

**POTENSI BIOKONTROL ISOLAT *Trichoderma*
(T14 dan T7834) SEBAGAI ANTIPATOGEN JAMUR *Phytophthora* sp.
dan *Colletotrichum* sp. SECARA *IN VITRO***

(Skripsi)

Oleh

**NOURIZA AGFA PRAMESTI
NPM 2017021013**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

POTENSI BIOKONTROL ISOLAT *Trichoderma* sp. (T14 dan T7834) SEBAGAI ANTIPATOGEN JAMUR *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. SECARA *IN VITRO*

Oleh

Nouriza Agfa Pramesti

Berbagai macam penyakit yang disebabkan oleh jamur patogen menjadi masalah utama dalam budidaya tanaman karena menyebabkan kerusakan pada tanaman sehingga menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan. Salah satu cara untuk menangani hal tersebut yaitu melakukan pengendalian hayati dengan mengaplikasikan agen biokontrol berupa jamur *Trichoderma* sp. karena memiliki sifat antagonisme terhadap patogen. Genus ini diketahui efektif menekan pertumbuhan *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) dari berat kering miselium, mengetahui potensi isolat *Trichoderma* sp. (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro* dengan uji kompatibilitas dan melalui aktivitas enzim lipolitik serta kitinolitiknya. Hasil penelitian menunjukkan grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) melalui biomassa kering miseliumnya yang diawali dengan penambahan berat kering miselium pada hari ke-3, lalu pada hari ke-3 - hari ke-12 berat kering miselium bertambah dengan pesat, dilanjutkan dengan hari ke-12 - hari ke-21 berat kering miselium mengalami penambahan namun konstan, kemudian pada hari ke-24 - hari ke-30 berat kering miselium mengalami penurunan tiap harinya. Hasil uji kompatibilitas *Trichoderma* (T14 dan T7834) efektif dan mampu dijadikan sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. secara *in vitro*. Akan tetapi *Trichoderma* T7834 tidak mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum*, sehingga kurang efektif dijadikan sebagai agen biokontrol. Hasil uji aktivitas enzim, *Trichoderma* (T14 dan T7834) mampu menghasilkan enzim lipase tetapi tidak mampu menghasilkan enzim kitinase pada metode gravimetri, sehingga kedua isolat tersebut berpotensi menjadi kandidat jamur biokontrol *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp.

Kata kunci: *Trichoderma*, patogen, pertumbuhan, enzim, kompatibilitas

ABSTRACT

BIOCONTROL POTENTIAL OF *Trichoderma* sp. ISOLATE. (T14 and T7834) AS ANTIPATHOGEN FOR FUNGI *Phytophthora* sp. and *Collettrichum* sp. IN VITRO

By

Nouriza Agfa Pramesti

Various kinds of diseases caused by pathogenic fungi are a major problem in plant cultivation because they cause damage to plants, causing significant economic losses. One way to deal with this is to carry out biological control by applying a biocontrol agent in the form of the fungus *Trichoderma* sp. because it has antagonism against pathogens. This genus is known to be effective in suppressing the growth of *Phytophthora* sp. and *Colletotrichum* sp. This study aims to determine the growth graph of *Trichoderma* isolates (T14 and T7834) from the dry weight of mycelium, determine the potential of *Trichoderma* sp isolates. (T14 and T7834) as fungal antipathogenic biocontrol agents in vitro with compatibility tests and through their lipolytic and chitinolytic enzyme activities. The results of the research show a graph of the growth of *Trichoderma* isolates (T14 and T7834) through the dry biomass of their mycelium which begins with an increase in the dry weight of the mycelium on the 3rd day, then on the 3rd - 12th day the dry weight of the mycelium increases rapidly, continuing with the following days. On the 12th - 21st day the dry weight of the mycelium increased but was constant, then on the 24th - 30th day the dry weight of the mycelium decreased every day. The results of the *Trichoderma* compatibility test (T14 and T7834) are effective and can be used as a biocontrol agent to control *Phytophthora* sp. and *Colletotrichum* sp. in vitro. However, *Trichoderma* T7834 is not able to inhibit the growth of *Colletotrichum*, so it is less effective as a biocontrol agent. The results of the enzyme activity test, *Trichoderma* (T14 and T7834) were able to produce the lipase enzyme but were unable to produce the chitinase enzyme using the gravimetric method, so these two isolates had the potential to become candidates for the biocontrol fungus *Phytophthora* sp. and *Colletotrichum* sp.

Key words: *Trichoderma*, pathogen, growth, enzyme, compatibility

**POTENSI BIOKONTROL ISOLAT *Trichoderma*
(T14 dan T7834) SEBAGAI ANTIPATOGEN JAMUR *Phytophthora*
sp. dan *Colletotrichum* sp. SECARA *IN VITRO***

Oleh

Nouriza Agfa Pramesti

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **Potensi Biokontrol Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) Sebagai Antipatogen Jamur *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. Secara *In Vitro***

Nama Mahasiswa : **Nouriza Agfa Pramesti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017021013

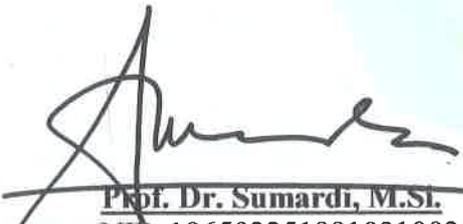
Program Studi : Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

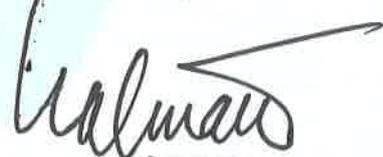
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama


Prof. Dr. Sumardi, M.Si.
NIP. 196503251991031003

Pembimbing Kedua


Ir. Salman Farisi, M.Si.
NIP. 196104181987031001

2. Ketua Jurusan Biologi

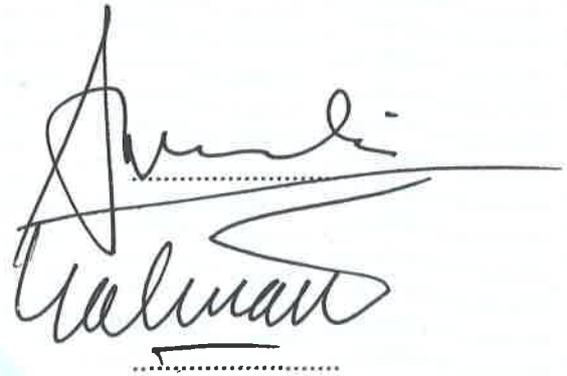

Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.
NIP. 198301312008121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Dr. Sumardi, M.Si.**



Sekretaris

: **Ir. Salman Farisi, M.Si.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **4 Juli 2024**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Nouriza Agfa Pramesti
NPM : 2017021013
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa skripsi saya berjudul:

**POTENSI BIOKONTROL ISOLAT *Trichoderma* sp.
(T14 dan T7834) SEBAGAI ANTIPATOGEN JAMUR *Phytophthora* sp. dan
Colletotrichum sp. SECARA *IN VITRO***

baik gagasan, data, maupun pembahasannya adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Skripsi ini tidak berisi material yang telah dipublikasi sebelumnya atau dengan kata lain hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ilmiah ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 27 Juni 2024


an,
Nouriza Agfa Pramesti
NPM. 2017021013

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nouriza Agfa Pramesti, atau akrab disapa Riza lahir di Adirejo pada tanggal 17 Juli 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Misbahudin dan Ibu Bekti Sudarini. Penulis memulai jenjang pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) RA Muslimat Pekalongan Lampung Timur pada tahun 2006. Penulis melanjutkan pendidikan sekolah dasar di MIN 1 Adirejo Pekalongan Lampung Timur pada tahun 2008-2014.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 4 Kota Metro pada tahun 2014-2017. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 4 Kota Metro pada jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) tahun 2017-2020. Selama belajar di SMP dan SMA, penulis pernah mengikuti kegiatan ekstrakurikuler pramuka dan Palang Merah Remaja (PMR).

Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Universitas Lampung sebagai mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) angkatan 2020. Selama kuliah, penulis aktif pada kegiatan kemahasiswaan Unit Kegiatan Mahasiswa Universitas (UKM-U) Penelitian sebagai anggota Departemen Hubungan Luar dan Pengabdian Masyarakat (HLPM) Tahun kepengurusan 2021-2022 dan aktif pada Organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Biologi (HIMBIO) FMIPA Unila sebagai anggota Bidang Sains dan Teknologi (SAINTEK) pada tahun

kepengurusan 2020-2022. Selain itu, penulis juga pernah menjadi asisten pada mata kuliah Botani Tumbuhan Rendah, Fisiologi Mikroba, dan Mikrobiologi Pangan dan Industri. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa dan Industri (BSPJI) Bandar Lampung pada bulan Januari-Februari 2023 dengan judul “ **Pengujian Kapang Pada Sampel Biskuit di Laboratorium Mikrobiologi Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa dan Industri (BSPJI) Bandar Lampung**”. Penulis pernah melaksanakan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di PT. Great Giant Pineapple, Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada bulan Maret-Mei 2024 dengan judul “ **Karakterisasi dan Uji Antagonis 3 Isolat Jamur Trichoderma (T10, T14, T7834) dan Paecilomyces dengan 3 patogen jamur (Fusarium, Phytophthora, Pestalotia) dan 2 patogen bakteri (Erwinia dan Ralstonia)**”. Penulis pernah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bina Karya Buana, Kecamatan Rumbia, Kabupaten Lampung Tengah pada Bulan Juni-Agustus 2024.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan rasa syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia nikmat rohani dan jasmani tiada tiada hentinya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Saya persembahkan karya kecil dan sederhana ini dengan kesungguhan hati sebagai tanda cinta kepada:

Dua orang yang paling berharga bagi hidup saya, Ayah Misbahudin dan Ibu Bekti Sudarini, serta adik tersayang yaitu Amru Zain Makarim yang menjadi penyemangat hidup saya, yang tak henti memohonkan keridhaan atas diri saya disetiap doa yang dipanjatkan setiap saat hingga langkah saya selalu diringankan dan dimudahkan hingga saat ini serta selalu memberikan dukungannya setiap hari.

Seluruh anggota keluarga tersayang yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan atas setiap langkah hidup saya.

Bapak dan Ibu dosen serta dosen pembimbing yang telah memberikan banyak saran dan mengajarkan saya ilmu yang bermanfaat serta bimbingan dengan tulus dan ikhlas hingga saya berhasil mencapai gelar sarjana.

Sahabat dan teman-teman Biologi 20 yang telah berjuang bersama dari awal menjadi mahasiswa baru sampai saat ini atas kebersamaan, dukungan, dan bantuannya selama masa kuliah.

Almamater tercinta yang menjadi kebanggaan saya dimanapun saya berada,
Universitas Lampung

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, dan sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah:5-6)

“Orang yang hebat adalah orang yang memiliki kemampuan menyembunyikan kesusahan, sehingga orang lain mengira bahwa ia selalu senang”

(Ali bin Abi Thalib)

“Apapun yang menjadi takdirmu akan menemukan jalannya menemukanmu”

(Ali bin Abi Thalib)

“Belajarlah mengucap syukur dari hal-hal baik di hidupmu. Belajarlah menjadi kuat dari hal-hal buruk di hidupmu”

(Bacharuddin Jusuf Habibie)

“Terlambat bukan berarti gagal, cepat bukan berarti hebat. Terlambat bukan menjadi alasan untuk menyerah, setiap orang memiliki proses yang berbeda. PERCAYA PROSES itu yang paling penting karena Allah telah mempersiapkan hal baik dibalik kata proses yang kamu anggap rumit”

(Edwar Satria)

“Tapi menurutku Tuhan itu baik, merangkai ceritaku sehebat ini”

(Usik-Feby Putri)

SANWACANA

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Potensi Biokontrol Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) Sebagai Antipatogen Jamur *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. Secara *In Vitro*”.**

Selama penyusunan skripsi ini, penulis menyadari ada banyak pihak yang telah membantu dan memberi semangat serta dorongan kepada penulis agar terselesaikannya skripsi ini. Dengan terselesaikannya skripsi ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayah Misbahudin dan Ibu Becti Sudarini serta Adik saya Amru Zain Makarim yang selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan, semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan telah memberikan segalanya untuk perjalanan kuliah saya.
2. Bapak Prof. Dr. Sumardi, M.Si. selaku pembimbing utama atas kesediaannya untuk membimbing, memberikan masukan, kritik dan saran dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Ir. Salman Farisi, M.Si. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya dalam memberikan bimbingan, masukan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. selaku penguji utama pada ujian skripsi. Terima kasih untuk masukan dan sarannya demi kesempurnaan dalam penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Achmad Arifiyanto, S.Si., M.Si. selaku pembimbing akademik saya dari mahasiswa baru hingga semester 6 yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan selama penulis mengemban pendidikan di bangku perkuliahan.

6. Bapak Prof. Dr. Sutyarso, M. Biomed. Selaku pembimbing akademik saya dari semester 6 hingga semester 8 yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan selama penulis mengemban pendidikan di bangku perkuliahan.
7. Bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Jani Master, M.Si. selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si. selaku Kepala Prodi S1-Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
10. Seluruh Dosen Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat di bangku perkuliahan dan mengantarkan saya mencapai gelar sarjana.
11. Ibu Oni Mastuti, S.Si. yang senantiasa membantu dan mengarahkan penulis selama proses penelitian di Laboratorium Mikrobiologi.
12. Sahabat penulis, Khatarina Septi Amelia Putri dan Ika Diva Agustin yang selalu ada disamping penulis dengan sabar menemani, mendoakan, memberi semangat dan berbagi keceriaan kepada penulis.
13. Teman-teman dekat seperjuangan Tamara, Hana, Muti, Wahyu, Shelby, Jean yang telah mendoakan, memberi semangat, dan berbagi keceriaan kepada penulis.
14. Keluarga besar Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dan seluruh organisme yang berkontribusi dalam penelitian saya.
15. Teman-teman biologi angkatan 2020, kakak dan adik tingkat Jurusan Biologi dan semua pihak yang telah membantu penulis selama menjadi mahasiswa yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas semangat dan doa yang sudah diberikan.
16. Almamater tercinta Universitas Lampung

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan karya ini dan karya ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi penulis berharap semoga karya kecil yang sangat sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi banyak orang. Penulis berharap semoga Allah SWT. Selalu melindungi dan membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis, Aamiinnn.

Bandar Lampung, 27 Juni 2024

Penulis,

Nouriza Agfa Pramesti

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER.....	i
ABSTRAK.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Kerangka Pikir.....	5
1.5 Hipotesis.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Agen Biokontrol.....	7
2.2 Fungi <i>Trichoderma</i> sp.	8
2.3 Metabolit Sekunder.....	12
2.3.1 Pengertian Metabolit Sekunder	12
2.3.2 Kandungan Metabolit Sekunder <i>Trichoderma</i> sp.	14
2.4 Mekanisme Kerja <i>Trichoderma</i> Sebagai Antipatogen Jamur	15
2.4.1 Mekanisme Biokontrol.....	16
2.4.2 Mikoparasitisme.....	17
2.4.3 Antibiosis	19
2.4.4 Metabolit Sekunder dari Enzim.....	20
III. METODE PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.3 Rancangan Penelitian	23

3.4	Prosedur Kerja	23
3.4.1	Peremajaan Isolat Jamur <i>Trichoderma</i> (T14 dan T7834).....	23
3.4.2	Pembuatan Grafik Fase Pertumbuhan <i>Trichoderma</i>	24
3.4.3	Uji Kompatibilitas Jamur Secara <i>In vitro</i>	24
3.4.4	Uji Aktivitas Enzimatik	26
3.4.5	Penentuan Indeks Enzimatik.....	27
3.5	Analisis Data.....	28
3.6	Bagan Alir Penelitian	29
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1	Hasil.....	30
4.1.1	Grafik Pertumbuhan <i>Trichoderma</i> (T14 dan T7834).....	30
4.1.2	Uji Kompatibilitas <i>Trichoderma</i> (T14 dan T7834).	32
4.1.3	Uji Aktivitas Enzim Lipase dan Kitinase Pada <i>Trichoderma</i>	35
4.2	Pembahasan.....	38
4.2.1	Grafik Pertumbuhan <i>Trichoderma</i> T14 dan <i>Trichoderma</i>	38
4.2.2	Uji Kompatibilitas <i>Trichoderma</i> (T14 dan T7834).....	40
4.2.3	Uji Aktivitas Enzim Lipase dan Kitinase Pada <i>Trichoderma</i>	41
4.2.4	Indeks Enzimatik	44
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1	Simpulan	45
5.2	Saran	45
VI.	DAFTAR PUSTAKA	46
	LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Struktur Mikroskopis <i>Trichoderma</i> sp. menggunakan Mikroskop.....	9
Gambar 2. Variasi Warna dan Morfologi Koloni Jamur <i>Trichoderma</i> sp.....	11
Gambar 3. Strategi yang digunakan oleh genus <i>Trichoderma</i>	16
Gambar 4. <i>Scanning Electron Microscopy</i> menunjukkan mikoparasitisme.. ..	18
Gambar 5. Interaksi fungi pada pengujian kompatibilitas.....	25
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian (Dokumentasi Pribadi, 2023).....	29
Gambar 7. Grafik Pertumbuhan <i>Trichoderma</i> T14	30
Gambar 8. Grafik Pertumbuhan <i>Trichoderma</i> T7834	31
Gambar 9. Uji kompatibilitas isolat <i>Trichoderma</i> T14 dab T7834.....	34
Gambar 10. Gambar pembanding uji kompatibilitas tiga isolat <i>Trichoderma</i>	34
Gambar 11. Uji aktivitas enzim lipase isolat <i>Trichoderma</i> T14 dan T7834.....	35
Gambar 12. Gambar pembanding isolat JIK3 pada uji aktivitas enzim.....	36
Gambar 13. Uji aktivitas enzim kitinase isolat <i>Trichoderma</i> T14 dan T7834.....	36
Gambar 14. Media Uji Aktivitas Enzim Lipase	53
Gambar 15. Media Uji Aktivitas Enzim Kitinase.....	53
Gambar 16. Uji Aktivitas Enzim Lipase Isolat <i>Trichoderma</i> T14.....	53
Gambar 17. Uji Aktivitas Enzim Lipase Isolat <i>Trichoderma</i> T7834.....	53
Gambar 18. Uji Aktivitas Enzim Kitinase Isolat <i>Trichoderma</i> T14.....	54
Gambar 19. Uji Aktivitas Enzim Kitinase Isolat <i>Trichoderma</i> T7834.....	54
Gambar 20. Inokulasi Isolat <i>Trichoderma</i> T14 dan T7834 Pada Media PDB.....	54
Gambar 21. Inokulum <i>Trichoderma</i> T14 dan T7834 di <i>Rotary Shaker</i>	55
Gambar 22. Miselium kering T14 Hari ke-3.....	55

Gambar 23. Miselium kering T14 Hari ke-6.....	55
Gambar 24. Miselium kering T14 Hari ke-9	55
Gambar 25. Miselium kering T14 Hari ke-12.....	55
Gambar 26. Miselium kering T14 Hari ke-15.....	56
Gambar 27. Miselium kering T14 Hari ke-18.....	56
Gambar 28. Miselium kering T14 Hari ke-21	56
Gambar 29. Miselium kering T14 Hari ke-24.....	56
Gambar 30. Miselium kering T14 Hari ke-27	56
Gambar 31. Miselium kering T14 Hari ke-30.....	56
Gambar 32. Miselium kering T7834 Hari ke-3.....	57
Gambar 33. Miselium kering T7834 Hari ke-6.....	57
Gambar 34. Miselium kering T7834 Hari ke-9.....	57
Gambar 35. Miselium kering T7834 Hari ke-12.....	57
Gambar 36. Miselium kering T783 Hari ke-15.....	57
Gambar 37. Miselium kering T7834 Hari ke-18.....	57
Gambar 38. Miselium kering T7834 Hari ke-21.....	58
Gambar 39. Miselium kering T7834 Hari ke-24.....	58
Gambar 40. Miselium kering T7834 Hari ke-27.....	58
Gambar 41. Miselium kering T7834 Hari ke-30.....	58
Gambar 42. Isolat <i>Trichoderma</i> T14.....	59
Gambar 43. Isolat <i>Trichoderma</i> T7834.....	59
Gambar 44. Isolat <i>Phytophora</i> sp.....	59
Gambar 45. Isolat <i>Colletotrichum</i> sp.....	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Hasil uji kompatibilitas isolat <i>Trichoderma</i> T14 dan T7834	33
Tabel 2. Hasil Uji Aktivitas Enzim Lipase Fungi <i>Trichoderma</i>	37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Pada tahun 2016 terjadi penurunan produksi jambu biji yang disebabkan oleh serangan hama dan penyakit tumbuhan. Penyakit antraknosa adalah salah satu penyakit penting pasca panen yang disebabkan oleh jamur patogen *Colletotrichum* sp. Gejala serangan pada buah ditandai dengan adanya bercak bercak-bercak coklat atau hitam yang agak cekung ke dalam. Pada buah yang menjelang matang timbul bercak-bercak coklat kemerahan, basah, kecil dan bulat. Pada waktu buah matang, bercak ini akan membesar dan melebar dengan cepat, membentuk bercak bulat, coklat kemerahan dan akan menghitam (Indratmi, 2009). Pada buah jambu muda yang terserang *Colletotrichum* sp. memiliki ciri-ciri buah yang tidak dapat tumbuh secara sempurna, kerdil, dan buah yang berwarna hijau akan berubah warna menjadi hitam kemudian gugur. Selain jamur *Colletotrichum* sp. yang merugikan bagi petani, terdapat juga jamur *Phytophthora* yang menyerang buah nanas saat panen.

Menurut Prasetyo dan Aeny (2014), salah satu permasalahan yang beberapa tahun terakhir ini merugikan bagi petani nanas mencapai 50 %. Salah satu penyakit pada tanaman nanas adalah penyakit busuk hati sebesar 90%. Busuk hati disebabkan oleh jamur *Phytophthora* sp. yang mampu hidup di dalam tanah dengan waktu yang lama (Sari *et al.*, 2014). Penyakit busuk hati yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora* sp. merupakan salah satu jamur patogenik pada nanas. Gejala penyakit ini yaitu berwarna coklat kehitaman yang ditutupi miselium berwarna putih, lalu menjadi busuk basah dan selanjutnya gejala menyebar menutupi seluruh permukaan buah. Pada

bagian yang menghitam akan muncul lapisan berwarna putih bertepung yang merupakan spora jamur sekunder dan terdapat juga sporangium (Afriyeni dkk., 2013).

Hama dan penyakit tanaman adalah bagian dari organisme pengganggu tanaman (OPT). Hama tanaman merupakan organisme atau hewan yang keberadaannya mengganggu manusia dan merugikan secara ekonomis. Penyakit tanaman didefinisikan sebagai gangguan secara fisiologis pada tanaman yang disebabkan oleh keberadaan patogen atau penyebab penyakit. Sebagian besar patogen pada tanaman merupakan golongan jamur, bakteri dan virus yang mengganggu tanaman sehingga menurunkan produksi tanaman. Pengelolaan agroekosistem merupakan prinsip penting dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman (Lestari dkk., 2023).

Berbagai macam penyakit yang disebabkan oleh patogen menjadi masalah utama dalam budidaya tanaman. Keberadaan penyakit dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman dan menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan (Liu *et al.*, 2021). Penggunaan pestisida kimia sintetis selama ini dijadikan strategi paling umum untuk mengendalikan penyakit yang ada pada tanaman. Namun, dengan adanya distribusi bahan kimia yang berlebihan dalam jangka waktu yang panjang akan berdampak negatif bagi lingkungan dan juga kesehatan manusia (Tilocca *et al.*, 2020). Selain berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan, bahan kimia juga akan berdampak pada tanaman itu sendiri. Masalah resistensi patogen terhadap banyaknya fungisida, kurangnya fungisida pengganti dan efek fungisida pada kesehatan manusia dan lingkungan telah mendorong penggunaan fungisida yang terbatas dan kebutuhan untuk menemukan metode alternatif yang efektif, ekonomis dan ramah lingkungan untuk mengendalikan penyakit pada tanaman. Salah satu alternatif pengendalian yang bisa digunakan adalah pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme.

Agen pengendali hayati adalah organisme yang meliputi semua jenis serangga, nematoda, protozoa, jamur (fungi), bakteri, virus, serta organisme lainnya yang dapat digunakan dan berpotensi untuk keperluan pengendalian hama dan penyakit pada tanaman dalam proses produksi hasil pertanian. Pengendalian hayati dengan cara memanfaatkan mikroorganisme tanah merupakan salah satu solusi alternatif dalam langkah pengendalian penyakit tanaman. Keberadaan mikroorganisme tanah dalam rhizosfer selaras dengan tingkat kesuburan tanah. Jamur yang menempati rhizosfer lebih banyak dijumpai karena tingginya nutrisi yang dibutuhkan untuk keberlangsungan hidupnya (Dewi, 2018).

Penggunaan mikroorganisme sebagai agen hayati saat ini menjadi pendekatan alternatif yang menjanjikan, ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk menggantikan pestisida kimia sintetis dalam pengendalian penyakit tanaman. Agen hayati memiliki kemampuan untuk mendorong pertumbuhan tanaman dan menginduksi mekanisme resistensi pada tanaman terhadap berbagai macam patogen. Selain itu, agen hayati juga mampu mencegah kolonisasi patogen secara langsung (He *et al.*, 2021; Pandit *et al.*, 2022). Salah satu kelompok mikroorganisme yang digunakan sebagai agen hayati yang berfungsi untuk menekan patogen penyebab penyakit pada tanaman adalah jamur. Salah satu genus jamur yang paling umum digunakan sebagai biokontrol adalah *Trichoderma*. Mekanisme yang digunakan oleh *Trichoderma* dalam mengendalikan penyakit tanaman meliputi aktivitas mikoparasitisme, produksi antibiotik, persaingan nutrisi, dan ketahanan tanaman yang diinduksi (Ferreira and Musumeci, 2021).

Trichoderma merupakan salah satu genus jamur potensial yang dapat menekan berbagai penyakit tanaman. *Trichoderma* dimanfaatkan untuk mengendalikan berbagai jenis penyakit karena memiliki sifat antagonisme terhadap patogen berupa kompetisi ruang dan nutrisi mikoparasit dan antibiosis. Selain itu, jamur *Trichoderma* juga memiliki beberapa kelebihan seperti mudah diisolasi, daya adaptasi luas, mudah ditemukan pada areal pertanaman, dapat tumbuh dengan cepat pada berbagai substrat, memiliki

kisaran mikroparasitisme yang luas dan tidak bersifat patogen pada tanaman (Sanothan dkk., 2023). Genus ini diketahui efektif menekan *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. penyebab penyakit pada tanaman. Selain melalui aktivitas enzim, penghambatan terhadap patogen ini diperankan oleh zat volatil yang menyebabkan hifa patogen menyusut, membengkak dan pecah (Wang *et al.*, 2021). *Trichoderma* T14 dan T7834 yang digunakan merupakan hasil isolasi dari tanah lahan nanas yang mampu bertahan hidup pada suhu yang tinggi karena di lahan nanas PT. Great Giant Pineapple memiliki suhu tang tinggi dan minim ketersediaan air.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengetahui grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) melalui biomassa miseliumnya.
2. Mengetahui potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro* dengan uji kompatibilitas
3. Mengetahui potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur melalui aktivitas enzim lipolitik dan kitinolitiknya.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi tentang grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) melalui biomassa miseliumnya.
2. Memberikan informasi mengenai potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro*.
3. Memberikan informasi ilmiah untuk masyarakat luas mengenai jamur jenis *Trichoderma* (T14 dan T7834) dengan aktivitas enzim lipase dan kitinase yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai agen biokontrol antipatogen jamur.

1.4 Kerangka Pikir

Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) banyak ditemukan merusak lahan pertanian, salah satunya yaitu patogen tular tanah. Patogen yang ada di dalam tanah (tular tanah) merupakan mikroorganisme yang sebagian siklus hidupnya di dalam tanah dan dapat menginfeksi tanaman. Patogen ini dapat disebabkan oleh berbagai jenis mikroorganisme, seperti jamur, bakteri dan virus. Patogen ini memiliki inang yang cukup luas dan dapat menimbulkan gejala pada tanaman berupa busuk akar, busuk pucuk atau mahkota, layu, perubahan warna pada jaringan atau bahkan penyebab matinya tanaman. Sesuai dengan program pertanian berkelanjutan yang diterapkan maka teknik pengendalian OPT tanaman harus mengacu pada Pengendalian Hama dan Penyakit secara terpadu (PHT). Salah satu komponen utama dari program PHT adalah pengendalian hayati dengan memanfaatkan agensia hayati berupa jamur *Trichoderma* sp.

Pengendalian hayati dengan *Trichoderma* sp. mempunyai sifat antagonistik terhadap patogen, terutama pada patogen tanah dan beberapa patogen yang ada di udara yang bertujuan dalam mengurangi terjadinya penyakit yang ada pada tanaman dengan cara menekan aktivitas patogen, terjadinya infeksi dan intensitas serangan patogen terutama untuk patogen tular tanah. Bagian tanah yang berada di sekitar perakaran tanaman dan berperan sebagai pertahanan luar bagi tanaman terhadap serangan patogen akar disebut dengan Rizosfer. Jamur rizosfer adalah salah satu faktor biotik yang dapat menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit dan meningkatkan kesuburan pertumbuhan tanaman sehingga digolongkan sebagai jamur pemacu kesuburan tanaman. Sifat antagonisme jamur *Trichoderma* meliputi aktivitas suatu organisme dengan cara tertentu dan dapat memberikan pengaruh yang merugikan organisme lain. Aktivitas antagonisme ini meliputi persaingan, parasitisme atau predasi dan pembentukan toksin termasuk antibiotik. Metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *Trichoderma* digunakan *Trichoderma* sebagai media dalam melakukan mekanisme penghambatannya terhadap patogen tanaman, salah satunya yaitu produksi

dan sekresi enzim. Mekanisme kerja *Trichoderma* dalam mengendalikan patogen tanaman yaitu mekanisme biokontrol dan mikroparasitisme.

Tahap penelitian meliputi pembuatan grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) melalui biomassa kering miseliumnya. Tahap kedua yaitu melakukan uji isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) yang berpotensi sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro* dengan menggunakan pengujian kompatibilitas. Selanjutnya dilakukan uji aktivitas lipolitik dan kitinolitik isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai agen biokontrol antipatogen jamur melalui terbentuknya zona jernih pada media.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berhasil menemukan potensi *Trichoderma* sp. sebagai agen biokontrol antipatogen jamur melalui aktivitas enzimatisnya secara *in vitro*, penelitian ini juga diharapkan dapat menemukan potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur melalui aktivitas enzim lipolitik dan kitinolitik. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi penting secara ilmiah tentang potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai biokontrol terhadap antipatogen jamur yang menyebabkan penyakit pada tanaman secara efektif dan ramah lingkungan.

1.5 Hipotesis

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah

1. Terdapat grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) melalui biomassa miseliumnya
2. Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) memiliki potensi sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro*.
3. Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) memiliki aktivitas lipolitik dan kitinolitik sehingga berpotensi menjadi kandidat jamur biokontrol antipatogen jamur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Agen Biokontrol

Pengendalian hayati atau biokontrol pada dasarnya mengacu pada keterlibatan organisme secara langsung atau tidak langsung dalam mengurangi pertumbuhan patogen, mengurangi dampak penyakit dan mampu beradaptasi serta berkolonisasi pada perakaran tanaman (Prasetyo dkk., 2017). Agen biokontrol adalah organisme atau mikroorganisme yang dapat mengendalikan patogen pada tanaman. Mereka berperan penting dalam melawan populasi hama dan mencegah tanaman dari berbagai penyakit seperti layu daun, penyakit keriting, penyakit busuk akar, penyakit empeng mahkota dan lain sebagainya. Mereka akan membunuh atau menghambat persebaran penyakit pada tanaman (Cornejo *et al.*, 2016). Agen biokontrol digunakan dalam skala besar dalam skala besar karena tidak akan membahayakan tanaman utama dan membunuh populasi hama secara alami. Jamur *Trichoderma* sp. merupakan salah satu contoh mikroorganisme yang digunakan sebagai agen biokontrol. Manfaat utama dari agen biokontrol ini adalah inang tidak mengkonsumsinya, sehingga organisme inang tidak memengaruhi.

Agen biokontrol digunakan baik dalam entomologi dan patologi tanaman untuk mengurangi pertumbuhan mikroba, serangga predator, nematoda entomopatogen (Wratten, 2008). Agen pengendali hayati akan mengurangi aktivitas patogen untuk merusak organisme target, sehingga disebut sebagai 'musuh alami' (Heydari and Pessaraki, 2010). Mikroba

yang digunakan untuk membunuh atau mengendalikan patogen pada tanaman disebut dengan ‘agen biokontrol’. Selain itu, ekstrak atau produk fermentasi yang diambil dari berbagai sumber alami juga dapat berperan sebagai agen biokontrol. Produk atau ekstrak ini dapat digunakan dalam bentuk apapun (murni atau campuran), memberikan berbagai efek pada mikroba atau patogen target (Siegwart *et al.*, 2015). Selain berfungsi untuk menekan pertumbuhan organisme yang tidak diinginkan (hama atau patogen), agen biokontrol juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil organisme yang diinginkan. Pemanfaatan jamur dalam agen biokontrol memiliki keterkaitan dalam peningkatan produktivitas tanaman dan berkontribusi terhadap kesehatan hewan dan manusia. Oleh karena itu, jamur banyak digunakan sebagai agen biokontrol untuk mencegah tanaman dari patogen penyebab penyakit dan meningkatkan kualitas serta kuantitas pangan.

2.2 Fungi *Trichoderma* sp.

Fungi *Trichoderma* sp. merupakan fungi yang tergolong dalam fungi *soft rot* karena fungi ini lebih banyak mendegradasi polisakarida dalam substrat kayu basah atau lunak, dan juga fungi jenis ini memiliki kemampuan antagonis untuk menghambat pertumbuhan fungi jenis lain yang berada disekitarnya seperti *Fusarium* sp. (Valenceia and Meitiniarti, 2017). Klasifikasi *Trichoderma* sp. menurut Rugeiro *et al.*, (2015) adalah sebagai berikut:

Kerajaan	: Fungi
Filum	: Ascomycota
Subfilum	: Pezizomycota
Kelas	: Sordariomycetes
Bangsa	: Hypocreales
Suku	: Hypocreaceae
Marga	: <i>Trichoderma</i>
Jenis	: <i>Trichoderma</i> sp.

Genus *Trichoderma* memiliki ciri khas makroskopis koloni yang mudah dikenali secara visual, yaitu berwarna kehijauan dengan bagian dasar sama seperti warna koloni bagian atas dengan tekstur yang mirip seperti bubuk. Ciri-ciri mikroskopis jamur dapat diamati dari bentuk dan ukuran dari konidia, konidiofor, fialida, dan hifa jamur (Nadhifah *et al.*, 2016). Adapun morfologi fungi *Trichoderma* sp. dapat dilihat pada **Gambar 2.1.**



Gambar 1. Struktur Mikroskopis *Trichoderma* sp. menggunakan Mikroskop Cahaya dengan 1000x Perbesaran.
Keterangan: a. Conidiophore, b. Phialides, c. Conidia (Azimova *et al.*, 2016)

Gambar 1. menunjukkan jamur *Trichoderma* mempunyai bagian-bagian pada hifanya seperti konidia (spora), konidiofor (batang), dan *phialide* (fialid) yang berbentuk silindris dengan ujung mengecil dan bagian tengah yang membesar terletak diujung cabang konidiofor yang berjumlah 3-4 fialid pada setiap konidiofor. *Trichoderma* sp. juga memiliki ciri-ciri koloni berwarna putih sampai hijau tua, permukaannya ada yang kasar dan ada juga yang halus dengan tepi halus dan berwarna putih, serta beberapa terdapat lingkaran konsentris (Chew *et al.*, 2012). Suanda (2016) juga menyatakan bahwa jamur *Trichoderma* sp. memiliki koloni yang permukaannya datar tonjolan berbentuk bulat dengan tepi kasar seperti berserat dengan bagian tepi halus. Koloni berwarna putih hingga menjadi hijau tua saat berumur tujuh hari yang membentuk

lingkaran dengan batas yang jelas, sedangkan bagian pinggir berwarna putih seperti kapas dan berangsur-angsur akan berubah menjadi warna hijau tua pada seluruh permukaannya.

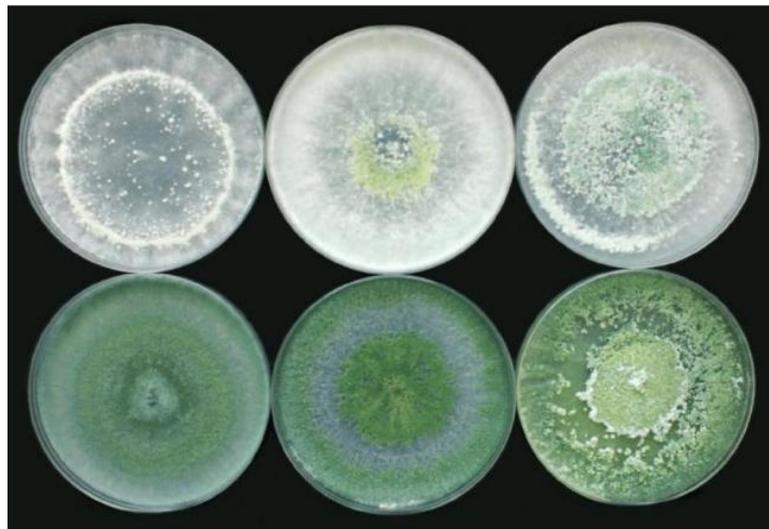
Pola percabangan *conidiophore* dan agregasi *conidiophores* menjadi *fascicles* dan pustula berguna untuk identifikasi strain *Trichoderma* ke bagian dan agregat spesies. Pustula kompak adalah karakteristik dari banyak spesies di kelompok *Trichoderma Pachybasium*, meskipun banyak strain di bagian lain juga. Percabangan *conidiophore* dapat secara teratur vertikal atau tidak teratur. Cabang bisa luas dan lurus atau relatif sempit dan fleksibel. *Apex conidiophore* pada beberapa spesies dibagian *Pachybasium* secara karakteristik berakhir dengan memanjang dan lurus, tidak diinduksi atau dikompilasi (Kubicek and Harman, 2002).

Bentuk *phialide* adalah karakteristik dari bagian *phialide* sebuah jamur, khususnya pada *Trichoderma*. Jenis *phialides* dari segi bentuk ada yang memiliki bentuk *phialide* yang gemuk dan pendek serta memanjang dan silindris. *Phialides* terminal pada sebagian besar spesies cenderung lebih memanjang dan lebih sempit. Sel-sel subterminal *conidiophore* dapat menghasilkan conidia melalui leher lateral pendek, sehingga faring *antarcalary* atau yang disebut *aphanophialides* ini agak umum terlihat dalam genus *Trichoderma* (Kubicek and Harman, 2002).

Bentuk sel bervariasi mulai dari berbentuk globus atau globosa, bentuk elips atau ellipsoidal, dan juga bentuk silindris atau obovoidal dengan ujung basal yang lebih meruncing dan terpotong. Perbedaan variasi dalam kelompok *Trichoderma* tidak besar, namun kadang terdapat difernsiasi bentuk dengan perbedaan ukuran yang konsisten. Permukaan konidia tampak halus di sebagian besar spesies dalam pengamatan mikroskopik sederhana, meskipun banyak spesies dengan konidia yang tampaknya halus namun menjadi kasar ketika diperiksa oleh SEM (Kubicek and Harman, 2002).

Conidia juga dapat bertekstur kasar atau verrukosa seperti yang terdapat

dalam kelompok *T. viride*, dan *conidia* dapat memiliki proyeksi seperti sayap atau bulat dari dinding luar pada dua spesies yaitu *T. saturnisporum* dan *T. ghanense*. Pigmen *conidia* juga khas dan bervariasi, terdapat *conidia* yang tidak berpigmen atau transparan, berwarna cokelat, atau abu-abu, dan paling banyak adalah spesies yang *conidiana* berpigmen hijau. Pada beberapa spesies *konidia* dewasa muncul hijau gelap jika diamati secara mikroskopis, di spesies lain hanya pucat. Bentuk *Chlamydospores* umum pada banyak spesies, meskipun mereka cenderung lebih banyak berbentuk *globose* atau elipsoidal, terminal dan *intercalary*, berdinding halus, kekurangan pigmen, kekuningan atau kehijauan, dan diameter 6–15 μm pada sebagian besar spesies. Hifa vegetatif menunjukkan beberapa karakter yang berguna untuk diidentifikasi (Kubicek and Herman, 2002).



Gambar 2. Variasi Warna dan Morfologi Koloni Jamur *Trichoderma* sp. Ditumbuhkan Pada Media *Potato Dextrose Agar* (PDA) (Jedryczka *et al.*, 2014)

Trichoderma sp. berfungsi sebagai agensia hayati dalam berbagai jenis penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur patogen. *Trichoderma* sp. dalam peranannya sebagai agensia hayati bekerja berdasarkan mekanisme antagonis yang dimilikinya (Wahyuno dkk., 2009). *Trichoderma* sp. dapat mengambil nutrisi dari jamur lain dan menyerang fungi patogen, sehingga fungi ini disebut sebagai fungi antagonis karena

memiliki kemampuan untuk mematikan atau menghambat pertumbuhan jamur lain (Kalay *et al.*, 2018). *Trichoderma* sp. memiliki mekanisme mikroparasitisme sebagai agen hayati yang memproduksi enzim ekstraseluler seperti kitinase dan β -1,3-glukanase untuk merusak dinding jamur patogen dan digunakan sebagai sumber makanan. Selanjutnya, *Trichoderma* memproduksi mikotoksin untuk merusak metabolisme sel mikroorganisme patogen dan mekanisme mikroparasitisme diakhiri dengan serangan *Trichoderma* terhadap sel inang serta peningkatan produksi enzim litik untuk menghancurkan sel-sel mikroorganisme patogen yang masih bertahan (Ramadhan, 2015).

2.3 Metabolit Sekunder

2.3.1 Pengertian Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder adalah senyawa organik yang tidak secara langsung terlibat dalam pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi organisme secara normal dan dibentuk selama akhir atau mendekati tahap stasioner pertumbuhan organisme. Hasil metabolit sekunder yang tidak digunakan tersebut yang menyebabkan suatu Agen Pengendali Hayati (APH) mempunyai tingkat ketahanan yang tinggi atau rendah di dalam mengendalikan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) di lapangan. Keberhasilan agen pengendali hayati tersebut sangat ditentukan oleh seberapa banyak jumlah dan jenis metabolit sekunder yang dihasilkan. Pada umumnya metabolit sekunder agen pengendali hayati berperan ganda, baik secara aditif maupun sinergis. Hal ini sering nampak pada hasil aplikasi agen pengendali hayati yaitu selain dapat mengatasi atau mengendalikan OPT juga dapat berpengaruh kepada tanamannya, khususnya terhadap pertumbuhan tanaman (Harni dkk., 2017).

Dalam sebuah jurnal penelitian menunjukkan peranan metabolit sekunder yang ada pada agen pengendali hayati yang dibuat oleh

Adriansyah dkk. (2015). Peranan metabolit sekunder adalah sebagai berikut:

a. Berperan sebagai pelindung tanaman

Metabolit sekunder APH, dan juga APH konvensional, mampu melindungi tanaman dari serangan OPT jika diberikan di awal sebagai pencegahan sebelum ada serangan OPT. Perlindungan yang diberikan oleh APH secara konvensional adalah dengan penyelimutan daerah sekitar akar tanaman (*rhizosphere*) karena kemampuan persaingannya yang lebih baik dengan mikroba tanah lainnya. Sebaliknya, perlindungan oleh metabolit sekunder APH adalah dari dalam tanaman, yaitu metabolit sekunder APH salah satunya berperan meningkatkan senyawa kimia di dalam tanaman yang berfungsi dalam ketahanan tanaman terhadap serangan OPT.

b. Penting dalam mengatasi OPT yang berada di dalam tanaman

Banyak OPT perkebunan yang belum dapat diatasi dengan baik khususnya oleh penggunaan APH biasa atau secara konvensional, dan bahkan sudah muncul OPT perkebunan baru. Ketidakmampuan mengatasi serangan OPT perkebunan tersebut selain disebabkan oleh keberadaan OPT perkebunan yang sukar diketahui karena berada di dalam jaringan tanaman, maupun sukar dijangkau karena berada di bagian atas tanaman yang tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa metabolit sekunder APH dapat mengendalikan beberapa OPT perkebunan yang sangat kuat.

c. Sebagai satu-satunya cara pengendalian OPT perkebunan

Banyak OPT perkebunan yang tidak dapat diatasi dengan cara apapun, baik dengan kimia maupun non-kimia. Hal ini karena keberadaan OPT perkebunan di dalam jaringan tanaman sukar diketahui dengan dengan jalur yang tidak teratur. Selain itu, kerja dari cara kimia atau non-kimia seringkali bersifat tunggal, sehingga tidak lengkap didalam mengendalikan OPT tersebut.

Metabolit sekunder APH mampu menjangkau keberadaan OPT di dalam jaringan tanaman, dan dengan mekanisme yang beragam sesuai kandungan di dalam metabolit sekunder APH.

d. Banyak organisme lain yang terdampak

Pengaruh dari aplikasi metabolit sekunder APH tidak saja dialami oleh OPT sasaran, tetapi juga oleh tanamannya. Hal ini karena kandungan di dalam metabolit sekunder APH tidak saja berupa toksin atau antibiotika atau enzim yang berperan di dalam pengendalian OPT, tetapi juga hormon yang berperan dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Bahkan metabolit sekunder APH berperan sebagai agensia pengangkut logam, agensia simbiosis, penghasil hormon, efektor pembeda, serta toksin bagi pesaing dan molekul lain. Peran metabolit sekunder APH ini terkait erat dengan mekanismenya, yaitu ketahanan sistemik terimbas, antibiosis, senyawa bioaktif organik menguap, enzim, dan terangkut hara dan air. Fungsi ganda inilah yang menjadikan metabolit sekunder APH saat ini menjadi inovasi baru di dalam membuat tanaman sehat dan tahan terhadap serangan OPT.

2.3.2 Kandungan Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp.

Purnomo (2010) menyatakan bahawa kandungan di dalam metabolit sekundernya cukup banyak dan lengkap, yaitu Antrakuinon: pachybasin, chrysophanol, emodin, trichodermol, Antibiotika, Enzim, Toksin, Manitol, Asam 2-hidroksimalonat, Metil benzoate, P-hidroksibenzil alcohol, Asam ferulat, 2,5-dimetoksibenzokuinon, Dihidrokoenzim q10, Coenzim q10, Sorbisilin, Nektriapiron, Vermopiron, Trikoharzin, Kompaktin, Koasam suksinat, Asam itakonat, Asam karolat, Penkolida, Viridiodungin a, Viridiodungin b, Viridiodungin c, Metil-2,4,6-oktatriena karboksilat, Trikodermina a, Harzianopiridon, Harzianolida, Dehidro harzianolida, Asam harzianat, Ninginan d,

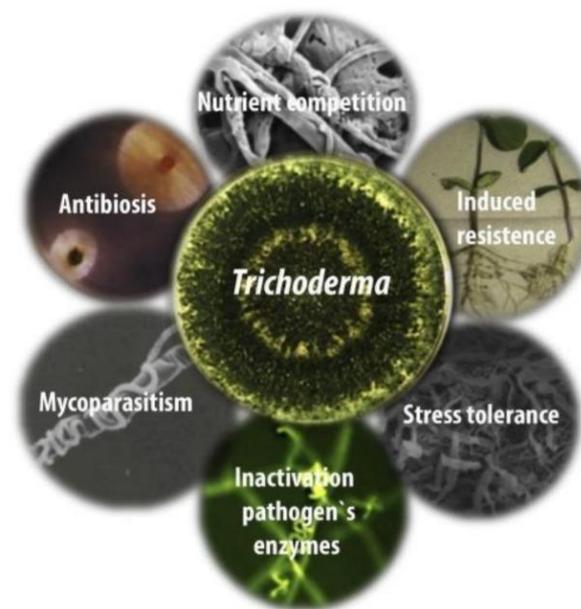
2,4,6,8-nonatetron-2,8-bisetilenketal, 2,3-dihidroksi-5,6-dimetil benzokuinon, 2,3-dimetoksi-5,6-dimetil benzokuinon, 2,3-dimetoksi-5,6-dimetil kuinhidron, 3,5-dihidroksi toluene, 1,2-dimetil-3,4-dihidroksi benzene, Trikodermaol, Dimerat santona, Trikodimerol, Trikodermolida, Sorbikuinol, Sekokoninginin, Siklonerodiol. Asam gliokladat, Asam heptelidat, Triko-akorenol, 3,4,14-trihidroksikaroten-14-oleat, Trikodermin, Mikotoksin a, Harziandion, Ergosterol, Asam helvolat, Viridin, Viridol, Viron, Dermadin, sporolakton, Isonitrin a, Homotalin d, Gliotoksin, Fenol, Gliovirin, Urasil, Melanoksadin, Seramida, Valinotrisin, Melanoksazal, Trikopolin I, Vertisilin a, Homovertisilin a, 3-metilbut-2-enil eter, dan 3-hidroksimetilbut-2-enil eter. Selain itu, beberapa enzim juga dihasilkan oleh APH ini yang terkandung didalam metabolit sekundernya, dan peran enzim sangat penting di dalam menunjang salah satu mekanisme antagonis, yaitu mikoparasit atau hiperparasit. Enzim yang terdapat di dalam metabolit sekunder *Trichoderma* sp., di antaranya protease, selulase, lipase, selobiase, khitinase, dan 1,3- β -glukanase (Purnomo, 2010).

2.4 Mekanisme Kerja *Trichoderma* Sebagai Antipatogen Jamur

Mekanisme Kerja *Trichoderma* sp. dan metabolit sekundernya yang dilepaskan di rizosfer mungkin memiliki efek pada pertumbuhan dan nutrisi tanaman, induksi resistensi sistemik dan biokontrol mikroorganisme patogen. Di dalam tanah, efek *Trichoderma* pada sistem akar tidak terlihat. Namun, efek langsung dari jamur ini dapat diamati pada studi *in vitro* (Narrasawati dkk., 2017).

Menurut Ekowati, Suciato, Muljowati, & Dewi (2009), mekanisme metabolit sekunder dalam menghambat perkembangan patogen adalah melalui denaturasi protein, baik struktural maupun fungsional pada sel

patogen. Senyawa aktif pada metabolit sekunder mampu memecah ikatan disulfida yang menghubungkan antar polipeptida protein dinding sel dan membran sel. Denaturasi protein struktural pada dinding sel akan menyebabkan sel menjadi lebih rentan karena perlindungan sel menjadi lebih lemah, sedangkan pada membran sel patogen akan menyebabkan kehilangan sifat permeabilitas sehingga tidak dapat menyeleksi zat-zat yang keluar masuk sel. Keadaan ini menyebabkan senyawa metabolit sekunder dapat masuk ke dalam sel sehingga menyebabkan sel menjadi lisis dan mati.



Gambar 3. Strategi yang digunakan oleh genus *Trichoderma* (Silva dkk., 2019)

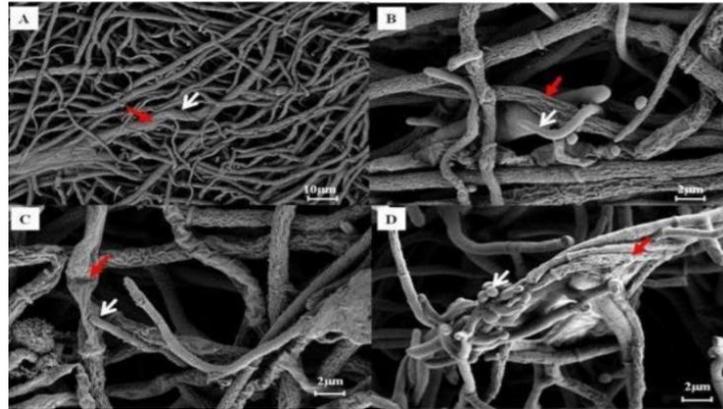
2.4.1 Mekanisme Biokontrol

Kekurangan nutrisi adalah penyebab umum kematian mikroorganisme tanah. Persaingan untuk nutrisi telah dianggap sebagai mekanisme biokontrol oleh *Trichoderma*. Jamur ini menghasilkan beberapa *siderophores* yang mengikat besi dan menghentikan pertumbuhan mikroorganisme patogen. Strain *Trichoderma* dapat bersaing untuk ruang dan untuk eksudat kunci dari biji yang merangsang perkecambahan perbanyak jamur patogen tanaman di tanah (Howell, 2002). Ada buktinya *T.*

harzianum CECT 2413 memiliki gen yang mengkode transporter glukosa berafinitas tinggi (Gtt1). Menariknya, Gtt1 hanya diekspresikan pada konsentrasi glukosa yang sangat rendah serupa dengan skenario kompetisi di antara mikroorganisme. Karena tumbuhan memancarkan karbohidrat, mungkin itu terjadi *Trichoderma* bersaing untuk mendapatkan metabolit ini sebagai sumber karbon utama di tanah yang miskin nutrisi (Cornejo *et al.*, 2016).

2.4.2 Mikoparasitisme

Mikoparasitisme adalah salah satu mekanisme utama yang terlibat dalam antagonisme *Trichoderma* sebagai agen biokontrol. Proses tersebut tampaknya mencakup, pertumbuhan kemotropik *Trichoderma*, sekresi enzim ekstra seluler, penetrasi hifa dan lisis *Trichoderma* mengenali sinyal dari jamur inang, memicu *coiling* dan penetrasi inang. Proses mikoparasitisme melibatkan serangan langsung dari satu spesies jamur ke jamur lainnya. Proses kompleks ini mencakup peristiwa berurutan, yang melibatkan siklus pengenalan strain jamur oleh *Trichoderma* sp., serangan pada mesin seluler, dan penetrasi berikutnya ke dalam host dan akhirnya membunuh host (Kubicek *et al.*, 2019).



Gambar 4. *Scanning Electron Microscopy* menunjukkan mikoparasitisme *S. rolfsii*-CSR dan *S. sclerotiorum*-TSS oleh spesies *Trichoderma*.

- A. Melingkarnya *T. harzianum* (MK751758) (panah berwarna putih) di sekitar hifa *S. sclerotiorum*-TSS (panah berwarna merah)
- B. Memperbesar tampilan lilitan hifa *S. sclerotiorum*-TSS (panah berwarna merah)
- C. Perlekatan *T. harzianum* (MK751758) (panah putih) miselia pada *S. rolfsii* -CSR (panah merah)
- D. Sporulasi *T. harzianum* (MK751758) (panah putih) pada miselia *S. rolfsii*-CSR (panah merah) (Rajani dkk., 2021).

Trichoderma sp. bahkan dapat tumbuh ke arah inang jamur dengan mengenali mereka. Aktivitas penginderaan jauh tersebut sebagian karenaproduksi sekuensial dari protein terkait patogenesis, sebagian besar protease glukukanase, dan kitinase. Responnya berbeda-beda *Trichoderma* strain tidak serupa dalam proses mikoparasitisme. Sekresi konstitutif *eksoskitinase* pada tingkat rendah yang mendegradasi dinding sel jamur melepaskan oligomer memainkan peran sentral dalam penghambatan pertumbuhan strain jamur patogen (Kubicek *et al.*, 2019). Mikoparasitisme pada *Trichoderma* melibatkan perpaduan antara pengenalan dan keterikatan inang dan melingkar di sekitar hifa inang. Ini adalah proses kompleks yang melibatkan pertumbuhan tropik dari agen biokontrol menuju jamur yang ditargetkan, kumparan yang dimediasi lektin *Trichoderma* hifa ke patogen, dan akhirnya

serangan. Fenomena ini melibatkan sekresi metabolit antibiotik, yang mengakibatkan pelucutan dan pembunuhan patogen. Cara kerja termasuk pelepasan atpenin, penghambat kuat dan spesifik dari metabolisme mitokondria dalam parasit (Waghunde *et al.*, 2016).

2.4.3 Antibiosis

Metabolit sekunder *Trichoderma* sp. yang bersifat antibiotik diantaranya adalah koninginin, viridin, dan harzianopyridone (Vinale *et al.*, 2014). Koninginin yang diisolasi dari *T. harzianum*, *T. koningii*, dan *T. aureoviride* menunjukkan aktivitas antibiotik *in vitro* terhadap jamur *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora cinnamomi*, dan *Fusarium oxysporum*. Viridin adalah senyawa antijamur yang diisolasi dari *T. koningii*, *T. viride*, dan *T. virens*. Antibiotik ini mencegah perkecambahan spora *Botrytis allii*, *Colletotrichum lini*, *Fusarium caeruleum*, dan *Aspergillus niger*. Harzianopyridone merupakan metabolit dari *T. harzianum* yang sangat ampuh melawan *B. cinerea*, *R. solani*, *G. graminis* var. *tritici*, dan *Pythium ultimum*. *Trichoderma viridie* akan meningkatkan aktifitas parasitisme dan pembentukan gliotoksin dan viridin pada kondisi asam (Akter *et al.*, 2019). Untuk bertahan hidup dan bersaing dalam relung ekologi mereka, jamur tidak hanya menggunakan senjata enzimatik tetapi juga memiliki persenjataan yang kuat untuk perang kimia yang mereka miliki. Dengan demikian, tidak hanya potensi antibiotik tetapi juga mikotoksin dan lebih dari 100 metabolit dengan aktivitas antibiotik termasuk poliketida, piron, terpena, metabolit yang berasal dari asam amino, dan polipeptida terdeteksi di *Trichoderma* sp. dan telah disarankan untuk digunakan untuk kemotaksonomi spesies ini. Namun, evolusi pembentukan peptaibol tampaknya terlalu kompleks untuk memungkinkan

prediksi profil produksi peptaibol membentuk hubungan filogenetik (Schuster and Schmoll, 2010).

Paracelsin adalah salah satu metabolit sekunder yang berfungsi sebagai antibiotik pertama yang teridentifikasi dalam *Trichoderma* sp. karena menghasilkan sejumlah senyawa dengan aktivitas *antibiotic* seperti alkohol, aldehida, etilen, hidrogen sianida, monoterpen, keton, peptaibol, gliovirin dan gliotoxin seperti diketopiperazine. Kemampuan *Trichoderma* sp. untuk memproduksi antibiotik tergantung pada faktor-faktor tertentu misalnya, jumlah mikroorganisme, pH, suhu, dan jenis substrat. *Trichoderma* dengan spesies yang sama dapat menghasilkan banyak senyawa antibiotik dan dengan cara yang serupa antibiotik yang dihasilkan dapat diproduksi oleh *Trichoderma* dengan spesies yang berbeda tetapi studi Luckner (1990) mengungkapkan bahwa isolat yang berbeda spesies dan spesies yang sama dapat menghasilkan senyawa yang berbeda.

2.4.4 Metabolit Sekunder dari Enzim

Metabolit sekunder dari enzim *Trichoderma* sp. sangat dipengaruhi oleh pH. *Trichoderma* sp. pada kondisi asam akan lebih terpacu meningkatkan pembentukan enzim–enzim. Ekspresi enzim–enzim kitinolitik bersifat inducibel. Ekspresi enzim meningkat dengan cepat apabila pada medium tumbuh *Trichoderma* sp. mengandung kitin sebagai satu–satunya sumber karbon dan kitin dapat berbentuk kitin murni atau turunannya dan dinding sel serta miselium jamur patogen. Induksi tidak terjadi apabila *Trichoderma* ditumbuhkan pada medium yang mengandung glukosa dan beberapa gula sederhana yang lain (Adriansyah dkk., 2015).

Metabolit sekunder *Trichoderma* sp. yang bersifat enzim di antaranya adalah kitinase, β -1,3- glukukanase, lipase dan protease (Harman *et al.*, 2004). Enzim β -1,3-glukanase, lipase dan kitinase

diisolasi dari *T. viride*, *T. virens*, dan *T. harzianum* (Dubey *et al.*, 2011). Enzim-enzim tersebut berperan penting dalam proses pengendalian penyakit tanaman. Selanjutnya Vinale *et al* (2014) melaporkan bahwa beberapa metabolit sekunder *Trichoderma* sp. dapat menginduksi ketahanan tanaman, yaitu berperan sebagai elisitor dalam mekanisme pertahanan tanaman melawan patogen - pyrone yang dihasilkan.

Dinding sel *Trichoderma* diketahui menghasilkan enzim hidrolitik, misalnya, selulase, kitinase, dll., yang berperan penting dalam degradasi biomassa (Kubicek *et al.*, 2019) mempelajari bahwa dinding sel jamur fitopatogenik terutama terdiri dari β -1,3-glukan dan kitin, termasuk selulosa di beberapa oomycetes, misalnya, *Pythium* sp, tetapi karena adanya enzim hidrolitik, *Trichoderma* mengganggu aktivitas patogen. Enzim hidrolitik yang disekresikan oleh *Trichoderma* mampu menghambat pertumbuhan patogen. Spesies *T. harzianum* telah dibuktikan menghasilkan enzim hidrolitik yang menghambat pertumbuhan *Crinipellis pernicioso*, yaitu diketahui sebagai agen penyebab penyakit kakao (*Theobroma cacao*). Faktor terpenting untuk produksi enzim oleh jamur yang paling penting adalah jenis sumber karbon yang tersedia, produksi enzim hidrolitik, kondisi cahaya, laju pertumbuhan, dan stres sekresi (Blaszczyk *et al.*, 2014).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2023 – Februari 2024 dengan pengambilan isolat uji di PT. *Great Giant Pineapple* (GGP) Lampung Tengah dan pembuatan grafik fase pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834), uji isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro* serta uji aktivitas enzimatis dilakukan lebih lanjut di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ose jarum, cawan petri, sumbat, bunsen, erlenmeyer, *beaker glass*, gelas ukur, pinset, mikroskop, *centrifuge*, *shaker*, timbangan analitik, vortex mixer, hot plate *magnetic stirrer*, *corkborer* Ø 8 mm, *autoclave*, *Biological Safety Cabinet* (BSC), oven, inkubator, spidol.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834), isolat jamur patogen *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. yang berasal dari di PT. *Great Giant Pineapple* (GGP) Lampung Tengah, 1 % minyak zaitun, 0,04 % *methyl red* dan 1,5 % *tween* 80, *congo red* 0,1 %, NaCl 1 M, kapas, medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) (200 g/L kentang, 20 g/L Dextrosa, 15 g/L Agar-agar), *Potato Dextrose Broth* (PDB) (200 g/L kentang, 20 g/L glukosa), HCL, Serbuk kitin, antibiotik *chloramphenicol*, aquades, NaOH 12 N, alkohol 70 %, spiritus, tisu, kertas saring, kasa dan plastik wrap.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengambilan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) dan isolat jamur patogen (*Phytophthora* sp. dan *Colletotricum* sp.) dari Laboratorium Mikrobiologi PT. *Great Giant Pineapple* Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah. Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) ditumbuhkan pada media PDB untuk pembuatan grafik pertumbuhan dengan metode perhitungan biomassa kering dari miselium. Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dan divisualisasikan dalam bentuk grafik. Tahap kedua dilakukan uji potensi isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) sebagai agen biokontrol antipatogen jamur secara *in vitro* yang dilakukan dengan uji kompatibilitas. *Trichoderma* dan patogen ditumbuhkan dalam cawan petri yang sama dengan cara saling berhadapan dengan jarak antar keduanya 4 cm untuk mengetahui interaksinya selama 7 hari. Data yang didapat kemudian dianalisis secara kualitatif. Kemudian isolat diuji aktivitas enzimatis yang meliputi enzim lipase dan kitinase dilakukan dengan menitik jamur pada setiap medium uji dengan 3 pengulangan. Kemampuan jamur menghasilkan enzim ditentukan dengan terbentuknya zona jernih pada medium setiap uji. Data yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dengan metode gravimetri. Indeks enzimatis ditentukan berdasarkan bobot luas zona jernih yang terbentuk.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Peremajaan Isolat Jamur *Trichoderma* (T14 dan T7834) dan Jamur Patogen (*Phytophthora* sp. dan *Colletotricum* sp.)

Isolat jamur *Trichoderma* (T14 dan T7834) dan jamur patogen (*Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp.) yang digunakan berasal dari laboratorium mikrobiologi di PT. *Great Giant Pineapple* (GGP). Peremajaan isolat jamur diawali dengan menyiapkan media PDA dalam erlenmeyer dituangkan sebanyak 15-20 mL ke dalam cawan petri, kemudian dibiarkan hingga memadat. Jamur dari stok kultur diambil satu potong menggunakan *corkborer* Ø 8 mm dan diinokulasikan pada media PDA yang telah memadat di dalam cawan

petri. Fungi diinkubasi selama ± 7 hari pada suhu $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gusmaryana, 2018).

3.4.2 Pembuatan Grafik Pertumbuhan *Trichoderma* (T14 dan T7834)

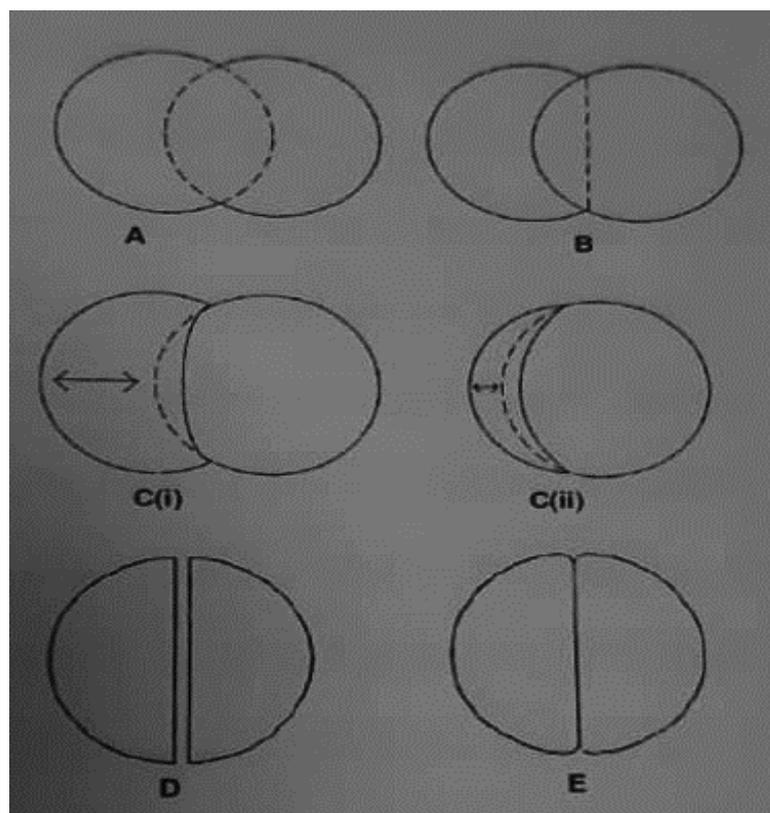
Pembuatan kurva fase pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan isolat dari berat kering miseliumnya. Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) dipotong dalam *laminar air flow* menggunakan *corkborer* Ø 8 mm. Tiga potong koloni (Ø 8 mm) ditanam diinokulasikan ke dalam media cair PDB sebanyak 150 mL. Media yang berisi potongan *Trichoderma* diinkubasi pada suhu ruang pada *rotary shaker* dengan kecepatan 90 rpm. Penentuan grafik pertumbuhan jamur dilakukan dengan pengamatan setiap 3 hari terhadap pertumbuhan jamur, yaitu dengan menghitung biomassa kering jamur selama 30 hari (hari ke-0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30). Setelah 30 hari inkubasi, jamur yang dikultur dihitung bobot kering miseliumnya. Biakan jamur dipisahkan antara media PDB dengan miseliumnya. Pemisahan ini dilakukan dengan menyaring miselia dari media tumbuhnya dengan kertas saring yang telah diketahui berat keringnya (dioven 24 jam pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$). Miselia pada kertas saring kemudian dioven selama 24 jam pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga akan didapatkan bobot kering miselia dan kertas saring (Achmad dkk., 2013). Bobot kering miselia didapatkan dengan perhitungan berikut:

$$\text{Bobot kering miselia} = (\text{Bobot kering kertas saring} + \text{Bobot kering miselia}) - \text{Bobot kering kertas saring}$$

3.4.3 Uji Kompatibilitas Jamur Secara *In vitro*

Uji kompatibilitas merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam penggunaan kultur konsorsium (*mixed cultures*) karena jika terdapat interaksi positif diantara isolat, maka bisa digunakan untuk mengatasi permasalahan keterbatasan nutrisi (Gutierrez-Correa et al.,

1999). Uji kompatibilitas mengacu pada metode yang dikembangkan oleh beberapa peneliti sebelumnya yaitu Skidmore & Dickinson (1976); Stahl & Christensen (1992); dan Molla *et al.*, (2001). Pengujian kompatibilitas dilakukan dengan menggunakan media PDA, sebanyak 15 mL media dimasukkan pada cawan petri berdiameter 9 cm. Potongan koloni tiap fungi yang akan dipasangkan dan dimasukkan kedalam cawan petri berasal dari kultur yang berumur 7 hari dan dipotong dengan diameter 1 cm. Kedua cakram koloni yang sudah dipotong selanjutnya dikulturkan pada media yang sama dengan jarak 4 cm saling berhadapan untuk mengetahui interaksinya. Kultur tersebut kemudian dinkubasi sampai dewasa dengan pengamatan dilakukan setiap hari untuk melihat perkembangannya. Beberapa jenis interaksi yang mungkin terjadi seperti yang terlihat pada **Gambar 5**. (Mohammad *et al.*, 2011).



Gambar 5. Interaksi fungi pada pengujian kompatibilitas, yaitu A. Kompatibel penuh (mutual intermingling), B. Kompatibel sebagian (partial intermingling), C(i). Invasi awal, C(ii). Invasi akhir (replacement), D. Penghambatan-jarak, E. Penghambatan titik (Mohammad *et al.*, 2011).

3.4.4 Uji Aktivitas Enzimatik

3.4.4.1 Uji Aktivitas Lipolitik

Medium PDA ditambahkan 1 % minyak zaitun, 0,04 % *methyl red* dan 1,5 % *tween* 80 kemudian disterilisasi.

Medium yang telah steril ditambahkan 500 mg/L antibiotik *chloramphenicol* dan dituang ke dalam cawan petri steril.

Inokulasikan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) ke dalam medium uji menggunakan ose jarum. Cawan diinkubasi pada suhu kamar selama 3 hari. Zona jernih yang terbentuk disekitar koloni isolat *Trichoderma* menunjukkan adanya aktivitas lipolitik (Mirza dkk., 2017).

3.4.4.2 Uji Aktivitas Kitinolitik

Persiapan Medium Koloid Kitin

Serbuk kitin 5 gr dilarutkan ke dalam 80 mL HCL pekat dan dihomogenkan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah homogen, larutan didiamkan pada suhu 4 °C selama 24 jam. Larutan bening dengan endapan yang terbentuk dipisahkan, lalu endapan dilarutkan dalam 40 mL aquades dingin dan dihomogenkan. Diatur pH sampai mendekati pH 7 dengan penambahan NaOH 1 N. Setelah diatur pH, larutan disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 7.500 rpm. Filtrat hasil sentrifugasi dipisahkan dari supernatan dan ditambah aquades dingin, kemudian disentrifugasi kembali selama 15 menit dengan kecepatan 7.500 rpm. Filtrat hasil sentrifugasi merupakan koloid kitin.

Pembuatan Medium Kitin Agar

Koloid kitin ditambahkan 1 % ke dalam medium PDA yang telah dibuat untuk selanjutnya disterilisasi. Medium yang telah steril ditambahkan 500 mg/L antibiotik *chloramphenicol*.

Medium kemudian dituang ke dalam cawan petri steril dan dibiarkan memadat. Inokulasikan isolat jamur *Trichoderma* dengan cara membuat titik pada permukaan medium menggunakan ose jarum dan diinkubasi pada suhu kamar selama 3 hari. Zona jernih yang terbentuk disekitar koloni jamur menunjukkan adanya aktivitas kitinolitik. Zona jernih yang terbentuk direndam dengan *congo red* 0,1 % selama 3 menit lalu dibilas dengan NaCl 1 M (Suryadi dkk., 2013).

3.4.5 Penentuan Indeks Enzimatik

Kemampuan isolat untuk membentuk zona jernih hanya menunjukkan bahwa isolat tersebut mampu memproduksi enzim tetapi tidak menunjukkan besarnya aktivitas enzimatik dari suatu isolat. Untuk mengetahui besarnya aktivitas enzimatik dari suatu isolat dapat dilakukan dengan menghitung nilai indeks enzimatknya dengan metode gravimetri. Data yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks enzimatik dari masing-masing isolat.

Indeks enzimatis dapat ditentukan dengan mengukur luas koloni dan luas zona jernih yang terbentuk. Luas koloni maupun luas zona jernih dihitung dengan menggunakan metode gravimetri menurut Irwan dan Wicaksono (2017) dengan membuat replika bentuk koloni dan zona jernih yang digambar pada plastik mika bening. Kemudian replika tersebut dipotong dan ditimbang menggunakan timbangan analitik. Selanjutnya, membuat potongan kertas ukuran 1 cm x 1 cm lalu ditimbang menggunakan timbangan analitik. Kemudian menghitung luas koloni dan luas zona jernih dengan menggunakan rumus:

$$\text{Luas Koloni (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Bobot replika koloni (g)}}{\text{Bobot plastik mika 1 x 1 cm}^2 \text{ (g)}} \times 1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas Zona Jernih (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Bobot replika zona jernih (g)}}{\text{Bobot plastik mika 1 x 1 cm}^2 \text{ (g)}} \times 1 \text{ cm}^2$$

Penentuan indeks enzimatik dihitung menggunakan rumus Rosa *et al.* (2020) dengan 3 kali replikasi.

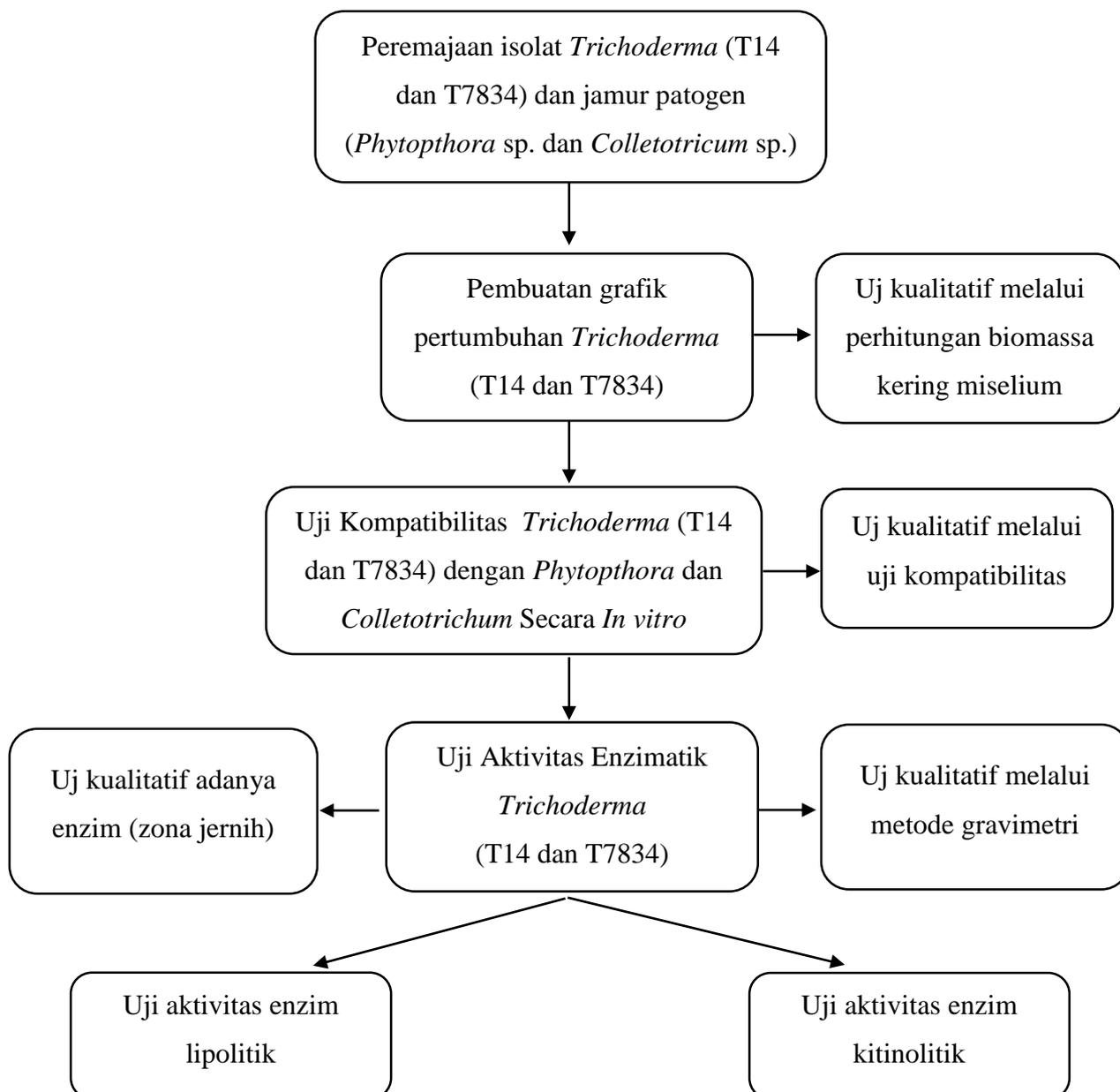
$$IE = \frac{\text{Luas zona jernih} - \text{Luas koloni}}{\text{Luas koloni}}$$

3.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pertumbuhan isolat *Trichoderma* dianalisis secara deskriptif kualitatif dan disajikan dalam bentuk grafik. Data uji kompatibilitas jamur pada media PDA dianalisis secara deskriptif kualitatif. Data nilai indeks enzimatik lipase dan kitinase isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) yang diperoleh akan dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan terbentuknya zona jernih dengan metode gravimetri yang disajikan dalam bentuk tabel.

3.6 Bagan Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian (Dokumentasi Pribadi, 2023)

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Grafik pertumbuhan isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) diawali dengan penyesuaian pertumbuhan hari ke-3, penambahan berat miselium pesat hari ke-3-hari ke-12, penambahan berat miselium konstan hari ke-12 - hari ke-21, kemudian penurunan berat miselium hari ke-24 sampai dengan hari ke-30.
2. Isolat *Trichoderma* (T14 dan T7834) mampu menghambat pertumbuhan jamur *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. sehingga efektif dijadikan sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan jamur patogen *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. secara *in vitro*. Akan tetapi *Trichoderma* T7834 tidak mampu menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum*, sehingga kurang efektif dijadikan sebagai agen biokontrol.
3. *Trichoderma* (T14 dan T7834) mampu menghasilkan enzim lipase, sehingga kedua isolat tersebut berpotensi menjadi kandidat jamur biokontrol antipatogen jamur *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp melalui aktivitas enzim lipolitiknya.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan uji efektivitas *Trichoderma* T14 dan T7834 untuk mengendalikan penyakit yang disebabkan jamur patogen *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. pada tanaman nanas dan jambu kristal.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Aziz, S. A., Sin, T. L., Alitheen, N., Shabab, N., Kamarudin, K. 2008. *Microbial Degradation of Chitin Materials by Trichoderma virens* UKM1. *Journal of Biologi Science*. 8(1):52-59.
- Achmad, E.N. Herliyana, E.A. Octaviani. 2013. Pengaruh pH, Penggoyangan Media, dan Penambahan Serbuk Gergaji Terhadap Pertumbuhan Jamur *Xylaria* sp. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 4(2):57-61.
- Adriansyah, A., M.A. Saputra, M. Hamawi, A. Ikhwan. 2015. Uji Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp. Sebagai Antimikrobia Patogen Tanaman *Pseudomonas solanacearum* Secara In Vitro *Trichoderma*. *Gontor Agrotech Science Journal*. 2(1): 19–30.
- Agustien, A. 2010. *Protease Bakteri Termofilik*. (Skripsi). Universitas Padjajaran. Bandung.
- Akter, F., G. U. Ahmed, M. F. Alam. 2019. *Trichoderma* : A Complete Tool Box for Climate Smart. *Agriculture*. 2(1): 40–43.
- Azimova, N., D.M. Khamidov, M.B. Djumagulov, Z.S. Shakirov. 2016. *Purification and Some Properties of Endo-1,4-B-Glucanases of Trichoderma harzianum* UzCF-28. *Open Journal of Applied Sciences*. 6:514-523.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Produksi Buah Nanas di Lampung 2017*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Błaszczuk, L., M. Siwulski, K. Sobieralski, J. Lisiecka, M. Jędrzycka. 2014. *Trichoderma* spp. *Application and Prospect For Use In Organic Farming and Industry*. *Journal of Plant Protection Research*. 54(4):309-317.
- Canseco-Perez, M. A., G. M. Castillo-Avila., B. Chi-Manzenaro., M. M. Apolinar. 2018. *Fungal Screening on Olive Oil for Extracellular Triacylglycerol Lipases: Selection of a Trichoderma harzianum Strain and Genome Wide Search for the Genes*. *Genes (Basel)*. 9(2):62.
- Chen, J. K., Shen, C. R., Liu, C. L. 2010. *N-acetylglucosamine: Production and Applications*. *Marine Drugs*. 8

- Chew, A.W., N.N. Rahman, M.O. Kadir, C.C. Chen. 2012. *Dried and wet Trichoderma sp, biomass adsorption capacity on Ni, Cd & Cr in contaminated groundwater. IPCBEE*. 10-11.
concept. *Plant Disease*. 87: 1-10.
- Cornejo, H.A.C., L. M. Iiguez, E.D. Val, J. Larsen. 2016. Fungsi ekologis *Trichoderma sp. Ekologi Mikrobiologi*. 92(1):1–17.
- Cui, Y. Q., Van, L., R.G.J.M., Luyben, K.C.A.M. 1997. *Effect of Agitation Intensities on Fungal Morphology of Submerged Fermentation. Biotechno*. 55:715-726.
- Dewi, O.K.M. 2018. *Eksplorasi Jamur Rhizosfer Pada Tanaman Tebu Serta Potensi Antagonis Terhadap Penyakit Pokahbung (Fusarium Moniliformae L.) Di Lahan Milik Pg Kebon Agung Kabupaten Malang*. Universitas Brawijaya: Jawa Timur.
- Dubey, S.C., A. Tripathi, P. Dureja, A. Grover. 2011. Characterization of secondary metabolites and enzymes produced by *Trichoderma* species and their efficacy against plant pathogenic fungi. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 81(5):455–461.
- Ekowati, N., E.T. Sucianto, J.S. Muljowati, R. Dewi. 2009. Uji aktivitas antibiosis beberapa isolat *Gliocladium* dan *Trichoderma* terhadap mikroba patogen dengan pH awal fermentasi yang berbeda. *Jurnal Inovasi*. 3(2):69–77.
- Ferreira, F.V., M. A. Musumeci. 2021. *Trichoderma* as biological control agent: scope and prospects to improve efficacy. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 37(5):1–17.
- Flores, C. L., Rodriguez, T., Petit., C. Gancedo. 2000. *Carbohydrate and Energyyielding Metabolism in Non Conventional Yeasts. FEMS Microbial Rev*. 24:507-529.
- Gandjar, I. W., Sjamsuridzal., A. Oetari. 2006. *Mikologi Dasar dan Terapan*. Yayasan Obor Indonesia: Jakarta.
- Gusmaryana, T. 2018. *Pengujian Dekomposisi Kultur Murni Dan Pengaruh Inokulum Fungi Aspergillus tubingensis R. Mosseray Pada Pengomposan Serasah Nanas (Ananas comosus (L.) Merr.) (Skripsi)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Gutierrez-Correa, M., L. Portal., M. Patricia., T. P. Robert. 1999. Mixed Cultured Solid Substrate Fermentation of *Trichoderma reesei* with *Aspergillus niger* on Sugar Cane Bagaasse. *Bioresource Technology*. 68(2):173-178.
- Harman, G.E., T. Björkman, K. Ondik, M. Shores. 2008. *Trichoderma spp. For Biocontrol, Changing Paradigms on the modeofaction and uses of Trichoderma spp. For Biocontrol. Research Information*. Cornell University, USA.

- Harni, R., W. Amaria, H. Mahsunah, Syafruddin. 2017. Potensi Metabolit Sekunder *Trichoderma* sp. Untuk Mengendalikan Penyakit Vascular Streak Dieback (Vsd) Pada Bibit Kakao. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. 4(2):57–66.
- Hasanah, Uswatun. 2018. Kurva Pertumbuhan Jamur Endofit Antijamur *Candida* Dari Tumbuhan Raru (*Cotylebium melanoxydon*) Genus *Aspergillus*. *Jurnal Biosains*. 4(2):102-107.
- He, D.C., M.H. He, D. M. Amalin, W. Liu, D. G. Alvindia, J. Zhan. 2021. Biological control of plant diseases: An evolutionary and eco-economic consideration. *Pathogens*. 10(10).
- Heydari, A., M. Pessaraki. 2010. A Review on Biological Control of Fungal Plant Pathogens Using Mikrobial Antagonists. *Journal of Biological Science*. 10(4):273-290.
- Howell, C. R. 2002. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases the history and evolution of current concept. *Plant Disease*. 87: 1-10.
- Indratmi, D. 2009. Penggunaan *Debaryomyces* sp. dan *Schizosaccharomyces* sp. dengan adjuvant untuk pengendalian penyakit antraknosa pada mangga. *GAMMA*. 5(1):13-20.
- Irawan, Bambang. 2016. *Diktat Mikologi*. Universitas Lampung: Bandar Lampung.
- Irwan, A. W., F. Y. Wicaksono. 2017. Perbandingan Pengukuran Luas Daun Kedelai Dengan Metode Gravimetri, Regresi, dan Scanner. *Jurnal Kultivasi*. 16(3):425-429.
- Jedryczka, M., Blaszczyk, L., Siwulski, M. Sobieralski., Lisiecka. 2014. *Trichoderma* spp. Application and Prospect for use in Organic Farming and Industry. *Journal of Plant Protection Research*. Vol 54(4).
- Kalay, A., A. Talahaturuson, W. Rumahlewang. 2018. Uji Antagonisme *Trichoderma harzianum* dan *Azotobacter chroococcum* Terhadap *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* dan *Fusarium oxysporum* Secara in-vitro. *Agrologia*. 7(2): 71-78.
- Ketnawa, S., Chaiwut, P., Rawdkuen, S. 2012. Pineapple Wastes: A Potential Source For Bromelin Extraction. *Food and Bioproducts Processing*. 90:385-391.
- Kubicek, P. C., E. G. Harman. 2002. *Trichoderma and Gliocladium*. Vol. 1 *Basic biology, taxonomy and genetics*. British Library.
- Lechuga, E.G., Q. Z. Isela, A.N. Katiushka. 2016. Detection of Extracellular Enzymatic Activity in Microorganism Isolated From Waste Vegetable Oil Contaminated Soil Using Plate Methodologies. *African Journal of Biotechnology*. 15(11): 408-416.

- Lestari, P., S. Helina, C. Ginting, T. M. 2023. Pemanfaatan Agensia Hayati Untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Jagung Di Desa Rejo Mulyo, Lampung Selatan. *Jurnal Pengabdian Fakultas Pertanian Universitas Lampung*. 2(1):68-79.
- Liu, X., W. Min, S. Mei, L. Wang, S. Jiang. 2021. Plant Disease Recognition: A Large-Scale Benchmark Dataset and a Visual Region and Loss Reweighting Approach. *IEEE Transactions on Image Processing*. 30: 2003–2015.
- Loc, N. G., Nguyen, D. H., Hoang, T. Q., Tran, T. L., Tran, T. T. H. 2020. *Characterisation and Antifungal Activity of a Extracellular Chitinase from A Biocontrol Fungus Trichoderma asperellum PQ34*. *Mycology*. 11(1):38-48.
- Luckner, M. 1990. *Secondary Metabolism in Microorganisms, Plants and Animals*. 3rd ed. Springer-Verlag:Berlin.
- M. Lopez-Ferber. 2015. Resistance to Bio-Insecticides or How to Enhance Their Sustainability: a review. *Front. Plant Sci*. 6:381.
- Mirza, R. Y., Rizka A. F., Utami S. H., Sitoresmi. P. 2017. Identifikasi Uji Kemampuan Hidrolisis Lemak dan Penentuan Indeks Zona Bening Asam Laktat Pada Bakteri dalam Wadi Makanan Tradisional Kalimantan Tengah. *Jurnal Bionature*. 18(2):87-98.
- Mohammad, N., Zahangir, A., Nasserelden, A., Kabashi., Opatokun, S. A. 2011. *Development of Compatibel Fungal Mixed Cultured for Composting Process of Oil Palm Industrial Waste*. *African Journal of Biotechnology*. 10(8):18657-18665.
- Molla, A. H., Fakhrul R. A., Hanafi, M. M., Alam, M. Z. 2001. *In vitro Compatibility Evaluation of Fungal Mixed Culture for Bioconversion of Domestic Wastewater Sludge*. *World J. Microbiol. Biotechnol*. 17:849-856.
- Moore-Landecker, E. 1996. *Fundamentals of the Fungi*. Prentice Hall International, Inc:New Jersey.
- Nadhifah, Y.M., U.S. Hastuti, S. Istamar. 2016. Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi Mikoflora dari Rizosfer Tanah Pertanian Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Sebagai Bahan Ajar Kingdom Fungi untuk Siswa Kelas X SMA. *Jurnal Pendidikan*. 1(10):2023-2030.
- Narraswati, N., R. Oktavia, N. Nenci, Y. Eryanti, T.T. Nugroho. 2017. Potensi Metabolit Sekunder dari *Trichoderma* sp. LBKURCC22 Tanah Gambut Hutan Sekunder Sebagai Antibiotik. *Chimica et Natura Acta*. 5(2):85–89.
- Nugroho, S.A., R. Wardana., T. Fatimah., L. Mastuti., I. L. Novenda. 2022. Hidrolisis Lemak oleh Enzim Lipase Pada Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). *Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*. 7(1):81-89.

- Pandit, M. A., J. Kumar, S. Gulati, N. Bhandari, P. Mehta, R. Katyal, C. D. Rawat, V. Mishra, J. Kaur. 2022. Major Biological Control Strategies for Plant Pathogens. *Pathogens*. 11(2):1–21.
- Prasetyo, G., S. Ratih, I. Ivayani, H.M. Akin. 2017. Efektivitas *Pseudomonas fluorescens* dan *Paenibacillus polymyxa* terhadap keparahan penyakit karat dan hawar daun serta pertumbuhan tanaman jagung manis (*Zea mays* var. Saccharata). *Jurnal Agrotek Tropika*. 5(2): 102-108.
- Prasetyo, J., A. Titik Nur. 2014. Pineapple Fruit Collapse : Newly Emerging Disease of Pineapple Fruit in Lampung, Indonesia. *Jurnal Hama dan Penyakit Tanaman Tropika*. 14(1):96-99.
- Prasetyo, J., E.R. Suharjo. 2009. Seleksi dan uji antagonisme *Trichoderma* spp. Isolat tahan fungisida nabati terhadap pertumbuhan *Phytophthora capsici*. *J.HPT Tropika*. 9 (1):58-66.
- Purnomo, H. 2010. *Pengantar Pengendalian Hayati*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Purwantisari, S., R.B. Hasturi. 2009. Uji Antagonisme Jamur Patogen *Phytophthora infestans* Penyebab Penyakit Busuk Daun dan Umbi Tanaman Kentang Dengan Menggunakan *Trichoderma* spp. Isolat Lokal. *Jurnal Bioma*. 11(1):24-32.
- Puspita, F., M. Ali, Supriyadi. 2020. Kompatibilitas dan Daya Hambat Konsorsium *Trichoderma* spp. Endofit Terhadap Penyakit Busuk Buah Kakao *Phytophthora Palmivora*. *Jurnal Agrikultura*. 31(2):126-133.
- Qatrunada, V. 2020. Isolasi dan Seleksi *Actinomycetes* dari Tanah Penghasil Enzim Hidrolase sebagai Kandidat Probiotik. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rajani, P., C. Rajasekaran, M.M. Vasanthakumari, S.B. Olsson, G. Ravikanth, R.U. Shaanker. 2020. Inhibition of plant pathogenic fungi by endophytic *Trichoderma* spp. through mycoparasitism and volatile organic compounds. *Microbiological Research*. 242:126595.
- Ramadhan, J. T. 2015. *Mekanisme Jamur Trichoderma Sp. Sebagai Agen Pengendali Hayati*. Universitas Tidar:Magelang.
- Roosheroe, I. G., Sjamsuridzal, W., Oetari, A. 2014. *Mikologi Dasar dan Terapan*. Edisi Revisi. Jakarta:Pustaka Obor Indonesia.
- Rosa, E., Ekowati, C. N., Handayani, T. T., Ikhsanudin, A., Apriliani, F., Arifiyanto, A. 2020. Characterization of Entomopathogenic Fungi as a Natural Biological Control of American Cockroaches (*Periplaneta americana*). *Biodiversitas*. 21(11):5276-5282.
- Ruggiero, M.A., D.P. Gordon, T.M. Orrell, N. Bailly, T. Bourgoin, R.C. Brusca, T. Cavalier-Smith, M. D. Guiry, P.M. Kirk. 2015. A higher level classification of all living organisms. *PLOS ONE*. 10(4):1-60.

- Sanothan, A., V.B. Montong, M. Lengkong. 2023. Uji Antagonis Jamur *Trichoderma* sp. terhadap Penyakit Antraknosa *Colletotrichum* sp. pada Tanaman Cabai Keriting *Capsicum annuum* L. di Laboratorium. *Jurnal Entomologi dan Fitopatologi*. 3(1):15-23.
- Sari, G.I., Aini, L.Q., Abadi, A.F. 2014. Pengaruh Pemberian Kompos Terhadap Perkembangan Penyakit Busuk Hati (*Phytophthora* sp.) Pada Tanaman Nanas (*Ananas comosus*). *Jurnal Hama dan Penyakit Tanaman Brawijaya*. 2(4):71-76.
- Schuster, A., M. Schmoll, 2010. Biology and Biotechnology of *Trichoderma*. *Microbiol Biotechnol*. 87(1):787–799.
- Sieewart, M., B. Graillot, C. Blachere-Lopez, S. Besse, M. Bardin, P.C. Nicot, Silva, R. N., V.N. Monteiro, A.S. Steindorff, E.V. Gomes, E.F. Noronha, C. J. Ulhoa. 2019. *Trichoderma* Pathogen Plant Interaction in Pre-Harvest Food Security. *Fungal biology*. 123(8): 565-583.
- Skidmore, A. M., Dicknison, C. H. 1976. *Colony Interactions and Hyphal Interference Between Septorianodorum and Phylloplane Fungi*. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 66:57-64.
- Soenartiningih, N. Djaenuddin, M.S. Saenong. 2014. Efektivitas *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. sebagai agen hayati hayati penyakit busuk pelepah daun pada jagung. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 33(2): 129-135.
- Stahl, P. D., Cristensen, M. 1992. *In Vitro Mycelial Interactions Members of a Soil Microfungal Community*. *Soil Biol. Biochem.* 24: 27-38.
- Suanda, I.W. 2016. Karakteristik Morfologis *Trichoderma* sp. Isolat JB dan Daya Antagonisme Terhadap Patogen Penyebab Penyakit Rebah Kecambah (*Sclerotium rofsii* Sacc.) pada Tanaman Tomat. *Prosiding Seminar Nasional MIPA*. 251-257.
- Suprihatin. 2010. *Teknologi Fermentasi*. UNESA Press: Surabaya.
- Suryadi, Y., T. P. Priyatno., D. N. Susilowati., I. M. Samudra., N. Yudistira. 2013. Isolasi dan Karakterisasi Kitinase Asal *Bacillus cereus* 11 UJ. *Jurnal Biologi Indonesia*. 9(1):51-62.
- Syahputra, M. H., A. Anhar, Irdawati. 2017. Isolasi *Trichoderma* Spp . dari Beberapa Rizosfer Tanaman Padi Asal Solok. *Berkala Ilmiah Bidang Biologi*. 1:97–105.
- Talantan, V.M., Marina, Orryani L., I.N. Suwastika. 2018. Uji Aktivitas Selulase Dari Jamur Selulolitik Asal Tanah Danau Kalimpa'a Sulawesi Tengah. *Journal of Science and Technology*. 7(3):323-333.
- Tilocca, B., A. Cao, Q. Migheli. 2020. Scent of a Killer: Microbial Volatilome and Its Role in the Biological Control of Plant Pathogens. *Frontiers in Microbiology*. 11:41.

- Valencia, P. E., V.I. Meitiniarti. 2017. Isolasi dan Karakterisasi Jamur Lignolitik Serta Perbandingan Kemampuannya Dalam Bidelignifikasi. *Scripta Biologica*. 4(3):171-175.
- Vinale, F., K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, S.L. Woo, M. Nigro, R. Marra, M. Lorito. 2014. *Trichoderma* secondary metabolites active on plants and fungal pathogens. *The Open Mycology Journal*. 8(1):127–139.
- Waghunde, R.R., R.M. Shelake, A.N. Sabalpara. 2016. *Trichoderma* : A significant fungus for agriculture and environment. *African Journal Of Agricultural Research*. 11(22):1952–1965.
- Wahyuno, D., D. Manohara, K. Mulya. 2009. Peranan Bahan Organik Pada Pertumbuhan dan Daya Antagonisme *Trichoderma harzianum* dan Pengaruhnya Terhadap *Phytophthora capsici* Pada Tanaman Lada. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 7:76-82.
- Wang, H., R. Zhang, Y. Duan, W. Jiang, X. Chen, X. Shen, C. Yin, Z. Mao. 2021. The Endophytic Strain *Trichoderma asperellum* 6s-2: An Efficient Biocontrol Agent Against Apple Replant Disease in China and A Potential Plant Growth Promoting Fungus. *Journal of Fungi*. 7(12):1050.
- Wratten, S.D. 2008. Maximizing Ecosystem Service From Conservation Biological Control: The Role of Habitat Management. *Journal Biological Control*. 45:254-271.