

**IDENTIFIKASI DAN UJI BIOAKTIVITAS ISOLAT JAMUR ENDOFIT
PADA TANAMAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) SEBAGAI
AGEN BIOKONTROL *Colletotrichum capsici* DAN PEMACU
PERTUMBUHAN TANAMAN**

(Tesis)

Oleh

**MUHAMMAD ZAINUL WAHID
NPM 2227021002**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI DAN UJI BIOAKTIVITAS ISOLAT JAMUR ENDOFIT PADA TANAMAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) SEBAGAI AGEN BIOKONTROL *Colletotrichum capsici* DAN PEMACU PERTUMBUHAN TANAMAN

Oleh

Muhammad Zainul Wahid

Penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum capsici* merupakan salah satu faktor utama penurunan produksi cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Pengendalian yang masih bergantung pada fungisida sintetis mendorong perlunya alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan jamur endofit sebagai agen biokontrol sekaligus pemacu pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan mengidentifikasi jamur endofit dari akar cabai rawit serta mengevaluasi aktivitas biokontrolnya terhadap *C. capsici* dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Jamur endofit diisolasi dari akar cabai rawit dan diidentifikasi secara morfologi. Pengujian meliputi uji antagonisme *in vitro* menggunakan metode biakan ganda, uji produksi indole-3-acetic acid (IAA) menggunakan reagen Salkowski dan spektrofotometri, serta uji *in vivo* pada bibit cabai rawit. Data dianalisis menggunakan ANOVA atau uji Kruskal–Wallis, dilanjutkan dengan uji Tukey HSD pada taraf 5%. Hasil penelitian memperoleh lima isolat jamur endofit, yaitu A1, B3-1, B3-2, B3-3, dan C1. Isolat A1 diduga termasuk genus *Penicillium*, isolat B3 diduga *Fusarium*, dan isolat C1 diduga *Aspergillus*. Uji antagonisme menunjukkan isolat B3-2 memiliki persentase hambatan tertinggi terhadap *C. capsici* sebesar 29,37%. Seluruh isolat mampu menghasilkan IAA, dengan konsentrasi tertinggi pada isolat A1 sebesar 27,69 ppm. Pengujian *in vivo* menunjukkan bahwa isolat B3-2 mampu menekan keparahan penyakit antraknosa sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat B3-2 berpotensi sebagai agen hayati multifungsi yang berperan dalam pengendalian penyakit dan pemacu pertumbuhan tanaman cabai rawit.

Kata kunci: jamur endofit, *Capsicum frutescens*, *Colletotrichum capsici*, biokontrol, IAA.

ABSTRACT

IDENTIFICATION AND BIOACTIVITY TEST OF ENDOPHYTIC FUNGAL ISOLATES FROM BIRD'S EYE CHILI (*Capsicum frutescens* L.) AS A BIOCONTROL AGENT AGAINST *Colletotrichum capsici* AND A PLANT GROWTH PROMOTER

By

Muhammad Zainul Wahid

*Anthracnose disease caused by *Colletotrichum capsici* is one of the main factors contributing to the decline in bird's eye chili (*Capsicum frutescens* L.) production. The continued reliance on synthetic fungicides highlights the need for more environmentally friendly alternatives, one of which is the utilization of endophytic fungi as biocontrol agents as well as plant growth promoters. This study aimed to isolate and identify endophytic fungi from the roots of bird's eye chili and to evaluate their biocontrol activity against *C. capsici* and their effect on plant growth. Endophytic fungi were isolated from chili roots and identified based on morphological characteristics. The bioactivity tests included an in vitro antagonistic assay using the dual culture method, an indole-3-acetic acid (IAA) production assay using Salkowski reagent and spectrophotometry, and an in vivo test on chili seedlings. Data were analyzed using ANOVA or the Kruskal–Wallis test, followed by Tukey HSD at a 5% significance level. The results obtained five endophytic fungal isolates, namely A1, B3-1, B3-2, B3-3, and C1. Isolate A1 was presumed to belong to the genus *Penicillium*, isolates B3 were presumed *Fusarium*, and isolate C1 was presumed *Aspergillus*. The antagonistic assay showed that isolate B3-2 had the highest inhibition percentage against *C. capsici* at 29,37%. All isolates were capable of producing IAA, with the highest concentration observed in isolate A1 (27,69 ppm). The in vivo test demonstrated that isolate B3-2 was able to suppress anthracnose disease severity while also enhancing plant growth. These findings indicate that isolate B3-2 has strong potential as a multifunctional biological agent for disease control and plant growth promotion in bird's eye chili.*

Keywords: *endophytic fungi, *Capsicum frutescens*, *Colletotrichum capsici*, biocontrol, IAA.*

**IDENTIFIKASI DAN UJI BIOAKTIVITAS ISOLAT JAMUR ENDOFIT
PADA TANAMAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) SEBAGAI
AGEN BIOKONTROL *Colletotrichum capsici* DAN PEMACU
PERTUMBUHAN TANAMAN**

Oleh

MUHAMMAD ZAINUL WAHID

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Biologi
Fakultan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Tesis : IDENTIFIKASI DAN UJI BIOAKTIVITAS
ISOLAT JAMUR ENDOFIT PADA TANAMAN
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)
SEBAGAI AGEN BIOKONTROL *Colletotrichum*
capsici DAN PEMACU PERTUMBUHAN
TANAMAN

Nama Mahasiswa : **Muhammad Zainul Wahid**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2227021002

Program Studi : Magister Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc.
NIP 196503031992031006

Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc.
NIP 198109092014041001

2. Koordinator Program Studi Magister Biologi

Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.
NIP 196603051991032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. 

Sekretaris : Dr. Mahfut. S.Si., M.Sc.


Penguji,
Bukan Pembimbing I : Rochmah Agustina, Ph.D. 

Penguji,
Bukan Pembimbing II: Dr. Kusuma Handayani, M.Si. 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


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

3. Direktur Program Pascasarjana


Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 23 April 2026

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Nama yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Zainul Wahid

NPM : 2227021002

Dengan ini menyatakan apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil plagiasi 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, 30 April 2026

Pembuat Pernyataan



Muhammad Zainul Wahid

NPM. 2227021002

PERSEMBAHAN

Segala puji hanya milik Allah SWT, Dzat yang maha agung yang memberikan kenikmatan sehingga karya ini dapat terselesaikan dengan mengharap ridho dari Allah SWT maka karya ini ku persembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta Bapak Sugiarto Mulyadi dan Ibu Siti Nur Kholifah yang selalu memberikan cinta dan kasih sayangnya serta doa yang tak henti-hentinya, memberikan dukungan moril maupun materil, serta menjadi pengajar terbaik sepanjang hayatku.

Para guru dan dosen yang telah mendidik dan mengajarku hingga hari ini dengan kesabaran, dedikasi, dan keikhlasannya dalam memberikan ilmu.

Rekan-rekan seperjuanganku yang selalau memberikan semangat, yang selalu memberikan dukungan, dan yang banyak memberikan pengalaman berharga.

Almamaterku tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkah, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Magister Sains pada Program Studi Magister Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dengan tesis yang berjudul “Identifikasi dan Uji Bioaktivitas Isolat Jamur Endofit Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) Sebagai Agen Biokontrol *Colletotrichum capsici* dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman”.

Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Jani Master, M. Si., selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Ibu Dr. Nuning Nurcahyani, M. Sc., selaku Koordinator Prodi Program Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Prof. Dr. Bambang Irawan, M.Sc. selaku pembimbing I sekaligus Pembimbing Akademik atas waktu dan tenaga yang telah sabar memberikan ilmu, bimbingan, nasihat, arahan, saran serta masukan kepada penulis dalam proses perkuliahan, penelitian, dan penyusunan tesis ini.

7. Bapak Dr. Mahfut. S.Si., M.Sc. pembimbing II yang telah membimbing, memberi masukan, nasehat, kritik dan saran serta membantu penulis menyelesaikan tesis ini.
8. Ibu Rochmah Agustrina, Ph.D. selaku pembahas I yang telah memberikan saran, kritik, nasehat, dan koreksi selama penulis menyelesaikan tesis ini.
9. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si. selaku pembahas II yang telah banyak memberikan masukan, arahan, nasehat, dan waktu terhadap penulis dalam penyelesaian tesis ini.
10. Bapak dan Ibu Dosen serta segenap Karyawan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang tidak bisa disebutkan satu-persatu atas ilmu, bimbingan, dan bantuan kepada penulis.
11. Kedua orang tuaku dan istriku tercinta terima kasih atas do'a, dukungan, dan nasehat kepada penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak baik penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 30 April 2026
Penulis

Muhammad Zainul Wahid

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Kerangka Pikir	3
1.4. Hipotesis	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tanaman Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens</i> L.)	6
2.2. Jamur Endofit.....	8
2.3. Aktivitas Biokontrol dan Pemacu Pertumbuhan.....	10
2.4. Jamur Patogen <i>Colletotrichum capsici</i>	12
III. METODE PENELITIAN.....	14
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2. Alat dan Bahan.....	14
3.3. Rancangan Penelitian.....	15
3.4. Diagram Alir	16
3.5. Prosedur Kerja	17
3.5.1. Isolasi Jamur Endofit dari Akar Tanaman <i>Capsicum</i> <i>frutescens</i> L.....	17
3.5.2. Identifikasi Morfologi dan Penamaan Isolat Jamur Endofit.....	19
3.5.3. Pembuatan Suspensi Jamur Endofit	19
3.5.4. Uji Bioaktivitas Jamur Endofit.....	20
3.6. Analisis Data.....	25

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Karakteristik Morfologi Isolat Jamur Endofit	26
4.2. Aktivitas Biokontrol Jamur Endofit terhadap <i>C. capsici</i> secara <i>In Vitro</i>	31
4.3. Uji Bioaktivitas Produksi <i>Indole Acetic Acid</i> (IAA).....	34
4.4. Hasil Seleksi Isolat Jamur Endofit Sebagai Sampel Uji <i>In Vivo</i>	36
4.5. Uji <i>In Vivo</i> Aktivitas Biokontrol Isolat Jamur Endofit B3-2 terhadap <i>C. capsici</i>	36
4.5.1. Keparahan Penyakit.....	38
4.5.2. Jumlah Daun Tanaman	40
4.5.3. Berat Segar Tanaman.....	41
4.6. Uji <i>In Vivo</i> Aktivitas Pemacu Pertumbuhan Tanaman	43
V. KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	
1. Analisis Data Luas Koloni <i>C. capsici</i> dan Persentase Hambatan pada Uji Biakan Ganda	55
2. Analisis Data Konsentrasi IAA Suspensi Jamur Endofit.....	56
3. Analisis Data Keparahan Penyakit.....	56
4. Analisis Data Jumlah Daun Tanaman.....	57
5. Analisis Data Berat Segar Tanaman	58
6. Analisis Data Pertambahan Tinggi Batang Tanaman	58
7. Gambar Halaman Rujukan Identifikasi Morfologi Isolat Jamur Endofit.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1	Notasi, Kombinasi Suspensi dan Ulangan..... 16
2	Karakteristik Makroskopik Koloni Jamur Endofit26
3	Karakteristik Mikroskopik Koloni Jamur Endofit.....26
4	Luas Koloni <i>C. capsici</i> dan Persentase Hambatan pada Uji Biakan Ganda..... 32
5	Nilai Absorbansi dan Konsentrasi IAA Isolat Jamur Endofit 34
6	Skor Seleksi Isolat untuk Uji <i>In Vivo</i>36
7	Keparahan Penyakit (%) pada Berbagai Model Perlakuan..... 38
8	Jumlah Daun Tanaman pada Berbagai Model Perlakuan..... 40
9	Berat Segar Tanaman pada Berbagai Model Perlakuan 42
10	Pertambahan Tinggi Tanaman pada Berbagai Model Perlakuan44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1	Morfologi tanaman cabai rawit..... 6
2	Morfologi jamur <i>C. capsici</i> 12
3	Diagram alir penelitian 17
4	Morfologi makroskopis dan mikroskopis isolat A1 27
5	Morfologi makroskopis koloni isolat B3 28
6	Morfologi mikroskopis isolat B3 28
7	Morfologi makroskopis dan mikroskopis isolat C1 30
8	Uji biakan ganda endofit dan <i>C. capsici</i> (patogen)..... 31
9	Morfologi tanaman cabai rawit hari ke-15 37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu anggota *solanaceae* yang memiliki batang dan nodul berwarna hijau, posisi bunga tegak, dan buah triangular berwarna merah (Chesaria dkk., 2018). Tanaman ini banyak dibudidayakan di Indonesia karena pemanfatan yang cukup tinggi. Rasa pedas pada buahnya disebabkan oleh zat capsaicin. Kandungan nutrisi lain dalam cabai rawit antara lain kalsium, vitamin A, B1, dan C (Sunarjono, 2003). Namun, produksi cabai rawit sering mengalami penurunan akibat serangan penyakit tanaman, salah satunya adalah penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum capsici*. Penyakit ini menyebabkan bercak hitam pada buah dan jaringan tanaman lainnya, yang berujung pada kerusakan kualitas dan kuantitas hasil panen (Sari dan Kasiamdari, 2020).

Colletotrichum acutatum dan *C. capsici* merupakan spesies yang umum ditemukan menginfeksi tanaman cabai di berbagai wilayah Indonesia. Patogen ini dikenal memiliki tingkat virulensi yang tinggi, sehingga pengendaliannya memerlukan pendekatan yang efektif dan ramah lingkungan (Syukur *et al.*, 2007). Penggunaan fungisida sintesis masih menjadi metode utama dalam mengendalikan penyakit ini, namun pemakaian jangka panjang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan menyebabkan resistensi patogen, serta seringkali merugikan mikroba yang bermanfaat dan residunya tetap ada dalam hampir 40% makanan (Maksimov *et al.*, 2011, Sadiah *et al.*, 2022). Hal ini mendorong perlunya solusi yang ramah lingkungan, salah satunya memanfaatkan mikroba endofit.

Mikroba endofit ditemukan hampir di semua tanaman. Endofit banyak diteliti sebagai penghasil metabolit baru dengan berbagai potensi pemanfaatan salah satunya di bidang pertanian. Produk alami dari mikroba endofit telah diamati dapat menghambat atau membunuh berbagai agen penyebab penyakit yang merugikan, termasuk bakteri, jamur, virus, dan protozoa yang mempengaruhi manusia, hewan, dan tanaman (Strobel and Daisy, 2003). Salah satunya adalah penggunaan jamur endofit, yaitu jamur yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit.

Dolatabadi *et al.* (2012), menyatakan jamur endofit dapat membentuk kait di sekitar hifa patogen jamur sebelum penetrasi, atau terkadang dapat langsung menembus area patogen jamur. Kurnia *et al.* (2014) juga menjelaskan bahwa hifa jamur patogen mengalami deformasi menjadi bentuk spiral, melengkung, tidak teratur, dan mengalami pemendekan akibat paparan senyawa aktif yang dihasilkan oleh jamur endofit. Jamur endofit memiliki kemampuan untuk memproduksi zat yang berperan sebagai biokontrol seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan senyawa fenolik yang bersifat antimikroba dan antifungi (Rani *et al.*, 2014). Khalil *et al.* (2021) melaporkan bahwa mikroba ini menghasilkan metabolit sekunder yang memiliki aktivitas antimikroba sehingga berpotensi sebagai kandidat biopestisida melawan jamur patogen tanaman. Selain memiliki potensi sebagai agen biokontrol, Numponsak *et al.* (2018) menyatakan bahwa jamur endofit juga diketahui memproduksi *indole acetic acid* (IAA) yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa berbagai bahan hayati seperti ekstrak daun suren, daun mengkudu, dan jamur endofit seperti *Trichoderma* mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum sp.* secara signifikan baik secara *in vitro* maupun *in vivo* (Saputri *et al.*, 2022; Wulansari *et al.*, 2019). Namun, kajian terkait pemanfaatan jamur endofit akar cabai rawit terhadap *C. capsici* sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman masih terbatas, terutama dalam pengujian gabungan secara *in vitro* dan *in vivo* pada tanaman.

Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengevaluasi potensi isolat jamur endofit dari akar tanaman cabai rawit sebagai agen biokontrol terhadap jamur *C. capsici*. serta pemacu pertumbuhan tanaman melalui uji *in vitro* dan *in vivo* pada tanaman cabai rawit.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. mengidentifikasi jamur endofit yang diisolasi dari tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.)
2. menguji bioaktivitas isolat jamur endofit yang diisolasi dari tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.) terhadap pertumbuhan jamur patogen tanaman *C. capsici*. secara *in vitro* dan *in vivo*.
3. mengukur aktivitas isolat jamur endofit yang diisolasi dari tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.) sebagai penghasil IAA dan pemacu pertumbuhan tanaman.

1.3 Kerangka Pikir

Cabai rawit (*C. frutescens* L.) merupakan komoditas penting di Indonesia, namun produktivitasnya sering terhambat oleh penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *C. capsici*. Penyakit ini menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen, sehingga perlu strategi pengendalian yang efektif dan ramah lingkungan.

Selama ini, fungisida sintetis banyak digunakan sebagai metode utama pengendalian, tetapi penggunaannya menimbulkan dampak negatif seperti pencemaran lingkungan, residu pada hasil panen, resistensi patogen, serta

gangguan keseimbangan mikroba menguntungkan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengendalian hayati yang lebih aman dan berkelanjutan.

Salah satu agen hayati potensial adalah jamur endofit. Jamur endofit hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala penyakit, bahkan dapat memberikan manfaat bagi inangnya. Jamur endofit diketahui mampu menghasilkan metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan senyawa fenolik yang bersifat antimikroba. Selain itu, beberapa isolat juga dapat menghasilkan IAA yang berperan penting dalam merangsang pertumbuhan tanaman.

Dengan sifat tersebut, jamur endofit berpotensi menjadi agen biokontrol terhadap patogen tanaman seperti *C. capsici*, baik melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi, pembentukan penghalang fisik (barier), maupun produksi senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan patogen.

Jamur endofit dapat diisolasi dari akar tanaman cabai rawit, kemudian diuji aktivitas antagonisnya terhadap *C. capsici* secara *in vitro* maupun *in vivo*. Uji *in vitro* bertujuan mengevaluasi potensi metabolit dan interaksi antagonis jamur endofit terhadap patogen, sedangkan uji *in vivo* menilai efektivitas isolat jamur endofit dalam menekan penyakit antraknosa sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman cabai.

Dengan demikian, penelitian ini dirancang untuk mengeksplorasi potensi jamur endofit akar cabai rawit sebagai agen biokontrol ramah lingkungan terhadap *C. capsici* sekaligus sebagai pemacu pertumbuhan tanaman.

1.5. Hipotesis

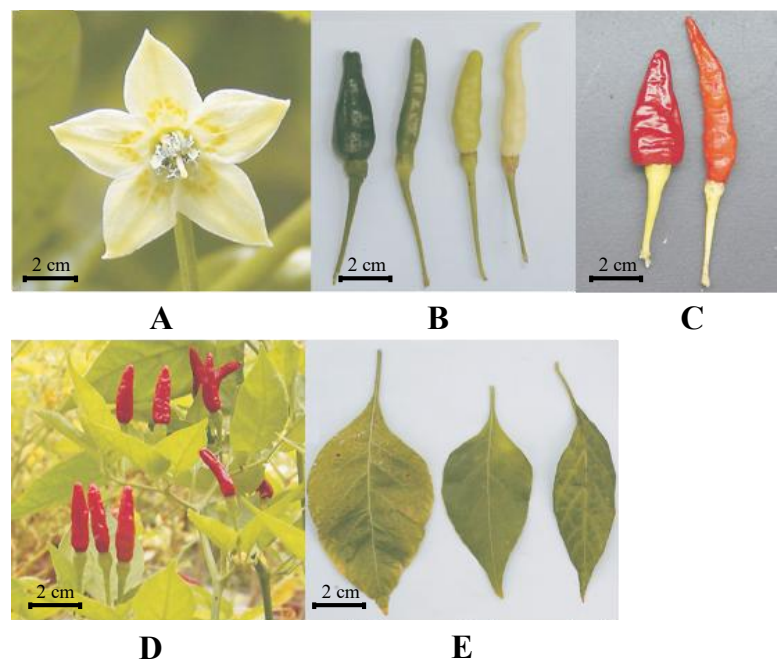
Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. diperoleh beragam spesies jamur endofit yang berasal dari akar tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.).
2. isolat jamur endofit dari akar tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.) memiliki aktivitas biokontrol dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen *C. capsici*.
3. isolat jamur endofit yang diisolasi dari akar tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.) mampu menghasilkan IAA dan mampu memacu pertumbuhan tanaman.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

Tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan tanaman perdu tahunan yang memiliki sistem perakaran berupa akar tunggang dengan banyak akar lateral yang menyebar dangkal di dalam tanah. Sistem perakaran ini memungkinkan tanaman menyerap air dan unsur hara secara efisien pada lapisan tanah atas (Sunarjono, 2003). Bagian batang bersifat tidak berbulu (glabrous) dan bercabang banyak, dengan variasi warna yang dapat berkisar dari hijau hingga ungu, tergantung pada varietas dan kondisi lingkungan (Yamamoto *et al.*, 2004). Secara visual tampak seperti Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi tanaman cabai rawit. A) tampilan bunga. B) buah cabai rawit muda. C) buah cabai rawit matang. D) buah cabai rawit pada tanaman. E) bentuk daun tanaman cabai rawit (Yamamoto *et al.*, 2004).

Daun cabai rawit berbentuk lonjong dengan ujung meruncing, serta memiliki rasio bentuk yang relatif stabil antar aksesori. Variasi ukuran dan bentuk daun relatif kecil dibandingkan organ lainnya, sehingga sering digunakan sebagai karakter pendukung dalam identifikasi morfologi (Yamamoto *et al.*, 2004). Selain itu, bagian hipokotil dan pedunkel juga menunjukkan variasi warna yang dapat berkisar dari hijau hingga kebiruan, mencerminkan keragaman fenotipik dalam spesies ini.

Bunga cabai rawit berukuran kecil dan berbentuk seperti terompet, umumnya berwarna putih, meskipun beberapa varietas menunjukkan warna ungu. Secara morfologi, bunga terdiri atas kelopak berwarna hijau-putih yang pada beberapa kasus memiliki bercak lebih gelap di bagian pangkal. Struktur reproduktif bunga menunjukkan panjang pistil yang umumnya lebih besar dibandingkan stamen, sehingga memungkinkan terjadinya penyerbukan silang dengan tingkat yang relatif tinggi (Sunarjono, 2003, Yamamoto *et al.*, 2004).

Buah cabai rawit menunjukkan variasi morfologi yang cukup luas, baik dari segi ukuran, bentuk, maupun warna. Buah muda umumnya berwarna hijau atau putih kekuningan, kemudian berubah menjadi merah atau oranye saat matang. Panjang buah dapat bervariasi dari 15 mm hingga lebih dari 55 mm, dengan lebar berkisar antara 4–12 mm dan rasio bentuk yang beragam. Variasi ukuran buah ini mencerminkan keragaman genetik antar aksesori dalam spesies *C. frutescens* (Yamamoto *et al.*, 2004).

Selain karakter morfologi, buah cabai rawit juga memiliki kandungan senyawa bioaktif yang penting. Senyawa capsaicin memberikan rasa pedas khas, sedangkan minyak atsiri berkontribusi terhadap sensasi panas. Buah cabai rawit juga dikenal kaya akan vitamin A dan vitamin C, sehingga memiliki nilai gizi yang tinggi (Sunarjono, 2003).

Biji cabai rawit berwarna kuning hingga krem dengan jumlah yang bervariasi antara 10 hingga lebih dari 50 biji per buah, serta memiliki berat berkisar antara 2,5–5,5 mg. Meskipun variasi warna biji relatif kecil, perbedaan tersebut tetap dapat digunakan sebagai karakter tambahan dalam identifikasi morfologi (Yamamoto *et al.*, 2004).

Secara taksonomi, tanaman cabai rawit diklasifikasikan sebagai berikut (Benson, 1979, Cronquist, 1981):

Kingdom : Plantae
Divisio : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Solanales
Famili : Solanaceae
Genus : *Capsicum*
Spesies : *Capsicum frutescens* L.

2.2 Jamur Endofit

Jamur endofit merupakan kelompok jamur yang hidup dan menetap di dalam jaringan tanaman tanpa menimbulkan gejala patogenik yang nyata. Jamur ini dapat ditemukan pada berbagai organ tanaman, seperti akar, batang, daun, dan bunga, serta menghabiskan sebagian besar siklus hidupnya di dalam jaringan inang. Keberadaannya umumnya tidak mengganggu kesehatan tanaman, sehingga dikategorikan sebagai mikroorganisme non-patogenik yang berasosiasi secara internal dengan tanaman (Syamsia dkk., 2021). Bahkan, hampir setiap tanaman dilaporkan memiliki setidaknya satu jenis jamur endofit yang hidup di dalam jaringannya.

Proses masuk dan kolonisasi jamur endofit dalam jaringan tanaman berlangsung melalui mekanisme yang kompleks namun tidak merusak. Jamur endofit umumnya memasuki jaringan tanaman melalui celah alami, seperti

stomata pada daun atau luka mikroskopis pada akar dan batang. Setelah masuk, hifa jamur berkembang secara interseluler, dan pada beberapa kasus secara intraseluler, tanpa menyebabkan kerusakan pada sel inang. Interaksi ini dapat dimulai sejak tahap awal pertumbuhan tanaman, bahkan beberapa jenis jamur endofit diketahui dapat ditransmisikan secara vertikal melalui biji. Dalam hubungan ini, jamur memperoleh nutrisi dan perlindungan dari tanaman, sedangkan tanaman memperoleh keuntungan berupa peningkatan ketahanan terhadap stres biotik dan abiotik (Rodriguez *et al.*, 2009).

Hubungan antara jamur endofit dan tanaman inang umumnya bersifat mutualistik. Jamur endofit mampu menghasilkan berbagai senyawa metabolit yang berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman terhadap patogen. Selain itu, jamur endofit juga menunjukkan kemampuan berkembang biak yang cepat serta memiliki aktivitas biologis yang beragam, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai agen biokontrol maupun pemacu pertumbuhan tanaman (Rokhlani, 2017; Angelin *et al.*, 2022).

Salah satu aktivitas biologis utama jamur endofit adalah kemampuannya dalam menghasilkan metabolit sekunder, seperti alkaloid dan terpenoid (Gunatilaka, 2006). Beberapa genus jamur endofit, seperti *Aspergillus*, diketahui menghasilkan alkaloid seperti sitokalsin dan seko-sitokalsin yang berperan sebagai senyawa antimikroba (Xin *et al.*, 2019). Sementara itu, genus *Penicillium* dan *Fusarium* dilaporkan menghasilkan senyawa terpenoid, seperti sterigmatosistin dan geodin, yang berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen (Kusari *et al.*, 2012).

Keanekaragaman jamur endofit sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman inang serta organ tanaman yang menjadi habitatnya. Pada tanaman cabai rawit, beberapa jenis jamur endofit telah dilaporkan ditemukan pada bagian batang dan daun, seperti *Rhizoctonia* sp. dan *Pythium* sp. Sementara itu, pada tanaman cabai merah (*Capsicum annuum*), ditemukan keragaman jamur endofit yang lebih luas pada bagian daun, antara lain *Cercospora nicotianae*,

Guignardia mangiferae, *Geomyces pannorum*, *Diaporthe phaseolorum*, dan *Alternaria longissima* (Legiastuti dkk., 2012, Pangestu dkk., 2022).

Perbedaan komposisi dan jumlah isolat tersebut menunjukkan bahwa keberadaan jamur endofit sangat dipengaruhi oleh spesies tanaman, organ yang diamati, serta kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh.

2.3 Aktivitas Biokontrol dan Pemacu Pertumbuhan

Jamur endofit diketahui mampu menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder yang memiliki peran penting dalam interaksi dengan tanaman inang maupun organisme lain. Senyawa-senyawa tersebut tidak hanya dimanfaatkan oleh jamur itu sendiri, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan dan pertumbuhan tanaman. Beberapa metabolit yang dihasilkan memiliki aktivitas bioaktif, seperti antioksidan, antibakteri, dan antiinflamasi, sehingga berpotensi dimanfaatkan dalam bidang pertanian maupun kesehatan (Azim dkk., 2022).

Dalam konteks perlindungan tanaman, metabolit sekunder yang dihasilkan jamur endofit berperan sebagai agen biokontrol terhadap patogen. Mekanisme penghambatan patogen meliputi kompetisi ruang dan nutrisi, produksi enzim lisis dinding sel seperti kitinase dan glukonase, serta produksi senyawa volatil yang bersifat antifungi (White *et al.*, 2019). Kombinasi mekanisme tersebut memungkinkan jamur endofit menekan perkembangan patogen secara efektif di dalam jaringan tanaman.

Secara kimiawi, metabolit sekunder jamur endofit terdiri atas berbagai kelompok senyawa, seperti senyawa alipatik, alkaloid, peptida, dan terpenoid. Senyawa alipatik, seperti asam kheirolik yang diisolasi dari *Curvularia papendorfii*, merupakan hidrokarbon non-aromatik yang memiliki aktivitas biologis tertentu. Kelompok alkaloid yang berasal dari senyawa nitrogenik, seperti phomoenamida yang dihasilkan oleh *Phomopsis* sp., juga diketahui

memiliki aktivitas antimikroba. Selain itu, jamur endofit menghasilkan senyawa peptida yang berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Kelompok terpenoid, termasuk seskuiterpen dan diterpen, dilaporkan memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan yang berperan dalam melindungi tanaman dari infeksi dan stres oksidatif (Kusari *et al.*, 2012, Caruso *et al.*, 2022).

Selain menghasilkan senyawa yang berperan dalam biokontrol, jamur endofit juga diketahui mampu memproduksi hormon pertumbuhan tanaman, salah satunya *Indole Acetic Acid* (IAA). IAA merupakan auksin utama yang berperan dalam mengatur berbagai proses fisiologis tanaman, seperti pemanjangan sel, pembelahan sel, diferensiasi jaringan, serta pembentukan akar. Hormon ini tidak hanya diproduksi oleh tanaman, tetapi juga oleh mikroorganisme yang berasosiasi dengan tanaman, termasuk jamur endofitik (Numponsak *et al.*, 2018).

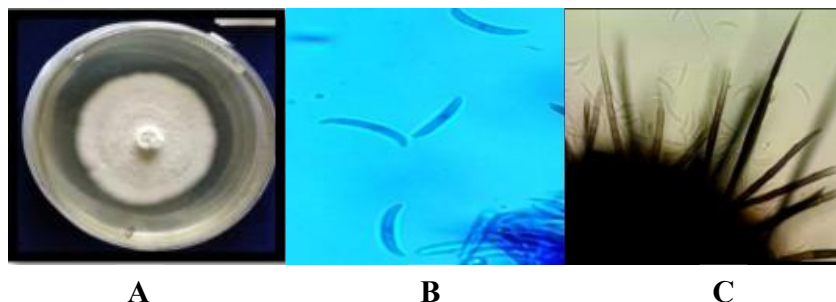
Produksi IAA oleh jamur endofit dapat mempengaruhi fisiologi tanaman melalui modulasi ekspresi gen yang berperan dalam respons terhadap kondisi lingkungan. Hal ini memberikan keuntungan bagi tanaman dalam menghadapi berbagai cekaman, baik biotik maupun abiotik (Santoyo *et al.*, 2015). Dengan demikian, keberadaan jamur endofit tidak hanya berperan sebagai agen perlindungan, tetapi juga sebagai pemacu pertumbuhan tanaman.

Beberapa genus jamur endofit yang telah dilaporkan mampu menghasilkan IAA antara lain *Alternaria*, *Didymella*, *Fusarium*, dan *Xylogone* (Turbat *et al.*, 2020). Selain itu, genus *Penicillium*, *Aspergillus*, dan *Talaromyces* juga diketahui mampu memproduksi IAA dan meningkatkan pertumbuhan akar serta biomassa tanaman, terutama pada kondisi lingkungan yang kurang optimal (Khan *et al.*, 2013).

2.4 Jamur Patogen *Colletotrichum capsici*

Colletotrichum capsici merupakan salah satu jamur patogen penting penyebab penyakit antraknosa pada berbagai tanaman hortikultura, termasuk cabai rawit. Patogen ini dikenal memiliki kemampuan infeksi yang cepat dan menyebabkan kerusakan serius, terutama pada buah yang telah matang. Secara fisiologis, *C. capsici* termasuk dalam kelompok jamur nekrotrofik, yaitu patogen yang membunuh jaringan tanaman terlebih dahulu sebelum memanfaatkan jaringan mati sebagai sumber nutrisi (Than *et al.*, 2008).

Secara morfologi, *C. capsici* menunjukkan koloni berwarna putih hingga keabu-abuan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA), yang kemudian berubah menjadi lebih gelap saat memasuki fase sporulasi. Jamur ini menghasilkan konidia dari struktur aseksual berupa akervulus yang terbentuk secara melimpah. Konidia berbentuk sabit (*falcate*), hialin, aseptat, dan memiliki ujung yang tampak terpotong (*truncate*). Ukuran konidia berkisar antara 9,79–17,98 μm dengan lebar 2,62–5,15 μm . Selain itu, akervulus juga menghasilkan struktur rambut steril yang disebut setae, yang berbentuk memanjang, berwarna coklat tua, dan berfungsi sebagai ciri diagnostik tambahan (Anggrahini *et al.*, 2020). Penampakan morfologi *C. capsici* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi jamur *C. capsici*. A) koloni pada media PDA dalam cawan petri. B) konidia. C) aservulus dan setae (a) (Prajapati *et al.*, 2020).

Dalam perkembangan taksonomi modern, *C. capsici* sering diidentifikasi sebagai *Colletotrichum truncatum* berdasarkan karakter bentuk konidia yang

terpotong pada bagian ujungnya (Anggrahini *et al.*, 2020). Jamur ini diklasifikasikan sebagai berikut (Butler *et al.*, 1931):

Kingdom : Fungi
Divisi : Ascomycota
Kelas : Sordariomycetes
Ordo : Glomerellales
Famili : Glomerellaceae
Genus : *Colletotrichum*
Spesies : *Colletotrichum capsici* Syd Butler & Bisby

Pada tanaman cabai, infeksi *C. capsici* umumnya menyerang buah, terutama pada fase menjelang atau setelah matang. Gejala khas yang ditimbulkan berupa lesi melingkar berwarna coklat hingga hitam pada permukaan buah, yang dalam kondisi tertentu disertai massa konidia berwarna merah muda di bagian tengah lesi. Infeksi yang berkembang dapat menyebabkan pembusukan buah, penurunan kualitas, serta kehilangan hasil panen secara signifikan (Than *et al.*, 2008).

Proses infeksi dimulai dari melekatnya konidia pada permukaan tanaman, terutama pada daun dan buah. Dalam kondisi lingkungan yang lembap, konidia berkecambah dan membentuk apresorium yang berfungsi untuk menembus kutikula dan dinding sel epidermis. Setelah penetrasi, patogen berkembang di dalam jaringan tanaman dengan menghasilkan enzim-enzim degradasi, seperti pektinase, selulase, dan hemiselulase, yang menyebabkan kerusakan struktur sel. Aktivitas ini memicu kematian jaringan inang dan memungkinkan penyebaran patogen secara lebih luas. Penyebaran infeksi selanjutnya dapat terjadi melalui percikan air, angin, maupun alat pertanian yang terkontaminasi (Pring *et al.*, 1995).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada rentang Mei 2024 - Agustus 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi timbangan analitik ketelitian 0,001 g, cawan petri, tabung reaksi 20 ml, *laminar air flow*, *autoclave*, *sentrifuge*, oven, spektrofotometer, pipet ukur, pipet tetes, mikropipet, *erlenmeyer* 250 mL dan 500 ml, *beaker glass* 250 mL dan 500 ml, gelas ukur 50 ml, *aluminium foil*, kain kasa steril, kertas whatmann nomor 1, hemositometer, spatula, bunsen, korek api, jarum ose, plastik wrap, kertas pembungkus cawan petri, karet, plastik tahan panas, mikroskop, lemari tahan asam, pipet ukur 10 ml, *objek glass dan cover glass*, gunting, dan spidol.

Adapun bahan yang digunakan meliputi sampel akar tanaman dan bibit *C. frutescens* L yang diperoleh dari Desa Jatimulyo, Kabupaten Lampung Selatan, bubuk media PDA, kloramfenikol, triptofan, etanol 70%, natrium hipoklorit, reagen Salkowski, akuades, tisu steril, dan inokulum *Colletotrichum capsici* yang diperoleh dari Laboratorium Mandiri Sekar Makmur Pengamatan Hama Penyakit Tanaman Hortikultura, Sukosari, Kabupaten Lumajang, Provinsi Jawa Timur.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini disusun secara bertahap yang terdiri atas pengujian *in vitro* dan *in vivo*. Hasil pengujian pada tahap *in vitro* digunakan sebagai dasar seleksi isolat jamur endofit terbaik yang selanjutnya diuji pada tahap *in vivo*. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa isolat yang digunakan pada uji lanjutan memiliki potensi biologis yang optimal.

Pada tahap *in vitro*, penelitian meliputi uji aktivitas biokontrol dan uji produksi Indole Acetic Acid (IAA). Kedua pengujian tersebut disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu isolat jamur endofit yang terdiri atas lima taraf, yaitu A1, B3-1, B3-2, B3-3, dan C1. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Parameter yang diamati pada uji biokontrol meliputi luas koloni patogen dan persentase penghambatan pertumbuhan *C. capsici*, sedangkan pada uji produksi IAA meliputi nilai absorbansi dan kadar IAA yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil pengujian *in vitro*, dilakukan seleksi isolat jamur endofit dengan mempertimbangkan tingkat aktivitas biokontrol dan kemampuan produksi IAA. Hasil seleksi menunjukkan bahwa isolat B3-2 memiliki performa terbaik secara keseluruhan, dengan peringkat pertama pada uji aktivitas biokontrol dan peringkat kedua pada uji produksi IAA. Oleh karena itu, isolat B3-2 dipilih sebagai isolat unggulan dan digunakan sebagai sumber perlakuan pada tahap uji *in vivo*.

Pada tahap *in vivo*, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi aktivitas biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.). Percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor, yaitu isolat jamur endofit dengan delapan taraf perlakuan dan lima ulangan yang dinotasikan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 1. Notasi, Kombinasi Suspensi dan Ulangan

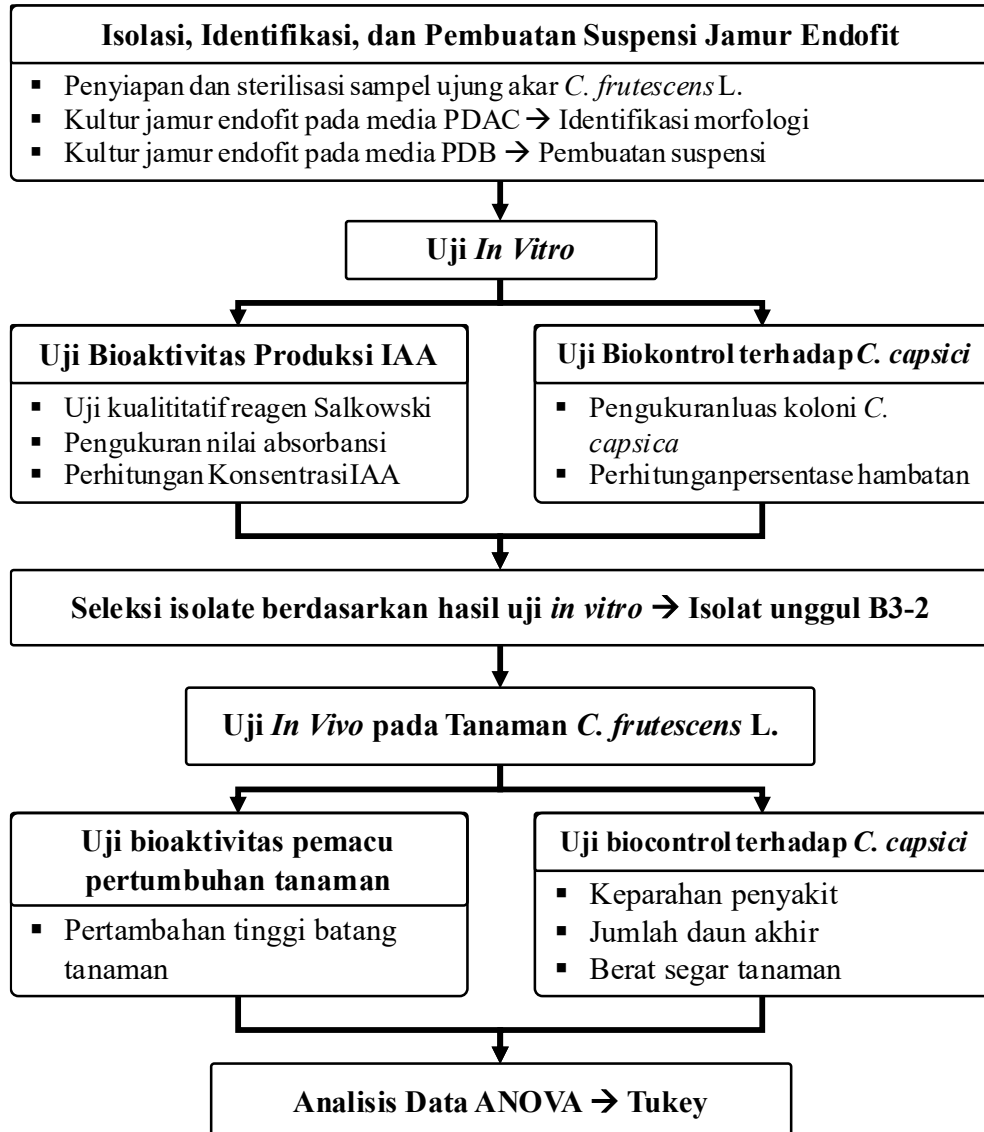
Kode	Urutan Pemberian dan Jenis Suspensi	Ulangan	Konsentrasi Suspensi	Waktu Pemberian Suspensi (HST)	Metode Pemberian Suspensi
M0	Kontrol (akuades)	5	-	1, 6, 11	Penyiraman
M1	<i>C. capsici</i>	5	25%	2	Penyemprotan
M2a	Endofit	5	12,5%	1, 6, 11	Penyiraman
M2b	Endofit	5	37,5%	1, 6, 11	Penyiraman
M3a	Endofit → <i>C. capsici</i>	5	12,5%	Endofit: 1, 6, 11; <i>C. capsici</i> : 4	Penyiraman → Penyemprotan
M3b	Endofit → <i>C. capsici</i>	5	37,5%	Endofit: 1, 6, 11; <i>C. capsici</i> : 4	Penyiraman → Penyemprotan
M4a	<i>C. capsici</i> → Endofit	5	12,5%	<i>C. capsici</i> : 1; Endofit: 3, 8, 13	Penyemprotan → Penyiraman
M4b	<i>C. capsici</i> → Endofit	5	37,5%	<i>C. capsici</i> : 1; Endofit: 3, 8, 13	Penyemprotan → Penyiraman

Parameter yang diamati pada uji *in vivo* aktivitas biokontrol meliputi keparahan penyakit, jumlah daun, pertambahan tinggi tanaman, dan berat segar tanaman. Sementara itu, pada uji pemacu pertumbuhan tanaman, parameter yang diamati difokuskan pada pertambahan tinggi tanaman.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95%. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan nyata, maka dilanjutkan dengan uji lanjut Tukey HSD.

3.4 Diagram Alir

Tahapan penelitian identifikasi dan uji bioaktivitas biokontrol jamur endofit akar tanaman *C. frutescens* L. disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Isolasi Jamur Endofit dari Akar Tanaman *Capsicum frutescens* L.

3.5.1.1 Penyiapan Sampel Akar Tanaman

Sampel tanaman cabai rawit (*C. frutescens* L.) sebagai sumber jamur endofit diperoleh dari Desa Jatimulyo, Kecamatan Jatiagung, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Tanaman cabai rawit yang dipilih adalah tanaman yang sehat dan sudah pernah

berbuah. Bagian tanaman yang digunakan sebagai sumber isolat adalah bagian ujung akar sepanjang 5 mm yang diambil pada jarak 1 cm dari ujung akar. Kemudian sampel dicuci dengan air mengalir hingga bersih dari sisa tanah.

Proses sterilisasi mengacu pada Khalil *et al.* (2021) yang dimodifikasi. Bagian ujung akar dengan ukuran yang telah ditentukan direndam secara berurutan di dalam etanol 70% selama 1 menit, di dalam natrium hipoklorit 5% selama 4 menit, di dalam etanol 70% selama 30 detik. Terakhir akar dibilas dengan akuades mengalir dan dikeringanginkan di atas kasa steril.

3.5.1.2 Penyiapan Media Pertumbuhan Jamur

Media pertumbuhan jamur yang digunakan untuk mengisolasi jamur endofit adalah *potato dextrose agar* ditambah kloramfenikol (PDAC). Tujuan penambahan kloramfenikol adalah untuk mengurangi risiko kontaminasi oleh bakteri. Pembuatan media PDAC ini mengacu pada Azim *et al.* (2022) yang dimodifikasi dengan cara 7,8 g bubuk PDA dilarutkan ke dalam 200 mL akuades, kemudian dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya disterilisasi menggunakan *autoclave* selama 15 menit. Kloramfenikol sebanyak 0,2 g ditambahkan ke bahan yang telah disterilisasi. Selanjutnya bahan dituang ke dalam cawan petri steril dan ditunggu hingga memadat. Kegiatan penuangan dilakukan di dalam laminar.

3.5.1.3 Isolasi dan Subkultur Jamur Endofit

Isolasi jamur endofit dilakukan sebagaimana prosedur Octaviani *et al.* (2022) yang dimodifikasi pada masa penyimpanan. Pertama sampel akar tanaman cabai rawit yang telah steril diletakkan langsung ke media PDAC dengan permukaan potongan akar

menghadap ke media sebanyak dua potong. Selanjutnya media berisi potongan sampel tersebut disegel. Semua proses dilakukan di dalam laminar dan dalam kondisi steril. Media kultur kemudian disimpan di suhu ruang dan diinkubasi selama 7 hari.

Isolat yang tumbuh pada media disubkultur untuk mendapatkan isolat murni. Koloni tunggal jamur dari media kultur diambil menggunakan ose dan dipindahkan ke media PDAC yang baru, kemudian disimpan selama 7 hari dalam suhu ruang.

3.5.2 Identifikasi Morfologi dan Penamaan Isolat Jamur Endofit

Isolat jamur endofit murni yang diperoleh diidentifikasi berdasarkan karakter morfologi secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan makroskopis meliputi warna, bentuk, tekstur, dan tepian koloni, sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan terhadap struktur hifa dan konidia menggunakan mikroskop.

Hasil identifikasi dikonfirmasi menggunakan literatur acuan untuk menentukan kesesuaian karakter morfologi. Referensi yang digunakan adalah *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* karya Barnett dan Hunter, (1998). Isolat yang tidak dapat diidentifikasi hingga tingkat genus diberi kode berdasarkan kelompok.

3.5.3 Pembuatan Suspensi Jamur Endofit

Isolat jamur endofit yang telah diidentifikasi diinokulasikan ke dalam media *Potato Dextrose Broth* (PDB) sebanyak dua potong kultur berukuran $\pm 1 \times 1 \text{ cm}^2$ ke dalam 250 mL media cair dalam erlenmeyer steril. Untuk keperluan pengujian produksi IAA, inokulasi juga dilakukan pada media PDB yang ditambah triptofan (PDBT) dengan konsentrasi 5 mg/mL. Kultur kemudian diinkubasi dalam *shaker*

incubator pada suhu ruang selama 7 hari untuk memperoleh biomassa dan metabolit hasil fermentasi (Khalil *et al.*, 2021; Octaviani *et al.*, 2022; Widjajanti *et al.*, 2021).

Setelah inkubasi, biomassa jamur dipisahkan dan dihomogenkan menggunakan *blender* steril, kemudian dicampurkan kembali dengan media kultur dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Suspensi yang dihasilkan selanjutnya diencerkan menggunakan akuades steril untuk memperoleh konsentrasi sesuai kebutuhan perlakuan.

3.5.4 Uji Bioaktivitas Jamur Endofit

3.5.4.1 Peremajaan dan Pembuatan Suspensi Jamur Patogen

Colletotrichum capsici

Jamur patogen *Colletotrichum capsici* diremajakan pada media PDAC dan diinkubasi selama 7 hari dalam suhu ruang. Selanjutnya, sebanyak dua potongan media yang terdapat kultur jamur patogen diambil dengan ukuran 1 cm² dan dimasukkan ke dalam media PDB 250 mL. Lalu diinkubasi selama 7 hari dalam *shaker incubator* pada suhu ruang (Khalil *et al.*, 2021).

Biomassa jamur patogen diambil dan dihaluskan menggunakan blender. Biomassa yang telah halus dicampur kembali dengan media sebelumnya dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah homogen dicampur dengan air dengan perbandingan volume (v/v) 50 mL kultur PDB jamur dalam 150 mL akuades steril.

3.5.4.2 Uji *In Vitro* Aktivitas Biokontrol Jamur Endofit

Uji aktivitas biokontrol jamur endofit secara *in vitro* dilakukan menggunakan metode biakan ganda. Metode ini bertujuan untuk

melihat aktivitas antagonistik dari jamur endofit melawan jamur patogen *C. capsici* dengan cara menumbuhkan kedua jenis jamur dalam satu media pertumbuhan yang sama dan mengamati pertumbuhan keduanya. Prosedur yang digunakan mengacu pada Simamora *et al.* (2021) dengan modifikasi. Cakram whatman nomor 1 berdiameter 5 mm dicelupkan ke dalam suspensi jamur endofit dan patogen. Selanjutnya kertas cakram yang dicelup suspensi jamur endofit diletakkan pada media PDA dalam cawan petri ±1 cm dari pinggir cawan dan di sisi berseberangan diletakkan kertas cakram yang dicelup suspensi patogen, kemudian diinkubasi selama 7 hari. Uji ini dilakukan untuk semua jenis isolat. Penghambatan pertumbuhan *C. capsici* oleh jamur endofit pada media ditentukan berdasarkan luas koloni *C. Capsici* dan persentase hambatan.

Pengukuran luas koloni *Colletotrichum capsici* dilakukan menggunakan metode gravimetri melalui pendekatan pelukisan koloni. Pada akhir masa inkubasi, lembaran mika transparan ditempelkan pada bagian bawah cawan petri, kemudian batas pertumbuhan koloni patogen dilukiskan mengikuti bentuk koloni yang tampak pada media. Lembaran mika yang telah berisi pola koloni selanjutnya dipotong sesuai bentuk pola tersebut dan ditimbang menggunakan neraca analitik. Untuk memperoleh luas koloni, berat potongan mika dibandingkan dengan berat mika standar berukuran 1 cm², sehingga luas koloni dinyatakan berdasarkan perbandingan berat terhadap luas. Pada penelitian ini, berat mika acuan (1 cm²) adalah 0,009 g. Kemudian menghitung luas koloni *C. capsici* menggunakan rumus (Pramesti dkk., 2024):

$$\text{Luas Koloni } C. \text{ capsici (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Rerata Berat Mika Replika (g)}}{\text{Berat Mika } 1 \times 1 \text{ cm}^2 \text{ (g)}} \times 1 \text{ cm}^2$$

Setelah mendapatkan luas koloni *C. capsici* kontrol dan kombinasi, persentase hambatan pertumbuhan *C. capsici* oleh jamur endofit

dihitung dengan membandingkan luas koloni pada perlakuan dengan kontrol menggunakan rumus (Simamora *et al.*, 2021):

$$\text{Persentase Hambatan (\%)} = \frac{R1 - R2}{R1} \times 100$$

Keterangan:

R1 : luas koloni *C. capsici* pada kontrol (cm²)

R2 : luas koloni *C. capsici* yang dibiakkan bersama isolat jamur endofit (cm²).

3.5.4.3 Uji Bioaktivitas Produksi IAA Jamur Endofit

Uji bioaktivitas produksi IAA dilakukan untuk mengetahui apakah jamur endofit dapat memproduksi IAA. Uji ini mengacu pada metode Khalil *et al.* (2021) dengan modifikasi. Suspensi jamur sebanyak 1 mL ditambah 1 tetes asam ortofosfat dan 2 mL reagen Salkowski dalam tabung reaksi. Keberadaan IAA ditunjukkan dengan munculnya warna merah. Selanjutnya, untuk mengetahui konsentrasi dalam suspensi diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 520 nm. Nilai absorbansi IAA yang diperoleh dibandingkan dengan nilai absorbansi dengan kurva standar IAA menggunakan persamaan berikut:

$$y = 0,0121x + 0,1562$$

3.5.4.4 Seleksi Jamur Endofit

Seleksi isolat jamur endofit dilakukan berdasarkan hasil uji *in vitro* aktivitas biokontrol dan produksi IAA. Setiap isolat diberi peringkat pada masing-masing parameter, yaitu kemampuan menghambat pertumbuhan *C. capsici* dan kadar IAA yang dihasilkan. Penentuan peringkat dilakukan dengan mengurutkan nilai hasil pengujian dari yang tertinggi hingga terendah. Selanjutnya, setiap peringkat dikonversi menjadi skor dengan rentang nilai 5–1, dimana peringkat

tertinggi diberikan skor 5 dan peringkat terendah diberikan skor 1. Skor dari kedua parameter kemudian dijumlahkan untuk setiap isolat. Isolat dengan total skor tertinggi ditetapkan sebagai isolat terpilih dan digunakan sebagai sumber perlakuan pada uji *in vivo*.

3.5.4.5 Penyiapan Bibit Tanaman *C. frutescens* L.

Penyiapan bibit tanaman dilakukan sebelum uji *in vivo*. Biji tanaman *C. frutescens* L. yang seragam terlebih dahulu direndam di dalam air selama 5 menit, kemudian dikecambahkan pada media sekam bakar yang dicampur pupuk kandang dengan perbandingan 1:1 dalam *polybag* ukuran 6x7 cm dan dipelihara di tempat teduh selama 28 hari hingga muncul 3-4 daun sejati dan rata-rata tinggi batang 10 cm.

Bibit tanaman yang tumbuh kemudian diseleksi berdasarkan jumlah daun dan tinggi batang yang seragam. Kemudian bibit dicabut dari media dan akarnya disterilisasi dengan cara direndam dalam natrium hipoklorit 5% selama 2 menit, lalu dibilas dengan air (Mmbaga *et al.*, 2018). Selanjutnya bibit dipindahkan ke media sekam+tanah dengan perbandingan 1:1 dalam *polybag* ukuran 15x20 cm. Setiap *polybag* berisi media dengan massa ± 500 g.

3.5.4.6 Uji *In Vivo* Aktivitas Biokontrol Jamur Endofit

Uji *in vivo* aktivitas biokontrol jamur endofit dilakukan dengan mengacu pada Mmbaga *et al.* (2018) dan Sadih *et al.* (2022) yang dimodifikasi. Aplikasi suspensi jamur endofit dilakukan melalui penyiraman media tanam dengan cairan suspensi sebanyak 20 mL per ulangan pada setiap waktu aplikasi, sedangkan aplikasi patogen *C. capsici* dilakukan melalui penyemprotan pada permukaan daun. Penerapan perlakuan mengikuti model perlakuan yang telah dijelaskan pada bagian rancangan penelitian. Bibit tanaman *C.*

frutescens L. diletakkan di tempat yang terkena cahaya matahari tidak langsung dan dipelihara selama 15 hari. Pengamatan terhadap paramater dilakukan pada hari terkahir pengamatan (15 HST).

Paramater yang diamati meliputi:

1. Keparahan penyakit

Penilaian keparahan penyakit dilakukan dengan mengamati seluruh daun pada setiap tanaman ulangan. Daun sehat dihitung sebagai n0, sedangkan daun yang menunjukkan gejala bercak dinilai secara visual berdasarkan perbandingan luas bercak terhadap luas daun. Daun dengan gejala bercak kurang dari 20% dicatat sebagai n1, bercak 21–40% sebagai n2, bercak 41–60% sebagai n3, dan bercak lebih dari 60% sebagai n4. Data jumlah daun pada masing-masing kategori tersebut kemudian digunakan untuk menghitung keparahan penyakit. Penghitungan tingkat keparahan penyakit ditentukan dengan rumus (Herwidyarti dkk., 2013) berikut:

$$S = \frac{\sum(n \times v)}{N \times Z} \times 100\%$$

Keterangan:

- S : intensitas penyakit / keparahan penyakit (%)
 n : jumlah daun pada setiap kategori infeksi
 v : nilai skor tiap kategori luas bercak
 N : banyaknya daun yang diamati
 Z : nilai skor infeksi tertinggi (Z = 4)

2. Jumlah daun tanaman

Menghitung jumlah helai daun yang bertahan hingga akhir pengamatan (15 HST). Daun yang dihitung adalah daun yang telah membuka sempurna (Silvani dkk., 2024).

3. Berat segar tanaman

Pada akhir pengamatan, tanaman dicabut secara hati-hati untuk mempertahankan seluruh bagian tubuh tanaman tetap utuh. Lalu akar dibersihkan dari sisa media, kemudian dikeringanginkan. Kemudian seluruh tubuh tanaman ditimbang menggunakan neraca digital dengan ketelitian 0,01 gram (Soares, 2024).

3.5.4.7 Uji *In Vivo* Bioaktivitas Jamur Endofit Sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman

Uji *in vivo* bioaktivitas jamur endofit sebagai pemacu pertumbuhan tanaman *C. frutescens* L. diaplikasi dengan mengacu pada Khalil *et al.* (2021) yang dimodifikasi menggunakan model perlakuan M0, M2a dan M2b dari uji *in vivo* aktivitas biokontrol. Parameter yang diamati adalah pertambahan tinggi batang. Pertambahan tinggi tanaman diperoleh dengan menghitung selisih antara tinggi tanaman di atas permukaan tanah pada hari terakhir pengamatan (15 HST) dengan tinggi tanaman pada hari pertama tanam sebelum diberikan perlakuan (Soares dkk., 2024).

3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh dari uji *in vitro* dan *in vivo* dianalisis secara statistik menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dan apabila signifikan dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) Tukey HSD pada taraf 5%. Jika data tidak berdistribusi normal, maka analisis ragam menggunakan uji nonparametrik Kruskal-Wallis, yang dilanjutkan dengan analisis Multiple Comparisons Dunn yang menggunakan koreksi Bonferroni. Analisis data secara statistik dilakukan menggunakan *software* SPSS v27.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai identifikasi dan uji bioaktivitas jamur endofit pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Isolasi jamur endofit dari akar tanaman cabai rawit menghasilkan lima isolat berbeda, yaitu A1, B3-1, B3-2, B3-3, dan C1. Berdasarkan karakter morfologi makroskopis dan mikroskopis, isolat A1 diduga termasuk genus *Penicillium*, isolat B3-1, B3-2, dan B3-3 memiliki kemiripan dengan genus *Fusarium*, sedangkan isolat C1 menunjukkan karakter yang sesuai dengan genus *Aspergillus*.
2. Seluruh isolat jamur endofit menunjukkan aktivitas antagonistik terhadap patogen *Colletotrichum capsici* secara *in vitro*, dengan persentase hambatan yang bervariasi. Isolat B3-2 menunjukkan aktivitas penghambatan tertinggi sebesar 29,37%, diikuti B3-1 sebesar 27,90%, B3-3 sebesar 21,86%, C1 sebesar 14,72%, dan A1 sebesar 7,21%. Hasil ini menunjukkan bahwa isolat B3-2 memiliki potensi paling tinggi sebagai kandidat agen biokontrol, dan aplikasinya secara *in vivo* mampu menekan perkembangan penyakit antraknosa pada tanaman cabai rawit.
3. Semua isolat jamur endofit mampu menghasilkan hormon pertumbuhan *indole-acetic acid* (IAA) dengan konsentrasi yang berbeda. Produksi IAA tertinggi ditemukan pada isolat A1 sebesar 27,69 ppm, diikuti B3-2 sebesar 19,78 ppm, B3-1 sebesar 13,68 ppm, dan C1 sebesar 7,42 ppm. Aplikasi isolat jamur endofit B3-2 secara *in vivo* menunjukkan potensi sebagai pemacu pertumbuhan tanaman.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Identifikasi isolat jamur endofit sebaiknya dilakukan menggunakan pendekatan molekuler, seperti analisis sekuens gen ITS rDNA, untuk memastikan identitas spesies secara lebih akurat.
2. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengidentifikasi senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh isolat jamur endofit yang berperan dalam aktivitas antagonistik terhadap patogen.
3. Uji efektivitas isolat jamur endofit sebagai agen biokontrol perlu dilakukan pada skala rumah kaca dan lapangan untuk mengetahui kestabilan efektivitasnya dalam kondisi lingkungan yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiky, A., and Weisskopf, L. 2021. Deciphering Trichoderma–Plant–Pathogen Interactions for Better Development of Biocontrol Applications. *Journal of Fungi*. 7(1): 1–18.
- Angelin, M., Patading, G.F., Eney, B., Kolondam, B., dan Tangapo, A.M. 2022. Isolasi dan Uji Aktivitas Antibakteri dari Jamur Endofit Daun Leilem (*Clerodendrum minahassae* L.). *Jurnal Bios Logos*. 12(1): 62-70.
- Anggrahini, D.S., Wibowo, A., and Subandiyah, S. 2020. Morphological and Molecular Identification of *Colletotrichum* spp. Associated with Chili Anthracnose Disease in Yogyakarta Region. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 24(2): 161-174.
- Atala, C., Acuña-Rodríguez, I. S., Reyes, S. A., and Molina-Montenegro, M. A. 2025. *Penicillium rubens*, a Root Fungal Endophyte, Increase Stress Tolerance and Productivity In Crops Under Drought Stress. *Fungal Biology*. 129(7): 101659.
- Azim, M., Hariadi, P., Febriani, Y., dan Yuliana, T.P. 2022. Skrining Ekstrak Jamur Endofit Dari Tanaman Melinjo (*Gnetum gnemon* L.) Sebagai Kandidat Antibakteri, Antijamur dan Antioksidan. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*. 19(1): 32-39.
- Barnett, H.L., and Hunter, B.B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Minnesota: APS Press. 234 hlm.
- Benson, L.D. 1979. *Plant Classification*. 2nd Ed. Lexington: Heath. 901 hlm.
- Bonatelli, M. L., Tsui, S., Marcon, J., Batista, B. D., Kitajima, E. W., Pereira, J. O., Azevedo, J. L., and Quecine, M. C. 2016. Antagonistic Activity of Fungi from Anthracnose Lesions on *Paullinia cupana* Against *Colletotrichum* sp. *Journal of Plant Pathology*. 98(2): 197–205.
- Butler, E.J., and Bisby, G.R. 1931. *The Fungi of India*. Calcutta: Imperial Council of Agriculture. 262 hlm.
- Caruso, D.J., Palombo, E.A., Moulton, S.E., Zaferanloo, B. 2022. Exploring the Promise of Endophytic Fungi: A Review of Novel Antimicrobial Compounds. *Microorganisms*. 10(1990): 1-22.
- Cheng, S., Jiang, J.-W., Tan, L.-T., Deng, J.-X., Liang, P.-Y., Su, H., Sun, Z.-X., and Zhou, Y. 2022. Plant Growth-Promoting Ability of Mycorrhizal

- Fusarium* Strain KB-3 Enhanced by Its IAA-Producing Endohyphal Bacterium, *Klebsiella aerogenes*. *Frontiers in Microbiology*: 13(855399): 1–12.
- Chesaria, N., Sobir, S., dan Syukur, M. 2018. Analisis Keragaan Cabai Rawit Merah (*Capsicum frutescens*) Lokal Asal Kediri dan Jember. *Buletin Agrohorti*. 6(3): 388-396.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. New York: Columbia University Press. 1262 hlm.
- De Lamo, F. J., and Takken, F. L. W. (2020). Biocontrol by *Fusarium oxysporum* using endophyte-mediated resistance. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 37.
- Diao, Y. Z., Zhang, C., Liu, F., Wang, W. Z., Liu, L., Cai, L., and Liu, X. L. 2017. *Colletotrichum* species causing anthracnose disease of chili in China. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. 38(1): 20-37.
- Dolatabadi, H.K., Goltapeh, E.M., Mohammadi, N., Rabiey, M., Rohani, N., and Varma. 2012. Biocontrol Potential of Root Endophytic Fungi and *Trichoderma* Species Against *Fusarium* Wilt of Lentil Under In Vitro and Greenhouse Conditions. *Journal of Agriculture, Science and Technology*. 14(2): 407-420.
- Fadiji, A. E., and Babalola, O. O. 2020. Elucidating Mechanisms of Endophytes Used in Plant Protection and Other Bioactivities With Multifunctional Prospects. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 8(467): 1-20.
- García-Latorre, C., Rodrigo, S., and Santamaria, O. 2021. Effect of fungal endophytes on plant growth and nutrient uptake in *Trifolium subterraneum* and *Poa pratensis* as affected by plant host specificity. *Mycol Progress*. 20(1): 1217-1231.
- Gilbert, S., Xu, J., Acosta, K., Poulev, A., Lebeis, S., and Lam, E. 2018. Bacterial Production of Indole Related Compounds Reveals Their Role in Association Between Duckweeds and Endophytes. *Frontiers in chemistry*. 6(265): 1-14.
- Gunatilaka, A.A. 2006. Natural Products From Plant-Associated Microorganisms: Distribution, Structural Diversity, Bioactivity, and Implications of Their Occurrence. *Journal of Natural Products*. 69(3): 509-526.
- Herwidarti, K.H., Ratih, S., dan Sembodo, D.R.J. 2013. Keparahan Penyakit Antraknosa Pada Cabai (*Capsicum annum* L) dan Berbagai Jenis Gulma. *Jurnal Agrotek Tropika*. 1(1): 102-106.
- Khalil, A.M.A., Hassan, S.E.-D., Alsharif, S.M., Eid, A.M., Ewais, E.E.-D., Azab, E., Gobouri, A.A., Elkelish, A., Fouda, A. 2021. Isolation and Characterization of Fungal Endophytes Isolated from Medicinal Plant

- Ephedra pachyclada as Plant Growth-Promoting. *Biomolecules*. 11(140): 1-19.
- Khan, A. L., and Lee, I. J. 2013. Endophytic *Penicillium funiculosum* LHL06 Secretes Gibberellin that Reprograms *Glycine max* L. Growth During Copper Stress. *BMC plant biology*. 13(1): 86-99.
- Köhl, J., Kolnaar, R., and Ravensberg, W.J. 2019. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Front. Plant Sci.* 10(845): 1-19.
- Kurnia, A.T., Pinem, M.I., and Oemry, S. 2014. Use of Endophytic Fungus to Control *Fusarium oxysporum* f.sp. *Capsici* and *Alternaria solani* In Vitro. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(4): 1596 - 1606.
- Kusari, S., Hertweck, C., and Spiteller, M. 2012. Chemical Ecology of Endophytic Fungi: Origins of Secondary Metabolites. *Chemistry and Biology*. 19(7): 792-798.
- Legiastuti, T.S., dan Aminingsih, T. 2012. Identifikasi Cendawan Endofit Menggunakan Teknik Polymerase Chain Reaction. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 8(2):31-36.
- Menezes, B. S., Solidade, L. S., Conceição, A. A., Santos Junior, M. N., Leal, P. L., de Brito, E. S., Canuto, K. M., Mendonça, S., de Siqueira, F. G., and Marques, L. M. 2020. Pigment production by *Fusarium solani* BRM054066 and Determination of Antioxidant and Anti-inflammatory Properties. *AMB Express*. 10(117): 1-12.
- Maksimov, I.V., Abizgil'dina, R.R., and Pusenkova, L.I. 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Alternative to Chemical Crop Protectors from Pathogens (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 47(4): 333-345.
- Mmbaga, M.T., Gurung, S.K., and Maheshwari, A.K. 2018. Screening of Plant Endophytes as Biological Control Agents against Root Rot Pathogens of Pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. 9(3): 1-8.
- Numponsak, T., Kumla, J., Suwannarach, N., Matsui, K., and Lumyong, S. 2018. Biosynthetic pathway and optimal conditions for the production of indole-3-acetic acid by an endophytic fungus, *Colletotrichum fructicola* CMU-A109. *PLoS One*. 13(10): 1-18.
- Nurfitri, R., Hardini, J., dan I Ketut, M. 2024. Identifikasi Jamur Endofit Yang Berasosiasi Dengan Daun Jeruk Limau Citrus X *Amblycarpa* (Hassk.) Ochse Di Kebun Kalpataru, Denpasar, Bali. *Simbiosis*. 12(1): 100–107.
- Octaviani, M., Ameliah, W.Y., Frimayanti, N., Djohari, M., Fadhli, H. 2022. Isolation of Endophytic Fungus from Leaves of *Uncaria cordata* (Lour.)

- Merr and Antibacterial Activity Against *Propionibacterium acnes* and *Escherichia coli*. *Borneo Journal of Pharmacy*. 5(3): 279-287.
- Pangestu, R.A., Sugiyarto, S., dan Lestiani, A. 2022. Jamur Endofit Pada Tanaman Cabai (*Capsicum* sp.) Sebagai Agen Pengendali *Colletotrichum* sp. Penyebab Penyakit Antraknosa. *Agrivet*. 28(1): 47-58.
- Prajapati, M. K., Rawat, S., Singh, P., and Shankar, K. 2020. Cultural and Morphological Characterization of *Colletotrichum capsici* Causing Anthracnose of Chilli (*Capsicum annum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 9(3): 1985-1989.
- Pramesti, N., Sumardi, S., Farisi, S., dan Irawan, B. 2024. Potensi Biokontrol *Trichoderma* (T14 dan T7834) Sebagai Antipatogen *Phytophthora* sp. dan *Colletotrichum* sp. Secara In Vitro. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*. 6(2): 212-224.
- Pring, R.J., Nash, C., Zakaria, M., and Bailey, J.A. 1995. Infection Process and Host Range of *Colletotrichum capsici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 46(2): 137-152.
- Ramadhan, A., Purwantisari, S., and Rasyid, R. B. A. (2025). Exploration of Indole Acetic Acid (IAA) Producing Fungi From non-Organic Carrot Rhizosphere as Biostimulant. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*. 13(2): 846–861.
- Rani, S.E.P., Efri, E., dan Prasetyo, J. 2014. Pengaruh Berbagai Tingkat Fraksi Ekstrak Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) terhadap Pertumbuhan *Colletotrichum capsici* Penyebab Penyakit Antraknosa pada Cabai (*Capsicum annum* L.) secara In Vitro. *Jurnal Agrotropika*. 19(1): 1–8.
- Rodriguez, R. J., White Jr, J. F., Arnold, A. E., and Redman, R. S. 2009. Fungal Endophytes: Diversity and Functional Roles. *New Phytologist*. 182(2): 314-330.
- Rokhlani. 2017. Potensi Jamur Endofit Dari Biji Padi Dalam Menghambat Perkembangan Jamur *Pyricularia oryzae*. <https://distankp.tegalkab.go.id/index.php/artikel/143-potensi-jamur-endofit>. Diakses 18 November 2022.
- Sadiyah, F., Nurchayati, Y., dan Saptiningsih, E. 2022. Pengaruh Ekstrak Daun Suren (*Toona sinensis* Merr.) pada Tanaman Cabai Rawit yang Diinfeksi Spora *Colletotrichum capsici* terhadap Pertumbuhan, Kandungan Pigmen, dan Vitamin C. *Unnes Journal of Life Science*. 11(1): 52–58.
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., Orozco-Mosqueda, M.delC., and Glick, B. R. 2015. Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes. *Microbiological Research*. 183(1): 92-99.
- Saputri, A.E., Suwandi, M., Hamidson, H., Muslim, A., dan Irsan, C. 2022. Efikasi Biakan Cair *Trichoderma* spp. terhadap *Colletotrichum capsici* dan

- Penyakit Antraknosa pada Buah Cabai Merah (*Capsicum annuum*). *Jurnal Agrotropika*. 27(1): 85–94.
- Sari, N., dan Kasiamdari, R.S. 2020. Identifikasi dan Uji Patogenisitas *Colletotrichum* spp. dari Cabai Merah (*Capsicum annuum*): Kasus di Kricaan, Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 25(2): 91–98.
- Silvani, R., Sudrajat, D., Priyadi, P., Dulbari, D. 2024. Respon Pertumbuhan dan Ketahanan Jagung Pada Cekaman Unsur Hara di Lahan Organik. *Agrotrop: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*. 22(2): 101-115.
- Simamora, A.V., Hahuly, M.V., dan Henuk, J.B.D. 2021. Endophytic Fungi as Potential Biocontrol Agents of Phytophthora palmivora in The Cocoa Plant. *Biodiversitas*. 22(5): 2601-2609.
- Soares, C.N., Pandiangan, D., dan Mambu, S.M. 2024. Respon Pertumbuhan Tanaman Pasote (*Dysphania ambrosioides*) yang Diberi PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria). *Jurnal Bios Logos*. 14(1): 112-125.
- Strobel, G., and Daisy, B. 2003. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 67(4): 491-501.
- Sunarjono, H. 2003. *Bertanam 30 Jenis Sayur*. Jakarta: Penebar Swadaya. 183 hlm.
- Syamsia, Idhan, A., Firmansyah, A.P., dan Noerfiryani. 2021. *Cendawan Endofit: Teknik Isolasi, Identifikasi dan Potensi Pemanfaatan Cendawan Endofit dalam Budidaya Tanaman*. LPP Unismuh. Makassar. 188 hlm.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., Koswara, J., dan Widodo. 2007. Ketahanan terhadap Antraknosa yang Disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum* pada Beberapa Genotipe Cabai (*Capsicum annuum* L.) dan Korelasinya dengan Kandungan Kapsaisin dan Peroksidase. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 35(1): 8–13.
- Taiz, L., Zeiger E., Moller, I.M., and Murphy, A. 2014. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland: Sinauer Associates. 672hlm.
- Than, P. P., Prihastuti, H., Phoulivong, S., Taylor, P. W. J., and Hyde, K. D. 2008. Chilli Anthracnose Disease Caused By *Colletotrichum* Species. *Journal of Zhejiang University Science B*. 9(10): 764–778.
- Toppo, P., Kagatay, L. L., Gurung, A., Singla, P., Chakraborty, R., Roy, S., and Mathur, P. 2023. Endophytic Fungi Mediates Production of Bioactive Secondary Metabolites Via Modulation of Genes Involved in Key Metabolic Pathways and Their Contribution in Different Biotechnological Sector. *3 Biotech*. 13(6): 1-40.

- Tripathi, A., Pandey, P., Tripathi, S. N., and Kalra, A. 2022. Perspectives and potential applications of endophytic microorganisms in cultivation of medicinal and aromatic plants. *Frontiers in Plant Science*. 13(985429): 1-21.
- Turbat, A., Rakk, D., Vigneshwari, A., Kocsubé, S., Thu, H., Szepesi, Á., Bakacsy, L., D. Škrbić, B., Jigjiddorj, E.-A., and Vágvölgyi, C., et al. 2020. Characterization of the Plant Growth-Promoting Activities of Endophytic Fungi Isolated from *Sophora flavescens*. *Microorganisms*. 8(683): 1-15.
- Watkinson, S. C., Boddy, L., and Money, N. P. 2016. *The Fungi* (3rd ed.). Waltham: Academic Press. 496 hlm.
- White, J. F., Kingsley, K. L., Zhang, Q., Verma, R., Obi, N., Dvinskikh, S., Elmore, M. T., Verma, S. K., Gond, S. K., and Kowalski, K. P. 2019. Review: Endophytic Microbes and Their Potential Applications In Crop Management. *Pest Management Science*, 75(10): 2558–2565
- Widjajanti, H., Handayani, C. V., and Nurnawati, E. 2021. Antibacterial Activity of Endophytic Fungi from Sembukan (*Paederia foetida* L.) Leaves. *Science and Technology Indonesia*. 6(3), 189-195.
- Wulansari, N.K., Prihatiningsih, N., dan Djatmiko, H.A. 2019. Mekanisme Antagonis Lima Isolat *Bacillus subtilis* terhadap *Colletotrichum capsici* dan *C. gloeosporioides* In Vitro. *Agrin*. 23(1): 23–29.
- Xin, X.Q., Chen, Y., Zhang, H., Li, Y., Yang, M.H., and Kong, L.Y. 2019. Cytotoxic Seco-Cytochalasins From an Endophytic *Aspergillus* sp. Harbored In *Pinellia Ternata* Tubers. *Fitoterapia*. 132(1): 53–59.
- Yamamoto, S. and Nawata, E. 2004. Morphological Characters and Numerical Taxonomic Study of *Capsicum frutescens* in Southeast and East Asia. *Tropics*. 14(1): 111-120.