

**KEMAMPUAN BEBERAPA JENIS JAMUR AGENS HAYATI SEBAGAI
ENTOMOPATOGEN *Hypothenemus hampei* DAN ANTAGONIS
Fusarium spp. PADA TANAMAN KOPI**

(Skripsi)

Oleh

**Tuan Agung Trimaro Parsaulian Sihite
1954191003**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KEMAMPUAN BEBERAPA JENIS JAMUR AGENS HAYATI SEBAGAI ENTOMOPATOGEN *Hypothenemus hampei* DAN ANTAGONIS *Fusarium* spp. PADA TANAMAN KOPI

Oleh

TUAN AGUNG TRIMARO PARSAULIAN SIHITE

OPT utama tanaman kopi ialah hama penggerek buah kopi (PBKo) *Hypothenemus hampei* (Ferr.). OPT kopi penting berikutnya adalah jamur *Fusarium* sp. OPT kopi dapat dikendalikan secara efektif menggunakan agensia hayati. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan dan Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung selama 271 hari. Penelitian ini terdiri dari 5 kali ulangan pada uji patogenitas *H. hampei* dan 4 kali ulangan pada uji antagonis *Trichoderma* sp dan *Fusarium*. Data yang diperoleh dilakukan uji homogenitas untuk mengetahui keragaman serta uji aditif. Apabila hasil uji memenuhi asumsi, maka data dianalisis dengan sidik ragam (ANARA) pada taraf 5% dan dilanjutkan pengujian Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%. Analisis data dilakukan dengan menggunakan program microsoft excel. Hasil penelitian menunjukkan presentase lebih besar pada isolat *Beauveria* sp. sebesar 94,37% dibandingkan isolat *Metarhizium* sp. sebesar 73,33% pada uji patogenitas. Sedangkan hasil uji antagonistik menunjukkan bahwa jamur *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium proliferatum*.

Kata kunci: *Hypothenemus hampei*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium proliferatum*, Patogenisitas, Antagonis.

**KEMAMPUAN BEBERAPA JENIS JAMUR AGENS HAYATI SEBAGAI
ENTOMOPATOGEN *Hypothenemus hampei* DAN ANTAGONIS
Fusarium spp. PADA TANAMAN KOPI**

Oleh

Tuan Agung Trimaro Parsaulian Sihite

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

Pada

**Jurusan Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul : KEMAMPUAN BEBERAPA JENIS JAMUR AGENS
HAYATI SEBAGAI ENTOMOPATOGEN *Hypothenemus*
hampei DAN ANTAGONIS *Fusarium* spp. PADA
TANAMAN KOPI

Nama : Tuan Agung Trimaro Parsaulian S.

NPM : 1954191003

Jurusan/PS : Proteksi Tanaman

Fakultas : Pertanian



Prof. Dr. Ir. F.X Susilo, M.Sc.
NIP. 195908081983031001

Dr. Radix Suharjo, S.P., M.Agr.
NIP. 198106212005011003

2. Ketua Jurusan Proteksi Tanaman

Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si.
NIP. 198002082005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Dr. Ir. F.X Susilo, M.Sc.

Sekretaris/Anggota

: Dr. Radix Suharjo, S.P., M.Agr.

Penguji Utama

: Dr. Yuyun Fitriana, S.P., M.P.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juli 2024

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan skripsi saya yang berjudul **“KEMAMPUAN BEBERAPA JENIS JAMUR AGENS HAYATI SEBAGAI ENTOMOPATOGEN *Hypothenemus hampei* DAN ANTAGONIS *Fusarium* PADA TANAMAN KOPI”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan Salinan atau buatan orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Juli 2024

Pembuat pernyataan



Tuan Agung Trimaro Parsaulian S.
1954191003

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Kotaagung, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 12 Desember 2000. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara, yang terdiri dari tiga laki-laki dan satu perempuan. Penulis dilahirkan dari pasangan Bapak Ojak Sihite dan Ibu Marta Sianturi. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan di TK (Taman Kanak-kanak) Dharma Wanita pada tahun 2007, SD N 3 Kuripan Kotaagung pada tahun 2013, SMP N 1 Kotaagung pada tahun 2016, dan SMK N PP (Sekolah Menengah Kejuruan Negeri Pertanian Pembangunan) Lampung pada tahun 2019. Pada tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Universitas Lampung Fakultas Pertanian Jurusan Proteksi Tanaman melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat (SMMPTN Barat).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kanoman, Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus dan Praktik Umum (PU) di Balai Besar Pelatihan Pertanian Lembang pada tahun 2022. Penulis pernah aktif dalam kegiatan organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) sebagai anggota Seni dan Olahraga (SENORA) dan Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman (HIMAPROTEKTA) sebagai anggota pada tahun 2021 serta sebagai Wakil Ketua Himpunan Mahasiswa Proteksi Tanaman pada tahun 2022. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, Ilmu Penyakit Tanaman dan Bahasa Inggris pada tahun 2022.

SANWACANA

Puji syukur saya hanturkan kehadiran Tuhan YME yang telah memberikan hikmat dan rahmat kepada penulis sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi. Skripsi ini merupakan salah satu tugas akhir penulis dalam melaksanakan kewajiban perkuliahan di Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dan mungkin tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dan arahan dari dosen pembimbing serta rekan-rekan semua. Bagi penulis, sebelum dan selama pelaksanaan kegiatan penelitian berlangsung banyak sekali pengalaman yang didapat maupun pelajaran hidup yang diperoleh, maka dari itu perkenankan penulis untuk mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung yang telah memberikan fasilitas kepada penulis untuk perkuliahan di Fakultas Pertanian Universitas Lampung,
2. Dr. Tri Maryono, S.P., M.Si. selaku Ketua Jurusan Proteksi Tanaman Universitas Lampung memberikan motivasi, kritik dan saran dalam penulisan maupun isi skripsi,
3. Prof. Dr. Ir. F.X Susilo selaku pembimbing utama yang senantiasa sabar dalam memberikan nasihat, saran, dan perhatian dalam penelitian, serta dalam penulisan skripsi,
4. Dr. Radix Suharjo, S.P., M.Agr. selaku pembimbing kedua yang senantiasa memberikan motivasi, perhatian, serta saran dalam penulisan skripsi,
5. Dr. Yuyun Fitriana, S.P., M.P. selaku penguji skripsi yang telah memberikan motivasi, kritik, dan saran dalam penulisan maupun isi skripsi,

6. Dr. Ir. Sudi Pramono, M.S. selaku Pembimbing akademik yang senantiasa memberikan motivasi, perhatian selama menjalani perkuliahan di kampus,
7. Keluarga besar, terutama Bapak, Mamak, Kakak, dan Abang yang tidak pernah bosan mendoakan serta memberi semangat dan juga saran yang baik untuk saya apapun keadaannya, dan
8. Tri Yuda Pratiwi A. Md, Joel, Bintang, Adit, Felix, Hendi, Hafiz, Catur, Bobby, Komang, Ubai, Marin, Pedro, Ladiba, Andar, Sahrul, Jeremi, Felix, Erina, Azrah, Anisa, Ketut, Hikmah, Rae, Icha, Tari, Nando, Yeyen dan seluruh mahasiswa Proteksi Tanaman 2019 yang tidak pernah bosan untuk memberi arahan dan juga semangat.

Semoga semua bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Tuhan YME, dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 26 Juli 2024

Penulis

Tuan Agung Trimaro Parsaulian S.
1954191003

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
I. PENDAHULUAN	16
1.1 Latar Belakang dan Masalah	16
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran	3
1.4 Hipotesis	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Kopi	5
2.2 Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) Kopi	5
2.3 Penggerek Buah Kopi (PBKo)	6
2.4 <i>Fusarium</i> spp.....	7
2.5 <i>Trichoderma</i> spp.....	10
2.6 <i>Beauveria</i> sp. dan <i>Metarhizium</i> sp.	11
III. BAHAN DAN METODE	13
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.2 Bahan dan Alat	13
3.3 Pelaksanaan Penelitian	14
3.3.1 Uji Antagonistik <i>Trichoderma-Fusarium</i>	19
3.3.1 Uji Patogenisitas JPS-PBKo	21
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Hasil Penelitian.....	24
4.1.1 Efek Antagonistik Jamur <i>Trichoderma</i> terhadap Pertumbuhan Jamur <i>Fusarium</i> spp.	25

4.1.2 Patogenisitas JPS-PBKo	28
4.2 Pembahasan	30
V. SIMPULAN DAN SARAN	32
5.1 Simpulan.....	32
5.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1 Klasifikasi tanaman kopi.....	5
2. Karakter morfologi konidia dan klamidospora <i>F. oxysporum</i> dan <i>F. proliferatum</i> (Refai dkk., 2015)	9
3 Rincian bahan-bahan dan alat-alat penelitian	14
4 Spesies-spesies jamur yang digunakan dalam uji efikasi JPS-PBKo dan uji antagonisme <i>Trichoderma-Fusarium</i>	15
5. Rata-rata harian diameter koloni JAH yang disiapkan (cm)	24
6. Kerapatan konidia JAH yang disiapkan.....	25
7. Viabilitas konidia JAH.....	25
8. Infektivitas jamur <i>Beauveria</i> sp. dan <i>Metarhizium</i> sp. terhadap hama PBKo pada 7 HSA	30
9. Data rata-rata diameter koloni (cm) 1 hsi	45
10. Analisis ragam diameter koloni (cm) 1 hsi	45
11. Data rata-rata diameter koloni (cm) 2 hsi	45
12. Analisis ragam diameter koloni (cm) 2 hsi	45
13. Data rata-rata diameter koloni (cm) 3 hsi	45
14. Analisis ragam diameter koloni (cm) 3 hsi	46
15. Data rata-rata diameter koloni (cm) 4 hsi	46
16. Analisis ragam diameter koloni (cm) 4 hsi	46
17. Data rata-rata diameter koloni (cm) 5 hsi	46
18. Analisis ragam diameter koloni (cm) 5 hsi	46
19. Data rata-rata diameter koloni (cm) 6 hsi	47
20. Analisis ragam diameter koloni (cm) 6 hsi	47
21. Data rata-rata diameter koloni (cm) 7 hsi	47
22. Analisis ragam diameter koloni (cm) 7 hsi	47
23. Data rata-rata kerapatan konidia JAH.....	47

24. Data viabilitas.....	48
25. Data kemampuan antagonis	48
26. Data mortalitas <i>Hypothenemus hampei</i> (%) pada 7 hsi	49
27. Kepadatan konidia jamur <i>Beauveria</i> sp., <i>Metarhizium</i> sp., dan <i>Trichoderma</i> sp.	49
28. Viabilitas koloni jamur <i>Trichoderma</i> sp. <i>Beauveria</i> sp., dan <i>Metarhizium</i> sp.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Tahap-tahan penyiapan dan perbanyakan jamur agens hayati (JAH) untuk diamati pertumbuhannya. JAH dicuplik dari biakan murninya kemudian diinokulasikan pada media PDA (biakan JAH = kultur JAH) dengan empat ulangan.	16
2. Pengamatan kerapatan konidia JAH menggunakan <i>Haemocytometer</i> (Utami dkk., 2018). Perbesaran = 400x.....	17
3. Inokulasi suspensi JAH di media PDA (1 = ulangan 1, 2 = ulangan 2, 3 = ulangan 3; T = <i>Trichoderma</i> sp., B = <i>Beauveria</i> sp., M = <i>Metarhizium</i> sp.).....	18
4. Dua kultur-antagonistik (KA-1 dan KA-2) <i>Trichoderma-Fusarium</i> dan dua kultur-kontrol (KK-1 dan KK-2) <i>Fusarium</i> spp. (a = cuplikan jamur <i>Trichoderma</i> sp., b1 = cuplikan jamur <i>F. oxysporum</i> , b2 = cuplikan jamur <i>F. proliferatum</i>).....	20
5. Kap plastik pemeliharaan hama PBKo (Da = diameter atas = diameter tutup, Db = diameter alas, T = tinggi).	22
6. Kultur <i>Fusarium</i> kontrol (KK) dan kultur <i>Fusarium-Trichoderma</i> (KA) pada 7 HSI. A = KK1 (<i>F. oxysporum</i> kontrol), B = KA1 (<i>F. oxysporum-Trichoderma</i>), C = KK2 (<i>F. proliferatum</i> kontrol), D = KA2 (<i>F. proliferatum-Trichoderma</i>). Koloni putih (A, B) = koloni jamur <i>F. oxysporum</i> ; koloni putih (C, D) = koloni jamur <i>F. proliferatum</i> . Koloni kehijauan (B, D) = koloni jamur <i>Trichoderma</i> sp.	26
7. Rata-rata harian penghambatan tumbuh koloni jamur <i>F. oxysporum</i> oleh jamur <i>Trichoderma</i> sp. (P). Bar = galat baku penghambatan tumbuh (%). Huruf yang sama di atas bar-bar berarti urutan nilai rata-rata penghambatan tumbuh yang dibandingkan tidak berbeda nyata (Uji Duncan, $\alpha = 0,05$ atau $\alpha = 0,01$).	26

8. Rata-rata harian penghambatan tumbuh koloni jamur *F. proliferatum* oleh jamur *Trichoderma* sp. (P). Bar = galat baku penghambatan tumbuh (%). Huruf yang sama di atas bar-bar berarti urutan nilai rata-rata penghambatan tumbuh yang dibandingkan tidak berbeda nyata (Uji Duncan, $\alpha = 0,05$ atau $\alpha = 0,01$). 27
9. Kenampakan kadaver-kadaver imago hama PBKo. A = Imago hama PBKo yang terinfeksi jamur *Beauveria* sp. B = Imago hama PBKo yang terinfeksi jamur *Metarhizium* sp. C = imago hama PBKo yang mengalami kematian secara alami (tidak terinfeksi baik oleh *Beauveria* maupun *Metarhizium*). 29
10. Infektivitas harian jamur *Metarhizium* sp. maupun *Beauveria* sp. terhadap imago hama PBKo (M, %). 29

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Kopi merupakan komoditas perkebunan yang telah lama dibudidayakan di Indonesia dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Dari tempat asalnya di Etiopia (Afrika), kopi diintroduksi ke Jazirah Arab oleh para saudagar Arab; kemudian, dari Arabia kopi diintroduksi, dibudidayakan dan diperdagangkan ke seluruh dunia (Triadinda dkk., 2022). Pada tahun 1696, VOC (*Vereenigde Oostindische Compagnie*) mengintroduksi kopi ke Jawa. Dari Pulau Jawa, kopi diintroduksi ke seluruh Indonesia. Saat ini, dari 70 negara produsen kopi yang didokumentasikan di *United States Department of Agriculture* (USDA), Indonesia tercatat sebagai negara penghasil kopi ketiga terbesar dunia setelah Brazil dan Vietnam (Independent Observer, 2024). Menurut BPS (2022), hasil kopi Indonesia sebesar 774.960 ton; merupakan total produksi kopi dari 33 provinsi, dari Aceh sampai Papua Barat. Dari 33 provinsi itu, enam merupakan penghasil kopi terbesar (menyumbang > 75% produksi nasional), yaitu (menurut peringkat) Sumatra Selatan, Lampung, Sumatra Utara, Aceh, Bengkulu, dan Jawa Timur. Di Indonesia, tanaman kopi pada umumnya dibudidayakan dan dapat berproduksi secara optimal di dataran tinggi > 700 m dpl (Masrilurrahman dan Permana, 2021).

Namun produktivitas tanaman kopi dapat terkendala oleh serangan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT). OPT utama tanaman kopi ialah hama penggerek buah kopi (PBKo) *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Kalshoven, 1981; Apriyanto dan Nadrawati, 2019; Nadiawati dkk., 2023; Langkai dkk., 2023). OPT

kopi penting berikutnya adalah jamur *Fusarium* sp. Pada tanaman kopi, *Fusarium* sp. dapat menginfeksi buah dan menyebabkan terjadinya penyakit busuk buah.

Hama PBKo menggerek buah, memakan biji dan hidup-berkembang di dalam biji kopi. Serangan hama PBKo ini dapat menurunkan produksi kopi hingga 40% (Nildayanti dan Muliani, 2018; Supriyatdi dkk., 2019). Liang-liang gerek hama PBKo pada buah kopi juga dapat menjadi gerbang dan jalan masuk (*points of entry*) bagi jamur patogen (*Fusarium* sp.) ketika menginfeksi buah kopi (Toligaga, 2024). Akibatnya; pertama, buah-buah kopi yang sudah tergerek oleh hama PBKo diperkirakan menjadi lebih rentan terhadap infeksi *Fusarium* sp. Kedua, kehilangan produksi akan lebih besar pada pertanaman kopi yang mengalami gangguan OPT double (hama PBKo dan *Fusarium* sp.) daripada yang hanya tergerek oleh *H. hampei* saja atau hanya terinfeksi oleh *Fusarium* sp. saja.

OPT kopi seyogyanya dapat dikendalikan secara efektif menggunakan agensia-agensia hayati; yaitu mikroba entomopatogen (misalnya jamur patogen serangga, JPS) untuk mengendalikan hama PBKo atau mikroba antagonis (misalnya jamur antagonis) untuk mengendalikan penyakit busuk buah kopi tersebut jamur *Fusarium*. Dua kandidat JPS hama PBKo ialah jamur *Beauveria bassiana* (Vuill) dan *Metarhizium anisopliae* (Sorok) (Samsudin dkk., 2020) sedangkan kandidat antagonis jamur *Fusarium* sp. ialah jamur *Trichoderma* sp. (Pers) (Safitri dkk., 2022). Jamur *B. bassiana* dan jamur *M. anisopliae* isolat Bengkulu terbukti cukup efektif sebagai JPS hama PBKo; isolat tersebut mampu menginfeksi dan menyebabkan 60-80% mortalitas hama PBKo (Apriyanto dan Nadrawati, 2019). Adakah isolat lain dari jamur *B. bassiana* atau jamur *M. anisopliae* yang juga efektif sebagai JPS terhadap hama PBKo?

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kemampuan antagonistik jamur *Trichoderma* sp. terhadap penyakit busuk buah kopi tersebut jamur *Fusarium* sp. penyakit busuk buah kopi, dan
2. Mengetahui efektivitas *Beauveria* sp. dan *Metarhizium* sp. sebagai entomopatogen hama PBKo.

1.3 Kerangka Pemikiran

Agensia-agensia hayati seyogyanya dapat digunakan secara efektif untuk mengendalikan OPT-OPT kopi di Indonesia. Misalnya jamur patogen serangga (JPS) untuk hama PBKo dan/atau mikroba antagonis untuk *Fusarium* sp. JPS hama PBKo yang sudah dikenal di Indonesia ialah *B. bassiana* dan *M. anisopliae* (Samsudin dkk., 2020).

JPS *B. bassiana* dan *M. anisopliae* terbukti cukup efektif terhadap hama PBKo. Uji laboratorium menunjukkan bahwa kedua biakan JPS lokal tersebut mampu menginfeksi dan menyebabkan 60-80% mortalitas hama PBKo Bengkulu (Apriyanto dan Nadrawati, 2019). Tentunya ada biakan *B. bassiana* atau *M. anisopliae* lainnya, baik dari isolat lokal maupun introduksi, yang juga efektif ketika digunakan sebagai JPS hama PBKo.

Sebagaimana diketahui, jamur *Trichoderma* sp. merupakan antagonis dari jamur *Fusarium* sp. *Trichoderma* sp. yang diisolasi dari rhizosfer tanaman kopi di kawasan Kubu Raya-Kalimantan Barat (KR-KB) dan kemudian diinokulasikan pada biakan *Fusarium* sp. dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan miselia *Fusarium* sp. secara signifikan (Safitri dkk., 2022). Dengan kata lain, jamur *Trichoderma* sp. isolat KR-KB memiliki daya antagonistik terhadap jamur *Fusarium* sp. Kalimantan Barat. Isolat-isolat jamur *Trichoderma* sp. lainnya perlu ditemukan dan ditentukan daya antagonistiknya terhadap jamur *Fusarium* sp.

1.4 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jamur *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium* spp, dan
2. Jamur *Beauveria* sp. dan *Metarhizium* sp. mampu menginduksi mortalitas hama PBKo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kopi

Beraneka jenis tanaman kopi tergolong ke dalam genus *Coffea* (WIKIPEDIA, 2023a; Tabel 1). *Coffea* spp. terdiri atas 120 spesies; dua spesies di antaranya memiliki nilai ekonomi yang sangat tinggi dan dikembangkan secara komersial, yaitu *Coffea arabica* Linneaus (kopi arabika) dan *Coffea canephora* Louis Pierre (kopi robusta). Di Indonesia, budidaya dan produksi tanaman kopi arabika lebih dominan di Provinsi Aceh, Sumatra Utara, dan Lampung; sedangkan kopi robusta lebih dominan di Provinsi Bengkulu, Sumatra Selatan, dan Jawa Timur (Kahpi, 2017; Mahyuda, 2018; Ginting, 2023; Syakir dan Surmaini, 2017).

Tabel 1 Klasifikasi tanaman kopi

Peringkat	Taksa
Kerajaan	Plantae
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Magnoliopsida
Ordo	Gentianales
Famili	Rubiaceae
Genus	Coffea

2.2 Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) Kopi

Hama dan penyebab penyakit merupakan OPT penting pada tanaman kopi. Hama yang paling merusak tanaman kopi adalah penggerek buah kopi (PBKo), *H. hampei* (Apriyanto dan Nadrawati, 2019; Isnawati dkk., 2014; Sudarsono dkk., 2020; Kalshoven, 1981; Langkai dkk., 2023; Swibawa dkk., 2013; Nadiawati, 2023; Supriyatdi dkk., 2019; Toligaga, 2024).

Serangan hama PBKo dapat mengakibatkan kehilangan hasil kopi sebesar 25 sampai dengan 95% (Mendesil dkk., 2003). Serangan hama PBKo akan mengakibatkan kerusakan yang lebih parah jika diikuti oleh *Fusarium* spp. (Link), penyebab penyakit busuk buah kopi (Toligaga, 2024).

2.3 Penggerek Buah Kopi (PBKo)

Nama spesies hama penggerek buah kopi (PBKo) ialah *Hypothenemus hampei* Ferrari. Sinonim-sinonim *H. hampei* adalah *H. coffeae*, *Stephanoderes hampei*, *S. coffeae* Hagedorn, *S. punctatus* Eggers, *Xyleborus coffeicola*, *X. coffeivorus*, dan *Cryphalus hampei* (Johnson dkk., 2020). *H. hampei* tergolong ke dalam subfamili Scolytinae, Famili Curculionidae, dan Ordo Coleoptera (EPPO; 2024; Kalshoven, 1981; Johnson dkk., 2020; Marino dkk., 2017; WIKIPEDIA, 2023b)

PBKo (*H. hampei*) merupakan kumbang scolytin berukuran kecil dan berwarna kehitaman. Imago betina PBKo sedikit lebih besar ukurannya daripada imago jantan (betina = 1,4 – 1,8 mm; jantan = 1,2 – 1,6 mm) (Kalshoven 1981; Johnson dkk., 2022). Kepala PBKo hipognatus dengan alat mulut menggigit-mengunyah, mata majemuk emarginat, dan antena kapitat (funikulus = 4-5 ruas; clava menggada = 3 ruas; berseptum parsial) (Alba-Alejandre dkk., 2019; Johnson dkk., 2022). Pronotum membesar dan berseta; cakram pronotum punktat; margin frontal dan punggung pronotum dengan asperitas. Setae pada pronotum tidak tersusun rapi. Mesotoraks mencerk dengan elytra berseta; setae strial dan inter-strial tersusun rapi dalam lajur-lajur antero-posterior. Metanotum kompleks (Vega dkk., 2015); terdiri atas metascutum, metascutellum, dan post-metascutellum dengan sayap belakang menyelaput-terlipat di bawah elytra; sayap belakang jantan berspina. Tungkai depan berdekatan dengan tungkai tengah tetapi tungkai tengah berjauhan dengan tungkai belakang. Abdomen jantan 8 ruas; abdomen betina 7 ruas (Alba-Alejandre dkk., 2019).

Aristizabal dkk. (2018) melaporkan siklus hidup PBKo. Imago betina menggerek buah kopi yang sudah berbiji dan meletakkan telur-telurnya di liang gerak pada biji/endosperma buah tersebut. Periode pra-oviposisi, yaitu waktu sejak PBKo

mulai menggerek buah sampai saat mulai bertelur, 3- 7 hari. Periode oviposisi 15-25 hari. Dalam periode oviposisi, PBKo betina meletakkan 1-3 butir telur per hari. Periode inkubasi telur = 7-12 hari. Telur menetas dan larva yang keluar dari telur memakan endosperma di area penetasan di liang gerek. Larva tumbuh dan berkembang; periode larva = 15–20 hari (jantan) dan 19 – 25 hari (betina). Setelah itu larva-larva berpupa; periode pupa = 2–3 hari (jantan) dan 6–8 hari (betina). Pupa-pupa kemudian bermetamorfosis menjadi imago. Imago-imago PBKo generasi baru siap berkawin dalam waktu 2-5 hari. Dengan demikian, satu siklus hidup PBKo berlangsung selama 25-65 hari.

2.4 *Fusarium* spp.

Berikut ini deskripsi jamur *Fusarium* spp. (Khan dkk., 2021; Barnett dan Hunter, 1998; Maryani dkk., 2019; Widiastuti dkk., 2020; Okungbowa dan Shittu, 2012). Secara alami jamur *Fusarium* menghuni tanah (*soil-borne fungi*) tetapi koloni jamur *Fusarium* spp. dapat ditumbuhkan secara *in-vitro* pada media atau *in-vivo* pada jaringan tanaman inang. Struktur vegetatif-nya berupa helaian benang-benang hifa atau miselia yang tumbuh dan berkembang pada media atau di dalam tubuh inangnya. Massa miselia permukaan (*aerial mycelium*) *Fusarium* spp. berupa gumpalan atau lembaran putih yang menghampar di permukaan media atau jaringan inangnya. Miselia permukaan ini berfungsi dalam sporulasi, kolonisasi, dan penyebaran *Fusarium*. Sporulasi atau konidiasi difasilitasi oleh badan-badan miselia konidiogenus (konidiofora, fialid, dan sporodokia).

Jamur *Fusarium* bereproduksi secara aseksual (Kerenyi dkk., 2004) menggunakan konidia (makrokonidia dan mikrokonidia). Konidia terbentuk pada fialid-fialid di ujung konidiofora. Massa fialid berkonidia ini menggabung dalam sporodokia (Henry dkk., 2023). Makrokonidia *Fusarium* berukuran relatif besar ($15-20 \times 2,0-3,5 \mu\text{m}$), septat (2-5 septa), dan berbentuk lengkung menyerupai perahu, atau bulan sabit (Ekwomadu and Mwanza, 2023), atau buah pisang (Nikitin dkk., 2023). Mikrokonidia oval, obovoid, reniform, atau ellipsoid (Trabelsi dkk., 2017), berukuran lebih kecil ($3,0-11 \times 1,5-3,5 \mu\text{m}$), dan pada umumnya aseptat (Chehri dkk., 2015).

Jamur *Fusarium* dapat menghasilkan spora resisten: kladospora (Ohara dkk., 2004). Kladospora globos dan berdinding tebal (Were dkk., 2023; Lestari dkk., 2021). Kladospora terbentuk dari makrokonidia ketika jamur ini stres, misalnya ketika tumbuh pada media yang defisien energi (Hsu dan Lockwood, 1972) atau media yang mengandung garam Na_2SO_4 (Huang dkk., 1983). Kladospora *Fusarium* resisten terhadap kekeringan tetapi rentan terhadap lingkungan yang lembab (Bennett, 2012).

Fusarium merupakan jamur anamorfik (Barnett dan Hunter, 1998; Geiser dkk., 2013). Fase teleomorfik *Fusarium* adalah *Nectria* (Rossman dkk., 2013; Nikitin dkk., 2023). Genus *Nectria* tergolong ke dalam Famili Nectriaceae, Ordo Hypocreales, Kelas Sordariomycetes, Divisi Ascomycota (Nikitin dkk., 2023). Lombard dkk. (2014) mengelompokkan genera pada Famili Nectriaceae ke dalam 18 klad: *Fusarium* di Klad IX dan *Nectria* di Klad XII. Pada sistem filogeni Lombard dkk. (2014) ini, *Fusarium* dan *Nectria* diidentifikasi sebagai dua entitas genera yang berbeda berdasarkan perbedaan sekuens DNA-nya. *Fusarium* se-grup dengan genera *Rectifusarium*, *Bisfusarium*, *Neocosmospora*, *Albonectria*, *Geejayessia*, dan *Cyanonectria* sedangkan *Nectria* se-grup dengan genus *Nalanthamala*.

Refai dkk. (2015) mendeskripsikan 116 spesies *Fusarium*; dua di antaranya ialah *F. oxysporum* Schltdl. dan *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg (Tabel 2). Sinonim dari *F. oxysporum* adalah *F. orthoceras*, *F. citrinum*, *F. angustum*, *F. lutulatum*, *F. bostrycoides*, dan *Diplosporium vaginae*. Adapun sinonim *F. proliferatum* adalah *Cephalosporium proliferatum*.

Tabel 2. Karakter morfologi konidia dan klamidospora *F. oxysporum* dan *F. proliferatum* (Refai dkk., 2015)

Karakteristik	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. proliferatum</i>
Makrokonidia: jumlah dan susunan	banyak, sporodokial	sedang, menasbih
Bentuk makrokonidia	agak lengkung	lengkung
Ukuran makrokonidia	pendek - sedang	sedang
Dinding makrokonidia	tipis	tipis
Septa makrokonidia	3	3 - 5
Bentuk mikrokonidia	oval, reniform, eliptik	menggada, piriform
Septa mikrokonidia	0	0
Warna sporodokia	oranye pucat	oranye pucat
Keberadaan klamidospora	banyak	0

Fusarium spp. dikenal luas sebagai jamur patogen tanaman (fitopatogen). Ketika menginfeksi tanaman, jamur *Fusarium* mensekresikan sejumlah mikotoksin, yaitu senyawa metabolit sekunder yang merusak jaringan dan/atau fungsi fisiologis tanaman sehingga tanaman menjadi sakit (Perincherry dkk., 2019). Beberapa senyawa mikotoksin *Fusarium* anti-tanaman yang telah diidentifikasi antara lain asam fusarat, deoxynivalenol, enniatin, fumonisin, fusarin, nivalenol, moniliformin, trichothecene, dan zearalenone (Martins dkk., 2001; Munkvold, 2017; Perincherry dkk., 2019). Tanaman sakit tersebut *Fusarium* menunjukkan gejala bercak daun, layu, busuk akar, busuk batang, atau busuk buah (Gullino dkk., 2015; Summerell dkk., 2011; Chang dkk., 2014; Zhang dkk., 2021; Zakaria, 2023).

Serangan *Fusarium* pada tanaman kopi menyebabkan terjadinya penyakit busuk buah kopi (*coffee fruit rot*, CFR) (Okungbowa and Shittu, 2012; Safitri dkk., 2022). Caldwell dkk. (2023) melaporkan terjadinya infeksi dan invasi jamur *Fusarium* spp. pada buah kopi yang sudah diserang terlebih dahulu oleh hama PBKo. Liang-liang gerakan hama PBKo pada buah kopi memfasilitasi masuknya propagul jamur *Fusarium* (makrokonidia, mikrokonidia, klamidospora, miselia) ke dalam buah kopi. Ada indikasi terjadinya hubungan simbiosis-mutualistik antara jamur *Fusarium* spp. dan hama PBKo (Morales-Ramos dkk., 2000).

2.5 *Trichoderma*

Trichoderma merupakan fase anamorfik dari *Hypocrea* (Zhu dan Zhang, 2015; Rossman dkk., 2013; Jaklitsch dkk., 2006). Genus *Hypocrea* tergolong dalam Famili Hypocreaceae, Ordo Hypocreales, Kelas Sordariomycetes, dan Divisi Ascomycota. Tipe spesies dari *Trichoderma* sp. adalah *T. viride* Pers. (Samuels dkk., 1999) sedangkan tipe spesies dari *Hypocrea* sp. adalah *H. rufa* (Pers.) Fr. (Jaklitsch dkk., 2006). Dengan demikian, *H. rufa* adalah sinonim dari *T. viride* (Zhu dan Zhuang, 2015). Bissett dkk. (2015) membuat daftar 254 spesies *Trichoderma* dunia.

Berikut ini deskripsi singkat jamur *Trichoderma* sp. (Samuels dkk., 1999; Jaklitsch dkk., 2011). Konidiofora hialin, bercabang, dan tidak vertisilat. Fialid-fialid tersusun satu-satu dalam alur di sepanjang konidiofora atau berhimpun di ujung konidiofora. Konidia ovoid, hialin, bersel tunggal, dan terhimpun dalam pak-pak di ujung fialid. Jamur *Trichoderma* sp. terbawa tanah dan saprofitik; beberapa spesies bersifat antagonistik terhadap jamur lainnya.

Jamur *Trichoderma* sp. diketahui bersifat antagonistik terhadap jamur patogen tanaman. Muhibbuddin dkk. (2021) melaporkan bahwa jamur *T. viride* secara *in-vitro* men-sekresikan senyawa alkaloid dan steroid yang aman bagi tanaman tetapi bersifat anti-jamur; menghambat pertumbuhan beberapa jamur patogen tanaman termasuk *Alternaria solani*, *F. oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, dan *Sclerotium rolfsii*. Jamur *Trichoderma* juga dilaporkan bersifat antagonistik terhadap jamur *Fusarium* penyebab penyakit tanaman kenaf (*Hibiscus cannabinus*), pisang (Suharjono dkk., 2004; Ivayani dkk., 2018), tomat (Osuinde dkk., 2002; Borrero dkk., 2011), mentimun (Lian dkk., 2023; Chen dkk., 2019), dan asparagus (Brizuela dkk., 2023). Isolat jamur *Trichoderma* sp. diperkirakan mampu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium*, penyebab penyakit busuk buah kopi (Safitri dkk., 2022).

2.6 *Beauveria* sp. dan *Metarhizium* sp.

Dalam sistem klasifikasi yang lama, genus *Beauveria* dan genus *Metarhizium* dipandang sebagai *Fungi Imperfecti* (= Jamur Tak-Sempurna; Divisi Deuteromycotina; Barnett dan Hunter, 1998); jamur-jamur ini berkembangbiak secara aseksual (anamorf). Fase seksualnya (teleomorf) jarang dibahas. Namun akhir-akhir ini fase teleomorf dari kedua genera itu sudah banyak diungkapkan. Selain itu, melalui studi-studi molekuler terbukti bahwa fase anamorf suatu genus-spesies memang berelasi kuat secara evolusioner dengan fase teleomorf-nya sehingga fase anamorf dan fase teleomorf ditempatkan pada pohon filogeni yang sama, meskipun pada cabang (klad) atau ranting yang berbeda. Dalam sistem klasifikasi yang baru, genus *Beauveria* dan genus *Metarhizium* digolongkan dalam Divisi Ascomycotina (Luyen dkk., 2019). Tipe spesies dari *Beauveria* adalah *B. bassiana* (Balsamo) Vuill (Kobmoo dkk., 2021) dan tipe spesies dari *Metarhizium* adalah *M. anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Rehner, 2020). *B. bassiana* merupakan anamorf dari *Cordyceps bassiana* (Sung dkk., 2006) sedangkan *M. anisopliae* merupakan anamorf dari *C. brittlebankisoides* (Liu dkk., 2001). Genus *Cordyceps* tergolong dalam Famili Clavicipitaceae, Ordo Hypocreales, Kelas Sordariomycetes, Divisi Ascomycotina (Luyen dkk., 2019).

Beauveria dan *Metarhizium* adalah dua grup jamur patogen serangga (JPS) atau jamur entomopatogen yang berperan sangat penting dalam pengendalian hama tanaman. Pengendalian hayati menggunakan sediaan jamur *Beauveria* atau *Metarhizium* diketahui efektif, menguntungkan, dan ramah lingkungan (Ibrahim dkk., 2021; Kurniawati dkk., 2021; Peng dkk., 2022; Wasuwan dkk., 2022; Bihal dkk., 2023). Penggunaan JPS ini juga kompatibel dengan aktivitas musuh alami (parasitoid atau predator) di ekosistem pertanian (Martinez-Barrera dkk., 2020; Koller dkk., 2023). Hama-hama penting tanaman atau serangga inang dari jamur *Beauveria* dan jamur *Metarhizium* ialah ulat grayak (Apirajkamol dkk., 2023; Loureiro dkk., 2020), hama wereng (Clifton dkk., 2018; Suryadi dkk., 2018), kutudaun (DOUNGKEAW, 1999; Sun dkk., 2023), kutuputih (Xia dkk., 2013; Anwar dkk., 2019), kutu dompolan (Al-Hedad dkk., 2017; Taupiq dkk., 2024), tirip (Ain dkk., 2021), dan kumbang (Kryukov dkk., 2021; Zemek dkk., 2021).

Ada indikasi bahwa jamur *Beauveria* atau jamur *Metarhizium* infeksiif dan efektif juga terhadap hama PBKo (Samuels dkk., 2006; Cure dkk., 2020; Hollingsworth dkk., 2020).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlangsung di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan dan Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung selama 271 hari. Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu 1) persiapan, 2) uji antagonistik *Trichoderma-Fusarium* dan 3) uji patogenisitas JPS-PBKo (jamur patogen serangga-penggerek buah kopi). Uji antagonistik *Trichoderma-Fusarium* berlangsung dari tanggal 24 Februari 2023 sampai dengan 9 September 2023. Uji patogenisitas JPS-PBKo berlangsung dari tanggal 2 September sampai dengan 21 November 2023.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat untuk tiga kegiatan itu tertera pada Tabel 3; termasuk lima isolat jamur yang digunakan (Tabel 4), yaitu *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., *Trichoderma* sp., *Fusarium oxysporum*, dan *F. proliferatum*. Sejumlah buah kopi tergerek hama PBKo dikoleksi dari pertanaman kopi di wilayah Air Naningan, Tanggamus-Lampung. Buah-buah kopi segar ini dibawa ke Laboratorium Ilmu Hama Tanaman, FP-Unila, untuk media pemeliharaan hama PBKo.

Tabel 3 Rincian bahan-bahan dan alat-alat penelitian

No.	Bahan	Alat
1	agar batangan	<i>aluminium foil</i>
2	air steril	<i>bunsen burner</i>
3	alkohol 70%	cawan petri
4	aquades	cawan petri
5	buah-buah kopi tergerek	drigalski
6	PBKo	<i>erlenmeyer</i>
7	<i>dextrose</i>	gelas beaker
8	isolat jamur <i>Beauveria</i> sp.	gelas ukur
9	isolat jamur <i>F. proliferatum</i>	<i>haemocytometer</i>
10	isolat jamur <i>F. oxysporum</i>	jarum ose
11	isolat jamur <i>Metarhizium</i> sp.	kaca preparat
12	isolat jamur <i>Trichoderma</i> sp.	kapas
13	larutan asam laktat	karet gelang
14	spiritus	korek api
16	<i>tween</i>	<i>laminar air flow</i> (LAF)
17	umbi kentang	<i>microwave</i>
18	-	mikropipet tip
19	-	mikroskop
20	-	nampan plastik
21	-	plastik tahan panas
22	-	plastik <i>wrap</i>
23	-	rak tabung reaksi
24	-	<i>rotamixer</i>
25	-	<i>showcase</i>
26	-	spidol
27	-	tabung reaksi
28	-	timbangan elektrik
29	-	tisu
30	-	kap plastik ukuran 35 ml

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahap awal disiapkan biakan murni untuk tiga grup jamur agens hayati (JAH), yaitu *Trichoderma* sp., *Beauveria* sp., dan *Metarhizium* sp. Biakan murni jamur *Trichoderma* sp. disiapkan untuk uji antagonistik *Trichoderma-Fusarium* sedangkan biakan murni *Beauveria* sp. dan *Metarhizium* sp. disiapkan untuk uji patogenisitas JPS-PBKo. Masing-masing JAH dibiakkan murni pada media PDA.

Aktivitas persiapan dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu pengamatan pertumbuhan JAH, penghitungan konidia JAH, dan pengamatan viabilitas konidia JAH.

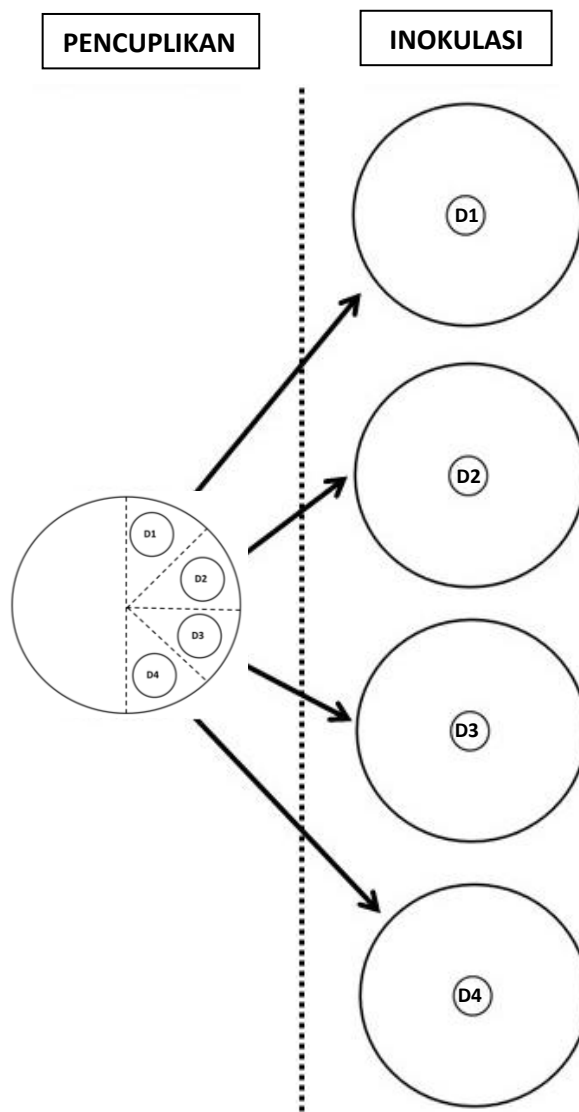
Tabel 4 Spesies-spesies jamur yang digunakan dalam uji efikasi JPS-PBKo dan uji antagonisme *Trichoderma-Fusarium*

No.	Kode Isolat [#]	Daerah asal	Tahun	Identitas jamur	Peranan
1.	Bv	Lembang	2022	<i>Beauveria</i> sp.	JPS
2.	Mt	Lembang	2022	<i>Metarhizium</i> sp.	JPS
3.	Tr	Lembang	2022	<i>Trichoderma</i> sp.	Antagonis
4.	4A	Sumatera Selatan	2020	<i>Fusarium oxysporum</i>	Patogen
5.	6A	Sumatera Selatan	2020	<i>Fusarium proliferatum</i>	Patogen

[#]Catatan: Jamur-jamur diisolasi dari rhizosfer tanaman kopi. JPS = jamur patogen serangga = jamur entomopatogen.

Pengamatan pertumbuhan JAH dilakukan dengan menghitung diameter koloninya. Dari masing-masing biakan murni JAH (berumur 3 hari pada media PDA) dilakukan pencuplikan menggunakan bor gabus steril (diameter 0,6 cm) pada empat lokasi sampel PDA (D1, D2, D3, D4; Gambar 1); kemudian masing-masing cuplikan diinokulasikan ke media PDA (biakan JAH). Biakan-biakan JAH diinkubasikan pada suhu ruangan (25°-30° C). Diameter koloni JAH pada biakan JAH diukur dan dicatat secara harian dari 1 hari setelah inokulasi (1 HSI) sampai dengan 7 HSI. Rata-rata diameter masing-masing JAH dibandingkan menggunakan uji BNJ pada taraf nyata 0,05 atau 0,01.

Sebagaimana pada umumnya jamur yang memproduksi konidia, JAH memproduksi konidia dalam jumlah tertentu yang besar. Banyaknya konidia JAH dinyatakan dalam satuan volume (mL) suspensi; oleh karena itu konidia JAH perlu disuspensikan terlebih dahulu sebelum dihitung. Suspensi JAH disiapkan dengan cara berikut ini. Sebanyak 10 mL larutan Tween 80 (konsentrasi 0,1%) dituangkan pada masing-masing biakan JAH dalam cawan petri. Konidianya dikeruk, dipisahkan, dan dihomogenkan dengan hati-hati menggunakan batang drigalski sehingga diperoleh suspensi propagul pekat JAH atau suspensi JAH pekat.

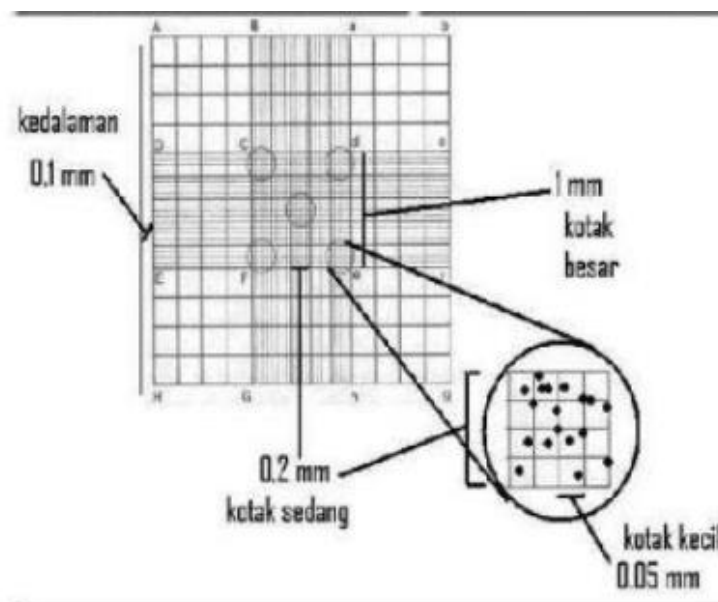


Gambar 1. Tahap-tahan penyiapan dan perbanyakan jamur agens hayati (JAH) untuk diamati pertumbuhannya. JAH dicuplik dari biakan murninya kemudian diinokulasikan pada media PDA (biakan JAH = kultur JAH) dengan empat ulangan.

Suspensi pekat JAH diencerkan sampai beberapa tingkat pengenceran. Sebanyak 1 mL suspensi JAH pekat diambil dan ditetaskan menggunakan mikropipet ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 mL air steril dan dihomogenkan sehingga diperoleh 10 mL suspensi JAH encer (dengan pengenceran tingkat pertama, 10^{-1}). Dengan kata lain, 10 mL suspensi JAH 10^{-1} diperoleh dengan mengambil 1 mL suspensi JAH pekat dan mengencerkannya ke dalam 9 mL air steril. Sebanyak 10

mL suspensi JAH 10^{-2} diperoleh dengan mengambil 1 mL suspensi JAH 10^{-1} dan mengencerkannya ke dalam 9 mL air steril. Dan seterusnya, 10 mL suspensi JAH 10^{-6} diperoleh dengan mengambil 1 mL suspensi JAH 10^{-5} dan mengencerkannya ke dalam 9 mL air steril.

Kerapatan konidia JAH dihitung menggunakan *haemocytometer* (Gambar 2). Sebanyak 2,5 μ L suspensi konidia JAH yang telah diencerkan hingga tingkat ditetaskan di atas *haemocytometer* di bawah mikroskop definisi-tinggi HD (Leica ICC50 HD dengan kamera; kabel USB 1,5 m; kabel HDMI 3 m; dan perangkat lunak Leica).



Gambar 2. Pengamatan kerapatan konidia JAH menggunakan Haemocytometer (Utami dkk., 2018). Perbesaran = 400x.

Kerapatan konidia JAH (= K) dihitung menggunakan rumus Ramli (2004, dalam Yogaswara dkk., 2020) sebagai berikut.

$$\frac{(a) (d) (10^6)}{(80) (0,25)}$$

Keterangan :

K = kerapatan konidia JAH (10^6 konidia / mL)

a = banyaknya konidia JAH dari 5 kotak sedang *haemacytometer* (0,2 mm)

d = tingkat pengenceran (10^{-2})

10^6 = konstanta

0,25 = konstanta

80 = banyaknya kotak kecil yang diamati pada haemocytometer (= 5×16).

Biakan JAH untuk diamati viabilitas kodinianya disiapkan dengan cara berikut.

Sebanyak 2,5 μ L suspensi konidia JAH (pengenceran 10^{-2}) diambil

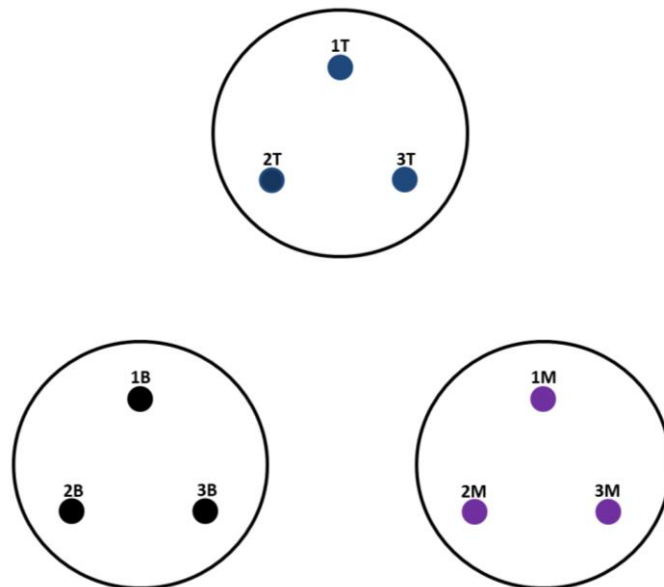
menggunakan mikropipet dan diteteskan ke permukaan media PDA pada tiga

lokasi (ulangan 1, ulangan 2, ulangan 3) pada cawan petri (Gambar 3). Biakan-

biakan JAH itu kemudian diinkubasikan pada suhu ruangan (25° - 30° C).

Viabilitas konidia yang dihasilkan diamati viabilitasnya 4 jam sekali (4 JSI).

Sejumlah konidia JAH dinyatakan viabel yang sudah 100% berkecambah ketika diamati.



Gambar 3. Inokulasi suspensi JAH di media PDA (1 = ulangan 1, 2 = ulangan 2, 3 = ulangan 3; T = *Trichoderma* sp., B = *Beauveria* sp., M = *Metarhizium* sp.).

3.3.1 Uji Antagonistik *Trichoderma-Fusarium*

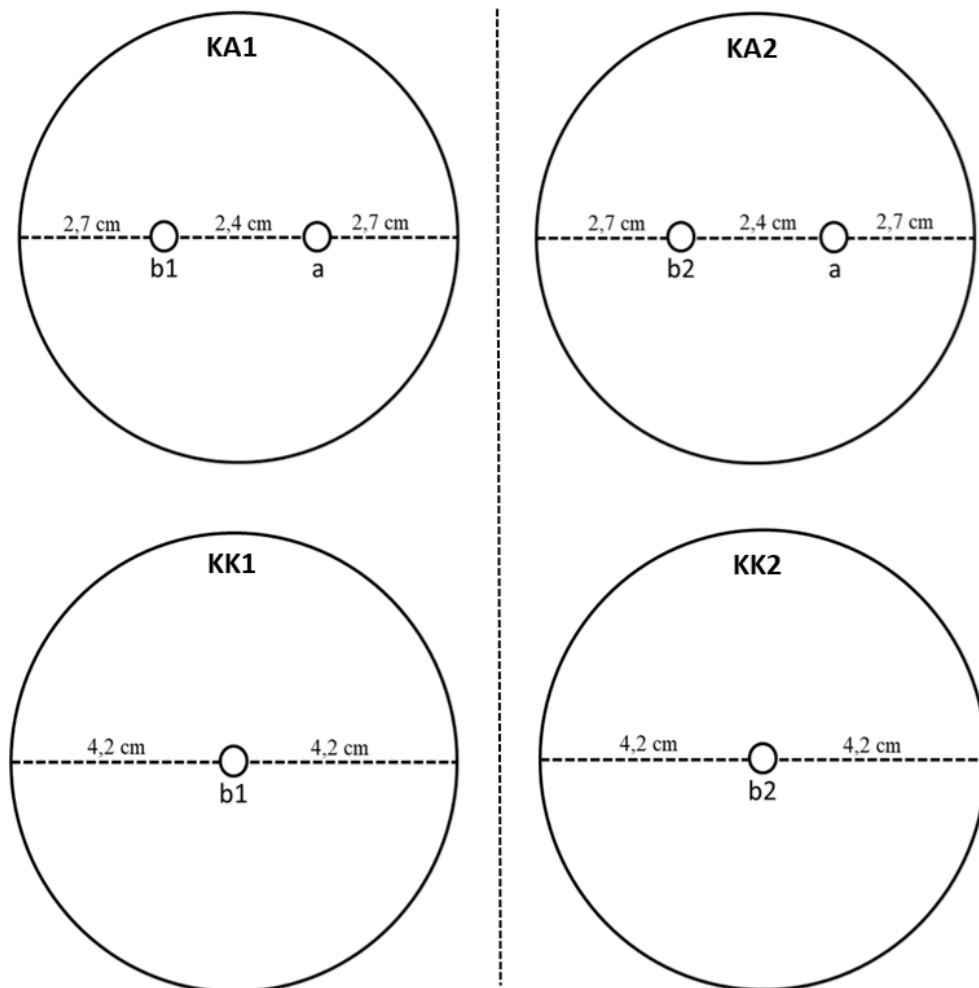
Fenomena antagonisme *Trichoderma-Fusarium* (efek antagonsistik jamur *Trichoderma* sp. terhadap jamur *Fusarium* spp.) diuji menggunakan metode dua biakan (*dual-culture*) PDA (Gambar 4), yaitu kultur-antagonistik (KA) dan kultur-kontrol (KK). Maksudnya, KK dan KA bukan merupakan dua perlakuan yang diuji-bandingkan (sebagai KK *versus* KA) melainkan merupakan satu perlakuan (KK-KA) yang menghasilkan satu respons, yaitu persentase daya hambat pertumbuhan P (rumus P di bawah ini). Respons P1 dari KK1-KA1 ini yang diuji-bandingkan dengan P2 (dari KK2-KA2), P3, dan seterusnya.

Cuplikan jamur *Fusarium* spp. diinokulasikan bersama dengan cuplikan jamur *Trichoderma* sp. dalam satu kultur KA. Jamur *Fusarium* spp. dan jamur *Trichoderma* dicuplik dari biakan murninya (diameter 0,6 cm; 3 HSI) kemudian cuplikan ini diinokulasikan di permukaan media PDA di sepanjang garis tengah cawan petri dengan jarak 2,4 cm. Cuplikan jamur *F. oxysporum* (b1) dan cuplikan jamur *Trichoderma* (a) dibiakkan bersama pada kultur-antagonistik pertama (KA1 = KA *Trichoderma* - *F. oxysporum*). Cuplikan jamur *F. proliferatum* (b2) dan cuplikan jamur *Trichoderma* (a) dibiakkan bersama pada KA2 (= KA *Trichoderma* - *F. proliferatum*).

Kultur-kontrol (KK) disiapkan sebagai pasangan dari KA. Pada KK1 (= KK *F. oxysporum*), cuplikan jamur *F. oxysporum* diinokulasikan dan dibiakkan pada media PDA tanpa jamur *Trichoderma*. Pada KK2 (KK *F. proliferatum*), cuplikan jamur *F. proliferatum* diinokulasikan dan dibiakkan pada media PDA tanpa jamur *Trichoderma*. Kultur KK1-KA1 dan KK2-KA2, masing-masing disiapkan dengan 5 ulangan dan diinkubasikan pada suhu ruangan (25-30° C).

Kemudian dilakukan pengukuran diameter koloni jamur *Fusarium*, baik yang berada di kultur kontrol (KK, d1) maupun di kultur antagonis (KA, d2). Diameter koloni jamur *F. oxysporum* pada KA1 diberi notasi d2 *F. oxysporum*; diameter koloni jamur *F. oxysporum* pada KK1 dilabeli d1 *F. oxysporum*. Diameter koloni jamur *F. proliferatum* pada KA2 diberi notasi d2 *F. proliferatum* dan diameter jamur *F. proliferatum* pada KK2 dilabeli d1 *F. proliferatum*. Setelah dilabeli,

diameter-diameter koloni jamur *Fusarium* itu diukur dan dicatat. Kultur KK1-KA1 dan KK2-KA2 masing-masing disiapkan dalam 4 ulangan. Pencatatan nilai d1 dan d2 dilakukan secara harian (dari 1 HSI sampai dengan 7 HSI).



Gambar 4. Dua kultur-antagonistik (KA-1 dan KA-2) *Trichoderma-Fusarium* dan dua kultur-kontrol (KK-1 dan KK-2) *Fusarium* spp. (a = cuplikan jamur *Trichoderma* sp., b1 = cuplikan jamur *F. oxysporum*, b2 = cuplikan jamur *F. proliferatum*).

Efek antagonistik atau efek penghambatan tumbuh jamur *Fusarium* spp. oleh jamur *Trichoderma* dihitung dalam persen (P, %) sebagai berikut.

$$P = \frac{(d1 - d2)}{d1} \times 100$$

Keterangan:

d1 = diameter koloni jamur *Fusarium* spp. pada kultur kontrol (KK, cm)

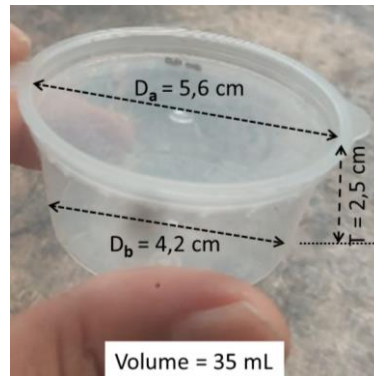
d2 = diameter koloni jamur *Fusarium* spp. pada kultur antagonis (KA, cm)

Data rata-rata penghambatan (P) harian dianalisis dengan dua cara, yaitu Uji t satu-arah dan Uji Duncan. Uji t satu-arah dilakukan per HSI; pada uji ini, P pada suatu HSI dinyatakan signifikans apabila nilai rata-ratanya lebih dari nol ($H_0: \mu P = 0$; $H_1: \mu P > 0$). Pada Uji Duncan, nilai rata-rata P diurutkan dari 1 HSI hingga 7 HSI; kemudian selisih dari dua nilai rata-ratanya (ΔP konsekutif) dibandingkan dengan nilai kritis Duncan. Daya hambat atau efek antagonistik P pada suatu HSI dinyatakan meningkat apabila nilai rata-rata P pada HSI itu lebih besar daripada nilai rata-rata P pada HSI sebelumnya (ΔP konsekutif > nilai kritis Duncan). Uji t satu-arah dan Uji Duncan menggunakan taraf nyata 0,05 atau 0,01.

Pembandingan antara diameter koloni *Fusarium* kontrol (d1) versus koloni *Fusarium* spp. dengan perlakuan *Trichoderma* dan *Fusarium* spp. dengan taraf 0,05 atau 0,01.

3.3.1 Uji Patogenisitas JPS-PBKo

Sejumlah individu hama penggerek buah kopi (PBKo, *H. hampei*) dikoleksi dari lapangan dan dipelihara di laboratorium. Koleksi buah-buah kopi terserang hama PBKo dilakukan di lahan kopi rakyat di Pekon Airnaningan, Kecamatan Airnaningan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Hama PBKo yang terkoleksi kemudian dipelihara pada kap-kap plastik bening berpenutup (Gambar 5) dan diperbanyak di Laboratorium Ilmu Hama Tanaman, Fakultas Pertanian-Universitas Lampung.



Gambar 5. Kap plastik pemeliharaan hama PBKo (D_a = diameter atas = diameter tutup, D_b = diameter alas, T = tinggi).

Biakan murni JPS pada 7 HSI dipanen konidianya dan konidia itu disuspensikan. Biakan murni jamur *Beauveria* sp. dan jamur *Metarhizium* sp. masing-masing dituangi 10 mL larutan Tween 80 (0,1%). Kemudian konidianya dikeruk dan disuspensikan dengan hati-hati menggunakan batang drigalski agar media tidak terangkat atau terikut dalam suspensi. Suspensi yang terbentuk merupakan suspensi pekat konidia jamur *Beauveria* sp. dan jamur *Metarhizium* sp.

Uji patogenisitas JPS-PBKo dilakukan menggunakan tiga perlakuan termasuk kontrol, yaitu *Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., dan kontrol. Pada perlakuan *Beauveria* sp., 15 ekor imago hama PBKo diambil dari stoples pemeliharaan, kemudian dicelupkan di suspensi pekat konidia jamur *Beauveria* sp. dan dibasahkan di sana selama 1 menit. Pada perlakuan *Metarhizium* sp., 15 ekor hama PBKo berikutnya dicelupkan juga di suspensi pekat konidia *Metarhizium* sp., juga selama 1 menit. Hama PBKo yang sudah tercelup suspensi jamur *Beauveria* sp. atau jamur *Metarhizium* sp. itu diangkat kemudian dipelihara di dalam stoples-stoples (Gambar 5); masing-masing stoples berisi 5 butir buah kopi segar sebagai pakan hama PBKo. Hama PBKo (15 ekor imago) pada perlakuan kontrol tidak dicelupkan di suspensi konidia jamur *Beauveria* sp. atau *Metarhizium* sp. melainkan langsung diletakkan di dalam stoples pemeliharaan berisi 5 butir buah kopi segar.

Infektivitas harian hama PBKo (*H. hampei*) didatakan dari hari ke-1 (1 HSA) sampai dengan hari ke-7 setelah aplikasi (7 HSA). Individu-individu hama PBKo yang mati pada hari-hari pengamatan dipisahkan dan diletakkan ke dalam cawan petri khusus yang dilapisi tisu lembab dan diinkubasikan pada suhu ruangan (25° - 37° C).

Infektivitas hama PBKo (M) dinyatakan dengan persen (%) dan dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$M = \frac{\text{Jumlah hama PBKo uji yang mati}}{15} \times 100\%$$

Uji infektivitas dilaksanakan dengan 5 ulangan. Data M diuji homogenitas dan aditivitasnya. Kemudian perbedaan M antar-HSA dianalisis dengan sidik ragam (ANARA). Uji pasca-ANARA menggunakan uji Duncan pada taraf 0,05 atau 0,01.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jamur *Trichoderma* berefek antagonistik terhadap pertumbuhan koloni jamur *Fusarium* spp. Rata-rata daya hambat jamur *Trichoderma* terhadap pertumbuhan jamur *F. oxysporum* dan *F. proliferatum* berturut-turut adalah $P = (75,5 \pm 1,5) \%$ dan $P = (74,2 \pm 1,1) \%$, dan
2. Jamur *Beauveria* dan *Metarhizium* mampu menginfeksi dan menyebabkan infektivitas hama PBKo. Rata-rata infektivitas hama PBKo akibat *Beauveria* dan *Metarhizium* berturut-turut adalah $B = (94,7 \pm 3,9) \%$ dan $M = (73,3 \pm 5,6) \%$.

5.2 Saran

1. Diperlukan studi lanjutan dalam hal identifikasi dan taksonomi JAH (*Beauveria* sp., *Metarhizium* sp., dan *Trichoderma* sp.), baik secara molekuler maupun secara morfologi, dan
2. Diperlukan studi lanjutan dalam mengukur hubungan antara mortalitas hama PBKo dan konsentrasi suspensi jamur *Beauveria* dan antara mortalitas hama PBKo dan konsentrasi suspensi jamur *Metarhizium*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain, Q., Mohsin, A. U., Naeem, M., dan Shabbir, G. 2021. Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, on *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) populations in different onion cultivars. *J. Biological Pest Control*. 31 (97): 1-8.
- Alba-Alejandre, I. A., Tercedor, J. A., dan Vega, F. E. 2019. Anatomical study of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) using micro-computed tomography. *Scientific Reports*. 9 (17150): 1-17.
- Al-hedad, A. S. A., Dewan, M. M., dan Al-rubaei, H. M. 2017. Biological control of mealybug (*Brevinnia rehi*) on rice by *Metarhizium anisopliae* fungus in Iraq. *International J. Scientific dan Engineering Research*. 8 (12): 385-396.
- Anwar, W., Javed, M. A., Shahid, A. A., Nawaz, K., Akhter, A., Rehman, M. Z. U., Hameed, U., Iftikhar, S., dan Haider, S. 2019. Chitinase genes from *Metarhizium anisopliae* for the control of whitefly in cotton. *Royal Society open Science*. 6 (190412): 1-12.
- Apirajkamol, N. B., Hogarty, T. M., Mainali, B., Taylor, P. W., Walsh, T. K., dan Tay, W. K. 2023. Virulence of *Beauveria* sp. and *Metarhizium* sp. fungi towards fall armyworm (Spodoptera frugiperda). *Archives of Microbiology*. 205 (328): 1-21.
- Apriyanto, D. dan Nadrawati. 2019. Laboratory evaluation of Bengkulu isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, using spraying method. *J. HPT Tropika*. 19 (2): 93-100.
- Aristizabal, L. F., Bustillo, A. E., dan Arthurs, S. P. 2018. Controlling the coffee berry borer through integrated pest management: A practical manual for coffee growers and field workers in Hawaii. *Kailua-Kona, Hawaii (USA)*, 79 pp.
- Barnett, H. L. dan Hunter, B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4th ed. APS Press. The American phytopathological society, St. Paul. Minnesota. 240 hlm. ISBN 10: 0890541922 dan ISBN 13: 9780890541920.

- Bennett, R. S. 2012. Survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Chlamydospores under solarization temperatures. *Plant Disease*. 96 (10): 1564-1568.
- Bihal, R., Khayri, J. M. A., Banu, A. N., Kudesia, N., Ahmed, F. K., Sarkar, R., Arora, A., dan Elsalam, K. A. A. 2023. Entomopathogenic fungi: an eco-friendly synthesis of sustainable nanoparticles and their nanopesticide properties. *Microorganisms*. 11 (1617): 1-24.
- Bisset, J., Gams, W., Jaklitsch, W., dan Samuels, G. J. 2015. Accepted *Trichoderma* names in the year 2015. *International Mycological Association Fungus*. 6(2): 263-295.
- Borrero, C., Trillas, M. I., Delgado, A., dan Aviles, M. 2011. Effect of ammonium/nitrate ratio in nutrient solution on control of *Fusarium* wilt of tomato by *Trichoderma asperellum* T34. *Plant Pathology*. 61: 132-139.
- BPS. 2022. *Statistik Kopi Indonesia*. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia.
- Brizuela, A. M., Galvez, L., Arroyo, J. M., Sanchez, S., dan Palmero, D. 2023. Evaluation of *Trichoderma* spp. on *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi* and *Fusarium* wilt control in asparagus crop. *J. Plants*. 12 (2846): 1-12.
- Caldwell, M. Y., Marino, Y. A., Medina, A. G., Serrato-diaz, L. M., dan Bayman, P. 2023. Coffee fruit rot in Puerto Rico: distribution, ecology and associated fungi. *European J. Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02781-1>.
- Chang, K. F., Conner, R. L., Hwang, S. F., Ahmed, H. U., McLaren, D. L., Gossen, B. D., dan Turnbull, G. D. 2014. Effects of seed treatments and inoculum density of *Fusarium avenaceum* and *Rhizoctonia solani* on seedling blight and root rot of faba bean. *Canadian J. Plant Science*. 94: 693-700.
- Chehri, K., Salleh, B., dan Zakaria, L. 2015. Morphological and phylogenetic analysis of *Fusarium solani* species complex in Malaysia. *Microbial Ecology* 69: 457-471.
- Chen, S., Ren, J., Zhao, H., Wang, X., Wang, T., Jin, S., Wang, Z., Li, C., Liu, A., Lin, X., dan Ahammed, G. J. 2019. *Trichoderma harzianum* improves defense against *Fusarium oxysporum* by regulating ROS and RNS metabolism, redox balance, and energy flow in cucumber roots. *Phytopathology*. 109: 972-982.

- Clifton, E. H., Jaronski, S. T., Coates, B. S., Hodgson, E. W., dan Gassmann, A. J. 2018. Effects of endophytic entomopathogenic fungi on soybean aphid and identification of *Metarhizium* isolates from agricultural fields. *PLOS ONE*. 10 (1371): 1-19.
- Cure, J. R., Rodríguez, D., Gutierrez, A. P., dan Ponti, L. 2020. The coffee agroecosystem: bio-economic analysis of coffee berry borer control (*Hypothenemus hampei*). *Scientific Reports*. 10 (12262): 1-12.
- Doungkeaw, N. 1999. Pathogenicity of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin against the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas), on tomato plants. M.Sc. Thesis, Graduate School-University of Tennessee, Knoxville. 62 pp.
- Ekwomadu, T. I. dan Mwanza, M. 2023. *Fusarium* fungi pathogens, identification, adverse effects, disease management, and global food security: A review of the latest research. *J. Agriculture*. 13 (1810): 1-20.
- Eppo. 2024. Eppo global database *Hypothenemus hampei*. [Hypothenemus hampei \(STEHHA\)\[Overview\] | EPPO Global Database](#)
- Geiser, D. M., Aoki, T., Bacon, C. W., Baker, S. W., Bhattacharyya, M. K., Brandt, M. E., Brown, D. W., Burgess, L. W., Chulze, S., Coleman, J. J., Correll, J. C., Covert, S. F., Crous, P. W., Cuomo, C. A., Hoog, G. S. D., Pietro, A. D., Elmer, W. H., Epstein, L., Frandsen, R. J. N., Freeman, S., Gagkaeva, T., Glenn, A. E., Gordon, T. R., Gregory, N. F., Kosack, K. E. H., Hanson, L. E., Gasco, M. M. J., Kang, S., Kistler, H. C., Kuldau, G. A., Leslie, J. F., Logrieco, A., Lu, G., Lysoe, E., Ma, L., Cormick, S. P. M., Migheli, Q., Moretti, A., Munaut, F., Donnell, K. O., Pfenning, L., Ploetz, R. C., Proctor, R. H., Rehner, S. A., Robert, V. A. R. G., Rooney, A. P., Salleh, B., Scandiani, M. M., Scauflaire, J., Short, D. P. G., Steenkamp, E., Suga, H., Summerell, B. A., Sutton, D. A., Thrane, U., Trail, F., Diepeningen, A. V., Etten, H. D., Viljoen, A., Waalwijk, C., Ward, T. J., Wingfield, M. J., Xu, J. R., Yang, X. B., Mattila, T. Y., dan Zang, N. 2013. One fungus, one name: defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstanding use. *Phytopathology*. 103 (5): 400-408.
- Ginting, A. P., Satia, N. L., dan Chalil, D. 2023. Strategi pengembangan ekspor kopi arabika di Sumatera utara, Indonesia. *J. Agricultural*. 6 (1):188-200.
- Ginting, S., Santoso, T., dan Harahap, I. S. 2013. Patogenisitas beberapa isolat cendawan entomopatogen terhadap *Coptotermes curvignathus* holmgren dan *Schedorhinotermes javanicus* Kemmer. *J. Agrotek Tropika*. 2 (1): 1-5.

- Gullino, M. L., Daughtrey, M. L., Garibaldi, A., dan Elmer, W. H. 2015. *Fusarium* wilts of ornamental crops and their management. *Crop Protection*. Vol. 73: 1-10.
- Henry, P. M., Ermita, C. J. L., Goldman, P., Jaime, J., dan Ramos, G. 2023. Sporodochia formed by *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* produce airborne conidia and are ubiquitous on diseased strawberry plants in california. *Phytopathology*. 113 (8): 1399-1404.
- Hollingsworth, R. G., Aristizabal, L. F. Shriner, S., Mascarin, G. M., Moral, R. A., dan Arthurs, S. P. 2020. Incorporating *Beauveria bassiana* into an integrated pest management plan for coffee berry borer in Hawaii. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4 (22): 1-10.
- Hsu, S. C. dan Lockwood. J. L. 1972. Chlamydospore formation in in sterile salt solutions. *J. Phytopathology*. 63 (1). 597-602.
- Huang, J., Sun, S., dan Ko, W. 1983. A medium for chlamydospore formation in *Fusarium*. *Ann. Japanese J. Phytopathology*. 49 (5): 704-708.
- Ibrahim, E., Firmansyah, F., dan Panikkai, S. 2021. The effectiveness of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in controlling the green leaf hopper (*Nephotettix virescens*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 911 (012061): 1-7.
- Independent observer. 2024. USDA: Indonesia 3rd largest Coffee producing in the world. <https://observerid.com/usda-indonesia-3rd-largest-coffee-producing-in-the-world/>.
- Isnawati, Ambarwati, R., dan Utami, R. S. 2014. Eksplorasi dan karakterisasi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* dari Kabupaten Malang dan Magetan. *J. Lenterabio*. 3 (1): 59-66.
- Ivayani., Ginting, C., Yusnita., dan Dirmawati, S. R. 2018. Effectiveness of the application of organic matter and *Trichoderma viride* from suppressive soil to control *Fusarium* wilt on banana plant. *J. HPT Tropika*. 18 (2). 119-126.
- Jaklitsch, W. M. 2011. European species of hypocrea part II: species with hyaline ascospores. *Fungal Diversity*. 48: 1-250.
- Jaklitsch, W. M., Samuels, G. J., Dodd, S. L., Lu, B. S., dan Druzhinina, I. S. 2006. *Hypocrea rufa/Trichoderma viride*: a reassessment, and description of five closely related species with and without warted conidia. *Studies in Mycology*. 55: 135-177.
- Johnson, A., LeMay, G., dan Hulc, J. 2022. Identification of coffee berry borer from similar bark beetles in southeast asia and oceania. *UF/IFAS*. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/FR447>.

- Johnson, M. A., Diaz, C. P. R., Manoukis, N. C., dan Rodrigues, J. C. V. 2020. Coffee berry Borer (*Hypothenemus hampei*), a global pest of coffee: perspectives from historical and recent invasions, and future priorities. *J. Insects*. 11 (882): 1-35.
- Kahpi, A. 2017. Budidaya dan produksi kopi di Sulawesi bagian selatan pada abad ke-19. *J. Cultural Sciences*. 12 (1): 13-26.
- Kalshoven, L. G. E. 1981. *The pests of crops in in Indonesia*. Rev. P. A. van der Laan. PT Ihtiar Baru-van Hoeve, Jakarta. 701 hlm.
- Kerenyi, Z., Moretti, A., Waalwijk, C., Olah, B., dan Hornok, L. 2004. Mating type sequences in asexually reproducing *Fusarium* species. *Applied and Enviromental Microbiology*. 70 (8): 4419-4423.
- Khan, M. A., Khan, S. A., Waheed, U., Raheel, M., Khan, Z., Alrefaei, A. F., dan Alkhamis, H. H. 2021. Morphological and genetic characterization of *Fusarium oxysporum* and its management using weed extracts in cotton. *J. King Saud University*. 33: 1-7.
- Kobmoo, N., Arnamnart, N., Pootakham, W., Sonthirod, C., Khonsanit, A., Kuephadungphan, W., Suntivich, R., Mosunova, O. V., Giraud, T., dan Luangsa-ard, J. J. 2021. The integrative taxonomy of *Beauveria asiatica* and *Beauveria bassiana* species complexes with whole-genome sequencing, morphometric and chemical analyses. *Persoonia*. 47: 136-150.
- Koller, J., Sutter, L., Gonthier, J., Collatz, J., dan Norgrove, L. 2023. Entomopathogens and parasitoids allied in biocontrol: a systematic review. *J. Pathogens*. 12 (957): 1-17.
- Kryukov, V. Y., Rotskaya, U., Yaroslavtseva, O., Polenogova, O., Kryukova, N., Akhaneaev, Y., Krivopalov, A., Alikina, T., Vorontsova, Y. L., Slepneva, I., Kabilov, M., dan Glupov, V. V. 2021. Fungus *Metarhizium robertsii* and neurotoxic insecticide affect gut immunity and microbiota in colorado potato beetles. *Scientific Reports*. 11 (1299): 1-13.
- Kurniawati, S., Susilawati, P. N., Astuti, Y., Susanti, E. Y., dan Hidayat, Y. S. 2021. Entomopathogen *Beauveria bassiana* as an environmentally friendly alternative for control of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) and rice black bug (*Scotinophara coarctata*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 807 (022100): 1-8.
- Langkai, H., Rimbing, J., dan Wanta, N. N. 2023. Prensentase serangan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr) (Coleoptera: Curculionidae) pada pertanaman kopi robusta (*Coffe canephora*) plantations in sumber rejo village, modayag district. *J. Entomologi dan Fitologi*. 3 (1): 1-9.

- Lestari, A., Henri., Sari, E., dan Wahyuni, T. 2021. Microscopic characterization of *Fusarium* sp. associated with yellow disease of pepper (*Piper nigrum* L.) in south bangka regency. *J. Agrosains (J. Agro Science)*. 9 (1): 1-9.
- Lian, H., Li, R., Ma, G., Zhao, Z., Zhang, T., dan Li, L. 2023. The effect of *Trichoderma harzianum* agents on physiological-biochemical characteristics of cucumber and the control effect against *Fusarium* wilt. *Scientific Reports*. 13 (17606): 1-14.
- Liu, Z. Y., Liang, Z. O., Whalley, A. J. S., Yao, Y. J., and Liu, A. Y. 2001. Note: *Cordyceps brittlebankisoides*, a new pathogen of grubs and its anamorph, *Metarhizium anisopliae* var. majus. *J. Invertebrate Pathology. Pathol.* (78): 178-182.
- Lombard, L., Merwe, N. A., Groenewald, J. Z., dan Crous, P. W. 2014. Generic concepts in *Nectriaceae*. *Studies in Mycology*. 80: 189-245.
- Loureiro, E. S., Tosta, R. A. S., Dias, P. M., Pessoa, L. G. A., Neto, F. M. O., Devoz, G. L. R., dan Muchalak, F. 2020. Performance of *Metarhizium rileyi* applied on *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS*. 7 (1): 60-65.
- Luyen, V. T., Thuan, L. D., Hiep, D. M., dan Nguyen, T. B. 2019. Clasification of cordyceps and related fungi – a review. *Ho Chi Minh City Open University J. of Science*. 6 (1): 29-34.
- Mahyuda, Amanah, S., dan Tjitropranoto, P. 2018. Tingkat adopsi good agricultural practices budidaya kopi arabika gayo oleh petani di Kabupaten Aceh Tengah. *J. Penyuluh*. 14 (2): 308-323.
- Marino, Y. A., Vega, V. J., Garcia, J. M., Rodrigues, J. C.V., Garcia, N. M., dan Bayman, P. 2017. The coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico: distribution, infestation, and population per fruit. *J. Insect Science*. 17 (2): 1-8.
- Martina, A., Safitri, N., dan Roza, R. M. 2019. Uji antagonis cendawan isolat lokal riau terhadap beberapa cendawan patogen pada tanaman budidaya. *J. Biologi*. 12 (2): 124-132.
- Martínez-Barrera, O. Y., Toledo, J., Cancino, J., Liedo, P., Gómez, J., Valle-Mora, J., dan Montoya, P. 2020. Interaction between *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) and *Coptera haywardi* (Hymenoptera: Diapriidae) for the management of *anastrepha obliqua* (Diptera: Tephritidae). *J. Insect Science*. 20 (2): 1-10.

- Martins, M. L., Martins, H. M., dan Bernardo, F. 2001. Fumonisin B1 and B2 in black tea and medicinal plants. *J. Food Protection*. 64 (8): 1268-1270.
- Maryani, N., Denis, M. S., Lombard, L., Crous, P. W., dan Kema, G. H. J. 2019. New endemic *Fusarium* species hitch-hiking with pathogenic *Fusarium* strains causing Panama disease in small-holder banana plots in Indonesia. *Persoonia*. 43: 48-69.
- Masrilurrahman, L. S. dan Permana, R. D. 2021. Identifikasi tingkat kerusakan pada tanaman kopi yang disebabkan oleh hama di Desa Karang Sidemen Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *J. Forestry and Plant Science*. 4 (1): 10-14.
- Mendesil, E., Jembere, B., dan Seyoum, E. 2003. Occurrence of Coffee berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) on coffee arabica L. in Ethiopia. *J. Biological Society Ethiopia*. 2 (1): 61-72.
- Mongkolsamrit, S., Khonsanit, A., Thanakitpipattana, D., Tasanathai, K., Noisripoom, W., Lamlertthon, S., Himaman, W., Houbraken, J., Samson, R. A., dan Luangsa-ard, J. 2020. Revisiting *Metarhizium* and the description of new species from Thailand. *Studies in Mycology*. 95. 171-251.
- Morales-Ramos, J. A., Rojas, M. G., Sittertz-Bhatkar, H., dan Saldana, G. 2000. Symbiotic relationship between *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) and *Fusarium solani* (Moniliales: Tuberculariaceae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93(3): 541-547.
- Muhibbudin, A., Setiyowati, E. M., dan Sektiono, A. W. 2021. Mechanism antagonism of *Trichoderma viride* against several types of pathogens of pathogens and production of secondary metabolites. *Agrosaintifika*. 4 (1): 243-253.
- Munkvold, G. P. 2017. Chapter 4: *Fusarium* species and their associated mycotoxins. Antonio Moretti and Antonia Susca (eds.), mycotoxigenic fungi: methods and protocols, methods in molecular biology, Vol. 1542. Springer science+business media LLC 2017 DOI 10.1007/978-1-4939-6707-0_4.
- Nadiawati, S., Adrinal, dan Efendi, S. 2023. Perbandingan tingkat kerusakan buah kopi oleh hama penggerek (*Hypothenemus hampei* Ferr.) pada perkebunan kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dengan ketinggian berbeda. *Media Pertanian*. 8 (1): 47-58.
- Nikitin, D. A., Ivanova, E. A., Semenov, M. V., Zhelezova, A. D., Ksenofontova, N. A., Tkachakhova, A. K., dan Kholodov V. A. 2023. Diversity, ecological characteristics and identification of some problematic phytopathogenic *Fusarium* in soil: A review. *J. Diversity*. 15 (49): 1-18.

- Nildayanti dan Muliani, S. 2018. Inventarisasi hama dan penyakit pada pertanaman kopi organik. *J. Agrolantae*. 7 (2): 14-19.
- Ohara, T., Inoue, I., Namiki, F., Kunoh, H., dan Tsuge, T. 2004. REN1 is required for development of microconidia and macroconidia, but not of chlamydospores, in the plant pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Genetics Society of America*. 166: 113-124.
- Okungbowa, F. I. dan Shittu, H. O. 2012. *Fusarium* wilts: an overview. *Environmental Research Journal*. 6 (2): 83-102.
- Osuinde, M. I., Aluya, E. I., dan Emoghene, A. O. 2002. Control of *Fusarium* wilt of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) by *Trichoderma* species. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica*. 37 (1-3): 47-55.
- Peng, Z., Huang, S., Chen, J., Li, N., Wei, Y., Nawaz, A., dan Deng, S. 2022. An update of a green pesticide: *Metarhizium anisopliae*. *All Life*. 15 (1): 1141-1159.
- Perincherry, L., Lalak-Kanczugowska, J., dan Stepień, L. 2019. *Fusarium*-produced mycotoxins in plant-pathogen interactions. *J. Toxins*. 11 (664): 1-22.
- Refai, M., Hassan, A., dan Hamed, M. 2015. Monograph on the genus *Fusarium*. https://www.researchgate.net/publication/278848152_Monograph_on_the_Genus_Fusarium.
- Rehner, S. A. 2020. Genetic structure of *Metarhizium* species in western USA: Finite populations composed of divergent clonal lineages with limited evidence for recent recombination. *J. Invertebrate Pathology*. 177 (107491): 1-9.
- Rossmann, A. Y., Seifert, K. A., Samuels, G. J., Minnis, A. M., Schroers, H. J., Lombard, L., Crous, P. W., Pöhlmaa, K., Cannon, P. F., Summerbell, R. C., Geiser, D. M., Zhuang, W., Hirooka, Y., Herrera, C., Salazar, C. S., dan Chaverri, P. 2013. Genera in Bionectriaceae, Hypocreaceae, and Nectriaceae (Hypocreales) proposed for acceptance or rejection. *IMA Fungus*. 4 (1): 41-51.
- Safitri, A. L., Mukarlina, dan Zakiah, Z. 2022. Daya hambat isolat jamur rizosfer tanaman kopi (*Coffea* sp.) terhadap pertumbuhan jamur penyebab busuk buah kopi (*Coffea* sp.). *J. Bios Logos*. 12 (1): 16-24.
- Samsudin, Khaerati, Indriati, G., dan Hapsari, A. D. 2020. Kemampuan blastospora *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae* dan *Lecanicillium lecanii* dalam menginfeksi kumbang *Hypothenemus hampei*. *J. Tanaman Industry dan Penyegar*. 7 (3): 179-188.

- Samuels, G. J., Lieckfeldt, E., dan Nirenberg, H. I. 1999. *Trichoderma asperellum*, a new species with warted conidia, and redescription of *T. viride*. *Sydowia*. 51: 71–88.
- Samuels, G. J., Rossman, A. Y., Chaverri, P., Overton, B. E., dan Pöldmaa, K. 2006. *Hypocreales of the Southeastern United States: An Identification Guide*. CBS Biodiversity Series No. 4. United States of America.
- Sari, L. A. dan Widyaningrum, T. 2014. Uji patogenisitas spora jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas hama *Hypothenemus hampei* (ferrari) sebagai bahan ajar biologi SMA kelas X. *Jupemasi-pbio*:1 (1): 26-32.
- Sudarsono, H., Lumbanraja, F. R., Rosdiana, S., dan Junaidi, A. 2020. Sistem pakar diagnosis hama dan penyakit tanaman kopi menggunakan metode Breath First Search (BFS) berbasis web. *J. Sistem Informasi dan Telematika (Telekomunikasi, Multimedia, dan Informatika)*. 11 (1): 1-9.
- Suharjono, Kurniati, T. H., Soejono., dan Dewi, S. 2004. Uji antagonis *Trichoderma* sp dan *Gliocladium* sp. terhadap *Fusarium* penyebab penyakit layu pada beberapa jenis tanaman pisang di Kebun Raya Purwodadi secara in-vitro. *Biota*. 9 (2): 119-124.
- Summerell, B. A., Leslie, J. F., Liew, E. C. Y., Laurence, M. H., Bullock, S., Petrovic, T., Bentley, A. R., Howard, C. G., Peterson, S. A., Walsh, J. L., dan Burgess, L. W. 2011. *Fusarium* species associated with plants in Australia. *Fungal Diversity*. 46: 1-27.
- Sun, R., Hong, B., Reichelt, M., Luck, K., Mai, D. T., Jiang, X., Gershenzon, J., dan Vassão, D. G. 2023. Metabolism of plant-derived toxins from its insect host increases the success of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *The ISME Journal*. 17: 1693-1704.
- Sung, J., Lee, J., Humber, R. A., Sung, G., dan Shrestha, B. 2006. *Cordyceps bassiana* and production of stromata in vitro showing *Beauveria* anamorph in Korea. *J. Mycobiology*. 34 (1): 1-6.
- Supriyatdi, D., Hamdani, dan Erfandari, O. 2019. Keragaman intensitas serangan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferrari) pada beberapa sentra produksi kopi robusta provinsi lampung. *J. Penelitian Pertanian Terapan*. 19 (3):244-249.
- Suryadi, Y., Wartono., Susilowati, D. N., Lestari, P., Nirmalasari, C., dan Suryani. 2018. Patogenisitas *Beauveria bassiana* strain STGD 7(14)2 dan STGD 5(14)2 terhadap wereng coklat (*Nilaparvata lugens* STAL). *J. Biology*. 11 (2): 122-132.

- Swibawa, I. G., Aeny, T. N., dan Marleni, N. 2013. Efikasi *Beauveria bassiana* pada penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*) dari sumberjaya. *J. Agrotek Tropika*. 1 (3): 294-297.
- Syakir, M. dan Surmaini, E. 2017. Perubahan iklim dalam konteks sistem produksi dan pengembangan kopi di Indonesia. *J. Litbang Pertanian*. 36 (2): 77-90.
- Taupiq, L., Sudantha, I. M., dan Sudharmawan, A. A. 2024. The potential of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (bals) vuillemin to control mealybugs *Planococcus* spp. Hemiptera: Pseudococcidae. *J. Biologi Tropis*. 24 (1): 424-433.
- Toligaga, T. S. 2024. Kopi. Dinas Perkebunan Kab. Bolaang Mongondow. <https://disbun.bolmongkab.go.id/komoditas/kopi>.
- Trabelsi, R., Sellami, H., Gharbi, Y., Krid, S., Cheffi, M., Kammoun, S., Dammak, M., Mseddi, A., Gdoura, R., dan Triki, M. A. 2017. Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated with olive trees dieback in Tunisia. *3 Biotech*. 7 (28): 1-9.
- Triadinda, D., Yani, D., Indriyani., Efendi, M., dan Sawir, 2022. Strategi membangun branding brand image melalui digital marketing pada kopi sanggabuana karawang di era 5.0. *J. Pengabdian Masyarakat Nusantara*. 4 (4): 94-105.
- Utami, U., Hariane, L., Kusmiyati, N., dan Fitriasisari, P. D. 2018. *Buku petunjuk praktikum mikrobiologi umum*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Vega, F. E., Infante, F., dan Johnson, A. J. 2015. The genus *Hypothenemus*, with emphasis on *Hypothenemus hampei*, the coffee berry borer. *Bark Beetles*. 11: 427-494.
- Wasuwan, R., Phosrithong, N., Promdonkoy, B., Sangsrakru, R., Sonthirod, C., Tangphatsornruang, S., Likhitrattanapisal, S., Ingsriswang, S., Srisuksam, C., Klamchao, K., Suksangpanomrung, M., Hlepongpanich, T., Reungpatthanaphong, S., Tanticharoen, M., dan Amnuaykanjanasin, A. 2022. The Fungus *Metarhizium* sp. BCC 4849 is an effective and safe mycoinsecticide for the management of spider mites and other insect pests. *J. Insects*. 13 (42): 1-18.
- Were, E., Vijoien, A., dan Rasche, F. 2023. Iron necessity for chlamydospore germination in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* TR4. *Biometals*. 36: 1295–1306.

- Widiastuti, A., Karlina, M. L., Dhanti, K. R., Chinta, Y. D., Joko, T., Suryanti, dan Wibowo, A. 2020. Morphological and molecular identification of *Fusarium* spp. isolated from maize kernels in Java and Lombok, Indonesia. *Biodiversitas*. 21 (6): 2741-2750.\
- WIKIPEDIA. 2023. Coffea. <https://simple.m.wikipedia.org/wiki/Coffea>.
- WIKIPEDIA. 2023. *Hypothenemus hampei*. https://en.wikipedia.org/wiki/Hypothenemus_hampeii.
- Wilson, A. M., Wilken, P. M., Nes, A. V. D., Wingfield, M. J., dan Wingfield, B. D. 2019. It's all in the genes: the regulatory pathways of sexual reproduction in filamentous ascomycetes. *J. Genes*. 10 (330): 1-22.
- Xia, J., Zhang, C., Zhang, S., Li, F., Feng, M., Wang, X., dan Liu, S. 2013. Analysis of whitefly transcriptional responses to *Beauveria bassiana* infection reveals new insights into insect-fungus interactions. *PLOS ONE*. 8 (7): 1-11.
- Yogaswara, Y., Suharjo, R., Ratih, S., dan Ginting, C. 2020. Uji kemampuan isolat jamur *Trichoderma* spp. sebagai antagonis *Ganoderma boninense* dan *Plant Growth Promoting Fungi* (PGPF). *J. Agrotek Tropika*. 8 (2): 235-246.
- Zakaria, L. 2023. *Fusarium* species associated with diseases of major tropical fruit crops. *J. Horticulturae*. 9 (322): 1-32.
- Zemek, R., Konopická, J., Jozová, E., dan Habušťová, O. S. 2021. Virulence of *Beauveria bassiana* strains isolated from cadavers of colorado potato beetle, *leptinotarsa decemlineata*. *J. Insects*. 12 (1077): 1-13
- Zhang, Y., Chen, C., Zhao, J., Chen, C., Lin, J., Jayawardena, R. S., Xiang, M., Manawasinghe, I. S., dan You, C. 2021. *Fusarium elaeidis* causes stem and root rot on *Alocasia Longiloba* in South China. *J. Pathogens*. 10 (1395). 1-11.
- Zhu, Z. X. dan Zhuang, W. Y. 2015. *Trichoderma* (Hypocrea) species with green ascospores from China. *Persoonia*. 34: 113-129.