu tanah yang kaya bahan organik meningkatkan keberadaan mereka. Pada kondisi kurang menguntungkan jamur nematofagus akan menjadi predator yang memangsa nematoda, hal ini dikarenakan habitat jamur nematofagus sama dengan nematoda (Winarto *et al.*, 2019).

2.3 Uji Potensi Jamur Nematofagus

Jamur nematofagus yang memiliki potensi untuk mempredasi nematoda memiliki serangkaian proses yaitu adhesi, penetrasi, pencernaan, dan penyerapan nutrisi (Bragaa, aktivitas enzim). Melalui 4 tahapan predasi nematoda terdapat kekuatan mekanik dan aktivitas enzimatik yang terjadi (Aldina *et al.*, 2017). Aktivitas mekanik dan enzimatik terjadi pada permukaan nematoda saat penetrasi berlangsung (Huang *et al.*, 2004). Banyak studi menunjukkan bahwa enzim merupakan virulensi utama yang terlibat dalam proses penetrasi (Yang *et al.*, 2007). Enzim yang berkontribusi dalam penetrasi nematoda yaitu kitinase, protease, fosfatase, dan lain-lain (Hajji-hedfi *et al.*, 2023). Melalui enzim-enzim ini aktivitas predasi dapat terjadi.

Adanya peran penting enzim yang membantu proses predasi nematoda bisa dikatakan sebagai indikator bahwa jamur memiliki potensi menjadi parasit nematoda. Potensi jamur nematofagus bisa diujikan melalui 3 enzim yaitu kitinase, protease, dan fosfatase. Enzim kitinase berfungsi pada tahap awal yaitu penetrasi di mana terjadi degradasi kutikula agar tahap selanjutnya dapat terjadi (Lopez-Llorca et al., 2007). Enzim protease berguna untuk mencerna protein-protein yang berada dalam tubuh nematoda (Lopez-Llorca et al., 2010). Sementara enzim fosfatase berfungsi pada tahap penetrasi sama seperti enzim kitinase (Anggraenita et al., 2022). Fosfatase berguna dalam pelarutan fosfor, yang mana fosfor merupakan unsur penting bagi tanaman dalam metabolisme dan perkembangan serta pertumbuhan tanaman, dan pasokan yang cukup diperlukan untuk menjaga fungsi metabolisme (Vera-Morales et al., 2023).

Pelaksanaan uji potensi digunakan untuk membuktikan bahwa jamur memiliki potensi sebagai jamur nematofagus. Uji potensi enzim kitinase dilakukan dengan membuat medium dari campuran bubuk kitosan, agar, dan *Nutrient Broth* (NB) (Corneliyawati et al., 2018). Uji enzim protease menggunakan medium *Skim Milk Agar* (SMA) (Lobo et al., 2022). Untuk uji fosfatase sendiri menggunakan medium *Pikovskaya* (Priyanta et al., 2019). Jamur dikatakan memiliki potensi sebagai jamur nematofagus apabila dari hasil pengujian menggunakan media jamur tersebut menghasilkan zona bening. Hasil uji potensi melalui aktivitas enzimatik kemudian divalidasi dengan pengujian *in vitro* melalui nematoda. Uji *in vitro* dilakukan dengan cara memberi nematoda pada isolat yang berpotensi menjadi jamur nematofagus.

2.4 Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen

Agroforestri merupakan penggunaan lahan yang memadukan tanaman pertanian dengan tanaman kehutanan (Martini et al., 2017), hal ini sesuai dengan makna kata agroforestri yang berasal dari kata *agro* yang berarti pertanian dan *forestry* yang berarti kehutanan. Menurut *International Council for Research in Agroforestry* (ICRAF), Agroforestri merupakan suatu sistem pengelolaan lahan dengan berdasarkan asas kelestarian untuk meningkatkan hasil secara keseluruhan

melalui berbagai kombinasi produksi yang dilakukan dalam waktu yang sama serta menerapkan cara pengelolaan yang sesuai dengan kebudayaan setempat (King *et al.*, 1978). Dalam satu bidang lahan Agroforestri terdiri dari berbagai campuran pepohonan, hal ini merupakan salah satu bentuk penggunaan dan pemanfaatan lahan secara multi tajuk (Widianto *et al.*, 2003).

Lahan agroforestri memiliki kesehatan lahan yang lebih terjamin, tutupan lahan yang tinggi, serta tersedianya serasah dan humus yang banyak (Peritika, 2010). Sehingga dengan tersedianya serasah dan humus yang tinggi akan berpengaruh terhadap ketersediaan bahan organik di suatu tempat, yang tentunya juga akan mempengaruhi keberadaan dari fauna tanah khususnya nematoda. Ketersediaan unsur hara dalam lahan agroforestri dapat terpelihara dengan baik disebabkan karena beberapa faktor yaitu, adanya dekomposisi serasah berupa bahan organik yang berasal dari tanaman, adanya tutupan dan susunan tajuk yang luas dan berlapis, adanya tanaman hijau, serta adanya perakaran yang berbeda akan menjaga keseimbangan unsur hara dari kedalaman dan preferensi yang berbeda. Tanah-tanah yang terbentuk di kawasan Gunung Ijen masih mencerminkan karakter dari bahan induknya. Tanah memiliki pH 4,5-6, memiliki N, C, Na, dan KTK yang tinggi (Novita *et al.*, 2021).

Lahan agroforestri yang berada di Kawasan Gunung Ijen merupakan agroforestri kopi. Lahan agroforestri ini terdiri dari tanaman asli hutan yaitu tanaman pinus yang dipadukan dengan tanaman pertanian yaitu tanaman kopi yang berjenis Arabika. Tanaman kopi tumbuh rimbun dan membentuk pohon perdu kecil. Sistem perakaran tanaman ini berada di lapisan tanah di atas 30 cm. Hal ini sangat menguntungkan bagi tanaman kopi pada saat musim kemarau. Rentannya tumbuhan kopi terhadap serangan organisme pengganggu tanaman salah satunya nematoda parasit, membuat kerugian yang cukup besar bagi petani. Yadav *et al.* (2023) mengungkapkan bahwa habitat jamur nematofagus dipengaruhi oleh keberadaan nematoda dan bahan organik. Kondisi lahan agroforestri kopi yang tertutupi banyak serasah daun menandakan kandungan bahan organik dan tingkat kesuburan tinggi, hal ini disebabkan karena jarang

terkena campur tangan dari manusia (Sari *et al.*, 2013). Pada kondisi ini akan cocok untuk menjadi tempat sampling dan isolasi dari jamur nematofagus.

2.5 Metode Identifikasi Jamur Nematofagus

2.4.1 Identifikasi Makroskopis

Identifikasi makroskopis dilakukan dengan mengamati ciri-ciri koloni seperti warna, bentuk, ukuran, dan hifa (Alsohaili & Bani-Hasan, 2018). Semua karakteristik dicatat dan dievaluasi karena berpotensi penting untuk klasifikasi garis jamur (Gomes *et al.*, 2010). Pengamatan dilakukan secara berkala dari waktu munculnya jamur hingga 14 hari dan dilakukan pemeriksaan sesering mungkin untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

2.4.2 Identifikasi Mikroskopis

Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan cara miselium yang telah diberi *Lactophenol Cotton Blue* diamati menggunakan mikroskop dengan kamera digital (Alsohaili & Bani-Hasan, 2018). Karakterisasi mikroskopis dilakukan dengan mengamati bentuk dan ukuran konidia, serta hifa. Pengamatan konidia termasuk susunannya (tunggal, berantai atau berkelompok), jumlah sel (uniseluler atau multiseluler), dan pengukuran konidia. Pengamatan hifa juga dilakukan terhadap ada tidaknya septa pada hifa, bentuk, morfologi (raket, nodular, pektinat, spiral, rhizoid, chandler), dan modifikasi hifa (rhizoid, stolon, rhizomorph, haustorium, appressorium, chlamydospore, sklerotia). Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya dengan perbesaran 400x menggunakan lensa objektif. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan literatur dan monografi (Fitriarni & Kasiamdari, 2018).

2.6 Booklet

Booklet merupakan buku berukuran kecil dan tipis terdiri dari 5-40 halaman, berisi informasi-informasi penting yang mudah dimengerti serta dilengkapi dengan gambar menarik (Darmoko, 2012; Pradina, *et al.*, 2021). Istilah *booklet* berasal dari buku dan *leaflet* artinya media *booklet* merupakan perpaduan antara *leaflet* dan sebuah buku dengan format (ukuran) yang kecil seperti *leaflet*.

Struktur isi *booklet* menyerupai buku (pendahuluan, isi, penutup), hanya saja cara penyajian isinya jauh lebih singkat dari pada buku (Simamora, 2009; Srimiyati, 2020). *Booklet* termasuk sebagai media lini bawah (*below the line media*) dikarenakan mempunyai kriteria, seperti: menggunakan kalimat yang pendek, ringkas, singkat, sederhana, menggunakan huruf tebal dan besar, penggunaan huruf tidak kurang dari 10 pt, serta dikemas dengan menggunakan kata yang ekonomis (Suleman, 1998).

Terdapat langkah-langkah dalam pembuatan *booklet* yang pertama yaitu analisis kebutuhan, pengumpulan data dan informasi dibutuhkan, menyusun kerangka penelitian, pembuatan produk, dan hasil uji coba produk (Diri dan Marlina, 2019). Bahasa dan tata letak materi *booklet* dikonsultasikan terlebih dahulu kepada ahli komunikasi sebelum *booklet* dicetak. Hal ini agar pembaca mudah memahami isi dari *booklet* tersebut (Veria & Fani, 2014). *Booklet* sebagai media informasi merupakan media yang efektif untuk dikembangkan guna menambah dan mengembangkan referensi yang sudah ada (Puspita *et al.*, 2017). Menurut Sitepu (2012), ada beberapa bagian pokok atau unsur dalam menyusun *booklet*, di antaranya kulit (*cover*), bagian depan (*preliminaries*), bagian isi (*contain*), serta bagian belakang.

Booklet memiliki keunggulan, di antaranya mudah dibawa karena berukuran kecil dan menghemat tempat penyimpanan, dilengkapi penjelasan yang ringkas dan sistematis, serta gambar sebagai ilustrasi, yang unik dan menarik sehingga meningkatkan minat membaca serta mempermudah pemahaman pembaca (Rahmatih *et al.* 2018). *Booklet* memiliki kekurangan yaitu kurang tepat apabila digunakan pada sasaran yang memiliki kemampuan baca rendah atau buta huruf, dan kurang cepat mencapai sasaran apabila digunakan sebagai satu-satunya teknik penyampaian informasi. *Booklet* akan hilang arti, maksud, dan tujuan apabila tidak disiapkan secara seksama dan hati-hati (Fitriastutik, 2010).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksploratif, dilakukan dengan mengisolasi dan mengidentifikasi genus dari jamur nematofagus yang ditemukan di tanah dari Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, Kecamatan Sumberwringin, Kabupaten Bondowoso.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pengambilan sampel yaitu di area Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, Kecamatan Sumberwringin, Kabupaten Bondowoso (8°00'17.3"S 114°04'01.3"E). Selanjutnya tahap isolasi dan identifikasi jamur nematofagus dilakukan di laboratorium genetika dan *microbiology* Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Penelitian dilakukan selama 7 bulan pada 10 April 2023 – 20 November 2023.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan antara lain sekop, *ziplock*, *beaker glass* Pyrex(100 mL, 250 mL, dan 500 mL), nampan, keranjang plastik (*tray*), gelas ukur Herma, saringan KZM 400 mesh, erlenmeyer Durman (100 mL), *autoclave*, timbangan analitik Kobe, *hotplate* Maspion, cawan petri *disposable* Onemed uk. 6cm, mikropipet, *L glass*, cawan hitung, *laminar air flow* Biobase, bunsen, tabung reaksi Pyrex, mikroskop, kaca benda Sail Brand, dan kaca penutup.

3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanah di Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, nematoda, *Corn Meal Agar* (CMA), *Pikovkaya Agar*, *Skim Milk Agar* (SMA), bubuk kitosan, *plain agar*, *Nutrient Broth* (NB), air laut, aquades, *aluminium foil*, tisu, kertas label, tip, plastik wrap, air, alkohol 70%, spirtus, *Lactophenol Cotton Blue* (LCB), dan kloramfenikol 0,8%.

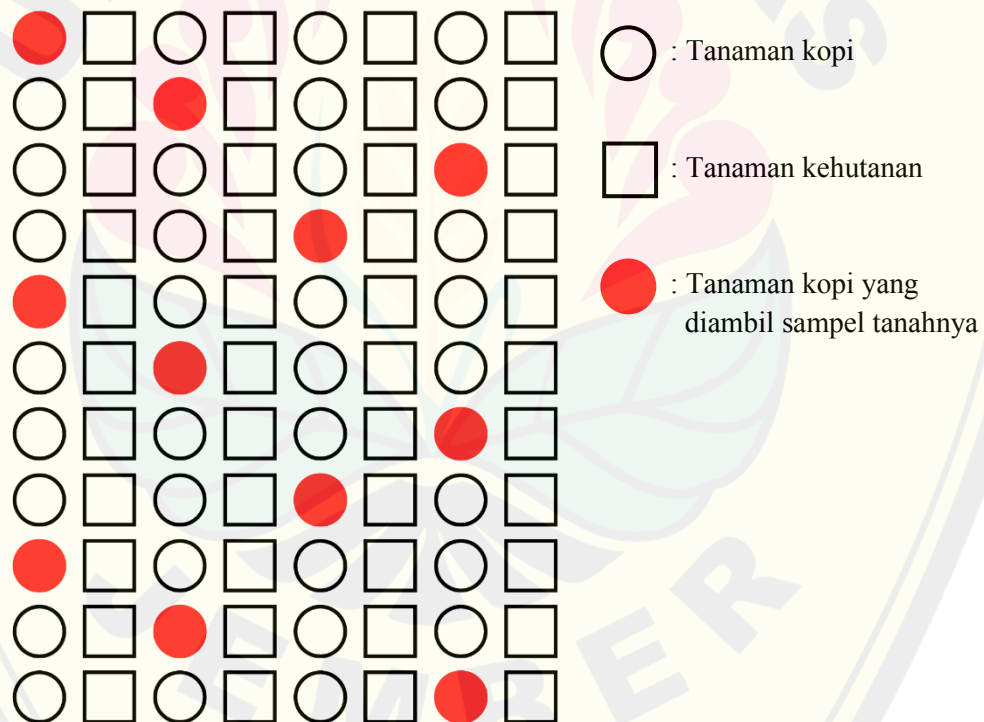
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

Semua alat untuk isolasi jamur disterilisasi menggunakan autoklaf (121°C, 1 atm, 15 menit). Sedangkan, pada bahan untuk isolasi jamur dilakukan sterilisasi menggunakan autoklaf (121°C, 1 atm, 15 menit) serta dilakukan penyinaran UV pada LAF selama 15 menit.

3.4.2 Pengambilan Sampel Jamur Nematofagus

Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanah pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, Kecamatan Sumberwringin, Kabupaten Bondowoso. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 10 titik yang berbeda menggunakan *simple random sampling* dengan pola pengambilan zig-zag (Gambar 3.1). Tanah diambil berada di sekitar rizosfer pada kedalaman 10-30 cm.



Gambar 3.1 Pengambilan sampel tanah pada titik merah

3.4.3 Pengambilan Sampel Nematoda

Pengambilan sampel nematoda disesuaikan dengan titik pengambilan jamur nematofagus. Hal ini dikarenakan jamur nematofagus dengan nematoda memiliki habitat yang sama. Sampel tanah diambil pada kedalaman 10-30 cm.

3.4.4 Pembuatan Media

Pembuatan media bertujuan sebagai tempat isolasi dari jamur nematofagus, menurut Zhang dan Hyde (2014) media yang digunakan berupa media *Corn Meal Agar* (CMA) dengan ditambahkan kloramfenikol.

3.4.5 Isolasi Jamur

Isolasi jamur yang dilakukan dengan menggunakan metode *soil dilution* atau pengenceran tanah (K. Q. Zhang & Hyde, 2014). Isolasi menggunakan teknik ini bertujuan untuk memperoleh koloni-koloni jamur.

3.4.6 Identifikasi Jamur

Identifikasi jamur nematofagus dilakukan dengan mengamati langsung secara makroskopis dan mikroskopis kemudian dicocokkan dengan kunci identifikasi dari jamur pada buku *Introduction to Food-Borne Fungi* (Samson, 1995). Pengamatan secara makroskopis dilakukan dengan mengamati warna koloni, keadaan permukaan, dan tekstur. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan membuat *slide kultur* yang nantinya akan diberi pewarna *Lactophenol Cotton Blue* (LCB). Pengamatan mikroskopis meliputi konidiofor, konidia, dan bentuk spora.

3.4.7 Uji Potensi Jamur Nematofagus

Uji potensi jamur dilakukan untuk mengetahui enzim yang dimiliki oleh jamur nematofagus. Uji potensi jamur terdapat 3 jenis yaitu:

a. Uji Kitinase

Metode yang digunakan untuk menguji kitinase yaitu dengan cara memurnikan isolat jamur pada medium yang terbuat dari bubuk kitosan, *plain agar*, dan *Nutrient Broth* (NB). Uji ini dilakukan untuk mengetahui adanya aktivitas dari enzim kitinase (Corneliyawati *et al.*, 2018).

b. Uji Fosfatase

Uji fosfatase menggunakan media *Pikovkaya Agar* untuk mengetahui aktivitas enzim fosfatase dari isolat jamur yang telah didapat (Priyanta *et al.*, 2019).

c. Uji Protease

Uji protease digunakan untuk mengetahui adanya enzim protease dari isolat jamur yang didapat. Uji protease dilakukan dengan cara memurnikan kembali hasil isolat jamur pada medium SM agar (Lobo *et al.*, 2022).

Setelah dilakukan uji melalui 3 jenis enzim kemudian isolat jamur diamati pada hari kedua sampai hari ketujuh. Isolat jamur yang diamati yaitu jamur yang mengasikkan zona bening. Setelah mendapatkan data isolat jamur yang menghasilkan zona bening kemudian isolat dilakukan uji pengulangan sebanyak 3 kali. Pada uji ini dilakukan pengambilan data yaitu pengukuran lebar zona bening selama 6 hari pada hari kedua sampai hari ketujuh isolat jamur setelah dimurnikan.

3.4.8 Uji *In Vitro*

Pengujian jamur nematofagus secara *in vitro* dilakukan dengan memberi nematoda kepada isolat jamur koloni tunggal dalam satu cawan (Winarto *et al.*, 2018). Uji ini dilakukan pada isolat jamur yang menghasilkan zona bening pada uji enzim. Isolat jamur diberikan 100 nematoda yang kemudian setiap harinya diamati berapa banyak mortalitas nematoda selama 7 hari. Pada uji *in vitro* juga diberikan kontrol dimana nematoda ditaruh pada media CMA tanpa ada isolat jamur yang ditumbuhkan.

3.4.9 Penyusunan *Booklet*

Hasil penelitian dimanfaatkan sebagai sumber informasi kepada masyarakat melalui *booklet*. *Booklet* dicetak pada kertas ukuran A5 atau 14,8 x 21 cm dengan desain didominasi oleh gambar serta sedikit penjelasan. *Outline* dari *booklet* meliputi: sampul, kata pengantar, daftar isi, pendahuluan, jamur nematofagus, daftar pustaka, dan glosarium. *Booklet* ini berguna sebagai bacaan untuk menambah wawasan pengetahuan bagi masyarakat umum mengenai jenis-jenis dari jamur nematofagus di Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen.

3.4.10 Uji Kelayakan *Booklet*

Uji ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan *booklet* mengenai jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen. Pengujian *booklet* dilakukan oleh validator ahli materi, ahli media, dan pengguna. Penilaian oleh validator berupa data kuantitatif dan sebagian kecil bersifat deskriptif berupa komentar. Deskripsi penilaian untuk produk *booklet* menggunakan perhitungan skor skala Likert dengan rentang 1 sampai 5 seperti pada tabel 3.1 (Ridwan, 2015).

Tabel 3.1 Skala Likert Penilaian Kelayakan Booklet

Kriteria	Skor
Sangat setuju	5
Setuju	4
Kurang setuju	3
Tidak setuju	2
Sangat tidak setuju	1

Analisis kelayakan *booklet* diperoleh dari data validator yang berupa data kuantitatif dari hasil penjumlahan skor yang menggunakan rumus:

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah total skor validasi}}{\text{skor tertinggi}} \times 100\%$$

Persentase (%) penilaian *booklet* akan diubah menjadi data kuantitatif deskriptif yang akan menggunakan kriteria penilaian kelayakan seperti pada Tabel 3.2 (diadopsi Ridwan, 2015).

Tabel 3.2 Kriteria Kelayakan Analisis Persentase (%)

Tingkat Pencapaian	Kriteria	Keputusan Uji
21% - 40%	Tidak Layak	Sangat perlu revisi
41% - 60%	Kurang Layak	Perlu revisi
61% - 80%	Cukup Layak	Sedikit revisi
81% - 100%	Layak	Tidak perlu revisi

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

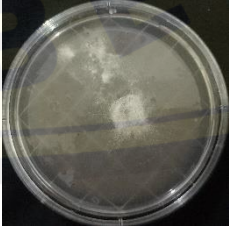
4.1 Hasil Penelitian



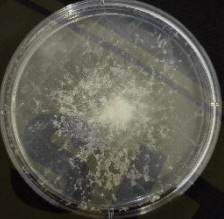


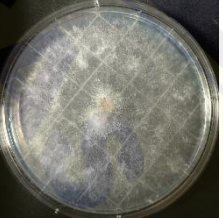
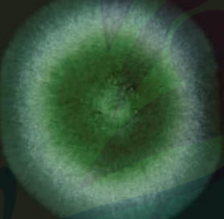
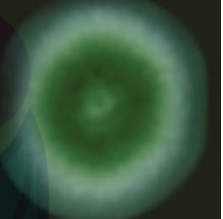
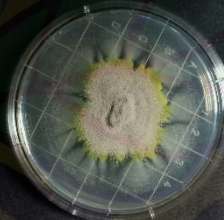
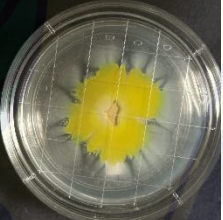
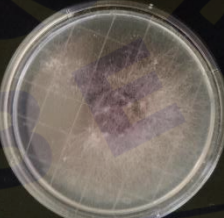

Penelitian ini berupa penelitian eksploratif yang dilakukan selama 7 bulan dari 5 Mei 2023 sampai 30 November 2023. Penelitian ini terdiri dari tahap isolasi, uji potensi, dan identifikasi jamur. Hasil penelitian ini dituangkan dalam bentuk *booklet* sebagai media informasi masyarakat. Adapun hasil penelitian yang didapatkan sebagai berikut.









4.1.1 Hasil Isolasi Jamur

Hasil isolasi yang dilakukan dari sampel tanah Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen didapatkan 11 sampel jamur. Jamur tersebut diisolasi menggunakan metode *soil dilution* yang ditumbuhkan pada media *Corn Meal Agar* (CMA). Hasil isolat jamur yang didapatkan kemudian diamati secara makroskopis berupa morfologi koloni selama 7 hari (Tabel 4.1). Masing-masing jenis jamur memiliki karakteristik morfologi yang berbeda mulai dari warna koloni dari terang hingga ke gelap, tekstur koloni (berbutir-butir, beludru/*velvety*, dan kapas/*wooly*), ada tidaknya garis atau lingkaran konsentris (*zonation*), ada tidaknya garis-garis radial dari pusat koloni ke arah tepi koloni (*radial furrow*), dan lain sebagainya (Ristiari et al., 2018). Garis konsentris merupakan garis lingkaran yang terbentuk pada koloni seiring pertumbuhan jamur. Sedangkan garis radial merupakan garis yang terbentuk dari pusat koloni ke arah tepi koloni.

Tabel 4.1 Hasil Isolasi Jamur

Kode Isolat Jamur	Karakteristik Koloni	Gambar	
		Medium Tampak Atas	Medium Tampak Bawah
F1	Warna Atas : Putih Warna Bawah : Kuning Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : -		

Kode Isolat Jamur	Karakteristik Koloni	Gambar	
		Medium Tampak Atas	Medium Tampak Bawah
F2	Warna Atas : Coklat muda Warna Bawah : Coklat Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : -		
F3	Warna Atas : Putih Warna Bawah : Putih Tekstur : Berbutir-butir Ciri lain : -		
F4	Warna Permukaan : Putih Warna Dasar : Putih Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : Membentuk garis konsentris		
F5	Warna Atas : Putih, Hijau Warna Bawah : Putih, Hijau Tekstur : Berbutir-butir Ciri lain : Garis konsentris		
F6	Warna Atas : Kuning, ungu, abu-abu Warna Bawah : Kuning Tekstur : Beludru Ciri lain : Garis konsentris		
F7	Warna Atas : Ungu dan putih Warna Bawah : Ungu dan putih Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : -		

Kode Isolat Jamur	Karakteristik Koloni	Gambar	
		Medium Tampak Atas	Medium Tampak Bawah
F8	Warna Atas : Coklat muda dengan sedikit putih Warna Bawah : Coklat muda Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : -		
F9	Warna Atas : Putih Warna Bawah : Putih Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : Memiliki topografi umbonate		
F10	Warna Atas : Putih Warna Bawah : Putih Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : -		
F11	Warna Atas : Putih Warna Bawah : Putih Tekstur : Seperti kapas Ciri lain : Garis radial		

4.1.2 Hasil Uji Potensi Jamur Nematofagus

Berdasarkan hasil isolasi jamur yang didapatkan dilakukan uji potensi terhadap isolat jamur untuk mengetahui kandungan enzim yang dimiliki pada masing-masing sampel jamur. Uji potensi yang dilakukan berupa uji kitinase, uji protease, dan uji fosfatase. Hasil uji ini ditandai dengan adanya zona bening pada masing-masing isolat yang diujikan (Tabel 4.2). Zona bening merupakan bentuk sensitivitas mikroba terhadap agen anti-mikroba yang dinyatakan dengan lebar diameter zona bening (Vandepite, 2005) (Gambar 4.1). Diameter zona bening yang diukur kemudian dikategorikan kekuatan daya antimikrobanya berdasarkan penggolongan Davis dan Stout (1971).

Tabel 4.2 Hasil Uji Potensi Jamur Nematofagus

Kode Isolat Jamur	Uji Efektivitas Enzim		
	Uji Kitinase	Uji Protease	Uji Fosfatase
F1	-	-	+
F2	-	+	+
F3	-	-	-
F4	-	-	+
F5	+	+	+
F6	-	+	+
F7	-	+	-
F8	-	+	+
F9	-	+	+
F10	-	+	+
F11	-	-	+

Keterangan: (+) menandakan adanya zona bening
 (-) menandakan tidak ada zona bening



Gambar 4.1 (1) uji kitinase, (2) uji protease, dan (3) uji fosfatase. (a) merupakan zona bening yang terbentuk (sumber: dokumentasi pribadi)

Adapun uji potensi jamur nematofagus yang telah dilakukan kemudian dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sebagai validasi bahwa jamur tersebut memang menghasilkan zona bening pada uji potensi. Zona bening yang terbentuk diukur kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui persebaran data pada sampel dan melihat seberapa dekat data-data tersebut dengan nilai rerata (Tabel 4.3 - 4.5).

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Zona Bening pada Uji Kitinase

Kode Isolat Jamur	Rata-rata lebar zona bening (cm)			Mean ± Standar Deviasi
	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	
F5	1,33	1,90	2,57	1,93 ± 0,50

Keterangan : Data diambil dari 3 pengulangan uji kitinase

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Zona Bening pada Uji Protease

Kode Isolat Jamur	Rata-rata lebar zona bening (cm)			Mean ± Standar Deviasi
	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	
F2	1,10	1,77	2,43	1,77 ± 0,54
F5	1,30	2	2,53	1,94 ± 0,51
F6	1,03	1,67	2,23	1,64 ± 0,49
F7	1,37	1,80	2,57	1,91 ± 0,50
F8	1,23	1,87	2,40	1,83 ± 0,48
F9	1,33	1,80	2,37	1,83 ± 0,42
F10	1,30	2	2,60	1,97 ± 0,53

Keterangan : Data diambil dari 3 pengulangan uji protease

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Zona Bening Uji Fosfatase

Kode Isolat Jamur	Rata-rata lebar zona bening (cm)			Mean ± Standar Deviasi
	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4	
F1	1,57	2,20	2,83	2,20 ± 0,52
F2	1,50	2,07	2,63	2,07 ± 0,46
F4	1,47	2,10	2,70	2,09 ± 0,50
F5	1,47	2,10	2,70	1,92 ± 0,44
F6	1,23	1,93	2,60	1,92 ± 0,56
F8	1,10	1,83	2,67	1,87 ± 0,64
F9	1,60	2,03	2,60	2,08 ± 0,41
F10	1,37	2,13	2,63	2,04 ± 0,52
F11	1,63	2,10	2,70	2,14 ± 0,44

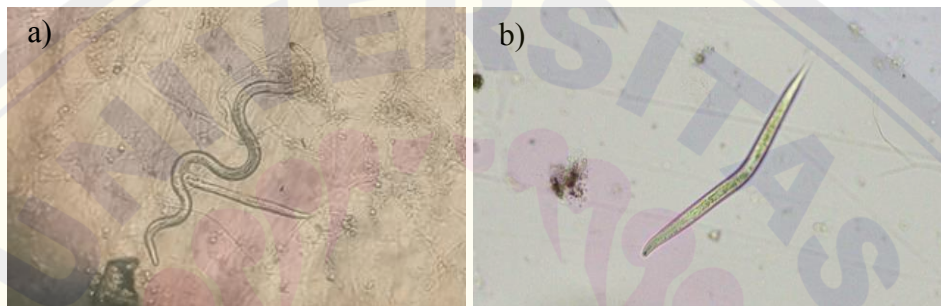
Keterangan : Data diambil dari 3 pengulangan uji fosfatase

Berdasarkan hasil uji potensi jamur nematofagus, isolat jamur yang berpotensi sebagai jamur nematofagus yaitu F2, F5, F6, F7, F8, F9, dan F10. Hal ini dikarenakan jamur tersebut menghasilkan zona bening pada uji potensi. Indikator utama dalam penentuan kategori jamur nematofagus pada uji kitinase dan uji protease. Hal ini dikarenakan kitinase dan protease berperan besar pada tahap adhesi saat predasi nematoda terjadi.

4.1.3 Hasil Uji *In Vitro* Jamur Nematofagus terhadap Nematoda

Uji *in vitro* merupakan uji dengan cara pemberian nematoda terhadap isolat jamur yang sudah diketahui adanya aktivitas enzim di dalamnya (Winarto *et al.*, 2018). Isolat jamur yang diujikan secara *in vitro* hanya jamur yang berpotensi menjadi jamur nematofagus, yang mana jamur tersebut memiliki enzim kitinase dan/atau protease. Isolat jamur yang berpotensi sebagai jamur nematofagus yaitu

F2, F5, F6, F7, F8, F9, dan F10. Untuk membuktikan uji *in vitro* berhasil yaitu dengan indikasi mortalitas dari nematoda yang diberikan kepada isolat jamur (Gambar 4.2). Uji *in vitro* dilakukan pada isolat jamur yang berpotensi sebagai jamur nematofagus pada tahap uji potensi. Pada uji *in vitro* setiap isolat jamur diberikan 100 nematoda dan juga diberikan perlakuan kontrol. Perlakuan kontrol dilakukan dengan cara memberikan 100 nematoda ke dalam media *Corn Meal Agar* (CMA). Pemberian nematoda ini terus diamati selama 7 hari. Pada isolat jamur yang telah diberikan hampir sebagian besar nematoda mengalami mortalitas (Tabel 4.3).



Gambar 4.2 a) Tubuh nematoda yang sudah ditemplei oleh hifa jamur (perbesaran 40×10) dan b) nematoda yang telah mati (perbesaran 40×10) (sumber: dokumentasi pribadi)

Tabel 4.3 Hasil Uji *In Vitro* Jamur Nematofagus terhadap Nematoda

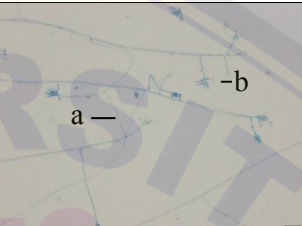
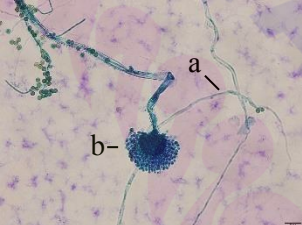

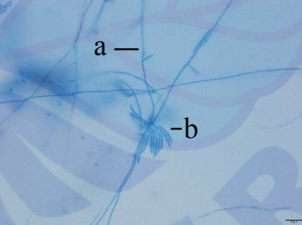
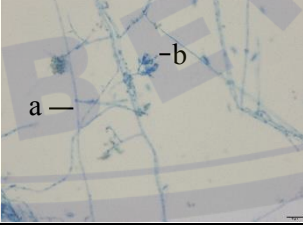
Kode Isolat	Jumlah Mortalitas Nematoda						Total	Mean ± Standar Deviasi
	Hari ke-2	Hari ke 3	Hari ke 4	Hari ke 5	Hari ke 6	Hari ke 7		
F2	8	10	13	15	12	10	68	11,3 ± 2,29
F5	11	13	17	18	15	12	86	14,3 ± 2,56
F6	8	11	13	15	12	10	69	11,5 ± 2,22
F7	10	11	14	15	11	8	69	11,5 ± 2,36
F8	9	10	16	14	12	11	72	12,0 ± 2,38
F9	10	13	15	16	12	11	77	12,8 ± 2,11
F10	9	12	15	14	13	11	74	12,3 ± 1,97
Kontrol	0	0	0	0	0	0	0	0

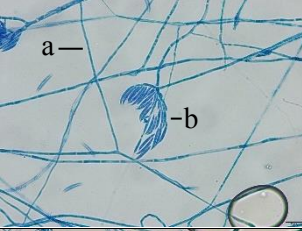
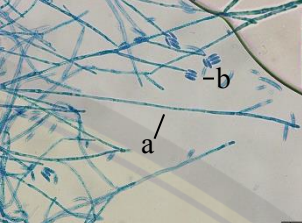
4.1.4 Hasil Identifikasi Jamur Nematofagus

Identifikasi jamur nematofagus dilanjutkan dengan pengamatan mikroskopis pada isolat jamur melalui pengamatan septa pada hifa, bentuk dan ukuran konidia, serta vesikel dan konidiofor. Jamur memiliki hifa septa dan hifa

non septa (Tabel 4.4). Hifa septa merupakan hifa yang memiliki dinding sel sedangkan hifa non septa merupakan jenis hifa yang intinya tersebar dalam satu sel panjang, tidak memiliki dinding dan membran sel. Konidia merupakan spora yang dibentuk pada ujung hifa khusus atau yang disebut konidiofor. Konidiofor adalah miselium khusus tempat konidia diproduksi secara eksogen.

Tabel 4.4 Hasil Identifikasi Jamur Nematofagus

Kode Isolat Jamur	Karakteristik Mikroskopis	Gambar	Genus
F2	Hifa : Bersepta (a) Konidia: Rantai <i>divergen</i> panjang, konidiofor bercabang (b)		<i>Paecilomyces</i>
F5	Hifa: Bersepta (a) Konidia: Bulat, konidiofor berbentuk bulat (b)		<i>Aspergillus</i>
F6	Hifa: Bersepta (a) Konidia: Bulat berantai, phialades panjang meruncing (b)		<i>Unidentified</i>
F7	Hifa : Bersepta (a) Konidia : Fusiform (b)		<i>Fusarium</i>
F8	Hifa : Bersepta (a) Konidia : Rantai <i>diveregen</i> panjang, konidiofor bercabang (b)		<i>Paecilomyces</i>

F9	Hifa: Bersepta (a) Konidia: Fusiform (b)		Fusarium
F10	Hifa: Bersepta (a) Konidia: Oval bersel lebih dari satu (b)		Fusarium

4.1.5 Hasil Validasi Booklet

Output hasil penelitian berupa *booklet* mengenai Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen. Uji validasi booklet dilakukan oleh 3 validator, meliputi 2 dosen pendidikan biologi selaku ahli materi dan ahli media, serta pengguna yaitu 1 mahasiswa. Adapun hasil uji validasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hasil uji validasi *booklet*

Validator	Nilai Validasi	Kriteria
Ahli Materi	89,5%	Layak
Ahli Media	82%	Layak
Pengguna	94,4%	Layak
Rata-rata	88,6%	Layak

Hasil uji validasi *booklet* yang berjudul “Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen” pada tabel 4.6 menunjukkan bahwa persentase rata-rata nilai validasi sebesar 88,6% sehingga dapat disimpulkan bahwa *booklet* dinyatakan layak. Adapun komentar dan saran validator secara umum dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Komentar dan saran validator

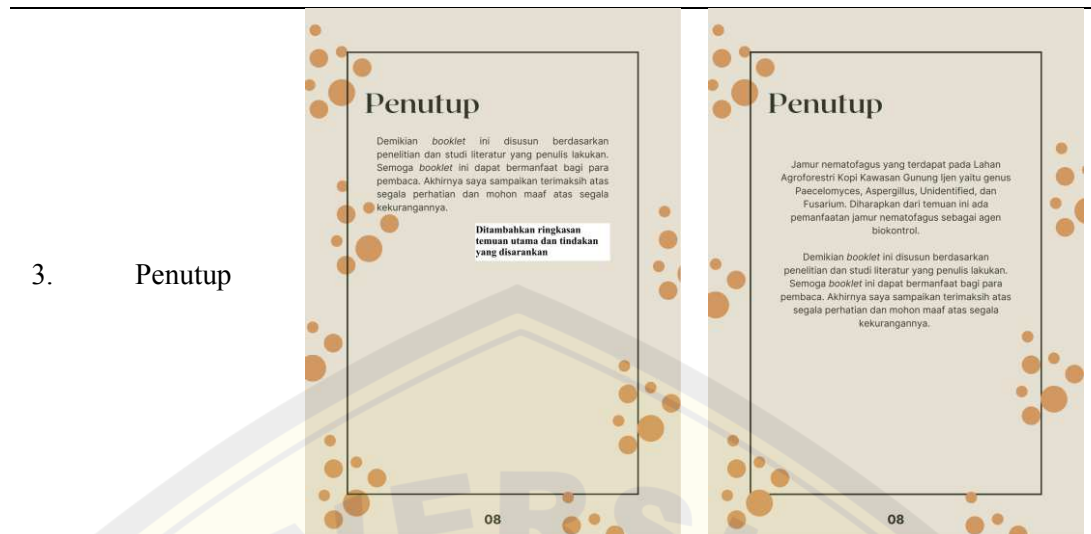
Validator	Komentar dan Saran Secara Umum
Materi	<ul style="list-style-type: none"> Materi dalam booklet inilah sesuai disusun secara sistematis serta terdapat penjelasan mengenai istilah tidak umum sehingga layak digunakan sesuai tujuan penulisannya. Pada penutup dapat ditambahkan ringkasan temuan utama dan tindakan yang disarankan

Media	<ul style="list-style-type: none"> • Pada sampul buku kurang menarik minat pembaca • Perbaikan pada tulisan gelar dosen • Ukuran tulisan pada daftar isi yang terlalu besar • Tulisan Pendidikan Biologi pada sampul menghalangi judul
Pengguna	<ul style="list-style-type: none"> • Pada sampul kurang menarik • Penataan teks kurang rapi

Hasil validasi *booklet* “Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen” sudah mendapatkan rata-rata skor yang tinggi, namun untuk lebih menyempurnakan *booklet* dalam hal penyajian ataupun materi dilakukan revisi atau perbaikan. Hasil dari perbaikan yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perbaikan *booklet*

No	Aspek	Sebelum	Sesudah
1.	Sampul		
2.	Daftar Isi		



4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jamur nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen dan menghasilkan *booklet* yang layak digunakan sebagai media informasi untuk menyampaikan hasil penelitian kepada masyarakat.

4.2.1 Identifikasi Jamur Nematofagus

Jamur dan nematoda merupakan organisme yang paling melimpah di habitat tanah. Sebagai dua kelompok organisme yang sangat melimpah, jamur dan nematoda berinteraksi satu sama lain dalam berbagai cara. Salah satu interaksi yang terjadi yaitu predasi jamur terhadap nematoda atau disebut jamur nematofagus (Berhanu et al., 2022). Jamur nematofagus adalah kelompok jamur yang dapat mempredasi nematoda untuk mendapatkan nutrisi (Lopez-Llorca et al., 2008). Jamur nematofagus memiliki kemampuan luar biasa untuk menangkap nematoda dan mengurangi ukuran populasi nematoda parasit tumbuhan (Y. Zhang et al., 2020b). Kemampuan seperti ini mempunyai kepentingan penerapan yang signifikan di bidang pertanian.

Mekanisme dari jamur nematofagus ini terbagi menjadi 4 tahap yaitu adhesi, penetrasi, pencernaan, dan penyerapan nutrisi. Tahapan ini terbantu karena adanya aktivitas mekanik dan enzimatis dari jamur nematofagus. Pada tahap adhesi terjadi kontak fisik antara nematoda dengan jamur nematofagus yang mana

jamur menempel pada kulit nematoda. Tahap penetrasi, terjadi proses penghancuran kutikula nematoda dengan degradasi menggunakan tekanan mekanis dan enzimatis. Pencernaan terjadi ketika hifa trofik mulai berkembang sehingga mulai bertumbuh pada tubuh nematoda, proses ini dibantu menggunakan enzim hidrolitik. Penyerapan nutrisi jamur nematofagus karena adanya transpor aktif di hifa trofik yang dapat mengangkut nutrisi dari dalam tubuh nematoda. Kelompok jamur nematofagus memungkinkan dijadikan sebagai agen pengendali hayati nematoda karena adanya kemampuan menghasilkan enzim hidrolitik serta metabolit nematisidal (Indarti & Rahayu, 2014; Rahman et al., 2023). Jamur nematofagus banyak ditemukan di tempat yang sama dengan habitat nematoda serta mengandung bahan organik yang tinggi. Salah satunya yaitu pada tempat yang memiliki serasah, seperti lahan agroforestri. Hal ini menjadi dasar tempat pengambilan sampel tanah dilakukan pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen, Bondowoso.

Bedasarkan sampel yang diambil diperoleh beberapa isolat jamur yang bereaksi terhadap uji potensi jamur nematofagus. Isolat jamur kemudian dilakukan tahap identifikasi dengan pengamatan karakteristik jamur secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan secara makroskopis dilakukan dengan mengamati warna koloni, bentuk koloni, tekstur, dan ciri lain dari jamur, sedangkan secara mikroskopis yang diamati ialah hifa, konidia, dan konidiofor. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan pewarnaan menggunakan LCB. Setelah semua karakteristik terkumpul jamur diidentifikasi menggunakan kunci diterminasi dari buku *Introduction to Food-Borne Fungi* dan beberapa jurnal hingga pada tahapan genus. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan ditemukan fungi yang berpotensi sebagai predator bagi nematoda. Hasil identifikasi jamur nematofagus terdapat 4 genus yang ditemukan yaitu *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Unidentified*, dan *Fusarium*. Berikut merupakan penjabaran dari beberapa genus yang ditemukan.

a. *Paecilomyces*

Karakteristik morfologi jamur hasil isolat yang didapatkan secara makroskopis dan mikroskopis dicocokkan dengan literatur yang ada menunjukkan

kedekatan atau similiaritas dengan *Paecilomyces*. Berikut merupakan klasifikasi *Paecilomyces* (GBIF, 1907).

Kingdom : Fungi
Phylum : Ascomycota
Class : Eurotiomycetes
Order : Eurotiales
Family : Aspergillaceae
Genus : *Paecilomyces*

Ciri makroskopis dari kapang genus *Paecilomyces* adalah memiliki karakteristik warna permukaan kuning dengan warna koloni kuning kecoklatan (Permana et al., 2021). Memiliki tekstur *powdery* dengan karakteristik menyerupai tepung. Memiliki topografi umbonat dengan deskripsi memiliki pertumbuhan spora yang dimulai dari tengah dan dapat terlihat bentuk menyerupai kancing. Tidak memiliki garis radial namun memiliki garis konsentris. Ciri mikroskopis dari kapang genus *Paecilomyces* adalah memiliki karakteristik miselium dengan hifa berseptat, konodiofor yang pendek, vesikel berbentuk seperti kerucut, dengan fialid yang tumbuh tegak dari vesikel, konidia berbentuk bundar hingga lonjong (Dwi et al., 2014). Bagian *phialides* yakni sel yang menghasilkan konidium membesar pada pangkal koloni dan meruncing ke leher. Sementara itu, hialin berwarna gelap, halus atau kasar, dan berbentuk bulat telur untuk fusoid konidia.

Paecilomyces mudah ditemukan di dalam tanah dengan kandungan bahan organik yang cukup tinggi dan efektif dalam mengendalikan nematoda. Mekanisme pengendalian diduga akibat pengaruh toksin yang dihasilkan jamur yang berpengaruh negatif terhadap kehidupan nematoda parasit (Winarto et al., 2019). Al-kader (2008) menyatakan bahwa *Paecilomyces* sebagai agen pengendali beberapa nematoda parasit tanaman yang berperan sebagai parasit telur dan juga sebagai parasit larva. Hifa jamur akan tumbuh pada permukaan sampai masuk ke dalam telur sehingga telur rusak dan tidak akan menetas. Infeksi pada larva menyebabkan dinding tubuh rusak dan cairan tubuh berkurang sehingga larva

akan mati. Adnan (1991) juga menemukan bahwa jamur *Paecilomyces* dan *Fusarium* dapat membentuk koloni pada tubuh nematoda *Meloidogyne* spp.

Pada hasil uji potensi jamur nematofagus, *Paecilomyces* mempunyai enzim protease. Adanya enzim protease pada *Paecilomyces* ditandai dengan zona bening yang terbentuk pada sekitar kultur jamur. Pada isolat jamur F2 mortalitas nematoda yang dihasilkan pada saat uji *in vitro* paling rendah sedangkan pada F8 memiliki mortalitas nematoda yang cukup tinggi. Melalui enzim protease jamur dapat mempredasi nematoda. Protease memainkan peran utama dalam mekanisme infeksi karena protein terdapat, pada lapisan luar telur dan kutikula remaja (Soares et al. 2019). Oleh karena itu, protease dapat dianggap sebagai enzim pejuang garis depan yang terkait dengan penghancuran nematoda. Protease adalah enzim yang memecah protein melalui hidrolisis ikatan peptida yang menghubungkan asam amino bersama dalam rantai polipeptida yang membentuk protein (Naiola & Widhyastuti, 2002). Protease terbukti mampu membantu aktivitas predasi terhadap nematoda melalui hasil penelitian sebelumnya. Penelitian mengenai enzim protease pada jamur nematofagus lebih banyak membahas pada genus *Pochonia*, hal ini dikarenakan isolasi pertama enzim ini pada jenis tersebut. Melalui Lopez-Llorca (1990) sebagai penemu enzim protease pada jamur nematofagus membawa peneliti lainnya menemukan aktivitas enzim protease pada jenis lainnya.

b. *Aspergillus*

Karakteristik morfologi jamur hasil isolat yang didapatkan secara makroskopis dan mikroskopis dicocokkan dengan literatur yang ada menunjukkan kedekatan atau similiaritas dengan *Aspergillus*. Berikut merupakan klasifikasi *Aspergillus* (GBIF, 1729).

Kingdom : Fungi
Phylum : Ascomycota
Class : Eurotiomycetes
Order : Eurotiales
Family : Aspergillaceae
Genus : *Aspergillus*

Aspergillus merupakan jamur yang tergolong dalam kelas Ascomycetes. Ciri makroskopis kapang genus *Aspergillus* memiliki karakteristik tekstur mirip tepung atau *powdery*. Memiliki warna permukaan dari hijau terang hingga hijau gelap dan hitam. Ciri mikroskopis dari genus ini memiliki bentuk konidia yakni bulat hingga semi bulat, dinding konidia halus, dinding konidiofor yang tebal, memiliki vesikel serta fialid. Genus *Aspergillus* memiliki karakteristik miselium dengan hifa bersepta, vesikel berbentuk oval guna menopang konidiofor dan konidia yang berbentuk bulat. *Aspergillus* berkembang biak dengan membentuk hifa dan menghasilkan konidiofor yang membentuk spora. Suhu yang hangat, kelembaban, dan material organik dibutuhkan *Aspergillus* untuk berkembang biak (Hasanah, 2017).

Winarto *et al.* (2018), menjelaskan bahwa *Aspergillus* menghasilkan senyawa berupa enzim atau toksin yang mempunyai aktivitas sebagai nematisida. Penelitian lain juga menyatakan bahwa *Aspergillus* terbukti bisa mepredasi *Meloidogyne javanica* (Krif *et al.*, 2024). Selain itu *Aspergillus* sebagai jamur berfilamen dapat mengeluarkan enzim hidrolitik, asam organik, dan produk alami dengan berat molekul rendah, yang memberikan beberapa fungsi, termasuk pelarutan P, dan mampu melarutkan kalsium dan besi fosfat (Vera-Morales *et al.*, 2023). *Aspergillus* mempunyai enzim kitinase dan protease pada hasil uji potensi. Kitinase merupakan enzim yang mampu mengkatalisis reaksi degradasi kitin dengan cara memotong ikatan glikosidik antara residu N-asetilglukosamin. Lapisan terluar tubuh nematoda tersusun dari kitin yang disebut kutikula (Rahman *et al.*, 2023). Uji kitinase menjadi penting untuk dilakukan karena melalui enzim ini kutikula pada nematoda dapat terdegradasi dan ini menjadi virulensi penting pada tahap penetrasi jamur nematofagus.

c. *Unidentified*

Isolat jamur F6 merupakan jamur yang belum dapat diketahui genusnya. Jamur ini memiliki karakteristik mikroskopis yaitu memiliki warna permukaan ungu keabu-abuan serta pada pinggir koloni berwarna kuning. Pada bawah permukaan warna koloni yaitu kuning. Jamur ini memiliki tekstur seperti beludru. Secara mikroskopis jamur ini memiliki ciri-ciri yaitu konidia berbentuk bulat dan

berantai, memiliki hifa berseptata serta memiliki *phialides* yang panjang dan meruncing. Jamur jenis ini memiliki potensi menjadi jamur nematofagus yaitu memiliki enzim protease pada hasil uji potensi. Jamur ini mampu mempredasi nematoda pada uji *in vitro* namun jumlah predasi tergolong sedikit dibanding jenis jamur yang lain.

d. *Fusarium*

Karakteristik morfologi jamur hasil isolat yang didapatkan secara makroskopis dan mikroskopis dicocokkan dengan literatur yang ada menunjukkan kedekatan atau similiaritas dengan *Fusarium*. Berikut merupakan klasifikasi *Fusarium* (GBIF, 1809).

Kingdom : Fungi
Phylum : Ascomycota
Class : Sordariomycetes
Order : Hypocreales
Family : Netriaceae
Genus : *Fusarium*

Genus *Fusarium* memiliki karakteristik yaitu koloninya biasa tumbuh cepat berwarna pucat (keputihan hingga krem) atau berwarna cerah dengan corak kuning, kecokelatan, merah jambu, kemerahan, atau ungu. *Fusarium* memiliki tekstur *woolly*, jamur ini beberapa memiliki garis radial namun tidak memiliki garis konsentris. Ciri mikroskopis dari kapang genus *Fusarium* adalah memiliki karakteristik miselium dengan hifa berseptat, konodiofor yang tegak ada yang bercabang dan ada yang tidak, fialid yang tegak dan panjang, mikrokonodia yang berbentuk bulat, oval, hingga lonjong seperti bulan sabit (Ramadhan, 2022). Bentuk konidia dari *Fusarium* yaitu berseptata satu hingga banyak, berbentuk fusiform hingga sabit, sebagian besar dengan sel apikal memanjang dan sel basal pediselata (sel kaki). Bentuk konidia dari *Fusarium* inilah yang menjadi ciri khas dari genus ini.

Pada uji potensi yang telah dilakukan *Fusarium* menghasilkan zona bening terhadap uji protease. Hal ini mengindikasikan bahwa *Fusarium* memiliki enzim protease yang berguna dalam mempredasi nematoda. Sebagian besar

spesies *Fusarium* merupakan jamur tanah dan tersebar di seluruh dunia, beberapa spesies merupakan parasit tanaman yang menyebabkan busuk akar dan batang, layu pembuluh darah dan buah. Beberapa spesies diketahui bersifat patogen terhadap manusia dan hewan, spesies lainnya menyebabkan pembusukan penyimpanan dan merupakan penghasil toksin. Terlepas dari banyaknya spesies *Fusarium* yang merugikan ada beberapa spesies jenis ini yang menguntungkan bagi sekitarnya. *Fusarium* diketahui dapat menjadi predator nematoda. Hal ini dibuktikan oleh Al-kader (2008) yang menyatakan bahwa jamur *Fusarium* sp. sangat aktif menggunakan hifa untuk menginfeksi tubuh nematoda sehingga larva maupun dewasa mati dengan isi tubuh habis. Selain itu, Waweru et al. (2014) menyatakan *Fusarium oxyporum* endofit menunjukkan kemampuan dalam menurunkan populasi *Meloidogyne* sp. setelah digunakan untuk mengolah tanaman pisang.

4.2.2 Hasil Uji Potensi Jamur Nematofagus

Uji potensi jamur nematofagus dilakukan dengan menggunakan uji aktivitas enzim dan uji in vitro. Pada 11 isolat jamur yang ditemukan terdapat 7 isolat jamur yang berpotensi sebagai jamur nematofagus yaitu F2, F5, F6, F7, F8, F9, dan F10. Uji potensi aktivitas enzim yang dilakukan melalui uji kitinase, uji protease, dan uji fosfatase. Pada uji kitinase digunakan medium dari campuran bubuk kitosan, agar, Nutrient Broth, dan air laut. Pada uji ini isolat jamur F5 menghasilkan zona bening dimulai pada hari ke-2. Uji kitinase digunakan untuk mengetahui apakah jamur tersebut memiliki enzim kitinase yang dapat digunakan sebagai alat untuk mempredasi nematoda. Selanjutnya dilakukan uji protease yang dilakukan pada semua isolat. Uji ini menggunakan medium Skim Milk Agar (SMA). Isolat yang menghasilkan zona bening yaitu F2, F5, F6, F7, F8, F9, dan F10. Sementara pada uji fosfatase menggunakan medium Pikovskaya. Pada uji ini isolat F1, F4, F5, F6, F8, F9, F10, dan F11 menghasilkan zona bening.

Uji *in vitro* dilakukan setelah isolat jamur dilakukan uji aktivitas enzim. Pemberian 100 nematoda pada isolat jamur digunakan untuk mengetahui kemampuan jamur dalam mempredasi nematoda. Pengamatan dilakukan sampai hari ketujuh. Selain pemberian 100 nematoda pada isolat jamur dilakukan juga

kontrol yaitu pemberian 100 nematoda pada medium CMA. Guna dari kontrol ini yaitu untuk mengetahui kematian/mortalitas nematoda akibat dari jamur tersebut atau ada pengaruh lain. Hasil yang ditemukan pada uji *in vitro* yaitu pada isolat F5 jumlah mortalitas nematoda paling tinggi sebanyak 86 nematoda, sedangkan pada isolat F2 jumlah mortalitas hanya 68 nematoda. Mortalitas terbanyak pada F5 disebabkan adanya 2 enzim yang berperan dalam proses predasi nematoda yaitu enzim kitinase dan protease. Enzim tersebut mampu untuk melakukan penetrasi dan pencernaan nematoda. Sedangkan pada F2 yang hanya memiliki enzim protease untuk mempredasi nematoda.

4.2.3 Hasil Uji Kelayakan Booklet Jamur Nematofagus

Booklet yang berjudul “Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen” disusun berdasarkan hasil penelitian Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen. Untuk memenuhi syarat penyusunan *booklet*, maka perlu dilakukan validasi oleh validator ahli materi, validator ahli media dan validator pengguna. Seperti terlihat pada Tabel 4.5, rata-rata skor berdasarkan hasil validasi *booklet* adalah 88,6%. Hal ini sesuai dengan penjelasan Ridwan (2015), jika presentasi hasil validasi *booklet* yang dicapai antara 81% sampai 100% maka *booklet* tersebut dinyatakan valid atau layak. Berdasarkan komentar yang disampaikan oleh validator bahwa buku ini sudah tersusun dengan baik, penjelasannya sistematis dan sesuai dengan judul, sehingga dinyatakan layak digunakan sebagai media informasi dan dapat disebarluaskan kepada masyarakat. Akan tetapi, terdapat beberapa perbaikan berdasarkan saran dari validator untuk perbaikan agar *booklet* dapat lebih baik lagi. *Booklet* yang dihasilkan saat ini merupakan *booklet* yang sudah dilakukan revisi ataupun perbaikan berdasarkan saran yang telah diberikan oleh ketiga validator sehingga produk *booklet* ini memiliki kualitas yang lebih baik dari sebelumnya dan juga lebih layak digunakan sebagai media informasi bagi masyarakat. Instrumen hasil uji validasi *booklet* oleh ahli materi dapat dilihat pada Lampiran 5. Instrumen hasil uji validasi *booklet* oleh ahli media dapat dilihat pada Lampiran 6. Instrumen hasil uji validasi *booklet* oleh pengguna dapat dilihat pada Lampiran 7.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Jamur nematofagus yang berhasil diidentifikasi dari Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen yaitu genus *Paecilomyces*, *Aspergillus*, *Unidentified*, dan *Fusarium*.
- b. Hasil uji potensi jamur yang ditemukan yaitu pada genus *Paecilomyces*, *Unidentified*, dan *Fusarium* memiliki enzim protease dan fosfatase, sedangkan pada *Aspergillus* memiliki enzim kitinase, protease, dan fosfatase. Jumlah mortalitas tertinggi pada isolat F5 yaitu dari genus *Aspergillus* yang mana menandakan bahwa semakin besar potensi genus tersebut untuk mempredasi nematoda.
- c. *Booklet* yang berjudul “Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen” layak dan dapat digunakan sebagai media informasi kepada masyarakat dengan dilakukan beberapa revisi yang memiliki validasi *booklet* mencapai 88,6%.

5.2 Saran

Peneliti memberikan beberapa saran yang didasarkan atas hasil penelitian Identifikasi dan Uji Potensi Jamur Nematofagus pada Lahan Agroforestri Kopi Kawasan Gunung Ijen yang telah dilakukan, di antaranya sebagai berikut.

- a. Pada hasil identifikasi terdapat 1 isolat jamur yang belum teridentifikasi, diharapkan jamur tersebut dapat diidentifikasi pada ahlinya.
- b. Penelitian ini melakukan identifikasi hanya hingga tingkat genus, sehingga disarankan untuk peneliti selanjutnya bisa melakukan identifikasi lebih lanjut hingga tingkat spesies.
- c. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan perbanyakan serta dilanjutkan hingga uji potensi pengaplikasian jamur nematofagus sebagai pengendalian nematoda parasit di lahan pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan A. M. (1991). Prospek beberapa isolat fungi penghuni tanah sebagai agen antagonis terhadap *Meloidogyne* spp. pada tomat (*Lycopersicon esculentum*. Mill). Fakultas Pasca Sarjana, Institute Pertanian Bogor.
- Aldina, R. F., Indarti, S., & Wibowo, A. (2017). Proceeding of the 1st International Conference on Tropical Agriculture. *Proceeding of the 1st International Conference on Tropical Agriculture*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60363-6>
- Al-kader dan M Al-Abed. (2008). *In vitro* studies on nematode interactions with their antagonistic fungi in the rhizosphere of various plant. Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universitat. Freiburg im Breisgau. Germany
- Alsohaili, S. A., & Bani-Hasan, B. M. (2018). Morphological and molecular identification of fungi isolated from different environmental sources in the northern eastern Desert of Jordan. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 11(3): 329–337.
- Asyiah, I. N., Mudakir, I., Hoesain, M., Pradana, A. P., Djunaidy, A., & Sari, R. F. (2020). Consortium of endophytic bacteria and rhizobacteria effectively suppresses the population of *pratylenchus coffeae* and promotes the growth of robusta coffee. *Biodiversitas*. 21(10): 4702–4708. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211032>.
- Berhanu, M., Waktole, H., Mamo, G., & Terefe, G. (2022). Isolation of nematophagous fungi from soil samples collected from three different agro - ecologies of Ethiopia. *BMC Microbiology*, 22(159), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02572-4>
- Braga, F. R., de Freitas Soares, F. E., Araujo, J. M., da Fonseca, L. A., Hiura, E., Garschagen Gava, M., Toledo Vieira, F., da Paz, J. S., de Carvalho, L. M., Faccini, J. V., de Queiroz, J. H., & Araújo, J. V. (2014). Statistical experimental design to assess the influence of enzymes of nematophagous fungi versus helminths. *Research in Veterinary Science*. 97(3): 527–532. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.09.005>
- Corneliyawati, E., Massora, Khikmah, & Arifin, A. S. (2018). OPTIMALISASI PRODUKSI ENZIM KITINASE PADA ISOLAT JAMUR KITINOLITIK DARI SAMPEL TANAH RIZOSFER. *Edubiotik*. 3(1): 62–69. <https://doi.org/10.33503/ebio.v3i01.80>

- Cruz, D. G., Silva, C. P., Carneiro, C. N. B., Retamal, C. A., Thiébaud, J. T. L., DaMatta, R. A., & Santos, C. P. (2009). Acid phosphatase activity during the interaction of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* with the nematode *Panagrellus* sp. *Journal of Invertebrate Pathology*. 102(3): 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.08.003>
- Campos, V. P. & L. Villain. (2005). Nematode Parasites of Coffee and Cocoa. Pp. 529-580. In: *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. M. Luc., R. A. Sikora, & J. Bridge (eds). CABI Publishing. UK.
- Cho, M.R., H.Y. Yeong and Y.M. Choi. (2003). Research on potential of *Pasteuria penetrans* for biological control of root-knot nematodes in Korea. Home.rda.go.kr/eng/new/Myoung%20Rae%20cho's%20. paper doc. 11 pp.
- Darmoko. (2012). Media Pembelajaran Booklet Terhadap Peningkatan Pengetahuan Petani. *Jurnal Penelitian Pertanian*. 2(13): 57-68.
- Davis, W. W. dan T. R. Stout. (1971). Disc plate methods of microbiological antibiotic assay. *Microbiology*. 22: 659-665.
- Dhiaswari, D. R., Santoso, A. B., & Banowati, E. (2019). Pengaruh perilaku petani bawang merah dan penggunaan pestisida terhadap dampak bagi lingkungan hidup di desa klampok kecamatan wanasari kabupaten brebes. *Edu Geography*. 7(3): 204-211.
- Dwi, L., Hastuti, S., Nicklin, J., & Siregar, A. Z. (2014). Inventory of Nematophagous Fungi in Sumatera Utara, Indonesia. *The First International Seminar on Trends in Science and Science Education 2014 – ISBN 978-602-9115-37-6*, 93–100. sitsefmipa.unimed.ac.id/proceeding2014/sitse2014/BS-12-Liana.pdf
- Diri, U. N., & Marlina, M. (2019). Pembuatan Booklet sebagai Media Informasi Bibliocrime di Perpustakaan Universitas Negeri Padang. *Ilmu Informasi Perpustakaan dan Kearsipan*. 8(1): 431-436.
- Fahmawati, E. I., Widajati, W., Radiyanto, I., Imanadi, L., Besar, B., & Pertanian, K. (2021). Biodiversitas Nematoda Parasit Pada Tanaman Kopi. *Agroekoteknologi*. 20–24.
- Fitriarni, D., & Kasiamdari, R. S. (2018). Isolation and Identification of Endophytic Fungi from Leave and Stem of *Calopogonium mucunoides*. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 3(1): 30. <https://doi.org/10.22146/jtbb.32477>

- Fitriastutik, D. R., Pramono, H., Budiono, I., Azam, M., Widya, H. C. S., & Zainafree, I. (2010). Efektivitas Booklet dan Permainan Tebak Gambar Dalam Meningkatkan Pengetahuan dan Sikap Siswa Kelas IV Terhadap Karies Gigi di SD Negeri 01, 02, dan 03 Bandengan Kecamatan Jepara Kabupaten Jepara Tahun Ajaran 2009/2010. *Skripsi available at* <https://lib.unnes.ac.id/2970/1/6519>.
- Gomes, C., Fidel, S., Fidel, R., & de Moura Sarquis, M. I. (2010). Isolation and Taxonomy of Filamentous Fungi in Endodontic Infections. *Journal of Endodontics*. 36(4): 626–629. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.01.016>
- Hajji-hedfi, L., Hlaoua, W., Rhouma, A., Al-judaibi, A. A., & Arcos, S. C. (2023). *Biological and proteomic analysis of a new isolate of the nematophagous fungus lecanicillium sp.* 1–10
- Harni, R. (2017). Prospek Pengembangan Bakteri Endofit Sebagai Agens Hayati Pengendalian Nematoda / The Prospect of Developing Endophytic Bacteria as Nematodes Biological Control. *Perspektif*. 15(1): 31. <https://doi.org/10.21082/psp.v15n1.2016.31-49>
- Hasanah, U. (2017). Mengenal Aspergillosis, infeksi jamur genus Aspergillus. *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera*. 15(2): 76–86.
- Huang, X., Zhao, N., & Zhang, K. (2004). Extracellular enzymes serving as virulence factors in nematophagous fungi involved in infection of the host. *Research in Microbiology*, 155(10), 811–816. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2004.07.003>
- Indarti, S., D. Widiyanto, Y. H. Kim, Mulyadi, & Suryanti. (2010). Survey of Egg- and Cyst-parasitic Fungi of Potato Cyst Nematode in Indonesia. *The Plant Pathology Journal*. 26(1): 32-36. <https://doi.org/10.5423/PPJ.2010.26.1.032>
- Indarti, S., & B. Rahayu TP. 2014. Potensi jamur parasit telur sebagai agens hayati pengendali nematoda puru akar *Meloidogyne incognita* pada tanaman tomat. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 18(2): 65-70. <https://doi.org/10.22146/jpti.15604>
- King, K. F. S., & Chandler, M. T. (1978). *The wasted lands*. Nairobi, Kenya: International Council for Research in Agroforestry.
- Khan, A., Haris, M., Hussain, T., Khan, A. A., Laasli, S. E., Lahlali, R., & Mokri, F. (2023). Counter-attack of biocontrol agents: Environmentally benign Approaches against Root-knot nematodes (*Meloidogyne spp.*) on Agricultural crops. *Heliyon*. 9(11): e21653. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21653>

- Krif, G., Lahlali, R., El Aissami, A., Laasli, S. E., Mimouni, A., Dababat, A. A., ... & Mokri, F. (2024). Potential Effects of Nematophagous Fungi Against *Meloidogyne javanica* Infection of Tomato Plants Under in vitro and in vivo Conditions. *Journal of Crop Health*, 1-11.
- Lerian, A. R., Swibawa, I. G., Nuryasin, N., & Aeny, T. N. (2018). Komunitas nematoda dan tingkat kerusakan tanaman kopi robusta (*Coffea canephora* var robusta) tua di Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*. 6(3): 147–153. <https://doi.org/10.23960/jat.v6i3.2922>
- Liswarni, Y. W. T. (2019). Eksplorasi jamur antagonis terhadap Nematoda bengkok akar (*Meloidogyne* spp.) dari rizosfer tanaman tomat. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indonesia*. 5(2): 194–198. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050208>
- Lobo, O. L. L., Rupidara, A. D. N., & Ledo, M. E. S. (2022). Indigenous Biologi SELEKSI ENZIM PROTEASE JAMUR ENDOFIT DAUN MANGROVE *Avicennia marina* DI PANTAI NOELBAKI (SELECTION OF ENZYME PROTEASE OF MANGROVE LEAF ENDOPHITE FUNGUS *Avicennia marina* AT NOELBAKI BEACH) Abstrak Indigenous Biologi Jurnal pendidikan da. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan Dan Sains Biologi*. 5(3): 108–117. <https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i3.267>
- Lopez-Llorca, L. V., & Claugher, D. (1990). Appressoria of the nematophagous fungus *Verticillium suchlasporium*. *Micron and Microscopica Acta*. 21(3): 125-130.
- Lopez-Llorca, L. V., Gómez-Vidal, S., Monfort, E., Larriba, E., Casado-Vela, J., Elortza, F., Jansson, H. B., Salinas, J., & Martín-Nieto, J. (2010). Expression of serine proteases in egg-parasitic nematophagous fungi during barley root colonization. *Fungal Genetics and Biology*, 47(4), 342–351. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2010.01.004>
- Lopez-Llorca, L. V., Jansson, H.-B., Vicente, J. G. M., & Salinas, J. (2007). Nematophagous Fungi as Root Endophytes. *Microbial Root Endophytes*, 9, 191–206. https://doi.org/10.1007/3-540-33526-9_11
- Lopez-Llorca, L. V., Maciá-Vicente, J. G., & Jansson, H. B. (2008). MODE OF ACTION AND INTERACTIONS. *Dordrecht*, 51–76.
- Martini, E., Riyandoko, dan Roshetko, J. M. (2017). *Pedoman Membangun Agroforestri Kopi*. Bogor: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.
- Mustika, I., B. Marwoto, R. Harni dan B.S. Nazarudin. (2001). Pengendalian nematoda pada tanaman tomat dengan menggunakan tepung, pelet dan

kompos akar tomat diinokulasi dengan bakteri *Pasteuria penetrans*. *Jurnal Biologi Indonesia*. 3(1): 23-31.

Mustika, I., R.S. Djiwanti, R. Harni, S. Yuliani, A. Darmanto, D. Sudradjat, dan Herwan. (2003). Pemanfaatan Agensia Hayati, Bahan Organik, dan Pestisida Nabati Untuk Mengendalikan Nematoda Pada Tanaman Lada. Laporan Akhir Penelitian Kerjasama antara Balai Penelitian Tanam-an Rempah dan Obat, PT. Primasid Andalan Utama dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif Pusat Tahun Anggaran 2002. 31 hlm.

Mustika, I. (2005). Konsep dan strategi pengendalian nematoda parasit tanaman perkebunan di Indonesia. *Prespektif*. 4(1): 20-32.

Naiola, E., & Widhyastuti, N. (2002). Isolasi, Seleksi dan Optimasi Produksi Protease dari Beberapa Isolat Bakteri. *Berita Biologi*, 6(3), 467–473.

Nordbring-hertz, B., Jansson, H. B., & Tunlid, A. (2006). Nematophagous Fungi. *Encyclopedia of Life Sciences*, April, 1–11. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0004293>

Novita, E., Huda, M. N., & Pradana, H. A. (2021). Analisis Potensi Simpanan Karbon Agroforestri Perkebunan Kopi Robusta (*Coffea Canephora*) Di Pegunungan Argopuro, Kabupaten Bondowoso. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*. 15(2): 165. <https://doi.org/10.24843/ejes.2021.v15.i02.p02>

Ocampo-Gutiérrez, A. Y., Hernández-Velázquez, V. M., Aguilar-Marcelino, L., Cardoso-Taketa, A., Zamilpa, A., López-Arellano, M. E., González-Cortázar, M., Hernández-Romano, J., Reyes-Estebanez, M., & Mendoza-de Gives, P. (2021). Morphological and molecular characterization, predatory behaviour and effect of organic extracts of four nematophagous fungi from Mexico. *Fungal Ecology*. 49. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.101004>

Peritika, M. Z. (2010). Keanekaragaman makrofauna tanah pada berbagai pola agroforestri lahan miring di Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah.

Permana, R. C. E., Habibi, M., & Gunawan, E. (2021). Jamur *Paecilomyces* dari Leang Pettae di kawasan karst Maros dan saran pelestarian gambar cadasnya The fungus *Paecilomyces* from Leang Pettae in Maros karst area and the suggestions for rock art preservation. *Berkala Arkeologi*, 41(1), 1–14.

Priyanta, R. D., Proborini, M. W., & Dalem, A. A. R. (2019). Phosphate Solvent Fungi Exploration and Identification in West Bali National Park Forest Area. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*. 6(1): 131–136. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2019.v06.i01.p21>

- Pradina, A. T. dan M. M. A. Pratama. (2021). Peningkatan literasi mitigasi bencana gempa bumi melalui booklet ringkas inovatif bagi siswa SDN Wonoayu Kecamatan Wajak Kabupaten Malang. *Jurnal Pasopati: Pengabdian Masyarakat dan Inovasi Pengembangan Teknologi*. 3(3): 168-176.
- Priyanta, R. D., Proborini, M. W., & Dalem, A. A. R. (2019). Phosphate Solvent Fungi Exploration and Identification in West Bali National Park Forest Area. *Metamorfosa: Journal of Biological Sciences*. 6(1): 131–136. <https://doi.org/10.24843/metamorfosa.2019.v06.i01.p21>
- Puspita, A., Kurniawan, A. D., & Rahayu, H. M. (2017). Pengembangan media pembelajaran booklet pada materi sistem imun terhadap hasil belajar siswa kelas XI SMAN 8 Pontianak. *Jurnal Bioeducation*, 4(1).
- Rachmawati, N., Haryono, T., & Faizah, U. (2013). Efektivitas Dosis Serbuk Daun Kenikir terhadap Pengendalian Nematoda Sista Kuning pada Tanaman Tomat. *LenteraBio*. 2(1): 13–17.
- Rahman, M. U., Chen, P., Zhang, X., & Fan, B. (2023). Predacious Strategies of Nematophagous Fungi as Bio-Control Agents. *Agronomy*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy13112685>
- Rahmatih, A. N., A. Yuniastuti, & R. Susanti. (2018). Pengembangan booklet berdasarkan kajian potensi dan masalah lokal sebagai suplemen bahan ajar SMK Pertanian. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek Ke-3*.
- Ramadhan, M. S. S., E. Susanti, & M. A. Artasasta. (2022). Identifikasi Kapang Penyebab Penyakit Layu Pada Daun Tanaman Kopi (*Coffea Canephora* var. Robusta) Di Desa Sumberdem Kabupaten Malang. *Prosiding Seminar Bioteknologi Nasional*. 1
- Ridwan. (2015). *Skala Pengukuran Variabel-variabel Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Ristiari, N. P. N., Julyasih, K. S. M., & Suryanti, I. A. P. (2018). ISOLASI DAN IDENTIFIKASI JAMUR MIKROSKOPIS PADA RIZOSFER TANAMAN JERUK SIAM (*Citrus nobilis* Lour .) DI KECAMATAN KINTAMANI , BALI. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(1), 10–19.
- Samson, R. A. (1995). *Introduction to Food-borne Fungi*. Madison: Centraalbureau voor Schimmelcultures.
- Sari, N. P., Santoso, T. I., dan S. Mawardi. (2013). Sebaran tingkat kesuburan tanah pada perkebunan rakyat kopi arabika di dataran tinggi Ijen-Raung

menurut ketinggian tempat dan tanaman penayang. *Pelita Perkebunan*. 29(3): 93-107.

Shindy, I. C., Akhsan, N., & Suyadi, S. (2020). Eksplorasi jamur nematofagus dari pupuk kandang di Kota Samarinda : studi kasus Kelurahan Lempake. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. 3(1): 55–60.

Simamora, R. S. (2009). Buku Ajar Pendidikan dalam Keperawatan. Jakarta: EGC.

Sitepu, B. P. (2012). Pengembangan Taman Bacaan Masyarakat Sebagai Sumber Belajar. *Jurnal Ilmiah Visi*, 7(1), 42-56.

Soares, F. E. de F., B. L. Sufiate, & de Queiroz, J. H. (2018). Nematophagous fungi: Far beyond the endoparasite, predator and ovicidal groups. *Agriculture and Natural Resources*. 52(1): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.05.010>

Soares, F. E. de F., J. M. Ferreira, H. L. A. Genier, L. K. T. Al-Ani, & L. A. Marcelino. (2023). Use of nematophagous fungi enzymes for nematode control. *Journal of Natural Pesticide Research*. 100025. <https://doi.org/10.1016/j.napere.2023.100025>

Suleman, A. H. (1998). Media Audio Visual : Untuk Pengajaran, Penerangan, dan Penyuluhan. Jakarta : PT. Gramedia.

Surono & B. P. W. Soekarno. (2008). Potensi Fungi Tanah Nematofagus dalam Pemeliharaan Kesehatan Tanah pada Praktik Budidaya Pertanian Berkelanjutan. *Faculty of Agriculture*. 316: 407-419.

Srimiyati. (2020). Pendidikan Kesehatan Menggunakan Booklet Berpengaruh Terhadap Pengetahuan dan Kecemasan Wanita. Surabaya: CV. Jakad Media Publishing.

Swibawa, I. G., Yasin, N., Aeny, T. N., & Dewi, S. (2019). Nematoda parasit tumbuhan dominan pada bibit dan tanaman kopi robusta (*C. canephora* var robusta) muda di Kabupaten Tanggamus, Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*. 7(1): 219. <https://doi.org/10.23960/jat.v7i1.2986>

Triman, B. & Mulyadi. (2001). Pengendalian nematoda puru akar (*Meloidogyne* spp.) pada buncis dengan bakteri *Pasteuria penetrans* dan solarisasi. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 7(1): 49-54.

Vandepitte, S. (2005). *Prosedur Laboratorium Dasar untuk Bakteriologis Klinis*. Edisi 2. Buku Kedokteran EGC, Jakarta.

Vera-Morales, M., López Medina, S. E., Naranjo-Morán, J., Quevedo, A., & Ratti, M. F. (2023). Nematophagous Fungi: A Review of Their Phosphorus

Solubilization Potential. *Microorganisms*, 11(1), 1–14.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11010137>

Veria, V. A., & Fani, T. (2014). Body Image, Pengetahuan Gizi, Perilaku Makan sebagai Prediktor Status Gizi dan Dasar Pendidikan Gizi pada Remaja Putri. *Universitas Dian Nuswantoro*.

Waweru, B., Turoop, L., Kahangi, E., Coyne, D., and Dubois, T. (2014). Non-pathogenic *Fusarium oxysporum* endophytes provide field control of nematodes, improving yield of banana (*Musa* sp.). *Biol. Control* 74, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.002>

Widianto, K. H., Suharjito, D., & Sardjono, M. A. (2003). Fungsi dan Peran Agroforestri. Bogor: ICRAF.

Winarto, Trizelia, & Liswarni, Y. (2018). Aktivitas Antagonistik Jamur yang Berasosiasi dengan Nematoda Bengkak Akar (*Meloidogyne* spp.) pada Rizosfer Tanaman Tomat. *Jurnal Proteksi Tanaman*. 2(2): 76–84.

Winarto, W., Trizelia, T., dan Liswarni, Y. (2019). Antagonistic fungi exploration against root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) from tomato rizosphere. *In Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 5(2): 194-198.

Yadav, B., Singh, U. B., Malviya, D., Vishwakarma, S. K., Ilyas, T., Shafi, Z., & Singh, H. V. (2023). Nematophagous Fungi: Biology, Ecology and Potential Application. In *Detection, Diagnosis and Management of Soil-borne Phytopathogens* (pp. 309-328). Singapore: Springer Nature Singapore.

Yang, J., Tian, B., Liang, L., & Zhang, K.-Q. (2007). Extracellular enzymes and the pathogenesis of nematophagous fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 75(1), 21–31. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0881-4>

Zhang, K. dan Hyde, K. D. (2014). *Fungal Diversity Research Series: Nematode-Trapping Fungi, volume 23*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Zhang, Y., Li, S., Li, H., Wang, R., Zhang, K.-Q., & Xu, J. (2020a). Fungi–Nematode Interactions: Diversity, Ecology, and Biocontrol Prospects in Agriculture. *Journal of Fungi*, 6(4), 206. <https://doi.org/10.3390/jof6040206>

Zhang, Y., Li, S., Li, H., Wang, R., Zhang, K. Q., & Xu, J. (2020b). Fungi–nematode interactions: Diversity, ecology, and biocontrol prospects in agriculture. *Journal of Fungi*, 6(4), 1–24. <https://doi.org/10.3390/jof6040206>

Zhu, M. C., Li, X. M., Zhao, N., Yang, L., Zhang, K. Q., & Yang, J. K. (2022). Regulatory Mechanism of Trap Formation in the Nematode-Trapping Fungi. *Journal of Fungi*. 8(4). <https://doi.org/10.3390/jof8040406>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Penelitian

Lampiran 2. Skema Alur Penelitian

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

Lampiran 4. *Cover Booklet*

Lampiran 5. Lembar Validasi oleh Ahli Materi

Lampiran 6. Lembar Validasi oleh Ahli Media

Lampiran 7. Lembar Validasi oleh Pengguna

Lampiran dapat diakses melalui link berikut:

<https://unej.id/LampiranSkripsiMellysaa>

