

**APLIKASI *Trichoderma* sp. DALAM PENGENDALIAN PENYAKIT
LAYU FUSARIUM DAN HASIL TANAMAN
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)**

SKRIPSI

Oleh

ANDRIAN RISTANTO



**PROGRAM STUDI S-1 AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

APLIKASI *Trichoderma* sp. DALAM PENGENDALIAN PENYAKIT
LAYU FUSARIUM DAN HASIL TANAMAN
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)

Oleh

ANDRIAN RISTANTO

NIM: 23020221120017

Salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Pertanian pada Program Studi S-1 Agroekoteknologi
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI S-1 AGROEKOTEKNOLOGI
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andrian Ristanto
NIM : 23020221120017
Program Studi : S-1 Agroekoteknologi

dengan ini menyatakan sebagai berikut:

1. Skripsi yang berjudul: **Aplikasi *Trichoderma* sp. Dalam Pengendalian Penyakit Layu Fusarium dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)** dan penelitian yang terkait merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan dari pembimbing yaitu: **A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc.** dan **Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc.**

Apabila dikemudian hari dalam skripsi ini ditemukan hal-hal yang menunjukkan telah dilakukannya kecurangan akademik, maka penulis bersedia gelar sarjana yang telah penulis dapatkan ditarik sesuai dengan ketentuan dari Program Studi S-1 Agroekoteknologi, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Semarang, Mei 2026
Penulis,



Andrian Ristanto

Mengetahui:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc.

Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : APLIKASI *Trichoderma* sp. DALAM
PENGENDALIAN PENYAKIT LAYU
FUSARIUM DAN HASIL TANAMAN
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)

Nama Mahasiswa : ANDRIAN RISTANTO

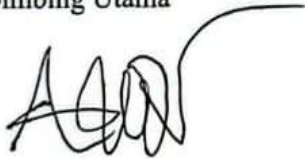
NIM : 23020221120017

Program Studi/Jurusan : S-1 AGROEKOTEKNOLOGI

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal ..0.3.JUN.2026.....

Pembimbing Utama



A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc.

Pembimbing Anggota



Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc.

Ketua Program Studi



Dr. Ir. Eny Fuskhah, M.Si.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program



Bagus Herwibawa, S.P., M.P., Ph.D.



Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.

Ketua Departemen



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

RINGKASAN

ANDRIAN RISTANTO. 23020221120017. 2026. Aplikasi *Trichoderma* sp. Dalam Pengendalian Penyakit Layu Fusarium dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) (Pembimbing: **A'ISYAH SURYA BINTANG** dan **FLORENTINA KUSMIYATI**)

Penelitian bertujuan untuk mengkaji pengaruh aplikasi *Trichoderma* sp pada konsentrasi berbeda dan interval waktu aplikasi dalam pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Penelitian telah dilaksanakan pada bulan Januari – Agustus 2025 di lahan cabai rawit Desa Kalimanggis, Kaloran, Temanggung dilanjutkan analisis di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

Penelitian dilakukan dengan percobaan faktorial dan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 5 x 3 dengan 4 ulangan sehingga diperoleh 60 unit percobaan. Setiap unit percobaan terdiri dari 3 tanaman sehingga terdapat 180 populasi tanaman. Faktor pertama adalah P0 = Kontrol (tanpa pemberian *Trichoderma* sp.), P1= Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^6 spora/ml, P2= Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^7 spora/ml, P3= Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^8 spora/ml, P4= Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^9 spora/ml. Faktor kedua adalah waktu aplikasi jamur *Trichoderma* yang terdiri dari 3 taraf yaitu W1= 7 hari sebelum pindah tanam, waktu W2= pindah tanam, W3= 7 hari setelah pindah tanam. Parameter penelitian yaitu identifikasi pertumbuhan *Fusarium oxysporum* sp., identifikasi pertumbuhan *Trichoderma* sp., uji daya hambat, periode inkubasi, insidensi penyakit, intensitas penyakit, nilai AUDPC, tinggi tanaman, jumlah daun, umur berbunga, jumlah buah, bobot buah, panjang buah, dan *Visual Quality Rating* (VQR). Data dianalisis statistik dengan analisis ragam (ANOVA) taraf 5%, dilanjutkan dengan Uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kerapatan spora *Trichoderma* sp. berpengaruh nyata pada semua parameter pengamatan. Waktu aplikasi *Trichoderma* sp. secara tunggal berpengaruh nyata pada parameter periode inkubasi, insidensi penyakit, intensitas penyakit, nilai AUDPC, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buah, bobot buah, dan VQR. Interaksi antara perlakuan kerapatan spora *Trichoderma* sp. dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. hanya memberikan pengaruh nyata pada parameter periode inkubasi, insidensi penyakit, intensitas penyakit, nilai AUDPC, jumlah buah, dan bobot buah.

Simpulan penelitian ini bahwa kombinasi perlakuan kerapatan spora 10^8 spora/ml dan aplikasi 7 hari sebelum pindah tanam merupakan kombinasi terbaik karena mampu mengendalikan penyakit layu fusarium dengan intensitas penyakit 0% (tanpa gejala) dan mampu mempertahankan produksi cabai rawit varietas Maruti F1.

KATA PENGANTAR

Cabai rawit merupakan salah satu komoditas hortikultura penting yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat serta memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Produktivitas tanaman cabai rawit di lapangan masih belum optimal akibat berbagai kendala budidaya, salah satunya adalah serangan penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* sp. Penyakit ini dapat menghambat pertumbuhan tanaman, menurunkan hasil produksi, bahkan menyebabkan kematian tanaman. Pemberian *Trichoderma* sp. dengan konsentrasi kerapatan suspensi dan waktu aplikasi yang tepat diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil produksi tanaman cabai rawit, sekaligus memberikan perlindungan terhadap serangan penyakit layu fusarium.

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, segala-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Aplikasi *Trichoderma* sp. Dalam Pengendalian Penyakit Layu Fusarium dan Hasil Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)”. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak atas bantuan, dukungan, dan doa selama pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini. Rasa hormat dan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. A’isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama dan Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan dalam penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

2. Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian beserta jajarannya, Ahmad Ni'matullah Al Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Ketua Departemen Pertanian, Dr. Ir. Eny Fuskhah, M.Si. selaku Ketua Program Studi Agroekoteknologi beserta jajarannya di Fakultas Peternakan dan Pertanian atas kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan sarjana di Program Studi S-1 Agroekoteknologi.
3. Muhammad Iqbal Fauzan, S.P., M.Si. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan, bimbingan akademik, dan motivasi selama masa studi di Program Studi S-1 Agroekoteknologi.
4. Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si., Dr. Ir. Susilo Budiyanto, M.Si., Ir. Didik Wisnu Widjanto, M.Sc.Res., PhD., Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc., Ir. Karno, M.Appl.Sc. Ph.D., Dr. Ir. Eny Fuskhah, M.Si., Bagus Herwibawa, S.P., M.P. Ph.D., Rosyida, S.P., M.Sc., A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc., Dr. Dian Safitri, S.P., M.Si., Septrial Arafat, S.P., M.P., Fajrin Pranama Putra, S.P., M.Sc., Muhammad Iqbal Fauzan, S.P., M.Si., Muhamad Ghazi Agam Sas, S.P., M.Si., Albertus Fajar Irawan, S.P., M.Si., Ph.D., Dr. Ir. Budi Adi Kristanto, M.S. (purna tugas), Dr. Ir. Sutarno, M.Si. (purna tugas), Prof. Dr. Ir. Dwi Retno Lukiwati, M.S. (purna tugas), Prof. Dr. Ir. Endang Dwi Purbajanti, M.S. (purna tugas) dan Dr. Ir. Sumarsono, M.S. (Alm.), selaku dosen pada Program Studi S1 Agroekoteknologi Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan pengalaman yang berharga kepada penulis selama masa studi.

5. Sri Bima Arya Teja, A. Md., Iskandar A.Md., dan Ahmad Baroha, S.Pt. selaku tenaga kependidikan dan pranata laboratorium Program Studi S-1 Agroekoteknologi, serta seluruh staff administrasi dan pegawai di lingkungan kampus atas segala bantuan dan saran selama masa studi.
6. Bapak Siyaman dan Ibu Suramah selaku orang tua penulis yang tak pernah berhenti selalu memberikan dukungan penuh secara materil dan moril, doa, semangat, dan motivasi kepada penulis dalam proses perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi.
7. Adik saya, Andika Viriya Sundara yang sudah menjadi alasan saya untuk semangat menyelesaikan studi.
8. Teman-teman Agroekoteknologi 2021 dan kakak-kakak Agroekoteknologi 2020 yang telah memberikan banyak pengalaman, ilmu, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman A-GROWTH TEAM dan FAONA yang sudah menjadi teman, sahabat, dan keluarga selama saya melaksanakan perkuliahan di Universitas Diponegoro.
10. Seluruh pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
11. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Andrian Ristanto yang telah bekerja keras dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini. Apresiasi untuk diri sendiri karena sudah sampai ke tahap ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu dan pengetahuan dan bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ILUSTRASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Hipotesis	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Tanaman Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens</i> L.)	6
2.2. Penyakit Layu Fusarium Pada Tanaman Cabai	10
2.3. Peran Jamur <i>Trichoderma</i> sp.	14
2.4. Aplikasi <i>Trichoderma</i> sp.	17
BAB III. MATERI DAN METODE	21
3.1. Materi Penelitian	21
3.2. Metode Penelitian	22
3.3. Analisis Data	43
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Identifikasi Biakan <i>Fusarium oxysporum</i> sp.	45
4.2. Identifikasi dan Pengujian <i>Trichoderma</i> sp.	49

4.3. Uji Antagonis <i>Trichoderma</i> sp. terhadap <i>Fusarium oxysporum</i> sp.	54
4.4. Kompilasi Hasil Analisis Ragam (ANOVA) pada seluruh parameter pengamatan	56
4.5. Periode Inkubasi	58
4.6. Insidensi Penyakit	60
4.7. Intensitas Penyakit	62
4.8. Laju Perkembangan Penyakit	64
4.9. Nilai <i>Area Under the Disease Progress Curve</i>	67
4.10. Tinggi Tanaman	70
4.11. Jumlah Daun	72
4.12. Waktu Muncul Bunga Pertama	75
4.13. Jumlah Buah	78
4.14. Bobot Buah	80
4.15. Panjang Buah	82
4.15. <i>Visual Quality Rating</i> (VQR)	85
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	87
5.1. Simpulan	87
5.2. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	100
RIWAYAT HIDUP	233

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Nilai Skala Gejala Penyakit Layu Fusarium	40
2.	Kategori Ketahanan tanaman Berdasarkan Nilai AUDPC	41
3.	<i>Visual Quality Rating</i> (VQR) buah cabai.....	43
4.	Hasil Uji Kerapatan dan Viabilitas <i>Trichoderma</i> sp.	52
5.	Hasil Uji Antagonis <i>Trichoderma</i> sp. terhadap <i>Fusarium oxysporum</i> sp.	55
6.	Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam pada Parameter Tanaman Cabai Rawit.....	57
7.	Periode Inkubasi Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	58
8.	Insidensi Penyakit Tanaman Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	60
9.	Intensitas Penyakit Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	62
10.	Perkembangan Penyakit Layu Fusarium Berdasarkan Intensitas Pada Tanaman Cabai Rawit Varietas Maruti F1 pada Perlakuan Konsentrasi Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi <i>Trichoderma</i> sp.	65
11.	Nilai AUDPC Penyakit Layu Fusarium dan Kategori Serangan Tanaman Cabai Rawit Varietas Maruti F1 pada Perlakuan Konsentrasi Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi <i>Trichoderma</i> sp.	68
12.	Tinggi Tanaman Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi (Umur 8 MST atau 56 HST)	71
13.	Jumlah Daun Tanaman Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi (Umur 10 MST atau 70 HST)	73

14.	Waktu Muncul Bunga Pertama Tanaman Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	76
15.	Jumlah Buah Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	78
16.	Bobot Buah Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	80
17.	Panjang Buah Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	83
18.	<i>Visual Quality Rating</i> (VQR) Buah Cabai Rawit Pada Perlakuan Kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. dan waktu aplikasi	85

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor		Halaman
1.	Siklus Reproduksi <i>Fusarium oxysporum</i> sp.....	10
2.	Gejala tanaman cabai yang terinfeksi <i>Fusarium oxysporum</i> sp	12
3.	Diagram Alur Proses Penelitian	23
4.	Sampel Tanaman Bergejala Layu <i>Fusarium</i>	25
5.	Komposisi suspense pengujian kerapatan <i>Trichoderma</i> sp.....	30
6.	Perhitungan viabilitas dan kerapatan spora <i>Trichoderma</i> sp. ..	32
7.	Komposisi suspensi aplikasi <i>Trichoderma</i> sp.	33
8.	Skema Uji Ganda Daya Hambat Isolat <i>Trichoderma</i> sp. terhadap <i>Fusarium oxysporum</i> sp.	34
9.	Identifikasi <i>Fusarium oxysporum</i> sp. dari tanaman cabai terindikasi layu <i>fusarium</i>	47
10.	Identifikasi <i>Trichoderma</i> sp.	50
11.	Identifikasi kerapatan <i>Trichoderma</i> sp. menggunakan <i>haemocytometer neubauer</i> perbesaran 10 x 10	51
12.	Hasil Uji Pemeraman <i>Trichoderma</i> sp. selama 7 hari.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Tata Letak Percobaan RAL Faktorial.....	100
2.	Deskripsi Tanaman Cabai Rawit Varietas Maruti F1	102
3.	Perhitungan Dosis Pupuk	104
4.	Kebutuhan Suspensi Aplikasi <i>Trichoderma</i> sp.	105
5.	Perhitungan Uji Kerapatan Biakan <i>Fusarium oxysporum</i> sp. ...	107
6.	Perhitungan Uji Kerapatan dan Viabilitas <i>Trichoderma</i> sp.	109
7.	Perhitungan Uji Antagonis <i>Trichoderma</i> sp. terhadap <i>Fusarium oxysporum</i> sp.	112
8.	Analisis Data Insidensi Penyakit.....	114
9.	Perhitungan Intensitas Serangan Layu <i>Fusarium</i>	125
10.	Laju Perkembangan Penyakit dan Nilai AUDPC.	133
11.	Analisis Intensitas Penyakit	143
12.	Analisis Data Tinggi Tanaman.....	150
13.	Analisis Data Jumlah Daun Tanaman	156
14.	Analisis Data Waktu Muncul Bunga Pertama.....	166
15.	Analisis Data Jumlah Buah Tanaman	171
16.	Analisis Data Bobot Buah Tanaman.	178
17.	Analisis Data Panjang Buah Tanaman.	185
18.	Analisis Data <i>Visual Quality Rating</i> Buah Tanaman	194
19.	Dokumentasi Penelitian.....	200

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat. Budidaya tanaman cabai rawit sering menghadapi berbagai kendala yang dapat menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman, salah satunya adalah serangan penyakit. Rendahnya produktivitas tanaman cabai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi lahan, kualitas benih, iklim, serta gangguan organisme pengganggu tanaman terutama penyakit (Andayani, 2016). Penyakit pada tanaman cabai menjadi permasalahan penting karena dapat menghambat pertumbuhan tanaman, menurunkan kualitas hasil, hingga menyebabkan kegagalan panen apabila tidak dikendalikan secara tepat.

Penyakit layu fusarium menjadi salah satu kendala utama dalam budidaya cabai rawit. Penyakit ini disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici* yang menyerang sistem perakaran dan pembuluh xilem sehingga menghambat transportasi air dan hara. Gejala serangan ditandai dengan kelayuan daun dan diskolorasi jaringan pembuluh. Serangan patogen ini dapat menurunkan hasil panen hingga 80% bahkan menyebabkan kegagalan panen pada tingkat serangan berat (Yanti *et al.*, 2018). Pengendalian penyakit layu fusarium masih banyak mengandalkan pestisida kimia yang berpotensi menimbulkan resistensi patogen, pencemaran lingkungan, serta gangguan keseimbangan mikroorganisme tanah

(Putra *et al.*, 2019). Penggunaan pestisida secara intensif dilaporkan dapat meningkatkan resistensi *Fusarium oxysporum* hingga 40% dalam beberapa musim tanam (Younesi *et al.*, 2021). Kondisi tersebut mendorong penerapan metode pengendalian yang lebih ramah lingkungan melalui pemanfaatan agens hayati seperti *Trichoderma* sp. yang diketahui efektif menekan patogen tanaman.

Pemanfaatan agens hayati menjadi salah satu alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan. *Trichoderma* sp. dikenal sebagai cendawan antagonis yang mampu menekan patogen tanaman melalui mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi, produksi enzim hidrolitik seperti kitinase dan glukukanase, serta senyawa antibiotik (Khuong *et al.*, 2023). Kemampuan kolonisasi pada akar tanaman memungkinkan mikroorganisme ini menekan infeksi *Fusarium oxysporum* hingga 30–50% sekaligus merangsang pertumbuhan tanaman melalui peningkatan mekanisme pertahanan dan produksi hormon tumbuh (Irawati *et al.*, 2020). Penelitian Hidayat *et al.* (2024) juga melaporkan bahwa kombinasi kompos dan *Trichoderma harzianum* mampu menurunkan intensitas layu fusarium hingga di bawah 40%.

Efektivitas penggunaan *Trichoderma* sp. sangat dipengaruhi oleh kerapatan spora dan waktu aplikasi. Produk komersial umumnya memiliki konsentrasi sekitar 10^6 – 10^9 spora/mL, sedangkan penelitian menunjukkan konsentrasi 10^7 – 10^8 spora/mL efektif menekan pertumbuhan *Fusarium oxysporum* pada cabai rawit (Yuliani *et al.*, 2025). Studi Nabila *et al.* (2021) menunjukkan konsentrasi 10^7 spora/mL mampu menghambat pertumbuhan patogen sebesar 54,6%, lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 10^3 spora/mL (35,3%) dan 10^5 spora/mL (44,4%). Faktor waktu aplikasi juga berperan penting karena aplikasi sebelum tanam memberikan

kesempatan bagi *Trichoderma* untuk berkolonisasi di daerah perakaran tanaman. Penelitian menunjukkan aplikasi 7–14 hari sebelum tanam lebih efektif dalam menekan perkembangan penyakit (Susanna *et al.*, 2023), sedangkan penelitian Febriana *et al.* (2024) melaporkan bahwa aplikasi 7 hari sebelum tanam menghasilkan tingkat kelayuan 5,98%, lebih rendah dibandingkan aplikasi saat tanam sebesar 6,96%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengaturan konsentrasi kerapatan spora dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas pengendalian penyakit layu fusarium serta hasil tanaman cabai rawit.

1.2. Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat pengaruh konsentrasi kerapatan spora *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)
2. Apakah terdapat pengaruh waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)
3. Apakah terdapat pengaruh interaksi antara konsentrasi kerapatan spora dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengkaji pengaruh konsentrasi kerapatan spora *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)
2. Mengkaji pengaruh waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.)
3. Mengkaji pengaruh interaksi antara konsentrasi kerapatan spora dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang pengaruh konsentrasi kerapatan spora *Trichoderma* sp terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
2. Memberikan informasi tentang pengaruh waktu aplikasi *Trichoderma* sp terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
3. Memberikan informasi mengenai interaksi konsentrasi kerapatan spora dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

1.5. Hipotesis

1. Perlakuan aplikasi *Trichoderma* sp. dengan konsentrasi kerapatan spora 10^7 spora/ml mampu memberikan hasil tertinggi dalam mengendalikan penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
2. Perlakuan aplikasi *Trichoderma* sp pada 7 hari sebelum tanam mampu memberikan hasil tertinggi dalam mengendalikan penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
3. Terdapat interaksi perlakuan konsentrasi kerapatan spora dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp terhadap pengendalian penyakit layu fusarium dan hasil tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

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

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu jenis komoditas hortikultura yang memiliki ciri khas pedas serta banyak dikonsumsi di Indonesia. Rasa pedas tersebut membuat cabai merah banyak dimanfaatkan sebagai bumbu pelengkap masakan serta bahan utama pembuatan sambal. Cabai menjadi komoditas hortikultura sayuran unggulan nasional serta memiliki potensi nilai ekonomis yang cukup tinggi (Puspitasari, 2020). Tanaman cabai rawit tergolong tanaman hortikultura dan termasuk dalam famili *Solanaceae* atau terong-terongan. Klasifikasi lengkap tanaman cabai rawit menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Famili	: Solanaceae
Genus	: <i>Capsicum</i>
Species	: <i>Capsicum frutescens</i> L.

Cabai rawit termasuk tanaman semusim atau berumur pendek berjenis perdu dengan kayu bercabang dan tumbuh dengan tegak serta memiliki tinggi sekitar 50-135 cm. Tanaman cabai rawit memiliki sistem akar tunggang yang kuat dan

bercabang ke samping membentuk akar serabut (Christy *et al.*, 2023). Batang tanaman cabai keras, berkayu, berwarna hijau tua, berbentuk bulat dan bercabang banyak (Ulfa *et al.*, 2024). Morfologi daun cabai rawit berbentuk bulat telur memanjang dengan ujung meruncing, permukaan daun licin serta tulang daun yang menyirip (Ziraluo dan Duha, 2020). Bunga cabai rawit biasanya berwarna putih, berbentuk bintang dan muncul di ketiak daun. Bunga cabai rawit terletak pada ketiak daun, mahkotanya berbentuk bintang berwarna hijau keputih-putihan dengan kepala sari berwarna ungu (Karim *et al.*, 2022). Cabai rawit dikategorikan sebagai tanaman indeterminate karena memiliki pertumbuhan tanaman tidak terbatas atau terus tumbuh dan menghasilkan cabang dan bunga selama kondisi lingkungan mendukung.

Buah cabai banyak berbentuk bulat dan didalamnya tersimpan biji. Cabai rawit memiliki buah berwarna jingga hingga merah ketika masak dengan bentuk bulat telur memanjang (Munira *et al.*, 2019). Biji cabai rawit berwarna kuning pucat hingga coklat muda, berbentuk pipih dan berukuran kecil. Tanaman cabai rawit memiliki biji berwarna putih kekuning-kuningan, berbentuk bulat pipih dan tersusun secara bergerombol atau berkelompok (Anggraini, 2020). Ukuran lebar cabai rawit berkisar antara 5 mm – 12 mm. Secara umum ukuran lebar cabai rawit kecil 5 mm dengan panjang 2 – 2,5 cm, sedangkan ukuran lebar cabai rawit besar 12 mm dengan panjang 3,5 cm (Edowai *et al.*, 2017). Secara umum pertumbuhan tanaman cabai melalui dua fase yaitu fase vegetatif dan fase generatif, masa vegetatif berkisar antara umur 0-40 hari setelah tanam (HST). Fase generatif berlangsung antara umur 40 hari setelah tanam hingga tanaman cabai berhenti

berbuah. Fase generatif cenderung digunakan untuk pembungaan, pembuahan, pengisian buah, perkembangan buah, dan pematangan buah (Tumanggor, 2024)

Tanaman cabai rawit mampu tumbuh pada daerah dataran rendah maupun tinggi. Cabai rawit dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian 0 – 1500 mdpl (Tandiola *et al.*, 2018). Cabai rawit dapat tumbuh ideal pada tekstur tanah gembur dan subur. Karakteristik tanah untuk pertumbuhan tanaman cabai rawit adalah tanah yang memiliki drainase baik dengan pH tanah antara 6 – 7 (Ziaulhaw dan Amalia, 2022). Tanaman cabai rawit dapat beradaptasi baik di daerah panas maupun dingin. Suhu yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman cabai rawit antara 24 – 30°C dengan curah hujan ideal antara 800 – 2000 mm per tahun (Aziez *et al.*, 2021). Cabai rawit tumbuh baik pada kondisi penyinaran matahari penuh, tempat terbuka, dan tidak ternaungi. Cabai dapat tumbuh secara optimal dengan intensitas cahaya matahari antara 60 – 70% dengan lama penyinaran sekitar 10 – 12 jam (Alif, 2017).

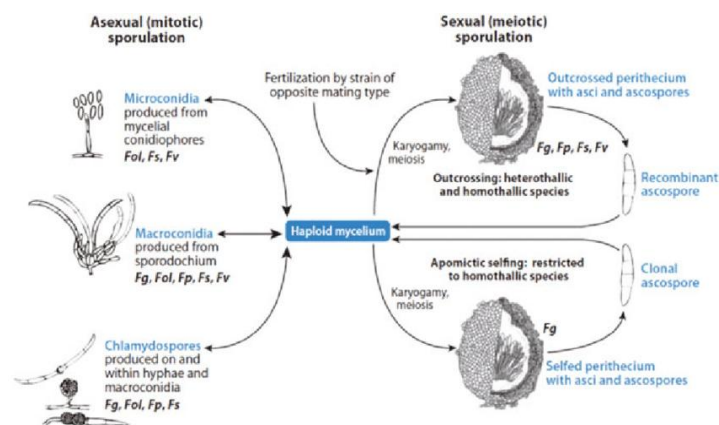
Buah cabai rawit memiliki banyak manfaat bagi tubuh. Cabai rawit mengandung vitamin A, B, C, E, serta mineral yang baik bagi tubuh, kandungan vitamin C pada cabai rawit 7 kali lebih banyak daripada buah jeruk (Siahaan *et al.*, 2022). Ciri utama buah cabai yaitu memiliki rasa yang cenderung pedas karena mengandung senyawa capsaicin. Cabai merah juga mengandung protein, lemak, karbohidrat, kalsium (Ca), fosfor (P), besi (Fe), senyawa alkaloid seperti flavonoid dan capsaicin yang berkhasiat sebagai stimulan (Sari *et al.*, 2022). Buah cabai memiliki kandungan fenol yang berguna sebagai antioksidan. Semakin tinggi kandungan senyawa fenol, aktivitas antioksidan juga akan semakin tinggi (Fatwami dan Royani, 2023).

Banyak varietas cabai rawit telah dikembangkan hingga saat ini, salah satunya adalah cabai rawit varietas Maruti F1. Cabai rawit varietas Maruti F1 merupakan benih cabai rawit hibrida yang dikembangkan oleh PT Agri Makmur Pertiwi. Varietas ini mampu beradaptasi dengan baik di dataran menengah pada ketinggian 200–775 mdpl. Buah cabai Maruti F1 berwarna hijau kekuningan saat muda dan berubah menjadi merah ketika tua, dengan jumlah buah per tanaman berkisar antara 300–400 buah. Tanaman cabai rawit varietas Maruti F1 dapat dipanen pada umur 85–90 hari setelah tanam, dengan panjang buah 5,6–6,5 cm dan diameter sekitar 1 cm. Potensi hasil panen varietas ini mencapai 2,5–3 ton per hektar, dengan kebutuhan benih sekitar 100–110 g per hektar yang dikemas dalam saset berukuran 10 gram (Keputusan Menteri Pertanian, 2016).

Cabai rawit varietas Maruti F1 termasuk varietas hibrida yang menghasilkan buah berukuran relatif kecil dengan tingkat kepedasan tinggi, sehingga sesuai dengan preferensi pasar domestik. Buah cabai Maruti berbentuk memanjang dan berwarna merah cerah saat matang. Varietas ini dikenal memiliki produktivitas tinggi serta umur panen yang relatif singkat. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa varietas Maruti F1 memiliki tingkat kerentanan yang cukup tinggi terhadap serangan penyakit, khususnya antraknosa dan layu fusarium (Aidawati dan Fitriyani, 2021). Hasil penelitian Wandani *et al.*, (2015) juga menunjukkan bahwa dalam uji ketahanan lima varietas cabai terhadap *Fusarium oxysporum* sp., varietas Maruti F1 dikategorikan sebagai varietas rentan dengan nilai skor ketahanan sekitar 2,4 berdasarkan gejala dan parameter pertumbuhan.

2.2. Penyakit Layu Fusarium Pada Tanaman Cabai

Penyakit layu fusarium merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman hortikultura, termasuk cabai rawit, yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum* sp. Patogen ini termasuk jamur tular tanah (*soil borne pathogen*) yang bersifat penghuni akar (*root inhabitant*) serta memiliki keragaman ras fisiologi yang mampu menimbulkan penyakit monosiklik (Habib *et al.*, 2023). *Fusarium oxysporum* sp. dikenal memiliki kisaran inang yang luas dengan variasi spesies yang tinggi (Azmi, 2021). Penyakit layu fusarium secara khusus disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici*, yang merupakan salah satu patogen utama penyebab kerugian besar dalam budidaya cabai di berbagai negara tropis. Siklus reproduksi *Fusarium oxysporum* sp tersaji pada ilustrasi 1.



Ilustrasi 1. Siklus reproduksi *Fusarium oxysporum* sp. (Sumber: Ma *et al.*, (2018))

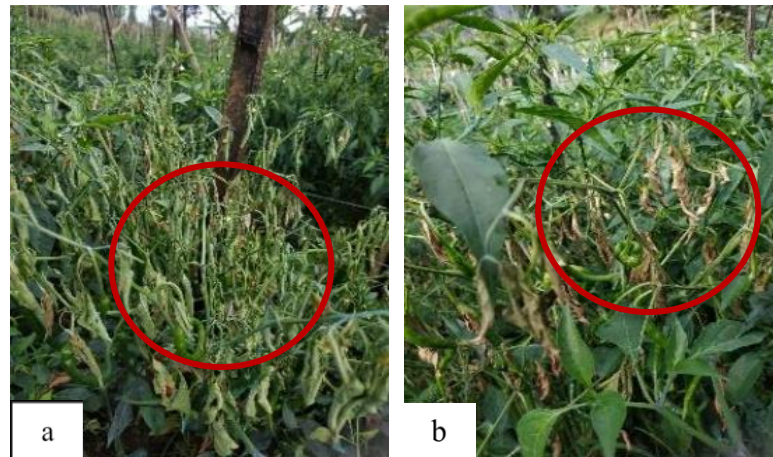
Fusarium oxysporum sp. bereproduksi secara aseksual melalui tiga jenis spora, yaitu makrokonidia, mikrokonidia, dan klamidospora. Makrokonidia berbentuk melengkung panjang dengan ujung mengecil, memiliki 1-3 sekat dan 3–5 septa, serta umumnya ditemukan pada jaringan tanaman yang sudah terinfeksi

lanjut (Nurhasanah, 2020). Mikrokonidia berbentuk bulan sabit dengan 1–2 septa dan terbentuk di dalam pembuluh inang (Karim dan Suryani, 2016). Klamidospora berdinding tebal, terbentuk di ujung miselium tua makrokonidia, memiliki 1-2 septa, dan mampu bertahan di lingkungan suboptimum sehingga menjadi sumber inokulum yang persisten di dalam tanah (Imah *et al.*, 2022).

Makrokonidium memiliki ukuran $20 \times 3,2$ hingga $46 \times 8 \mu\text{m}$, mikrokonidium berukuran $2 \times 2,3$ hingga $5 \times 3,5 \mu\text{m}$, sedangkan klamidospora berdiameter 6–10 μm dan berwarna coklat muda (Rosmini *et al.*, 2021). Struktur miseliumnya bercabang dan saling berhubungan, konidiofor berukuran $5 \times 2,3$ hingga $12 \times 3,5 \mu\text{m}$, bercabang tidak beraturan, berdinding tipis, dan memiliki jika diamati memiliki bentuk lurus hingga lonjong (Sastrahidayat, 2017). *Fusarium oxysporum* sp. secara makroskopis memiliki bentuk dan morfologi yaitu miselium udara tebal, koloni berwarna putih, pada medium PDA menyerupai kapas dengan semburat merah muda, ungu, atau kuning. (Lestiyani *et al.*, 2020)

Sumber infeksi *Fusarium oxysporum* sp. dapat berasal dari tanah yang terkontaminasi selama bertahun-tahun, sisa tanaman sakit, serta alat pertanian yang digunakan secara bergantian (Dwiastuti *et al.*, 2015). Faktor lingkungan juga sangat berpengaruh terhadap tingkat keparahan penyakit, termasuk suhu, kelembapan tanah, dan pH. *Fusarium oxysporum* sp. berkembang baik pada kondisi kelembaban tinggi, terutama pada musim hujan, dengan air sebagai media utama penyebaran spora. Patogen ini mampu bertahan optimal pada tanah masam dengan pH 4,5–6,0 dan suhu sekitar 28°C (Nurjanah, 2020). Intensitas serangan karena patogen *Fusarium oxysporum* sp. meningkat hingga 45–60% pada lahan dengan

kelembaban tanah >80% dan drainase buruk, sehingga menunjukkan bahwa pengelolaan lingkungan tanah sangat berpengaruh terhadap epidemi penyakit layu fusarium (Rahman *et al.*, 2022). Penampakan gejala cabai yang terkena layu fusarium tersaji pada ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Gejala tanaman cabai yang terinfeksi *Fusarium oxysporum*. a) Daun bagian atas berubah pucat dan layu. b) Daun tanaman cabai mengering dan mengeriting (Sumber: Nurkharimah *et al.*, (2024))

Gejala penyakit layu fusarium pada cabai diawali dengan menguningnya daun bagian bawah akibat nekrosis, kemudian daun mengering dan gugur. Batang menunjukkan gejala kelayuan yang dimulai dari pangkal batang dan berlanjut ke bagian atas. Bagian batang yang bersinggungan dengan tanah membusuk dan mengalami nekrosis, sehingga tanaman mudah rebah (Noer, 2024). Pada kondisi lanjut, akar tanaman menunjukkan perubahan warna menjadi hitam dan membusuk, meskipun berkas pembuluh sering kali tidak menunjukkan perubahan warna mencolok (Jayadi, 2018). Koloni jamur berwarna putih dapat terlihat pada akar atau pangkal batang yang terinfeksi (Juwanda *et al.*, 2016).

Mekanisme infeksi *Fusarium oxysporum* sp. pada tanaman inang berlangsung melalui tahapan penetrasi dan kolonisasi jaringan. Proses infeksi diawali dengan masuknya konidia patogen melalui luka pada akar tanaman (Ulya *et al.*, 2020). Patogen kemudian menghasilkan enzim hidrolitik yang berperan dalam degradasi dinding sel tanaman, sehingga mempermudah penetrasi miselium ke jaringan korteks akar. Miselium selanjutnya menembus lapisan endodermis dengan bantuan enzim proteolitik yang mampu menguraikan pektin sebagai komponen utama dinding sel pembuluh xilem. Hifa yang berhasil memasuki jaringan xilem berkembang dan menyebar melalui jari-jari empulur, menyebabkan gangguan pada sistem transportasi air dan hara. Gangguan tersebut memicu terjadinya kelayuan, perubahan fisiologis tanaman, dan pada kondisi lanjut menyebabkan kematian tanaman (Asmi *et al.*, 2023).

Infeksi *Fusarium oxysporum* sp. pada tanaman cabai dapat terjadi sejak fase perkecambahan hingga fase generatif. Serangan pada fase vegetatif umumnya menyebabkan gejala rebah semai yang ditandai dengan pelunakan batang muda dan pertumbuhan tanaman yang tidak normal. Serangan pada fase generatif ditandai dengan kelayuan permanen, penurunan pertumbuhan daun, pengguguran daun, hingga kematian tanaman. Kondisi tersebut berdampak langsung pada penurunan hasil panen dan, pada tingkat serangan berat, dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 50–80% (Kumar *et al.*, 2021).

Penyakit layu fusarium memberikan dampak yang signifikan terhadap keberlanjutan budidaya cabai. Serangan *Fusarium oxysporum* sp. dilaporkan menyebabkan penurunan produksi dengan intensitas serangan mencapai sekitar

35% (Wahyuni dan Noviani, 2019). Keberadaan patogen di dalam tanah juga memengaruhi keseimbangan mikrobiologi tanah, yang ditunjukkan oleh penurunan populasi mikroorganisme menguntungkan dan peningkatan mikroorganisme patogen (Abadi *et al.*, 2023). Kondisi tersebut diikuti oleh penurunan ketersediaan unsur hara makro, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium, sehingga berdampak negatif terhadap produktivitas tanaman pada lahan terinfeksi. Pada wilayah tropis, insidensi penyakit layu fusarium pada tanaman cabai dilaporkan berada pada kisaran 37,8–56,6%, dengan tingkat keparahan mencapai 37,2–52,5%, tergantung pada musim dan lokasi budidaya (Tilahun *et al.*, 2024). Kerugian hasil akibat serangan *Fusarium oxysporum* f. sp. *capsici* di kawasan Asia Tenggara dilaporkan dapat mencapai 40–70% apabila tidak diterapkan strategi pengendalian yang tepat dan terpadu (Nguyen *et al.*, 2023).

2.3. Peran Jamur *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. merupakan jamur tanah yang tergolong dalam kelas *Ascomycetes* dan dikenal luas sebagai mikroorganisme fungsional yang berperan penting dalam ekosistem tanah. Jamur ini mampu hidup secara saprofit pada bahan organik maupun sebagai parasit terhadap jamur patogen lain. Potensi *Trichoderma* sp. sangatlah besar untuk dikembangkan sebagai agen pengendali hayati (*biological control agents*) yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat menjadi alternatif pengganti pestisida kimia (Syahputra *et al.*, 2017). *Trichoderma* sp. digunakan sebagai fungisida hayati dalam mengendalikan penyakit tanaman sekaligus pupuk biologis guna meningkatkan pertumbuhan tanaman (Yulia *et al.*, 2017). Selain itu,

Trichoderma sp. banyak ditemukan pada rizosfer, bahkan ada pula yang bersifat endofit dalam jaringan tanaman, sehingga berperan dalam melindungi tanaman dari patogen tanah maupun patogen filosfer (Asghar *et al.*, 2024; Correa *et al.*, 2024).

Trichoderma sp. juga dikenal sebagai mikroba multi-fungsi yang berperan dalam memperbaiki ekologi tanah. Jamur ini dapat bertindak sebagai pengurai (decomposer) bahan organik melalui produksi beberapa enzim selulolitik, seperti selobiohidrolase, endoglikonase, dan glukosidase yang mampu bekerja secara sinergis (Muslim, 2019). Penguraian bahan organik oleh *Trichoderma* sp. berkontribusi pada ketersediaan unsur hara terutama nitrogen, yang sangat penting untuk pertumbuhan vegetatif tanaman, khususnya dalam meningkatkan tinggi tanaman dan intensitas warna hijau pada daun (Sulistiyono, 2017).

Secara morfologi, koloni *Trichoderma* sp. pada awal pertumbuhan berwarna putih, kemudian berubah menjadi hijau muda hingga hijau tua dengan permukaan koloni datar, berbentuk bulat, dan tepi yang halus. Bagian tengah koloni *Trichoderma* sp. biasanya lebih cepat berubah warna menjadi hijau dengan batas yang jelas (Cahyani *et al.*, 2021). Ciri mikroskopis *Trichoderma* sp. meliputi hifa yang bersepta, konidiofor bercabang, dan konidia berbentuk bulat atau oval dengan dinding tipis. *Trichoderma* sp. memiliki hifa dan konidia berwarna kehijauan, tangkai fialid pendek dengan panjang $\pm 11,1 \mu\text{m}$, serta konidiofor $\pm 13,4 \mu\text{m}$ menyerupai piramid (Elita *et al.*, 2022). Suhu optimal pertumbuhan *Trichoderma* sp. berkisar antara 25–30°C, dengan pertumbuhan yang masih dapat berlangsung pada suhu 15–35°C, sedangkan suhu lebih tinggi dari 36°C cenderung menghambat pertumbuhan (Sulistiyono, 2017; Carro *et al.*, 2021). Dari sisi pH, pertumbuhan

optimal *Trichoderma* sp. umumnya terjadi pada kisaran pH 5–7, sedangkan pH yang terlalu asam atau basa dapat menurunkan laju pertumbuhan dan sporulasi (Cavalcante *et al.*, 2025; Srivastava *et al.*, 2021).

Trichoderma sp. memiliki beragam mekanisme antagonistik terhadap jamur patogen tanaman. Mekanisme parasitisme dilakukan dengan cara melilit hifa patogen, menembus, dan menghancurkan dinding sel patogen melalui aktivitas enzimatik. *Trichoderma* sp. diketahui menghasilkan berbagai enzim seperti kitinase, protease, dan β -1,3-glukanase yang berperan dalam mendegradasi dinding sel jamur patogen, termasuk *Fusarium oxysporum* (Belezaca *et al.*, 2025). Selain itu, *Trichoderma* sp. juga mampu bersaing dalam hal ruang dan nutrisi, karena pertumbuhan miselium *Trichoderma* sp. jauh lebih cepat dibandingkan dengan patogen, sehingga dapat mendominasi rizosfer dan membatasi ruang gerak dari patogen (Nuraeni *et al.*, 2018). Beberapa strain *Trichoderma* sp. juga menghasilkan metabolit sekunder, termasuk siderofor, yang dapat mengikat besi di lingkungan sehingga menghambat ketersediaan nutrisi bagi patogen (Cui *et al.*, 2025).

Penelitian Khuong *et al.* (2023) melaporkan bahwa dari 26 isolat *Trichoderma* yang diuji, lima isolat menunjukkan kemampuan tertinggi dalam menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* dengan persentase inhibisi antara 42,3% hingga 65,5% setelah 72 jam inkubasi. Belezaca *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa kombinasi dua isolat *Trichoderma* (CEP-01 dan CEP-02) mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* hingga 68,4–69,3% pada suhu 30 ± 2 °C. Data kuantitatif ini memperlihatkan bahwa *Trichoderma* dapat secara signifikan menekan perkembangan *F. oxysporum* melalui mekanisme biologis.

Pemanfaatan *Trichoderma* sp. sebagai agen pengendali hayati dinilai sangat potensial karena mampu menurunkan intensitas serangan patogen sekaligus mendukung pertumbuhan tanaman melalui dekomposisi bahan organik dan peningkatan ketersediaan hara (Syahputra *et al.*, 2017). Penelitian khusus pada cabai rawit masih relatif terbatas, namun berbagai studi pada tanaman lain menunjukkan bahwa *Trichoderma* sp. mampu menekan *F. oxysporum* lebih dari 60% pada kondisi optimal (Belezaca *et al.*, 2025; Khuong *et al.*, 2023). Temuan tersebut memperkuat potensi *Trichoderma* sp. untuk dikembangkan sebagai agen pengendali hayati yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam sistem budidaya cabai rawit.

2.4. Aplikasi *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. merupakan cendawan antagonis yang telah lama dimanfaatkan sebagai agen pengendali hayati karena kemampuannya menekan berbagai patogen tular tanah. Aplikasi *Trichoderma* sp. dapat dilakukan dalam berbagai bentuk, baik formulasi padat maupun cair, dengan metode aplikasi berupa penaburan pada media tanam, penyemprotan pada bagian tanaman, atau perlakuan benih. Media perbanyakan yang umum digunakan meliputi PDA, beras, jagung, dan dedak karena mampu mendukung pertumbuhan dan produksi spora secara optimal. Perkembangan teknologi formulasi juga memungkinkan *Trichoderma* sp. tersedia dalam bentuk komersial, seperti biopestisida cair dan formulasi padat yang siap diaplikasikan di lahan pertanian (Yulia *et al.*, 2017; Yanti, 2021).

Pemanfaatan *Trichoderma* sp. pada tanaman tidak hanya bertujuan untuk menekan penyakit, tetapi juga untuk meningkatkan kesehatan tanah dan pertumbuhan tanaman. Aktivitas antagonistik *Trichoderma* sp. berlangsung melalui beberapa mekanisme, antara lain kompetisi ruang dan nutrisi, mikoparasitisme, produksi enzim lisis seperti kitinase dan glukonase, serta sekresi metabolit sekunder yang bersifat antifungi (Belezaca *et al.*, 2025). Aplikasi *Trichoderma* sp. di zona perakaran terbukti mampu menekan perkembangan organisme pengganggu tanaman secara terpadu sekaligus memperbaiki kondisi biologis tanah (Syahputra *et al.*, 2017). Keunggulan tersebut menjadikan *Trichoderma* sp. banyak digunakan dalam pengendalian patogen seperti *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Colletotrichum* spp., hingga *Fusarium oxysporum* sp.

Fusarium oxysporum sp. merupakan patogen tular tanah penyebab penyakit layu vaskular pada berbagai tanaman hortikultura, termasuk cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Sejumlah penelitian melaporkan efektivitas *Trichoderma* sp. dalam menekan penyakit ini. Nurjanah (2020) melaporkan bahwa aplikasi *Trichoderma* sp. dengan dosis 20 g/polybag mampu menurunkan intensitas layu fusarium pada cabai varietas TM 99 hingga 20%, jauh lebih rendah dibandingkan tanaman tanpa perlakuan yang mencapai 77%. Rezki *et al.* (2017) juga melaporkan bahwa aplikasi *Trichoderma harzianum* sebanyak 25 g/polybag yang diberikan 7 hari sebelum tanam mampu menekan kejadian layu fusarium hingga 0% serta meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman cabai. Hasil tersebut menunjukkan peran penting *Trichoderma* sp. dalam menekan patogen sekaligus meningkatkan produksi tanaman.

Keberhasilan aplikasi *Trichoderma* sp. dalam mengendalikan *Fusarium oxysporum* sp. sangat dipengaruhi oleh konsentrasi spora yang digunakan. Direktorat Perlindungan Perkebunan (2014) menetapkan bahwa produk *Trichoderma* sp. harus memiliki kerapatan spora minimal 10^6 spora/mL agar efektif sebagai agens hayati. Penelitian Nabila (2023) melalui uji in vitro menunjukkan bahwa kerapatan 10^7 spora/mL mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* sp. hingga 54,6%, lebih tinggi dibandingkan kerapatan 10^3 dan 10^5 spora/mL. Penelitian Antari *et al.*, (2020) pada cabai merah juga menunjukkan bahwa peningkatan volume aplikasi *Trichoderma asperellum* berbanding lurus dengan penurunan gejala layu fusarium, meskipun parameter kerapatan spora belum dinyatakan secara kuantitatif. Temuan tersebut menegaskan bahwa konsentrasi inokulum merupakan faktor kunci dalam menentukan efektivitas pengendalian.

Waktu aplikasi juga menjadi faktor penting dalam menentukan keberhasilan kolonisasi *Trichoderma* sp. pada perakaran tanaman. Hardianti (2019) melaporkan bahwa aplikasi *T. harzianum* yang diberikan 7 hari sebelum tanam menghasilkan penekanan layu fusarium terbaik pada tanaman tomat dibandingkan aplikasi saat tanam atau setelah tanam. Hasil serupa dilaporkan oleh Rezki *et al.*, (2017), di mana aplikasi *Trichoderma* sp. sebelum tanam tidak hanya menekan intensitas penyakit, tetapi juga meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman cabai. Pemberian lebih awal memberikan waktu bagi *Trichoderma* sp. untuk beradaptasi dan berkolonisasi di rizosfer sebelum patogen berkembang.

Efektivitas aplikasi *Trichoderma* sp. juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti viabilitas spora, jenis formulasi media pembawa, kondisi lingkungan (pH, kelembapan, dan suhu), serta kesesuaian strain *Trichoderma* sp. dengan tanaman inang (Carro *et al.*, 2021). Viabilitas spora yang rendah akibat penyimpanan yang tidak tepat dapat menurunkan daya antagonistik terhadap patogen. Formulasi yang sesuai diperlukan untuk menjaga stabilitas spora dan memastikan efektivitas *Trichoderma* sp. di lapangan. Pendekatan ini tidak hanya berkontribusi terhadap penekanan penyakit, tetapi juga mendukung peningkatan kesehatan tanah dan pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian telah dilaksanakan pada bulan Januari – Agustus 2025 di Lahan Cabai Rawit Desa Kalimanggis, Kaloran, Temanggung dan dilanjutkan analisis laboratorium. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah.

3.1. Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian terdiri dari alat dan bahan. Alat yang digunakan dalam penelitian adalah cangkul, sekop, gembor, *tray* semai, *polybag* ukuran 35 x 35, gelas ukur, tabung reaksi, pipet, timbangan analitik, autoklaf, laminar air flow, shaker, vortex, cover glass, haemocytometer, mikroskop, label, meteran, ajir, tali rafia, *handphone*, alat tulis dan alat analisis lainnya. Bahan yang digunakan yaitu benih cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) varietas Maruti F1 yang memiliki kerentanan terhadap serangan penyakit, isolat *Trichoderma* sp dari Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit Kedu, isolat *Fusarium oxysporum* didapatkan dari eksplorasi tanaman di lahan cabai rawit Desa Kalimanggis yang terserang penyakit layu fusarium, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), pupuk urea, pupuk KCl, pupuk SP-36, pupuk kandang, kompos, alkohol 70%, akuades, air, tanah dan bahan analisis lainnya.

3.2. Metode Penelitian

3.2.1. Rancangan Percobaan

Penelitian termasuk jenis penelitian eksperimental dengan perlakuan berupa kerapatan spora *Trichoderma* sp. dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. Penelitian ini dilakukan dengan percobaan faktorial 5x3 dengan dasar Rancangan Acak Lengkap (RAL) dan jumlah ulangan 4 kali sehingga menghasilkan 60 unit percobaan.

Faktor pertama adalah pemberian konsentrasi jamur *Trichoderma* sp. berdasarkan kerapatan spora/ml (P) yang terdiri dari 5 taraf yaitu:

P0 = Kontrol (tanpa pemberian *Trichoderma* sp. atau 0 spora/ml);

P1 = Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^6 spora/ml;

P2 = Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^7 spora/ml;

P3 = Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^8 spora/ml;

P4 = Kerapatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^9 spora/ml.

Faktor kedua adalah waktu aplikasi jamur *Trichoderma* sp. (W) yang terdiri dari 3 taraf yaitu

W1 = 7 hari sebelum pindah tanam;

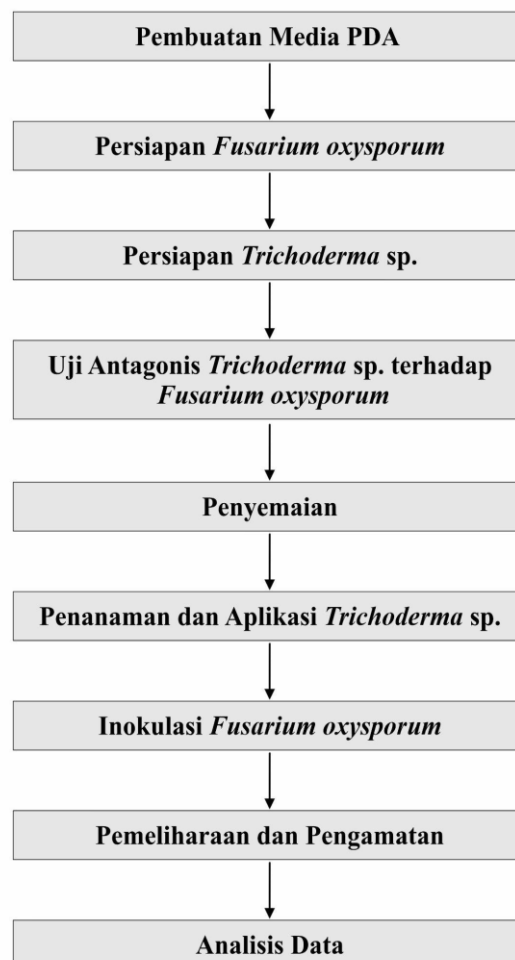
W2 = waktu pindah tanam;

W3 = 7 hari setelah pindah tanam.

Satu unit percobaan terdiri dari 3 tanaman sehingga total terdapat 180 populasi tanaman.

3.2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu persiapan penelitian, pembuatan media PDA, persiapan dan perlakuan *Fusarium* sp., persiapan dan perlakuan *Trichoderma* sp. uji antagonis *Trichoderma* sp terhadap *Fusarium oxysporum* secara in vitro, tahap persiapan dan penyemaian, aplikasi *Trichoderma* sp., penanaman cabai, inokulasi *Fusarium* sp., pemeliharaan tanaman, pemanenan, serta pengolahan data. Alur proses penelitian tersaji pada ilustrasi 3.



Ilustrasi 3. Diagram Alur Proses Penelitian

1. Persiapan Penelitian

Tahapan persiapan meliputi persiapan bahan pembuatan media PDA, persiapan *Fusarium oxysporum*, persiapan *Trichoderma* sp., persiapan media tanam, persiapan lahan, serta persiapan bahan tanam benih cabai rawit.

2. Pembuatan Media *Potato Dextrose Agar* (PDA).

Pembuatan PDA dilakukan dengan mengupas kentang 200 gram dikupas, dibersihkan, dipotong dadu, *aquadest* 1000 ml dituang, lalu kentang dimasak hingga lunak, sari kentang diambil, agar 20 gram dan *dextrose* 20 gram ditimbang, lalu sari kentang diaduk hingga mendidih, sari kentang di tuang ke dalam botol kaca, media PDA di *autoclave* pada suhu 121° Celcius selama 15 menit dengan tekanan 2 atm.

3. Persiapan *Fusarium oxysporum*

a. Pengambilan Sampel tanaman bergejala layu fusarium

Buah cabai rawit yang bergejala layu fusarium diperoleh dari lahan petani di daerah Kalimantan, Kaloran, Temanggung. Gejala penyakit layu fusarium pada cabai diawali dengan menguningnya daun bagian bawah akibat nekrosis, kemudian daun mengering dan gugur. Batang menunjukkan gejala kelayuan yang dimulai dari pangkal batang dan berlanjut ke bagian atas. Bagian batang yang bersinggungan dengan tanah membusuk dan mengalami nekrosis, sehingga tanaman mudah rebah. Pada kondisi lanjut, akar tanaman menunjukkan perubahan warna menjadi hitam dan membusuk, meskipun berkas pembuluh sering kali tidak menunjukkan perubahan warna mencolok. Cabai rawit yang bergejala layu fusarium dimasukkan kedalam plastik bening kemudian dibawa ke Laboratorium Ekologi dan Produksi

Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang untuk dilakukan isolasi. Sampel tanaman bergejala dapat dilihat pada ilustrasi 4.



Ilustrasi 4. Sampel Tanaman Bergejala Layu Fusarium

b. Isolasi jamur *Fusarium oxysporum* sp.

Isolat jamur *Fusarium oxysporum* sp. diperoleh dari pangkal batang bawah tanaman cabai rawit yang bergejala layu fusarium. Bagian tanaman dicuci bersih menggunakan air mengalir kemudian dipotong menjadi bagian bagian kecil berukuran 1,0 – 1,5 cm. Selanjutnya sampel dilakukan sterilisasi permukaannya dengan menggunakan *clorox* atau *sodium hypochlorite* komersial 10% selama dua menit, alkohol absolut 96 % (selama 30 detik) atau *ethanol* 75 % (selama dua menit), dan aquades steril selama 2 menit. Sampel kemudian diletakkan diatas tisu steril. Sampel yang telah kering diletakkan pada media PDA secara aseptis. Tepi cawan petri ditutup dan dibungkus dengan plastik *wrap*. Media diinkubasi pada suhu ruang selama 7 hari.

c. Pemurnian atau peremajaan *Fusarium oxysporum* sp. pada media PDA.

Miselium *Fusarium oxysporum* sp. yang tumbuh dari hasil isolasi kemudian dilakukan pemurnian yang bertujuan untuk mendapatkan isolat murni tanpa kontaminasi dari patogen lainnya. Pemurnian atau peremajaan dilakukan ketika

isolat telah memenuhi cawan petri (± 7 hari). Jamur yang tumbuh miseliumnya diambil menggunakan jarum ose atau jarum preparat kemudian ditumbuhkan ke dalam media PDA baru. Jamur diinkubasi lagi selama ± 7 hari hingga muncul koloni murni jamur *Fusarium oxysporum* untuk selanjutnya dilakukan identifikasi.

d. Identifikasi Jamur *Fusarium oxysporum*.sp.

Proses identifikasi dilakukan melalui pengamatan ciri-ciri makroskopis dan mikroskopis serta membandingkan dengan beberapa kajian pustaka dan buku Barnett dan Hunter (1972) atau buku kunci identifikasi jamur *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (1987). Pengamatan secara makroskopis dilakukan dengan melihat langsung warna koloni, bentuk koloni, dan tepi koloni lapang. Sedangkan pengamatan ciri-ciri mikroskopis dengan melihat bentuk konidia, hifa, dan letak konidiofor kapang menggunakan mikroskop.

Menurut Lestiyani *et al.*, (2020) jamur *Fusarium oxysporum* memiliki bentuk dan morfologi yaitu secara makroskopis miselium udara tebal, koloni berwarna putih keunguan sedangkan secara mikroskopis memiliki mikrokonidium berbentuk oval tidak memiliki septa dan makrokonidium yang ramping dengan 3 septa, konidiofor monofialid, tidak membentuk rantai, tanpa sekat, lurus lonjong, pendek dan terikat 3-8 mikrokonidium. Bentuk makrokonidia merupakan dasar identifikasi yang paling penting dalam taksonomi *Fusarium* sp. sedangkan mikrokonidia menempati urutan kedua dalam identifikasi *Fusarium* sp.

Isolat *Fusarium oxysporum* sp. yang tumbuh pada media PDA dalam tabung reaksi digerus perlahan permukaan koloninya dengan jarum ose steril atau spatula. Jamur *Fusarium oxysporum* sp. yang telah digerus kemudian disuspensikan dengan

menambahkan aquades steril sebanyak 10 ml dan 1 tetes Tween 80 (untuk mempermudah pelepasan konidia) kemudian di kocok atau dihomogenkan sehingga terbentuk suspensi spora awal (*stock suspension*).

e. Perhitungan kerapatan spora *Fusarium oxysporum* sp.

Kerapatan konidia *Fusarium oxysporum* sp. dapat dihitung dengan bantuan alat *haemocytometer*. Larutan konidia diambil menggunakan pipet tetes 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah diisi *aquades* steril 9 ml lalu dihomogenkan menggunakan *homogenizer* selama 1 menit. Hal tersebut akan menghasilkan pengenceran 10^{-1} . Suspensi konidium ditetaskan sebanyak 1 ml ke ruang *haemocytometer* hingga bidang hitung terpenuhi suspensi, kemudian didiamkan selama 1 menit dan kemudian diamati dibawah mikroskop *binokuler*. Pengenceran akan terus diulang sampai mendapatkan hasil kerapatan 10^7 spora/ml (sebagai standar inokulum untuk inokulasi ke tanaman). Selanjutnya perhitungan kerapatan diulang sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang konsisten pada kerapatan 10^7 spora/ml (Lampiran 5).

f. Pembuatan Suspensi *Fusarium oxysporum* sp. untuk inokulasi ke tanaman.

Kebutuhan untuk inokulasi ke tanaman dapat dihitung dengan rumus :

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

keterangan : C1 = konsentrasi yang dibutuhkan;

C2 = konsentrasi yang tersedia;

V1 = volume yang dibutuhkan; dan

V2 = volume yang tersedia.

Suspensi jamur *Fusarium oxysporum* sp. dibuat dalam erlenmeyer 1000 ml dan digojog menggunakan shaker selama 20 - 30 menit.

4. Persiapan *Trichoderma* sp.

a. Perbanyak *Trichoderma* sp. pada media PDA.

Isolat murni *Trichoderma* sp. yang didapatkan dari Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit Kedu di Perbanyak di media PDA cawan petri dengan cara digores menggunakan ose dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu ruang hingga muncul koloni jamur.

b. Identifikasi Jamur *Trichoderma* sp.

Proses identifikasi dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil pengamatan identifikasi dicocokkan dengan menggunakan buku kunci identifikasi jamur *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (1987) dan beberapa kajian pustaka untuk membuktikan jamur yang ditumbuhkan benar *Trichoderma* sp. dan tidak kontaminasi dengan jamur lain. Makroskopis koloni *Trichoderma* sp. pada media padat menunjukkan pola perubahan warna dari putih menjadi hijau serta tekstur koloni yang variatif tergantung isolat (Thuy *et al.*, 2022). Setelah pengamatan makroskopis, dilanjutkan dengan pengamatan secara mikroskopis. Struktur mikroskopis isolat diamati di bawah mikroskop cahaya (mikroskop umum atau mikroskop fungsional) untuk melihat ciri mikroskopis seperti hifa, konidiofor, fialid, dan konidia. *Trichoderma* sp. secara mikroskopis memiliki bentuk dan ukuran konidiofor bercabang atau tidak teratur, fialid berbentuk botol atau seperti leher botol pada ujung konidiofor, memiliki 2–3 fialid per ujung, serta konidia yang berwarna hijau kekuningan dan berbentuk elipsoid atau bulat sedikit oval.

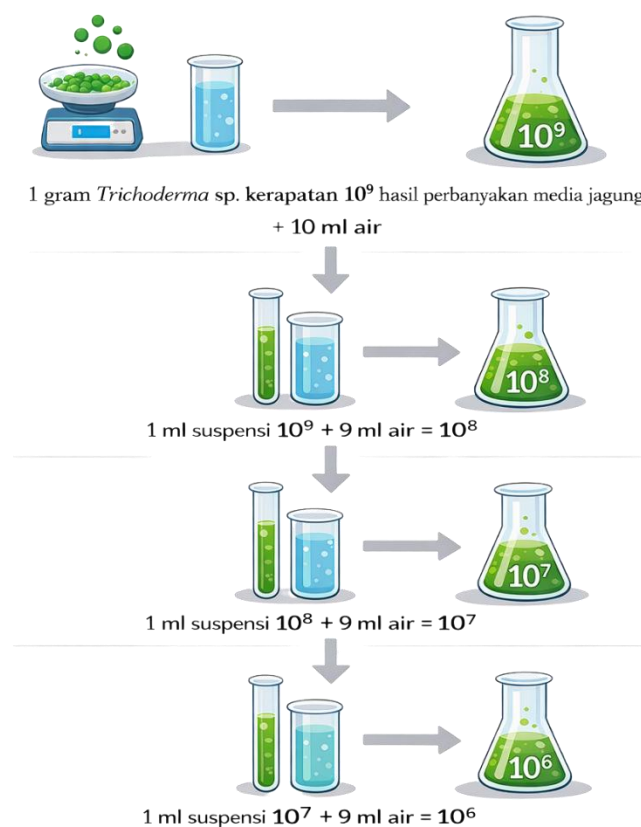
c. Inokulasi dan perbanyakkan Jamur *Trichoderma* sp. di media jagung giling

Isolat jamur *Trichoderma* sp. diperoleh dari Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit Wilayah Kedu. Perbanyakkan *Trichoderma* sp. dilakukan dengan menggunakan media jagung. Media jagung dicuci dan membuang bagian yang terapung, lalu dibilas dengan air bersih. Media jagung dikukus setengah matang atau kurang lebih selama 15 menit, lalu didinginkan pada nampan. Setelah dingin jagung dimasukan pada plastik sebanyak 100 gram, kemudian diikat atau distaples. Media dimasukkan ke dalam autoklaf untuk sterilisasi dengan suhu 120°C tekanan 1 atm selama 20 menit. Media jagung kemudian diinokulasi di dalam *Laminar Air Flow*. Baju, tangan, dan jarum ose disterilkan dengan cara disemprot dengan alkohol. Plastik yang berisi jagung di buka sambil di dekatkan dengan bunsen. Isolat jamur *Trichoderma* sp. pada media PDA diambil dengan menggunakan jarum ose lalu dimasukan pada media jagung. Media jagung yang telah diberi jamur *Trichoderma* sp. diletakan pada kondisi yang aman dari serangan tikus atau semut, serta terhindar dari paparan sinar matahari langsung. Diamkan selama 5 sampai dengan 7 hari, biasanya pada hari ke-5 sudah kelihatan jamur berwarna hijau dan pada hari ke-7 warna sudah hijau merata dan siap untuk digunakan.

d. Pembuatan suspensi uji kerapatan *Trichoderma* sp. 10^9 , 10^8 , 10^7 , dan 10^6 .

Isolat *Trichoderma* sp. 10^9 yang telah diperbanyak pada media jagung diambil sebanyak 1 gram dan ditambahkan *aquades* steril sebanyak 10 ml lalu dihomogenkan menggunakan vortex selama 3 menit. menghasilkan suspensi *Trichoderma* sp. 10^9 . Pembuatan suspensi *Trichoderma* sp. 10^8 dilakukan dengan pengenceran suspensi *Trichoderma* sp. 10^9 yaitu dengan mengambil 1 ml suspensi

Trichoderma sp. 10^9 dan ditambahkan *aquades* 9 ml lalu dihomogenkan menggunakan vortex selama 3 menit. Begitu seterusnya hingga sampai pada pengenceran ke 3 untuk mendapatkan suspensi *Trichoderma* sp. 10^6 . Komposisi suspensi pengujian kerapatan *Trichoderma* sp. tersaji pada ilustrasi 5.



Ilustrasi 5. Komposisi suspensi pengujian kerapatan *Trichoderma* sp.

e. Perhitungan kerapatan *Trichoderma* sp.

Setiap suspensi yang telah jadi dihitung kerapatan konidia nya. Perhitungan kerapatan konidia *Trichoderma* sp dilakukan dengan menggunakan bantuan alat *haemocytometer*. Larutan konidia diambil menggunakan pipet tetes 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang sudah diisi *aquades* steril sebanyak 9 ml lalu dihomogenkan menggunakan vortex selama 3 menit dan mengambil 0,2 ml

isolate uji dengan menggunakan *syringe* 1 ml. Selanjutnya meneteskan suspensi spora pada bidang hitung dengan pipet melalui kedua kanal pada sisi atas dan bawah, sehingga bidang hitung terpenuhi suspensi secara kapiler dan mendiarkannya selama satu menit agar posisi stabil. Kemudian menghitung spora yang terletak pada garis batas kotak hitung (a+b+c+d+e) dengan mikroskop perbesaran 10 x 10. Penghitungan kerapatan spora dihitung pada alat *haemocytometer Neubauer*, dengan menggunakan rumus:

$$S = \frac{x}{L \times t \times d} \times 10^3$$

Keterangan:

- S = Kerapatan spora (spora/ml)
- x = Rata-rata jumlah spora pada kotak a,b,c,d,e
- L = luas kotak hitung (0,04 mm²)
- t = Kedalaman bidang
- d = faktor pengenceran (10⁻¹)
- 10³ = volume suspensi yang dihitung (1 ml = 10³ mm³)

Apabila dalam perhitungan konidia pada pengenceran 10⁻¹ masih didapatkan hasil kerapatan dengan pangkat yang sama maka dilakukan pengenceran bertingkat lagi sampai didapatkan kerapatan yang ditentukan sesuai perlakuan (aplikasi *Trichoderma* sp. pada tanaman menyesuaikan dengan hasil pengenceran dan kerapatan *Trichoderma* sp.).

f. Perhitungan viabilitas *Trichoderma* sp.

Pengamatan viabilitas spora dilakukan untuk mengetahui persentase daya kecambah dari setiap spora. Pengamatan dilakukan bersamaan dengan uji kerapatan spora dengan melihat bentuk spora di mikroskop pada perbesaran 10 x 10. Perhitungan viabilitas dilakukan dengan menghitung banyaknya spora yang berkecambah (spora tumbuh normal) dan yang tidak berkecambah (spora tumbuh abnormal). Menghitung daya kecambah atau viabilitas spora biakan *Trichoderma* sp. yang diujikan dengan menggunakan rumus (BBPPTP Ambon, 2014).

$$V = \frac{g}{g + u} \times 100\%$$

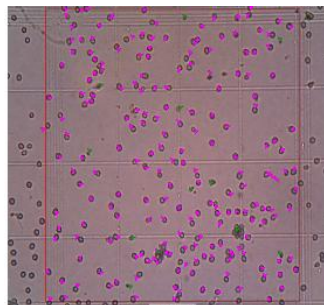
Keterangan:

V = perkecambahan spora (viabilitas)

g = jumlah spora yang berkecambah

u = jumlah spora yang tidak berkecambah.

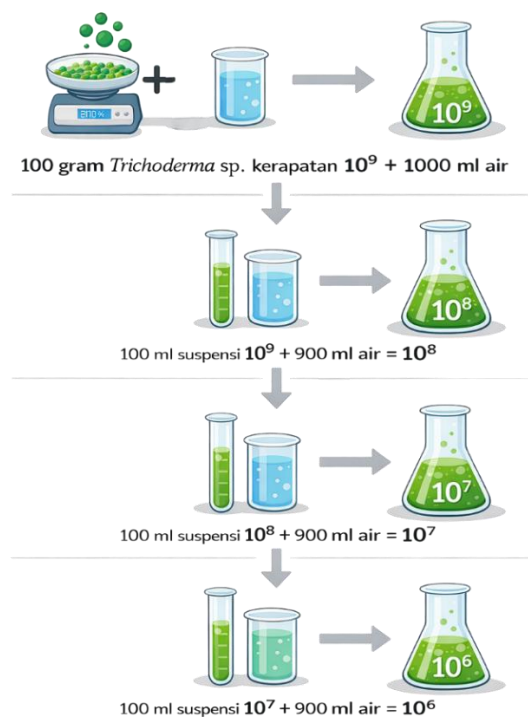
Ramli (2004) menyatakan bahwa viabilitas spora digolongkan baik bila <80 – 100%, sedang <70 – 85% dan kurang >55 – 70%. Perhitungan viabilitas dan kerapatan spora *Trichoderma* sp. tersaji pada ilustrasi 6.



Ilustrasi 6. Perhitungan viabilitas dan kerapatan spora *Trichoderma* sp.

- g. Pembuatan suspensi *Trichoderma* sp. untuk aplikasi.

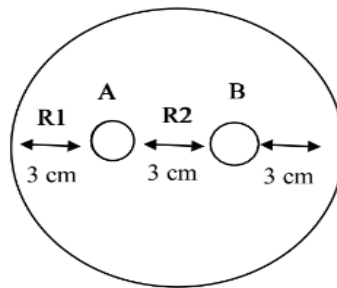
Suspensi *Trichoderma* sp. dibuat sesuai dengan perbandingan dan hasil dari uji kerapatan tiap perlakuan. Kerapatan 10^9 digunakan sebagai larutan stok untuk perlakuan yang lain. Komposisi suspensi aplikasi *Trichoderma* sp. tersaji pada ilustrasi 7.



Ilustrasi 7. Komposisi suspensi aplikasi *Trichoderma* sp.

5. Uji Antagonis *Trichoderma* sp terhadap *Fusarium oxysporum* secara *in vitro*.

Pengujian Antagonis dilakukan dengan metode *dual culture*. Meletakkan koloni *Fusarium oxysporum* pada cawan petri dengan jarak 3 cm dari tepi cawan petri dan menggoreskan *Trichoderma* sp dengan jarak 3 cm dari tepi cawan petri berlawanan sehingga jarak antara *Trichoderma* sp dengan *Fusarium oxysporum* adalah 3 cm. (Ilustrasi 8). Biakan diinkubasi selama 3 x 24 jam dan dilakukan pengamatan.



Ilustrasi 8. Skema uji ganda daya hambat isolat *Trichoderma* sp terhadap *Fusarium oxysporum*: (A) Koloni *Fusarium oxysporum*; (B) Isolat *Trichoderma* sp; (R1) Jari – jari koloni *Fusarium oxysporum* yang menjauhi Isolat *Trichoderma* sp; (R2) Jari – jari *Fusarium oxysporum* yang mendekati Isolat *Trichoderma* sp. (Sumber : Zega, (2021))

Presentase daya hambat *Trichoderma* sp terhadap *Fusarium oxysporum* dapat dihitung menggunakan rumus (Gusnawaty *et al.*, 2019) :

$$I = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$$

Keterangan :

I = Presentase daya hambat (%)

R1 = Jari – jari *Trichoderma* sp yang arahnya berlawanan dengan patogen.

R2 = Jari – jari koloni *Fusarium oxysporum*

6. Penyemaian

Benih cabai varietas Maruti F1 masing-masing di steril dengan menggunakan NaOCl 3% air steril serta dikeringkan menggunakan kertas saring. Benih cabai yang sudah steril ditanam pada media semai pada bak persemaian, media semai diberi lubang dan setiap lubang dimasukkan 1 benih cabai rawit kemudian lubang ditutup dengan media semai. Media untuk persemaian yaitu berupa media tanah dicampur kompos dengan perbandingan 2:1. Benih cabai rawit di semai dalam *tray* semai selama 28 hari atau sampai tanaman berdaun 4-6 helai dan siap tanam.

7. Sterilisasi Media Tanam dan Penanaman.

Penanaman cabai dilakukan di lahan petani di Desa Kalimanggis, Kecamatan Kaloran, Kabupaten Temanggung menggunakan polybag ukuran 35 x 35 cm. Media tanam berupa campuran tanah, sekam, dan pupuk kandang disterilkan dengan cara media tanam disebar di atas lapisan terpal di tempat terbuka di bawah terik sinar matahari, kemudian ditutup plastik transparan, lalu kayu diletakkan diatas plastik sebagai pemberat. Proses sterilisasi dilakukan selama 3 hari (Hamdani dan Susanto, 2020). Bibit cabai hasil semai selama 14 hari dapat dipindah tanam ke *polybag*, setiap lubang tanam diisi 1 benih dengan kedalaman 2 – 3 cm. Tanaman cabai yang akan dipindah diseleksi terlebih dahulu, dipilih tanaman yang sehat dan pertumbuhannya seragam. Penanaman dilakukan dengan cara mengangkat bibit cabai beserta tanah yang melekat pada akar, bongkahan media tempat melekatnya akar tanaman jangan sampai pecah. Setelah tanaman cabai di tanam langsung disiram dengan air supaya kondisinya lembab dan diberi naungan agar tanaman cabai rawit dapat beradaptasi terlebih dahulu pada kondisi lingkungan. Jarak antar polybag dalam yaitu 30 cm antar unit percobaan dan 40 cm antar perlakuan.

8. Aplikasi *Trichoderma*.

Aplikasi *Trichoderma sp.* dilakukan dengan cara dikocor pada lubang tanam sesuai perlakuan. Pengocoran larutan *Trichoderma sp.* dilakukan dengan mengambil 125 cc atau 125 ml untuk setiap lubang tanam (Sukasana *et al.*, 2024).

9. Tahap inokulasi *Fusarium oxysporum sp.*

Media tanam diinokulasi dengan patogen *Fusarium oxysporum sp.* pada 14 HST. Metode inokulasi suspensi jamur *Fusarium oxysporum sp.* dilakukan dengan

menyiramkan suspensi pada tanah steril kedalaman 3 - 5 cm sebanyak 10 ml/pot perlakuan dengan kerapatan spora 10^7 spora/ml (Dewi, *et al.*, 2018).

10. Pemeliharaan Tanaman.

Pemberian pupuk N, P_2O_5 , dan K_2O pada tanaman cabai yaitu 15,54 g urea/tanaman, 14,89 g SP-36 /tanaman, dan 8,93 g KCl/tanaman (Chili, 2017). Pemupukan dilakukan pada pupuk dasar (saat tanam) = SP-36 (15,54 gram) dan KCl (4 gram), 2 MST = Urea (5 gram) dan KCl (2 gram), 5 MST = Urea (5 gram) dan KCl (2 gram), dan 8 MST = Urea (4,89 gram) dan KCl (0,98 gram). Pemberian pupuk anorganik dilakukan dengan cara sebar di sekitar perakaran tanaman. Penyiraman dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada pagi dan sore hari sambil menyesuaikan kondisi cuaca (hujan). Perlakuan waktu penyiraman diberikan setelah tanaman berumur 14 HST hingga panen. Penyiraman dilakukan dengan menggunakan gembor. Setelah tanaman mulai tumbuh dan tinggi mencapai 25 cm, dapat dipasang ajir di sebelah tanaman. Ajir/lanjaran dibuat dari belahan bambu atau menggunakan kayu dengan panjang sekitar 2 meter kemudian diberi tali. Pemasangan ajir dimaksudkan sebagai tempat merambatnya tanaman dan menjaga tanaman agar tetap tegak. Cabai rawit termasuk tanaman indeterminate, oleh karena itu dibutuhkan pemangkasan untuk mengontrol pertumbuhan dan meningkatkan produksi buah.

11. Pemanenan.

Pemanenan dilakukan pemanenan pada saat tanaman berumur 85 HST, Ciri-ciri buah yang dapat dipanen adalah ditandai dengan warna merah penuh pada buahnya. Pemanenan dilakukan dengan cara memetik buah cabai dengan

menyertakan tangkai buahnya dan dilakukan 2-3 hari sekali tergantung masakny buah cabai rawit.

12. Pengolahan data

Data parameter yang telah didapatkan diolah menggunakan ANOVA

3.2.3. Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi *Fusarium oxysporum* sp.

Proses identifikasi dilakukan melalui pengamatan ciri-ciri makroskopis dan mikroskopis serta membandingkan dengan beberapa kajian pustaka dan buku Barnett dan Hunter (1972) atau buku kunci identifikasi jamur *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (1987). Pengamatan secara makroskopis dilakukan dengan melihat langsung warna koloni, bentuk koloni, dan tepi koloni lapang. Sedangkan pengamatan ciri-ciri mikroskopis dengan melihat bentuk konidia, hifa, dan letak konidiofor kapang menggunakan mikroskop.

2. Identifikasi *Trichoderma* sp.

Proses identifikasi dilakukan secara makroskopis dan mikroskopis. Hasil pengamatan identifikasi dicocokkan dengan menggunakan buku kunci identifikasi jamur *Illustrated Genera of Imperfect Fungi* (1987) sekaligus membuktikan jamur yang ditumbuhkan benar *Trichoderma* dan tidak kontaminasi dengan jamur lain.

3. Analisis pertumbuhan *Trichoderma* sp. di media tanam

Pengamatan jamur *Trichoderma* sp. setelah satu minggu aplikasi di media tanam dilakukan dengan menggunakan media pemeraman. Metode ini dilakukan

dengan cara mengisi wadah dengan media tanam hingga setengah penuh, kemudian diletakkan nasi diatas media tanam hingga menutupi permukaan wadah, lalu tisu diletakkan diatas nasi, kemudian wadah ditutup. Setelah 7 hari, dapat dilakukan pengamatan secara visual dengan melihat jamur yang tumbuh diatas nasi. Jamur *Trichoderma* sp. yang tumbuh akan terlihat miselium atau spora jamurnya berwarna hijau muda hingga hijau tua. Koloni *Trichoderma* sp. biasanya memiliki tekstur seperti kapas atau bulu halus pada awalnya. Saat sporulasi terjadi, teksturnya bisa menjadi lebih bergranul atau berbubuk karena produksi konidia

4. Uji daya hambat

Persentase uji daya hambat jamur *Trichoderma* sp terhadap jamur *Fusarium oxysporum* diatas media PDA. Persentase daya hambat dihitung dengan rumus (Gusnawaty *et al.*, 2019):

$$I = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\%$$

I = Persentase daya hambat (%)

R1 = Jari – jari *Trichoderma* sp yang arahnya berlawanan dengan koloni *Fusarium oxysporum*

R2 = Jari – jari koloni *Fusarium oxysporum*

5. Periode Inkubasi (hari)

Pengamatan terhadap periode inkubasi dapat memberikan gambaran tentang kecepatan infeksi yaitu waktu yang diperlukan dari sejak bibit ditanam sampai pertama kali ditemukan gejala penyakit layu fusarium pada tanaman cabai di petak pengamatan dan dihitung dalam satuan hari. Apabila terdapat tanaman yang masih

sehat sampai akhir pengamatan (112 HST atau 98 hari setelah inokulasi penyakit) maka akan beri nilai 98 (artinya periode inkubasi ≥ 98 hari).

6. Insidensi Penyakit atau Disease Incidence (%)

Insidensi penyakit merupakan persentase jumlah tanaman yang terserang patogen (n) dari total tanaman yang diamati (N) tanpa melihat keparahan penyakitnya (Fitriani *et al.*, 2019). Insidensi penyakit dihitung berdasarkan rumus:

$$DI = (n/N) \times 100\%$$

Keterangan:

DI = Insidensi Penyakit

N = Banyaknya tanaman

n = Jumlah tanaman terserang penyakit

7. Intensitas Serangan Penyakit atau Disease Severity (%)

Intensitas serangan merupakan parameter untuk mengetahui tingkat keparahan serangan penyakit layu fusarium. Nilai skala gejala penyakit layu fusarium tersaji pada tabel 1. Pengamatan dan perhitungan intensitas penyakit (I) dilakukan pada saat tanaman cabai rawit berumur 112 HST. Intensitas serangan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$DS = \frac{\sum(n.v)}{N.z} \times 100 \%$$

Keterangan:

DS = Intensitas serangan penyakit

n = Jumlah tanaman tiap kategori serangan

Z = Jumlah tanaman yang diamati

N = Nilai Skala atau skor dari kategori serangan tertinggi

V = Nilai skala atau skor pada setiap kategori serangan meliputi angka

Tabel 1. Nilai Skala Gejala Penyakit Layu Fusarium

Nilai Skala	Keadaan Tanaman	Ilustrasi Gambar
0	Tanaman sehat tidak menampilkan gejala layu maupun daun menguning	
1	Daun mengalami gejala layu atau menguning <20% dari tajuk tanaman	
2	Daun mengalami gejala layu atau menguning 20 – 40% dari tajuk tanaman	
3	Daun mengalami gejala layu atau menguning >40% dari tajuk tanaman	
4	Seluruh daun mengalami gejala layu atau tanaman mati	

Sumber: Ekayanti *et al.*, (2023)

Data hasil pengamatan selanjutnya ditransformasi dengan acuan arc sinus akar persen selanjutnya dianalisis sesuai rancangan penelitian yang digunakan.

8. Laju perkembangan penyakit atau *Disease progress rate* (%)

Laju perkembangan penyakit adalah kecepatan peningkatan tingkat keparahan (intensitas) penyakit pada tanaman dalam suatu interval waktu tertentu (1 Minggu Setelah Inokulasi – 8 Minggu Setelah Inokulasi). Menggambarkan seberapa cepat penyakit bertambah parah dari waktu ke waktu yang diamati secara berkala. Laju perkembangan penyakit dihitung dari perubahan intensitas penyakit (%) antara dua waktu pengamatan.

9.. *Area Under the Disease Progress Curve* (AUDPC)

AUDPC adalah metode yang digunakan untuk menentukan ketahanan tanaman terhadap penyakit dengan kategori ketahanan seperti pada Tabel 2. Rumus yang digunakan untuk menghitung AUDPC seperti yang digunakan adalah:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i),$$

N : Jumlah pengamatan

y_i : Nilai keparahan pada waktu t_i

$t_{i+1} - t_i$: Interval waktu antara dua pengamatan

Tabel 2. Kategori ketahanan tanaman berdasarkan nilai AUDPC

Kategori ketahanan	Nilai AUDPC
Sangat tahan	0,00 – 50,0
Tahan	50,1 – 100,0
Agak Tahan	101,0 – 250,0
Rentan	>250

Sumber: Sinaga (2003)

10. Tinggi tanaman (cm)

Panjang atau tinggi tanaman diukur dari pangkal batang di atas permukaan tanah sampai titik tumbuh tertinggi tanaman cabai. Pengukuran dimulai saat pindah tanam dan dilakukan seminggu sekali samapi umur 8 MST atau 56 HST (awal generatif) dengan menggunakan penggaris atau meteran.

11. Jumlah daun per tanaman (helai)

Jumlah daun dihitung mulai saat tanaman pindah tanam. Jumlah daun diamati dengan menghitung daun sejati yang telah membuka sempurna pada tanaman cabai rawit. Pengukuran dilakukan seminggu sekali sampai 10 MST atau 70 HST (awal pembentukan buah)

12. Umur Berbunga (hari)

Dihitung sejak tanaman ditanam hingga muncul bunga pertama.

13. Jumlah buah per tanaman (buah)

Jumlah buah dihitung setiap panen sebanyak 8 kali panen dengan interval 4 hari sekali pada saat tanaman mulai pemanenan pertama berumur 84 HST (12 MST) samapi 112 HST.

14. Bobot buah per tanaman (g)

Bobot buah per tanaman dilakukan dengan cara menimbang berat buah per tanaman setiap kali panen menggunakan timbangan digital. Panen dilakukan sebanyak 8 kali panen dengan interval 4 hari sekali saat tanaman mulai pemanenan pertama berumur 84 HST (12 MST)

15. Panjang buah (cm)

Panjang buah diukur dengan menggunakan penggaris. Pengukuran dilakukan setelah cabai panen.

16. *Visual Quality Rating* (VQR) buah cabai

Penilaian kualitas buah cabai rawit dilakukan dengan pengamatan mutu fisik buah secara visual dengan metode *Visual Quality Rating* (VQR). Nilai atau skor *Visual Quality Rating* (VQR) buah cabai tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. *Visual Quality Rating* (VQR) buah cabai

Skor	5	4	3	2	1	0
Tampak Kulit Buah Cabai						
Keadaan Buah	Produk segar dengan permukaan kulit buah mengkilap, tidak mengkerut layu/kisut	Permukaan kulit buah segar, tangkai layu/kisut	Permukaan kulit buah mulai layu/kisut, tetapi kerusakan tidak serius	Buah lunak dan layu/kisut	Sangat layu dan kisut, tidak ada bagian yang dapat dikonsumsi sama sekali	Tanaman mati (tidak ada buah)

Sumber: Anjayani dan Ambarwati (2021).

3.3. Analisis Data

Model linier yang digunakan pada Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan pola faktorial sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan: $i = 1,2,3,4,5$; $j = 1,2,3$; $k = 1,2,3,4$

- Y_{ijk} = Hasil pengamatan pada satuan percobaan ulangan ke-k yang memperoleh interaksi perlakuan konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. (P) pada taraf ke-I dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. (W) pada taraf ke J
- μ = Nilai rata-rata sesungguhnya (rata-rata populasi)
- α_i = Pengaruh konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. pada taraf ke-i
- β_j = Pengaruh perlakuan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. pada taraf ke-j
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Pengaruh interaksi perlakuan konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. pada taraf ke-I dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp. pada taraf ke J
- ϵ_{ijk} = Galat percobaan atau pengaruh acak dari satuan percobaan ulangan ke-k yang memperoleh interaksi perlakuan i dan j

Hipotesis Statistik:

Hipotesis statistik yang diuji dalam penelitian ini adalah:

1. Pengaruh utama pemberian konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp.

$$H_0: P_0 = P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 0 \quad ;$$

(Artinya Tidak ada pengaruh pemberian konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. terhadap parameter yang diamati)

$$H_1: \text{minimal ada satu } P_i \neq 0:$$

(Artinya Ada pengaruh pemberian konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. terhadap parameter yang diamati)

2. Pengaruh utama waktu aplikasi *Trichoderma* sp.

$$H_0: W_1 = W_2 = W_3 = 0:$$

(Artinya Tidak ada pengaruh waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap parameter yang diamati)

H1 : Minimal ada satu $W_j \neq 0$:

(Artinya Ada pengaruh waktu aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap parameter yang diamati)

3. Pengaruh interaksi konsentrasi kerapatan dan waktu aplikasi *Trichoderma* sp.

H0 : $(PW)_{ij} = 0$:

(Artinya tidak ada pengaruh konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. dan waktu aplikasi *Trichoderma*. sp. terhadap parameter yang diamati)

H1 : Minimal ada satu $(PW)_{ij} \neq 0$:

(Artinya ada pengaruh konsentrasi kerapatan *Trichoderma* sp. dan waktu aplikasi *Trichoderma*. sp. terhadap parameter yang diamati)

Analisis Statistika

Data hasil penelitian dianalisis dengan analisis ragam (ANOVA) dan apabila terdapat pengaruh perlakuan terhadap parameter maka dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%.