APLIKASI *Trichoderma harzianum* DAN MIKORIZA DALAM MENGENDALIKAN PENYAKIT MOLER PADA BAWANG MERAH (*Allium cepa* L.var. *aggregatum*)

SKRIPSI

Oleh

CAHAYANI LOYALITA

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

APLIKASI *Trichoderma harzianum* DAN MIKORIZA DALAM MENGENDALIKAN PENYAKIT MOLER PADA BAWANG MERAH (*Allium cepa* L.var.*aggregatum*)

Oleh

CAHAYANI LOYALITA
NIM : 23020222120003

Salah satu syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana 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	: Cahayani Loyalita
N I M	: 23020222120003
Program Studi	: S-1 Agroekoteknologi

dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul: **Aplikasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza dalam Mengendalikan Penyakit Moler pada Bawang Merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*)** dan penelitian yang terkait dengan skripsi ini merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui sesuai dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan penuh dari pembimbing, yaitu : **A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc.** dan **Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si.**

Apabila di kemudian 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, September 2026
Penulis,



Cahayani Loyalita

Mengetahui :

Pembimbing Utama	Pembimbing Anggota
A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc.	Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si.

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi	:	APLIKASI *Trichoderma harzianum* DAN MIKORIZA DALAM MENGENDALIKAN PENYAKIT MOLER PADA BAWANG MERAH (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*)
Nama Mahasiswa	:	CAHAYANI LOYALITA
Nomor Induk Mahasiswa	:	23020222120003
Program Studi/Departemen	:	S-1 AGROEKOTEKNOLOGI/PERTANIAN
Fakultas	:	PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal ..15 SEP 2026..

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Anggota

Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si.

Ketua Program Studi

Dr. Ir. Eny Fuskhah, M.Si.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program

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

Dekan

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

Ketua Departemen

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

RINGKASAN

CAHAYANI LOYALITA. 23020222120003. 2026. Aplikasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza dalam Mengendalikan Penyakit Moler pada Bawang Merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) (Pembimbing: **A'ISYAH SURYA BINTANG** dan **SYAIFUL ANWAR).**

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji aplikasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza dalam mengendalikan penyakit moler pada bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*). Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober – Maret 2026 di *Greenhouse* Svarnaloka Indonesia yang beralamat di Kelurahan Cepoko, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah. Kegiatan analisis Laboratorium di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan. Perlakuan yang diterapkan yaitu kontrol, 100% *T. harzianum*, 70% *T. harzianum* : 30% Mikoriza, 30% *T. harzianum* : 70% Mikoriza, 50% *T. harzianum* : 50% Mikoriza, dan 100% Mikoriza. Total 30 unit percobaan dengan 5 tanaman setiap unit percobaan sehingga terdapat 150 tanaman. Parameter penyakit yang diamati meliputi periode inkubasi penyakit, pengamatan *T. harzianum* tumbuh di media tanam, presentase daya hambat, insidensi penyakit, intensitas penyakit, *Area Under the Disease Progress Curve* (AUDPC), dan laju infeksi. Parameter pertumbuhan dan hasil yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah umbi, berat segar umbi, berat kering umbi, panjang akar, rasio tajuk : akar, dan kolonisasi mikoriza. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan Analisis Ragam pada taraf nyata 5%. Apabila menunjukkan pengaruh perlakuan yang nyata, maka dilanjutkan dengan Uji Pembanding Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada parameter penyakit yaitu daya hambat menunjukkan nilai tertinggi pada isolat ID2 sebesar 58,89%. Media tanam yang diamati pada perlakuan *T. harzianum* tumbuh miselium *T. harzianum* Masa inkubasi nilai tertinggi diperoleh T5 sebesar 10,68 HSI. Nilai insidensi pada 2 MSI seluruh tanaman terinfeksi penyakit. Nilai intensitas terendah pada akhir pengamatan diperoleh pada T1 sebesar 62,00% dan T5 sebesar 66,00%. Nilai AUDPC perlakuan T1 dan T5 termasuk kategori moderat resisten sedangkan T0, T2, T3, dan T4 termasuk moderat rentan. Laju infeksi seluruh perlakuan mengalami peningkatan pada 2 MSI. Parameter pertumbuhan dan hasil yaitu tinggi tanaman, jumlah umbi, berat segar umbi, berat kering umbi, panjang akar, dan rasio tajuk : akar tidak berbeda nyata. Parameter jumlah daun tertinggi pada T1 sebesar 30,76 helai. Kolonisasi mikoriza pada akar tertinggi pada perlakuan T5 sebesar 70% dengan kategori tinggi. Simpulan dari penelitian ini yaitu perlakuan T1 (*T. harzianum* 100%) dan T5 (mikoriza 100%) merupakan perlakuan terbaik dalam mengendalikan penyakit moler pada bawang merah. Perlakuan T1 menghasilkan intensitas penyakit terendah pada akhir pengamatan sebesar 62,00%, sedangkan T5 sebesar 66,00%, dengan nilai AUDPC keduanya termasuk dalam kategori moderat resisten. Perlakuan T5 menghasilkan masa inkubasi terlama, yaitu 10,68 HSI. Perlakuan T1 menunjukkan hasil terbaik pada parameter jumlah daun dengan rata-rata 30,76 helai.

KATA PENGANTAR

Bawang merah merupakan tanaman hortikultura yang banyak digunakan sebagai bumbu dasar dalam berbagai masakan khususnya di Indonesia. Tanaman bawang merah termasuk dalam famili Amaryllidaceae dan memiliki ciri berupa umbi lapis yang berwarna mera keunguan dengan aroma tajam. Bawang merah juga mengandung senyawa bioaktif yaitu flavonoid yang bermanfaat bagi kesehatan. Bawang merah memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena berperan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan kesehatan masyarakat.

Puji Syukur atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul "Aplikasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza dalam Mengendalikan Penyakit Moler pada Bawang Merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*)" yang merupakan salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pertanian, Universitas Diponegoro. Penyusunan skripsi ini didukung oleh seluruh pihak yang membantu penulis, maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi yaitu:

1. A'isyah Surya Bintang, S.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama dan Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si. selaku dosen pembimbing anggota yang telah memberikan saran, bimbingan dan pengarahannya kepada peulis sehingga penelitian dan penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. 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 S–1 Agroekoteknologi beserta jajarannya di Fakultas Peternakan dan Pertanian atas

kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyusun skripsi guna memperoleh gelar sarjana.

3. Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si., selaku dosen wali yang telah membantu memberikan dukungan dan arahan, bimbingan akademik, serta evaluasi perkembangan selama masa pembelajaran penulis.
4. Dosen-dosen Program Studi S-1 Agroekoteknologi yaitu Prof. Dr. Ir. Syaiful Anwar, M.Si., Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc., Prof. Ir. Didik Wisnu Widjajanto, M.Sc.Res., Ph.D., Dr. Ir. Susilo Budiyanto, M.Si., 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., Fajrin Pramana Putra, S.P., M.Sc., Muhammad Ghazi Agam Sas, S.P., M.Si., Muhammad Iqbal Fauzan, S.P., M.Si., Septrial Arafat, S.P., M.P., Dr. Dian Safitri, S.P., M.Si., Albertus Fajar Irawan, S.P., M.Agr., Ph.D., Nani Kitti Sihaloho, S.P., M.P., Anasrullah, S.P., M.S., Chaieydha Noer Afiefah, S.P., M.Sc., Prof. Dr. Ir. Endang Dwi Purbajanti, M.S., (Purna Tugas), Budi Adi Kristanto, M.S., (Purna Tugas), Dr. Ir. Sutarno, M.S., (Purna Tugas), dan (Alm) Prof. Dr. Ir. Sumarsono, M.S. selaku dosen Program Studi S-1 Agroekoteknologi Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro yang telah memberikan arahan, ilmu, dan motivasi penulis selama studi.
5. Sri Bima Arya Teja, A.Md. selaku Tenaga Kependidikan, Ahmad Baroha, S.Pt., selaku Pranata Laboratorium, dan Iskandar, A.Md. selaku Teknisi Laboratorium Program Studi S-1 Agroekoteknologi, serta seluruh staff administrasi dan pegawai di lingkungan kampus atas segala bantuan dan saran selama masa studi.

6. Kedua orang tua penulis Bapak dan Ibu, serta kakak penulis yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, dan kasih sayang sehingga penyusunan skripsi terselesaikan.
7. *Support system* penulis selama perkuliahan Andini Raihanah Suwignyo, Wulan Khoirun Nisa, dan Erma Yulieta Choirunnisa yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
8. Teman penelitian Hanum Nur Hamadah, Fatimatuzzahratul Ghifari, dan Astri Apitaningrum yang saling membantu saat penelitian.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung untuk menyelesaikan tugas akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang sifatnya konstruktif sangat diharapkan oleh penulis guna meningkatkan kualitas di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk siapa pun yang membacanya dan bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang pertanian.

Semarang, September 2026

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR vi

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR ILUSTRASI xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1
1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian 3
1.3. Hipotesis Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1. Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) 4
2.2. Penyakit Moler (*Fusarium* spp.) 5
2.3. *Trichoderma harzianum* 9
2.4. Mikoriza 11
2.5. Kombinasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza 13

BAB III MATERI DAN METODE 15

1.1. Materi Penelitian 15
1.2. Metode Penelitian 16

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 36

4.1. Identifikasi *Trichoderma* sp. 36
4.2. Identifikasi Penyakit Moler (*Fusarium* spp.) 38
4.3. Persentase Daya Hambat *Trichoderma harzianum* pada *Fusarium* spp. 48
4.4. Pengamatan *Trichoderma harzianum* Tumbuh di Media Tanam 51
4.5. Inokulasi Patogen *Fusarium* spp. dan Pengendalian Hayati 52

BAB V SIMPULAN DAN SARAN 69

5.1. Simpulan 69

5.2. Saran 69

DAFTAR PUSTAKA 70

LAMPIRAN 79

RIWAYAT HIDUP 128

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Patogen Penyebab Penyakit Moler.....	6
2.	Primer *Fusarium* spp.	9
3.	Primer spesifik Identifikasi Isolat *Fusarium solani dan Fusarium oxysporum*.....	22
4.	Program Amplifikasi untuk Pasangan Primer TEF-Fs4f/TEF-Fs4r dan CLOX1-F/CLOX2-R.....	22
5.	Nilai Skor Kategori Intensitas Penyakit Moler	31
6.	Kategori Ketahanan Berdasarkan Nilai AUDPC	32
7.	Kategori Persentase Kolonisasi.....	34
8.	Karakteristik Hasil Pengamatan Makroskopis *Fusarium* spp..	41
9.	Persentase Daya Hambat *Trichoderma harzianum* pada *Fusarium* spp.....	49
10.	Masa Inkubasi Penyakit Moler dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza	53
11.	Insidensi Penyakit Moler pada Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza.....	54
12.	Intensitas Penyakit Moler pada Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza.....	55
13.	Kategori Ketahanan Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza Berdasarkan Nilai AUDPC	57
14.	Laju Infeksi (r) Penyakit Moler Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza.....	58
15.	Kolonisasi Mikoriza pada Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza	61

16. Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Bawang Merah dengan perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza 62

17. Jumlah Umbi Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza 64

18. Berat Segar Umbi dan Berat Kering Umbi Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza 66

19. Panjang Akar dan Rasio Panjang Tajuk : Akar pada Tanaman Bawang Merah dengan Perlakuan *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza 67

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor Halaman

1. Identifikasi Morfologi Jamur *Fusarium* spp. 8
2. Identifikasi Morfologi Jamur *Trichoderma harzianum*. 10
3. Mikoriza *Glomus fasciculatum* 12
4. Diagram Alir Prosedur Penelitian 17
5. Persiapan Koleksi dan Kultur Isolat *Fusarium* spp. 18
6. Persiapan Koleksi *Trichoderma* spp. 19
7. Alat Identifikasi Morfologi *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* 20
8. Diagram Alir Identifikasi Molekuler 21
9. Perbanyakan *Trichoderma harzianum* 23
10. Perbanyakan *Fusarium solani* dan *Fusarium oxysporum* 24
11. Perhitungan Kerapatan Spora 25
12. Uji Viabilitas Spora 25
13. Persiapan Penanaman 26
14. Pemberian Perlakuan 27
15. Pemeliharaan Tanaman 28
16. Pemanenan 28
17. Skema Uji Ganda Daya Hambat *Trichoderma* sp. Terhadap *Fusarium* spp. 29
18. Nilai Intensitas Penyakit Moler 31
19. Pengamatan Makroskopis *Trichoderma harzianum* 36
20. Pengamatan Mikroskopis *Trichoderma harzianum* 37

21. Persiapan Koleksi Penyakit Moler 39

22. Identifikasi Makroskopis *Fusarium* spp..... 42

23. Identifikasi Mikroskopis *Fusarium* spp. 44

24. Dendogram Hubungan Kekerabatan antar Isolat *Fusarium* spp. berdasarkan Analisis UPGMA 46

25. Visualisasi Pita DNA 47

26. Pengujian *Dual Culture*..... 48

27. Pengamatan Mikroskop *Dual Culture* 50

28. Pengamatan *Trichoderma harzianum* Tumbuh di Media Tanam..... 51

29. Pengamatan Mikroskop Kolonisasi Mikoriza..... 60

30. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Bawang merah 6 MSI.... 63

31. Pengamatan Umbi Bawang merah 6 MSI..... 65

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	*Layout* Percobaan	79
2.	Deskripsi Bawang Merah Varietas Crok Kuning	80
3.	Perhitungan Kebutuhan Pupuk	81
4.	Pengukuran Suhu, Kelembaban, dan Intensitas Cahaya Matahari di *Greenhouse*	82
5.	Hasil Perhitungan Kerapatan Konidia *Trichoderma harzianum, Fusarium solani,* dan *Fusarium oxysporum*	84
6.	Hasil Perhitungan Viabilitas Konidia *Trichoderma harzianum Fusarium solani,* dan *Fusarium oxysporum*	85
7.	Pengolahan Data Hasil *Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean* (UPGMA)	86
8.	Perhitungan Panjang Pita DNA *Fusarium solani*	87
9.	Perhitungan Panjang Pita DNA *Fusarium oxysporum*	88
10.	Pengolahan Data Persentase Daya Hambat (DH)	89
11.	Pengolahan Data Masa Inkubasi	90
12.	Pengolahan Data Insidensi Penyakit Moler	93
13.	Pengolahan Data Intensitas Penyakit Moler	94
14.	Pengolahan Data Nilai *Area Under the Disease Progress Curve* (AUDPC)	96
15.	Pengolahan Data Laju Infeksi Penyakit	97
16.	Pengolahan Data Tinggi Tanaman	98
17.	Pengolahan Data Jumlah Daun	102
18.	Pengolahan Data Jumlah Umbi	107

19. Pengolahan Data Berat Segar Umbi 111
20. Pengolahan Data Berat Kering Umbi 115
21. Pengolahan Data Panjang Akar 119
22. Pengolahan Data Rasio Tajuk : Akar 123
23. Pengolahan Data Kolonisasi Akar 127

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) merupakan komoditas tanaman hortikultura yang banyak diminati di Indonesia sehingga banyak dibudidayakan oleh petani (Permana *et al*., 2021). Bawang merah banyak dimanfaatkan untuk pelengkap bumbu masakan dan dimanfaatkan sebagai obat (Aryanta, 2019). Permintaan bawang merah semakin meningkat. Namun, produksinya cenderung menurun. Menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia (2026) konsumsi bawang merah di Indonesia per kapita seminggu pada tahun 2021 sebesar 56,1 gram, tahun 2022 sebesar 58 gram, dan tahun 2023 sebesar 54,9 gram, tahun 2024 sebesar 54,9 gram, dan tahun 2025 sebesar 6,4 gram. Menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia (2026) produksi bawang merah di Indonesia pada tahun 2021 sebesar 2.004.590,4 ton, tahun 2022 sebesar 1.982.360,2 ton, tahun 2023 sebesar 1.985.233,3 ton, tahun 2024 sebesar 2.085.720,827 ton, dan tahun 2025 sebesar 2.186.156,844 ton.

Penurunan produksi bawang merah disebabkan oleh banyak faktor salah satunya karena serangan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT). Penyakit moler disebabkan oleh beberapa spesies *Fusarium* spp. yaitu *F. oxysporum*, *F. solani*, dan *F. acutatum* yang menyebabkan penyakit moler (Lestiyani *et al*., 2014). Serangan *Fusarium* spp. dimulai dengan kolonisasi di perakaran, kemudian masuk ke dalam jaringan, sehingga menghambat proses pengangkutan air dan fotosintesis. *Fusarium* spp. menghasilkan mikotoksin yang berpengaruh terhadap kelenturan membran plasma pada daun sehingga menyebabkan tanaman bawang merah menjadi meliuk (*twisted*) (Cahyaningrum *et al*., 2023).

Gejala moler pada bawang merah yaitu daun bagian ujung berwarna hijau pucat bahkan menguning, daun layu, pembusukan pangkal umbi, dan terjadi nekrosis. Daun bawang merah yang terkena penyakit moler pertumbuhannya tidak tegak, namun meliuk atau melengkung atau moler. Intensitas penyakit moler pada tanaman bawang merah dapat mencapai 71,43% (Kamilah *et al*., 2023). Penyakit moler menyebabkan tanaman bawang merah tidak membentuk umbi atau umbi yang terbentuk memiliki ukuran yang kecil sehingga menyebabkan penurunan hasil umbi sebesar 50% (Cahyaningrum *et al*., 2023).

Solusi pengendalian penyakit moler pada tanaman bawang merah yaitu dilakukan pengendalian secara hayati menggunakan *Trichoderma* sp., mikoriza, *Glicocladium* sp., *Azospirillum* sp., dan *Streptomyces* sp. *T. harzianum* dan mikoriza dipilih untuk pengendalian *Fusarium* spp. dibandingkan dengan agen hayati lain, karena kombinasi keduanya kompatibel tidak saling berkompetisi. *T. harzianum* memiliki mekanisme antibiosis, mikroparasitisme, persaingan unsur hara, induksi ketahanan tanaman, inaktivasi enzim patogen, dan pelarut unsur hara anorganik sehinga dapat mencegah pertumbuhan patogen pada tanaman (Putri dan Erdiansyah, 2024). Mikoriza menghasilkan senyawa metabolit sekunder seperti kuinon, fenol, dan berbagai fitoaleksin sehingga patogen tidak dapat berkembang (Supyani *et al*., 2023). Menurut penelitian Silalahi *et al*. (2020) kombinasi mikoriza 10 g dan *Trichoderma* sp. 10 g menekan *Fusarium* sp. dengan efektivitas sebesar 83,27% dan tinggi tanaman sebesar 52,03 cm pada bawang merah. Menurut penelitian Wibawa *et al*. (2023) kombinasi dosis mikoriza 5 g dan *Trichoderma* sp. 5 g dapat memberikan hasil terbaik pada diameter umbi bawang merah sebesar 14,86 cm. Penggunaan *T. harzianum* dan mikoriza diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi berbagai permasalahan yang terjadi akibat penyakit moler pada bawang merah.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengkaji peran jamur *Trichoderma harzianum* dan mikoriza dalam mengendalikan penyakit moler pada bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*). Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai peran jamur *Trichoderma harzianum* dan mikoriza dalam mengendalikan penyakit moler pada bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*).

1.3. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian yang diuji yaitu perlakuan *Trichoderma harzianum* dan mikoriza pada perbandingan 50% *T. harzianum* : 50% mikoriza (12,5 g/tanaman : 12,5 g/tanaman) mampu mengendalikan penyakit moler pada bawang merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*)

Bawang merah merupakan salah satu komoditas tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Bawang merah termasuk dalam famili *Amarillidaceae* yang berasal dari Asia Tengah (Nurahim dan Alfina, 2020). Berikut merupakan klasifikasi dari tanaman bawang merah.

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida

Ordo : Liliales

Famili : Amaryllidaceae

Genus : *Allium*

Spesies : *Allium cepa* L. var. *aggregatum* (Messiaen *et al*., 1993).

Bawang merah memiliki kandungan nutrisi yang bermanfaat bagi tubuh manusia. Bawang merah mengandung vitamin C, vitamin B1, vitamin B2, vitamin B3, vitamin B6, vitamin B9, vitamin A, vitamin K, vitamin E, kalsium, zat besi, magnesium, fosfor, dan kalium yang baik untuk kesehatan (Aryanta, 2019). Bawang merah memiliki ciri morfologi diantaranya yaitu terdapat akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Perakaran bawang merah termasuk akar serabut yang memiliki jumlah 20–200 akar pertanaman dengan diameter antara 0,5–2 mm yang dangkal, dan sebagian akar bercabang tumbuh ke segala arah (Sari *et al*., 2022).

Batang bawang merah merupakan batang semu yang terbentuk dari kelopak-kelopak daun yang saling membungkus. Daun bawang merah berbentuk silindris kecil dengan panjang 50–70 cm, berwarna hijau tua, dan berongga pada bagian tengah dengan ujung pangkal yang runcing. Bunga bawang merah berbentuk melingkar bulat seperti payung, berwarna putih, dan termasuk bunga sempurna (Anggara *et al*., 2023). Buah bawang merah berbentuk bulat, ujung tumpul, dan setiap buah berisi 2–3 butir biji. Biji bawang merah pipih berwarna putih saaat muda dan berwarna hitam ketika tua (Nanda *et al*., 2022).

Bawang merah dapat tumbuh optimal jika syarat tumbuhnya terpenuhi. Tanah yang baik untuk ditanami bawang merah yaitu jenis tanah alluvial, latosol, andosol, atau tanah yang agak asam sampai netral dengan pH antara 6,0–6,8 dengan suhu udara 25℃–32℃, lama penyinaran lebih dari 12 jam. Bawang merah dapat tumbuh pada ketinggian 0–1000 mdpl dan optimal pada ketinggian 0–400 mdpl (Nugroho dan Khoyriyah, 2023). Kelembaban yang sesuai untuk tanaman bawang merah yaitu 60-70% serta curah hujan berkisar 300–2500 mm/tahun dengan rata-rata setiap bulan 208,33 mm/bulan (Elfarisna *et al*., 2024). Varietas bawang merah yang rentan terhadap serangan *Fusarium* spp. yaitu varietas Keta Monca dengan kejadian penyakit 68,74% sedangkan varietas bawang merah yang tergolong tahan yaitu varietas Bali Karet dengan kejadian penyakit 35,40% (Indrawan *et al*., 2023).

2.2. Penyakit Moler (*Fusarium* spp.)

Patogen utama yang menyerang tanaman bawang merah yaitu *Fusarium* spp. yang dapat menyebabkan penyakit moler. Berikut merupakan patogen penyebab

penyakit moler pada tanaman bawang dibeberapa negara. Patogen penyebab penyakit moler dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Patogen Penyebab Penyakit Moler

Penulis	Spesies	Tanaman Inang	Lokasi
Lestiyani *et al*. (2014)	*Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, dan *Fusarium acutatum*	Bawang merah	Indonesia
Stanković *et al*. (2019)	*F. oxysporum* dan *F. proliferatum*	Bawang merah dan bawang putih	Serbia
Hikmahwati *et al*., (2020)	*F. oxysporum*	Bawang merah	Indonesia
Esfahani *et al*. (2022)	*F. oxysporum* dan *F. acutatum*	Bawang merah	Iran
Hanif dan Zamriyetti (2023)	*F. oxysporum*	Bawang merah	Indonesia
Marianah *et al*. (2024)	*F. oxysporum f.sp. cepae, F. solani,* dan *F. proliferatum*	Bawang merah	Indonesia
Jayadi *et al*. (2025)	*F. oxysporum, F. solani, F. proliferatum*	Bawang merah	Indonesia

Gejala yang terlihat pada umbi yaitu ketika umbi lapis dipotong membujur terlihat pembusukan dari dasar umbi meluas ke atas atau ke samping. Gejala pada daun menunjukkan daun meliuk, warnanya hijau pucat atau kekuningan, dan sedikit layu. Tanaman bawang merah yang terkena penyakit moler mudah tercabut karena pertumbuhan akar terganggu (Sari dan Inayah, 2020).

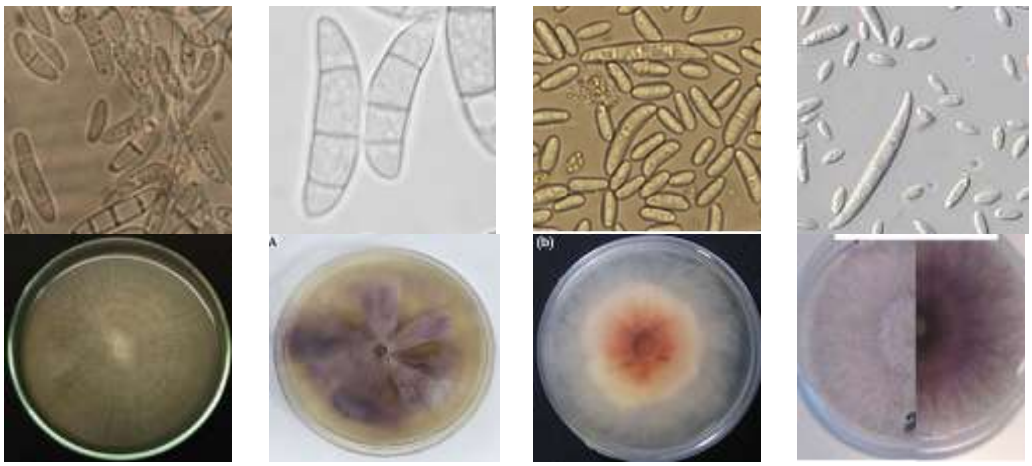
Fusarium spp. merupakan jamur tular tanah (*soil borne pathogen*) yang dapat bertahan hidup di tanah selama bertahun-tahun tanpa tanaman inang. Penelitian Hapsari *et al*. (2021) menunjukkan bahwa isolat *F. oxysporum* yang disimpan pada tanah steril selama 17 tahun dapat tumbuh baik pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan semua isolat menyebabkan gejala penyakit pada tanaman.

Pola serangan *Fusarium* spp. dapat terjadi sejak fase perkecambahan hingga pascapanen. Mekanisme *Fusarium* spp. menyerang bawang merah yaitu dengan mengkoloni pada perakaran kemudian memparasit sehingga menghambat pengangkutan air dan hasil fotosintat ke seluruh bagian tanaman. Fase berikutnya, *Fusarium* spp. mengeluarkan toksin yaitu mikotoksin dan famoniris yang mengganggu kelenturan selaput plasma pada bagian daun bawang merah sehingga daun terlihat meliuk (Prakoso *et al*., 2017).

Serangan berat *Fusarium* spp. sistem perakaran tanaman bawang merah rusak sehingga mudah tercabut dari tanah, kemudian mati. Infeksi *Fusarium* spp. juga terus berkembang selama penyimpanan sehingga menurunkan daya simpan hasil panen. Isolat *Fusarium* spp. dapat tumbuh baik pada suhu 30℃–33℃ dan kelembaban 85% (Hikmahwati *et al*., 2020).

Dampak infeksi *Fusarium* spp. terhadap tanaman bawang merah dapat mengakibatkan kerusakan sistem perakaran, sehingga terjadi penurunan penyerapan air serta unsur hara yang menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat serta dapat menurunkan produksi umbi bawang merah hingga 50% (Cahyaningrum *et al*., 2023).

Identifikasi merupakan tahapan untuk menentukan spesies jamur. Identifikasi merupakan tahapan awal dalam menentukan diagnosis penyakit pada tanaman. Identifikasi *Fusarium* spp. dapat dilakukan dengan melihat morfologinya agar dapat melihat kenampakan secara makroskopis dan mikroskopis meliputi bentuk makrokonidia dan mikrokonidia. Identifikasi morfologi jamur *Fusarium* spp. dapat dilihat pada Ilustrasi 1.



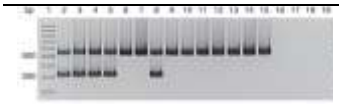
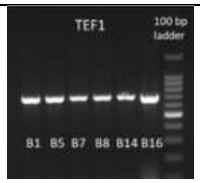
(a) (b) (c) (d)

Ilustrasi 1. Identifikasi Morfologi Jamur *Fusarium* spp. (a) *Fusarium solani* (b) *Fusarium oxysporum* (c) *Fusarium acutatum* (d) *Fusarium proliferatum.*

Koloni *Fusarium* spp. secara makroskopis berwarna putih, kream disertai warna ungu, ungu muda, atau merah muda pada pusat koloni. Isolat yang membentuk sporodokium dengan jumlah yang banyak menyebabkan koloni yang awalnya berwarna putih menjadi oranye (Sari *et al*., 2017). Secara mikroskopis makrokonidia *Fusarium* spp. relatif sama yaitu berbentuk bulat sabit dan memanjang, sedangkan mikrokonidia berbentuk lonjong, panjang ujung tumpul, dan ada yang berbentuk oval (Hikmahwati *et al*., 2020).

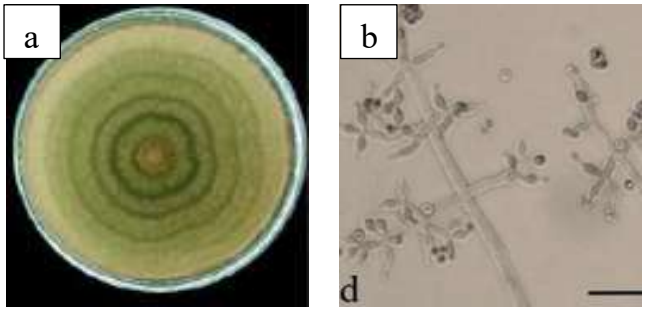
Identifikasi juga dilakukan secara molekuler untuk mengidentifikasi *Fusarium* spp. hingga tingkat spesies menggunakan metode PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dengan primer spesifik agar hasilnya lebih akurat. Identifikasi molekuler *Fusarium* spp. dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Primer *Fusarium* spp.

DNA Amplifikasi	Primer	Sequence	Referensi
	TEF-Fs4f/ TEF-Fs4r	5'-ATCGGCCACGTCGACTCT-3' 5'-GGCGTCTGTTGATTGTTAGC-3'	(Arif *et al*., 2012)
	CLOX1-F/ CLOX2-R	5'-CAGCAAAGCATCAGACCACTATAACTC-3' 5'-CTTGTCAGTAACTGGACGTTGGTACT-3'	(Latvala *et al*., 2020)
	TEF1-E1/TEF1-E2	5'- ATGGGTAAGGAGGACAAG-3' 5'-GGAAGTACCAGTGATCAT-3'	(Kalman *et al*., 2020)
	CLPRO-F /CLPRO-R	5'-CTTTCCGCCAAGTTTCTTC-3' 5'-TGTCAGTAACTCGACGTTGTTG-3'	(Kalman *et al*., 2020)

2.3. *Trichoderma harzianum*

Trichoderma harzianum memiliki peran penting untuk pengendalian penyakit moler pada bawang merah. Identifikasi *T. harzianum* dapat dilakukan dengan melihat morfologinya. Identifikasi morfologi jamur *T. harzianum* menurut Mirzaepour *et al*. (2023) dapat dilihat pada Ilustrasi 2.



Ilustrasi 2. Identifikasi Mofologi Jamur *Trichoderma harzianum* (a) Makroskopis *Trichoderma harzianum* (b) Konidiofor

Secara makroskopis *T. harzianum* memiliki permukaan koloni datar bertekstur kasar berserat tetapi pada bagian tepinya halus, berbentuk oval, awal pertumbuhan berwarna putih kemudian berwarna hijau muda saat hari ke-4, dan setelah inkubasi berubah warna menjadi hijau tua. Secara mikroskopis konidofor *T. harzianum* bercabang berbentuk seperti piramida, bagian bawah cabang lateral bercabang berulang dan semakin ke ujung percabangan semakin pendek serta fialid *T. harzianum* panjang. Konidianya berbentuk semi bulat hingga bulat sempurna, atau oval (Sanothan *et al*., 2023).

T. harzianum memiliki mekanisme menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen. *T. harzianum* dapat mengeluarkan antibiotik dari seyawa viridol fikotoksin yang menghambat pertumbuhan patogen dan melakukan penetrasi sehingga dapat memparasit patogen (Abdullah, 2022). Mekanisme kerja jamur *T. harzianum* dalam menghambat patogen *Fusarium* sp.

Jamur *T. harzianum* memiliki kemampuan daya hambat. *T. harzianum* dapat menghambat pertumbuhan jamur lain dengan mekanisme perkembangan pertumbuhan koloni jamur *T. harzianum* lebih cepat dibandingkan dengan pertumbuhan koloni jamur *Fusarium* spp., serta *T. harzianum* juga dapat

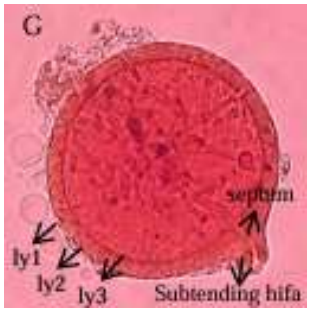
meningkatkan daya serap mineral dan nutrisi lain dari dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan tanaman untuk pertumbuhan (Bakti dan Aidawati, 2022).

Menurut penelitian Khoirunnisa *et al*. (2022) perlakuan *Trichoderma* sp. 10 g/pot memiliki presentase keparahan penyakit yang disebabkan *Fusarium* sp. pada bawang merah terendah saat 35 Hari Setelah Inokulasi (HSI) yaitu 3%. Menurut penelitian Afiefah *et al*. (2020) dosis *Trichoderma* 20 g dapat menekan penyakit moler yang disebabkan *Fusarium* spp. pada bawang merah hingga 1,78%. Menurut penelitian Nurjannah (2020) perlakuan dosis *Trichoderma* sp. 20 g/*polybag* memperoleh hasil terbaik pengendalian *Fusarium* sp. pada tanaman cabai dengan rata-rata persentase serangan yaitu 20%. Menurut penelitian Ishlah *et al*. (2022) perlakuan dosis *T. harzianum* 20 g menghasilkan produksi bawang merah terbaik dengan diameter umbi 2,370 cm, jumlah umbi per tanaman 6, berat umbi segar 36,17 g/ tanaman, berat umbi kering 28,7 g/tanaman, dan harga jual Rp. 1.291,5/tanaman.

2.4. Mikoriza

Penggunaan mikoriza juga memiliki peran penting untuk pengendalian penyakit moler pada bawang merah. Mikoriza memiliki mekanisme kompetisi dan antibiosis. Mikoriza melakukan infeksi melalui penetrasi ke dalam akar dengan pembentukan apresorium untuk melekatkan diri pada inang, kemudian hifa menembus sel-sel korteks akar melalui sel epidermis akar, setelah mecapai bagian tengah korteks, tumbuh secara interseluler, intraseluler, dan keduanya (Fitriani *et al*., 2019). Hifa mikoriza membentuk struktur bercabang menyerupai akar halus

disebut arbuskular berfungi sebagai struktur transfer unsur hara dalam jaringan tanaman. Vesikula berukuran relatif besar, berdinding tebal, dan kaya lipid, berfungsi sebagai organ penyimpanan cadangan makanan (Rahmawati *et al*., 2020). Karakteristik *Glomus fasciculatum* menurut Deva *et al*. (2025) dapat dilihat pada Ilustrasi 3.



Ilustrasi 3. Mikoriza *Glomus fasciculatum*

Jenis mikoriza salah satunya yaitu *Glomus fasciculatum*. *G. fasciculatum* bertindak sebagai bioaktivator nutrisi tanah. *G. Fasciculatum* dapat menyerap nutrisi tanah dan mengaktifkan P yang tidak tersedia bagi tanaman menjadi P tersedia bagi tanaman (Ouhaddou *et al*., 2025). *G. fasciculatum* memiliki karakteristik yaitu warnanya kuning pucat, berukuran panjang 88 µm, lebar 88 µm, dan jumlah dinding spora 3. *G. Fasciculatum* memiliki bentuk spora globose dengan ciri khas yaitu subtending hifa (Deva *et al*., 2025).

Menurut penelitian Afiefah *et al*. (2020) dosis mikoriza 10 g dapat menekan penyakit moler yang disebabkan *Fusarium* spp. pada bawang merah hingga 0,89%. Menurut penelitian Silalahi *et al*. (2020) perlakuan dosis mikoriza 15 g/tanaman dapat meningkatkan berat basah umbi per rumpun sebesar 37,31 g serta berat kering umbi per rumpun 28,81 g. Menurut penelitian Sudantha *et al*. (2018)

perlakuan AMF 15 g/tanaman dapat meningkatkan bobot umbi basah bawang merah yaitu 8,84 kg/petak karena terjadi peningkatan jumlah unsur hara P dalam tanah yang tersedia bagi tanaman. Menurut penelitian Sugiana *et al*. (2023) perlakuan mikoriza 10 g/tanaman memberikan hasil terbaik pada bobot basah akar 3 g, nisbah tajuk akar 6,59, jumlah umbi per rumpun 5,98, dan bobot basah umbi 11,35 g per rumpun.

2.5. Kombinasi *Trichoderma harzianum* dan Mikoriza

Kombinasi *T. harzianum* dan mikoriza sering digunakan untuk pengendalian *Fusarium* spp. melalui mekanisme yang berbeda. Mikoriza mengurangi kejadian layu *Fusarium* dengan meningkatkan penyerapan nutrisi dan metabolisme inang sedangkan *T. harzianum* memiliki sifat antagonisme dengan menekan pertumbuhan *Fusarium* sp. melalui persaingan nutrisi dan ruang, parasitisme, dan sekresi metabolit. Waktu kolonisasi mikoriza membutuhkan beberapa minggu untuk membentuk struktur arbuskula, sedangkan *Trichoderma* sp. dapat mengkolonisasi akar dalam hitungan hari (Shi *et al*., 2025).

Menurut penelitian Silalahi *et al*. (2020) kombinasi mikoriza 10 g dan *Trichoderma* sp. 10 g menekan *Fusarium* sp. dengan efektivitas sebesar 83,27% dan tinggi tanaman sebesar 52,03 cm pada bawang merah. Menurut penelitian Wibawa *et al*. (2023) kombinasi dosis mikoriza 5 g dan *Trichoderma* sp. 5 g dapat meningkatkan diameter umbi bawang merah sebesar 14,86 cm. Menurut penelitian Meddad-Hamza *et al*. (2023) kombinasi mikoriza dan *T. harzianum* dapat menurunkan kejadian penyakit disebabkan *F. oxysporum* pada tomat sebesar

43,62%. Menurut penelitian Zhang *et al*. (2025) suspensi *Trichoderma* sp. 40 ml dengan kerapatan spora 10^6 dan mikoriza 50 g dengan 2.100 spora dapat mengurangi infeksi akibat *F*. *oxysporum* pada tanaman tomat.

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 – Maret 2026 di *Greenhouse* Svarnaloka Indonesia yang beralamat di Kelurahan Cepoko, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah dan analisis Laboratorium di Laboratorium Ekologi dan Produksi Tanaman, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

3.1. Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan dan alat. Bahan yang digunakan yaitu benih bawang merah varietas crok kuning, isolat *Trichoderma harzianum* diperoleh dari lahan bawang merah Kabupaten Demak, Jawa Tengah, umbi bawang merah bergejala moler dari identifikasi di lahan bawang merah Kabupaten Demak, Mikoriza jenis *Glomus fasciculatum* dari Lab SEAMEO BIOTROP, Kota Bogor, Jawa Barat, jagung giling, beras, alkohol 70%, NaOCl, akuades, KOH 10%, gliserol 50%, *buffer*, *Nuclease-free water*, larutan TBE, spirtus, PCR *master mix*, pewarna *florosafe*, primer spesifik, media *Potato Dextrose Agar* (PDA), media tanam, pupuk urea, TSP, dan KCl. Alat yang digunakan yaitu *scalpel*, jarum suntik, mikropipet, tip, bunsen, pinset, jarum ose, *Laminar Air Flow*, *haemocytometer,* kaca preparat, *glass cover, handcounter*, vortex, cawan petri, *autoclave*, *hot plate stirrer*, mikroskop, *tube*, PCR *tube*, mesin PCR, mesin Gel Docs, mesin elektroforesis, *microwave*, *alumunium foil*, plastik

wrap, plastik bening, staples, kompor, panci, karet, *polybag* 30 x 30 cm, *thinwall*, sprayer, timbangan analitik, timbangan digital, sekop, gunting, penggaris, label, alat tulis, dan alat dokumentasi.

3.2. Metode Penelitian

3.2.1. Rancangan Percobaan

Penelitian yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor 6x5. Perlakuan terdapat 6 dengan 5 ulangan. Perlakuan meliputi :

T0 = Kontrol

T1 = 100% *T. harzianum* (25 g/tanaman)

T2 = 70% *T. harzianum* : 30% mikoriza (17,5 g/tanaman : 7,5 g/tanaman)

T3 = 30% *T. harzianum* : 70% mikoriza (7,5 g/tanaman : 17,5 g/tanaman)

T4 = 50% *T. harzianum* : 50% mikoriza (12,5 g/tanaman : 12,5 g/tanaman)

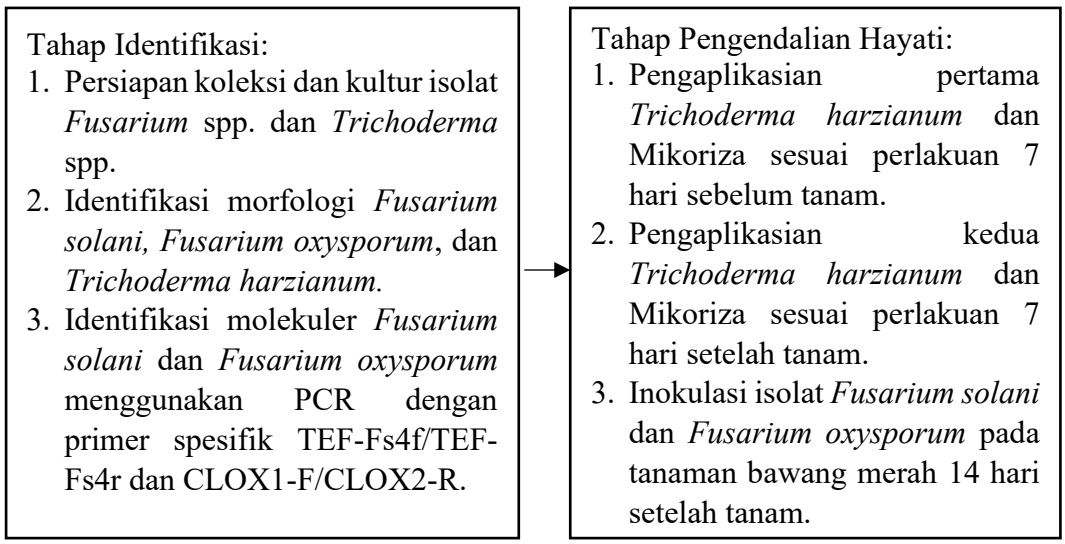
T5 = 100% Mikoriza (25 g/tanaman)

Total 30 unit percobaan dengan 5 tanaman setiap unit percobaan. Total yang ditanam terdapat 150 tanaman.

3.2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu persiapan koleksi dan kultur isolat *Fusarium* spp. dan *Trichoderma* spp., identifikasi morfologi *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani,* dan *Trichoderma harzianum*, identifikasi molekuler *Fusarium solani* dan *Fusarium oxysporum*, perbanyakan *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani,* dan *Trichoderma harzianum*, perhitungan kerapatan

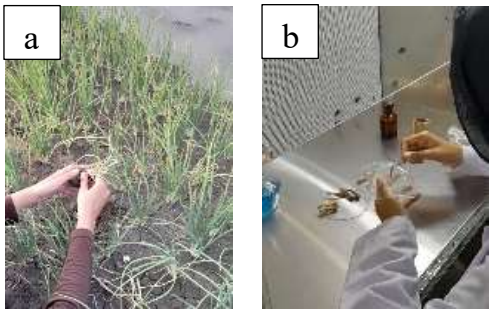
spora *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani,* dan *Trichoderma harzianum*, persiapan media tanam, persiapan penanaman, pemberian perlakuan, pemeliharaan tanaman, pemanenan, pengambilan data, dan analisis data.



Ilustrasi 4. Diagram Alir Prosedur Penelitian

Persipan Koleksi dan Kultur Isolat *Fusarium* spp. Persiapan koleksi dan kultur isolat *Fusarium* spp. dilakukan dengan cara isolat *Fusarium* spp. dikoleksi dari area lahan pertanian bawang merah warga Desa Kuwu, Kecamatan Dempet, Kabupaten Demak. Pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling* dengan total 5 titik yang didasarkan pada gejala khas moler yaitu tanaman bawang merah yang menunjukkan gejala daun bagian ujung berwarna hijau pucat bahkan menguning, daun layu, daun meliuk, pembusukan pangkal umbi, dan terjadi nekrosis. Tanaman bawang merah yang bergejala dipotong bagian daunnya, kemudian umbinya dimasukkan ke dalam plastik klip, lalu dimasukkan ke dalam *cooling box* yang berisi *cooling gel*. Isolasi jamur *Fusarium* spp. dilakukan dengan cara umbi disterilkan menggunakan alkohol 70% selama 10 detik. Umbi bawang

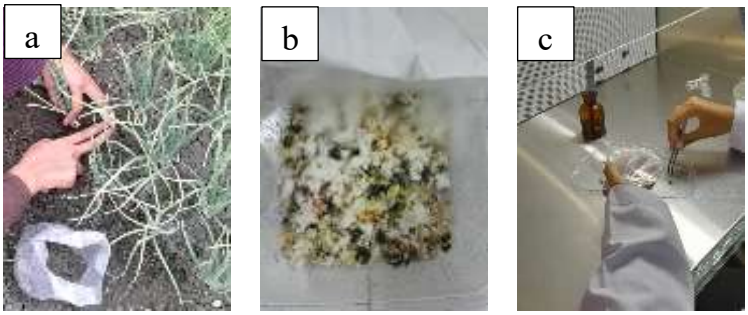
merah ditanam menggunakan *scalpel* pada media PDA. Kultur diinkubasi pada tempat bercahaya 3–5 hari menggunakan suhu ruang 22–26℃ (Khoirunnisa *et al*., 2022). Dokumentasi kegiatan persiapan koleksi dan kultur isolat *Fusarium* spp. dapat dilihat pada Ilustrasi 5.



Ilustrasi 5. Persiapan Koleksi dan Kultur Isolat *Fusarium* spp. (a) Pengambilan tanaman bawang merah terinfeksi moler (b) Kultur isolat.

Persiapan Koleksi dan Kultur Isolat *Trichoderma* spp. Persiapan koleksi dan kultur isolat *Trichoderma* spp. dilakukan dengan mengambil sampel tanah di sekitar perakaran tanaman bawang merah yang sehat dari area lahan pertanian bawang merah warga Desa Kuwu, Kecamatan Dempet, Kabupaten Demak pada 3 titik. Metode pengambilan *Trichoderma* spp. dari tanah menggunakan nasi sebagai umpan. Tanah yang didapatkan dari perakaran tanaman bawang merah yang sehat ditimbang 50 g dan dimasukkan ke dalam *thinwall*. Nasi yang telah disiapkan dimasukkan dalam *thinwall* berisi tanah, kemudian dilapisi tisu, dan ditutup. Inkubasi selama 3–5 hari dalam kondisi lembab. Setelah inkubasi, nasi yang telah ditumbuhi jamur *Trichoderma* spp. diambil dan dipindahkan ke media PDA. Inkubasi selama 3–7 hari. Koloni *Trichoderma* spp. ditandai dengan miselium berwarna putih pada fase awal kemudian berubah menjadi hijau. Isolat yang

tumbuh dimurnikan pada media PDA. Dokumentasi kegiatan persiapan koleksi *Trichoderma* spp. dapat dilihat pada Ilustrasi 6.



Ilustrasi 6. Persiapan Koleksi *Trichoderma* spp. (a) Pengambilan sampel tanah (b) Pemancingan *Trichoderma* spp. menggunakan umpan nasi (c) Kultur isolat.

Persiapan Mikoriza. Persiapan mikoriza dilakukan dengan memperoleh mikoriza jenis *Glomus fasciculatum* dari Laboratorium SEAMEO BIOTROP, Kota Bogor, Jawa Barat. Mikoriza diisolasi dari tanaman inang *Pueraria javanica*. Inokulum mikoriza diperbanyak menggunakan media pasir zeolit dengan kepadatan spora/10 g yaitu 131 spora.

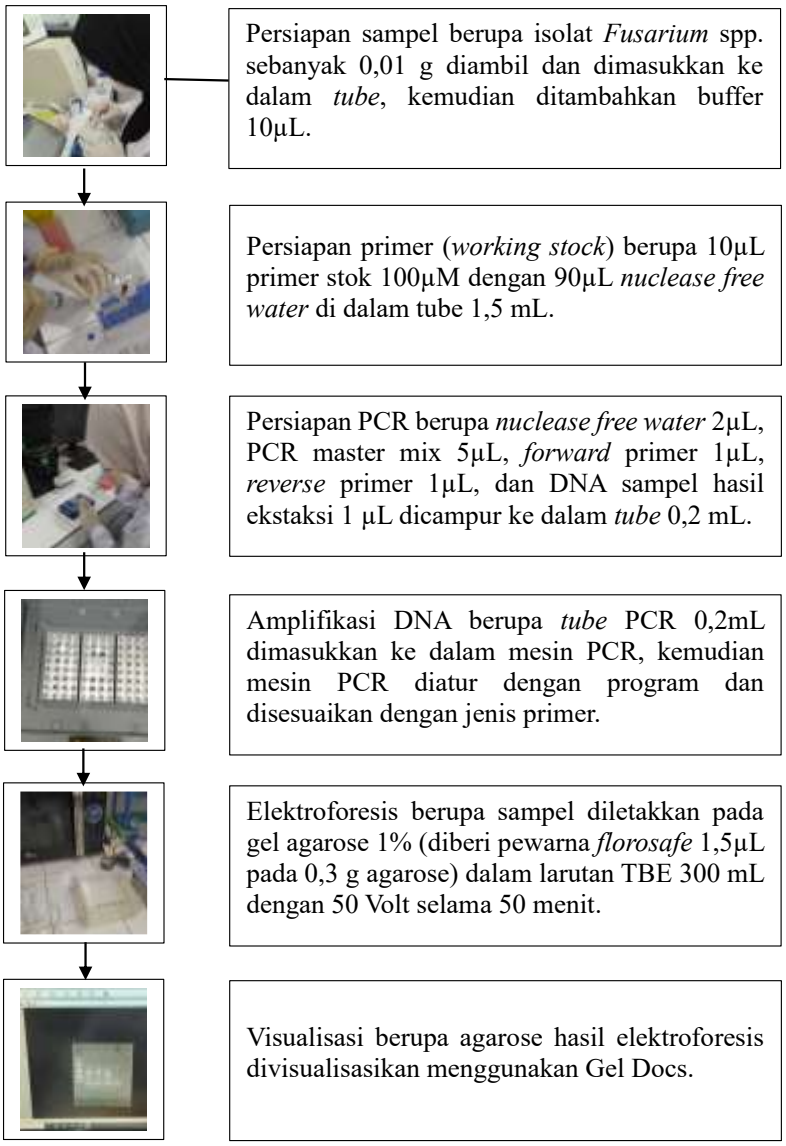
Identifikasi Morfologi *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*. Identifikasi morfologi dilakukan dengan pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan secara makroskopis dengan melihat isolat *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* yang ditumbuhkan pada media PDA dan diinkubasi selama 14-28 hari diamati warna menggunakan chart warna *Royal Horticultural Society* (RHS), pertumbuhan koloni, dan tekstur koloni. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan secara terpisah dengan mengambil sedikit miselium jamur diletakkan di kaca preparat kemudian ditutup menggunakan *cover glass*, kemudian diamati menggunakan mikroskop untuk melihat makrokonidia. Analisis

hubungan fenetik isolat *Fusarium* spp. dilakukan menggunakan metode *Pair Group Method with Arithmetic Mean* (UPGMA) berdasarkan matriks kemiripan dihitung dengan koefisien Jaccard. Matriks kemiripan disusun berdasarkan data morfologi makroskopis dan mikroskopis yang dikodekan dalam bentuk data biner (1= karakter ada, 0 = karakter tidak ada). Koefisien Jaccard digunakan untuk menghitung tingkat kemiripan isolat berdasarkan karakter yang dimiliki. Parameter yang diamati yaitu pola persebaran, tekstur, warna hifa, dan bentuk konidia. Matriks tersebut dianalisis menggunkan metode UPGMA untuk menghasilkan dendogram menggunakan aplikasi MVSP yang menggambarkan hubungan fenetik antar isolat *Fusarium*. Dokumentasi kegiatan identifikasi morfologi dapat dilihat pada Ilustrasi 7.



Ilustrasi 7. Alat Identifikasi Morfologi *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani.*

Identifikasi Molekuler *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*. Identifikasi *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* secara molekuler dilakukan dengan metode *Polymerase Chain Reaction* (PCR). Identifikasi secara molekuler mencakup beberapa tahapan, yaitu persiapan sampel dan primer, pencampuran bahan-bahan PCR, amplifikasi DNA, pemisahan hasil amplifikasi melalui elektroforesis dan visualisasi pita DNA. Tahapan identifikasi molekuler *Fusarium solani* dan *Fusarium oxysporum* dapat dilihat pada Ilustrasi 8.



Ilustrasi 8. Diagram Alir Identifikasi Molekuler

Primer yang digunakan merupakan primer spesifik spesies yang menunjukkan terbentuknya hasil pita DNA hanya pada target yang sesuai sehingga metode ini lebih akurat. Primer, urutan basa, dan ukuran produk DNA yang digunakan untuk identifikasi molekuler *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Primer Spesifik Identifikasi Isolat *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*

Primer	Primer *Sequence*	Hasil PCR	Target spesies
CLOX1-F (*forward* primer)	5'-CAG CAA AGC ATC AGA CCA CTA TAA CTC-3'	534 bp	*F. oxysporum* (Latvala *et al*., 2020)
CLOX2-R (*reverse* primer)	5'-CTT GTC AGT AAC TGG ACG TTG GTA CT-3'		
TEF-Fs4f (*forward* primer)	5'-ATC GGC CAC GTC GAC TCT-3'	658 bp	*F. solani* (Arif *et al*., 2012)
TEF-Fs4r (*reverse* primer)	5'-GGC GTC TGT TGA TTG TTA GC-3'		

Program amplifikasi untuk primer spesifik yang digunakan untuk identifikasi molekuler patogen penyebab penyakit moler pada tanaman bawang merah. Program amplifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Program Amplifikasi untuk Pasangan Primer CLOX1-F/ CLOX2-R dan TEF-Fs4f/ TEF-Fs4r

Nama Primer	Program Siklus Amplifikasi					
	Sintesis	Denaturasi	*Annealing*	Ekstensi	Ekstensi akhir	Jumlah siklus
CLOX1-F/ CLOX2-R	94°C 1 menit	94°C 30 detik	60°C 30 detik	72°C 1 menit	72°C 5 menit	30
TEF-Fs4f/ TEF-Fs4r	95°C 5 menit	94°C 1 menit	58°C 1 menit	72°C 2 menit	72°C 10 menit	40

Identifikasi Morfologi dan Perbanyakan *Trichoderma harzianum.* Identifikasi morfologi dilakukan dengan pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan secara makroskopis dengan melihat isolat *Trichoderma harzianum* yang ditumbuhkan pada media PDA dan diinkubasi selama 5–7 hari diamati warna, dan bentuk koloni yang tumbuh. Pengamatan secara mikroskopis dilakukan secara terpisah dengan mengambil sedikit miselium jamur diletakkan di kaca preparat kemudian ditutup menggunakan *cover glass*, kemudian diamati menggunakan mikroskop untuk melihat makrokonidia. Perbanyakan

Trichoderma harzianum dilakukan dengan cara jagung giling dimasak selama 5 menit. Jagung ditiriskan dan didiamkan hingga dingin. Jagung yang telah dingin dikemas dalam plastik sebanyak 100 g dilipat dan diikat dengan karet. Jagung disterilisasi dalam autoklaf suhu 120°C tekanan 1 atm selama 20 menit kemudian ditunggu hingga dingin. Inokulasi isolat *Trichoderma harzianum* di dalam LAF. Ujung plastik kemudian distaples. Inokulan disimpan selama 7–14 hari dan diamati. Ciri isolat jamur *Trichoderma harzianum* tumbuh pada media yaitu terdapat koloni berwarna putih kehijauan pada saat pertumbuhan awal, setelah 5 hari koloni berubah warna menjadi hijau terang, kemudian menjadi hijau gelap (Rahmiyah *et al*., 2023). Dokumentasi kegiatan perbanyakan *Trichoderma harzianum* dapat dilihat pada Ilustrasi 9.



Ilustrasi 9. Identifikasi Morfologi dan Perbanyakan *Trichoderma harzianum* (a) Identifikasi morfologi *Trichoderma harzianum* (b) Pengukusan jagung (c) Sterilisasi jagung (d) Perbanyakan *Trichoderma harzianum* pada media jagung.

Perbanyakan *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*. Perbanyakan *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* menggunakan media PDA. Kultur isolat murni ditumbuhkan dengan cara diambil sedikit miselium jamurnya menggunakan scalpel dan diletakkan pada media PDA. Media PDA disimpan selama 7 hari pada suhu 22–26°C. Dokumentasi kegiatan perbanyakan *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani* dapat dilihat pada Ilustrasi 10.



Ilustrasi 10. Perbanyakan *Fusarium oxysporum* dan *Fusarium solani*.

Perhitungan Kerapatan Spora *Trichoderma harzianum* dan *Fusarium* spp. Perhitungan kerapatan spora *T. harzianum* dan *Fusarium* spp. dilakukan secara terpisah dengan cara spora diambil, dimasukkan dalam akuades steril 10 ml, dan dihomogenkan menggunakan vortex selama 1 menit. Suspensi *T. harzianum* atau *Fusarium* spp. diteteskan 1 ml pada ruang hitung *haemocytometer* dan ditutup dengan *glass cover*. Jumlah spora dihitung dalam kotak hitung pada 5 pandang dengan perbesaran 40 x 10 menggunakan mikroskop. Jika hasil perhitungan kerapatan terlalu tinggi maka dilakukan pengenceran berseri. Kerapatan spora dihitung menggunakan rumus (Maftuhah *et al*., 2018):

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

Keterangan :

S = Kerapatan konidia (konidia/ml)

X = Rata-rata jumlah spora pada bidang a,b,c,d,e

L = Luas kotak hitung 0,04 mm^2

t = Kedalaman bidang hitung 0,1 mm

d = faktor pengenceran



Ilustrasi 11. Perhitungan Kerapatan Spora.

Uji Viabilitas Spora. Uji viabilitas spora dilakukan secara terpisah dengan mengambil suspensi *T. harzianum* atau *Fusarium* spp. yang digunakan pada perhitungan kerapatan spora. Diamati menggunakan mikroskop lensa objektif x lensa okuler 40 x 10 dan dihitung spora yang berkecambah dan tidak. Viabilitas spora dihitung menggunakan rumus (Rahmiyah *et al*., 2023).

$$V = \frac{g}{(g+u)}$$

Keterangan :

V = Perkecambahan spora (viabilitas)

g = Jumlah spora yang berkecambah

u = Jumlah spora yang tidak berkecambah



Ilustrasi 12. Uji Viabilitas Spora

Persiapan Penanaman. Persiapan penanaman dilakukan dengan menyiapkan media tanam. Benih bawang merah varietas crok kuning direndam alkohol 5% selama 15 menit, kemudian dibilas dengan akuades sebanyak 3 kali. Benih dipotong pada bagian atasnya 0,5 cm agar memudahkan tunas muncul kemudian ditanam dalam *polybag.* Setiap *polybag* diberikan jarak antar tanaman 20 cm x 20 cm. Dokumentasi kegiatan persiapan penanaman dapat dilihat pada Ilustrasi 13.



Ilustrasi 13. Persiapan Penanaman. (a) Sterilisasi *greenhouse* (b) Persiapan media tanam (c) Sterilisasi umbi (d) Penanaman.

Pemberian Perlakuan. Pemberian perlakuan menggunakan *T. harzia*num dan mikoriza. Pengaplikasian sesuai dengan perlakuan yaitu :

T0 = Kontrol

T1 = 100% *T. harzianum* (25 g/tanaman)

T2 = 70% *T. harzianum* : 30% mikoriza (17,5 g/tanaman : 7,5 g/tanaman)

T3 = 30% *T. harzianum* : 70% mikoriza (7,5 g/tanaman : 17,5 g/tanaman)

T4 = 50% *T. harzianum* : 50% mikoriza (12,5 g/tanaman : 12,5 g/tanaman)

T5 = 100% Mikoriza (25 g/tanaman)

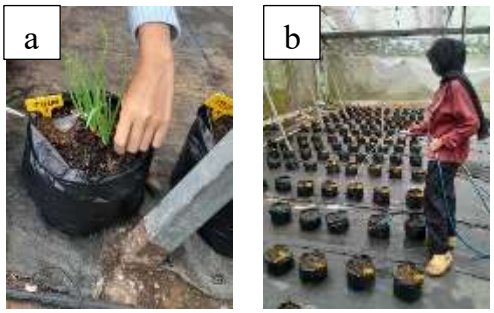
T. harzianum dengan kerapatan spora 10^{10} cfu/ml dan mikoriza dengan kepadatan spora/10 g yaitu 131 spora diaplikasikan secara bersamaan yaitu 7 hari sebelum tanam dan 7

hari setelah tanam. Pengaplikasian 7 hari sebelum tanam bertujuan memberikan waktu *T. harzianum* mengkolonisasi tanah sedangkan pengaplikasian 7 hari setelah tanam bertujuan menjaga keberadaan *T. harzianum* di sekitar tanaman (Tiara *et al*., 2021). *Fusarium* spp. diaplikasikan 14 HST dengan kerapatan spora 10^{10} cfu/ml. Pemberian suspensi *Fusarium* spp. sebanyak 10 ml/tanaman (Khoirunnisa *et al*., 2022). Dokumentasi kegiatan pemberian perlakuan dapat dilihat pada Ilustrasi 14.



Ilustrasi 14. Pemberian Perlakuan. (a) Pengaplikasian *T. harzianum* dan Mikoriza (b) Pemberian suspensi *Fusarium* spp.

Pemeliharaan tanaman. Pemeliharaan tanaman bawang merah dilakukan dengan cara penyiraman, pemupukan, dan penyiangan. Penyiraman dilakukan 1 hari 2 kali atau dapat disesuaikan dengan kondisi tanah. Pemupukan berdasarkan perhitungan yang telah terlampir pada lampiran 3 menggunakan pupuk urea 1 g/tanaman, TSP 0,4 g/tanaman, dan KCl 0,4 g/tanaman pada tanaman umur 7 HST. Penyiangan gulma dilakukan dengan mencabut gulma yang tumbuh di sekitaran tanaman. Dokumentasi kegiatan pemeliharaan tanaman dapat dilihat pada Ilustrasi 15.



Ilustrasi 15. Pemeliharaan Tanaman. (a) Pemupukan (b) Penyiraman

Pemanenan. Pemanenan bawang merah dilakukan pada saat tanaman memasuki usia panen yaitu 55 HST ditandai dengan daun menguning, warna kulit umbi mengkilap, dan kulit luar mengering. Dokumentasi kegiatan pemanenan dapat dilihat pada Ilustrasi 16.



Ilustrasi 16. Pemanenan

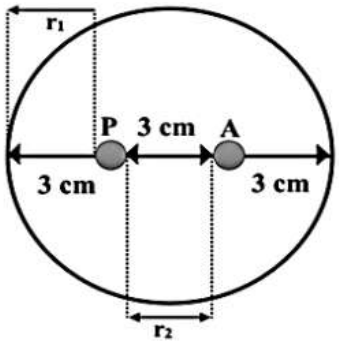
3.2.3. Parameter Penelitian

Parameter yang diamati pada penelitian ini yaitu :

1) Persentase daya hambat (%)

Uji daya antagonis *T. harzianum* terhadap *Fusarium* spp. dilakukan dengan *dual culture method* (metode biakan ganda) pada cawan petri menggunakan media PDA. Isolat *Fusarium* spp. diletakkan pada media dengan jarak 3 cm dari tepi cawan petri dan isolat *T. harzianum* diletakkan pada media dengan jarak 3 cm dari tepi cawan petri berlawanan dengan *Fusarium* spp. Jarak antara *T. harzianum* dan *Fusarium* spp. yaitu 3 cm. Isolat

diinkubasi 5 hari pada suhu ruang 25-30°C. Skema uji ganda daya hambat *T. harzianum* terhadap *Fusarium* spp. dapat dilihat pada Ilustrasi 17.



Ilustrasi 17. Skema Uji Ganda Daya Hambat Isolat *T. harzianum* Terhadap *Fusarium* spp. ; (P) Isolat *Fusarium* spp. ; (A) Isolat *T. harzianum* ; (r1) Jari-jari koloni *Fusarium* spp. yang menjauhi koloni *T. harzianum* ; (r2) Jari-jari *Fusarium* spp. yang mendekati koloni *T. harzianum.*

Persentase daya hambat dilakukan pada *T. harzianum* terhadap *Fusarium* spp. Persentase daya hambat dapat dihitung menggunakan rumus (Ningsih *et al*., 2016):

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

Keterangan :

I = Persentase daya hambat (%)

R1 = Jari-jari koloni *Fusarium* spp. yang menjauhi koloni *T. harzianum*

R2 = Jari-jari koloni *Fusarium* spp. yang mendekati koloni *T. harzianum*

2) Periode inkubasi penyakit (hari)

Periode inkubasi penyakit dilakukan pengamatan dengan cara dihitung hari mulai pemberian *Fusarium* spp. pada tanaman bawang merah hingga timbul gejala penyakit moler. Pengamatan dilakukan pada setiap tanaman.

3) Pengamatan *T. harzianum* tumbuh di media tanam

Pengamatan dapat dilakukan setelah 7 hari aplikasi *T. harzianum* menggunakan metode pemeraman. Metode pemeraman dilakukan dengan cara media tanam diletakkkan dalam wadah, kemudian diletakkan nasi pada permukaan atasnya hingga menutupi permukaan media tanam, lalu diletakkan tisu, dan ditutup. Diamati setelah 7 hari dengan melihat jamur yang tumbuh di atas nasi. Jamur *T. harzianum* sporanya berwarna hijau muda hingga hijau tua.

4) Insidensi penyakit atau *Disease incidence* (%)

Insidensi penyakit merupakan persentase jumlah tanaman yang terserang patogen. Pengamatan dilakukan 7 hari sekali. Perhitungan insidensi penyakit menggunakan rumus :

$$DI = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

DI = *Disease incidence* atau insidensi serangan penyakit

N = Jumlah seluruh tanaman yang diamati

n = Jumlah tanaman yang bergejala penyakit

5) Intensitas penyakit moler atau *disease severaty* (%)

Intensitas penyakit moler merupakan tingkat kerusakan tanaman akibat penyakit tergolong berat atau ringan. Pengamatan dilakukan 7 hari sekali. Ilustrasi kategori intensitas penyakit moler pada tanaman bawang merah dapat dilihat pada Ilustrasi 18.



a b c d e

Ilustrasi 18. Nilai Intensitas Penyakit Moler (a) Skor 0, (b) Skor 1, (c) Skor 2, (d) Skor 3, dan (e) Skor 4

Perhitungan intensitas penyakit dapat dilakukan skoring. Skoring berdasarkan tabel dan dihitung menggunakan rumus.

Tabel 5. Nilai Skor Kategori Intensitas Penyakit Moler (Ishlah *et al*., 2022).

Skor	Kategori Serangan
0	Daun sehat
1	Gejala layu dan menguning <20% dari tajuk tanaman
2	Gejala layu dan menguning 20-40% dari tajuk tanaman
3	Gejala layu dan menguning >40% dari tajuk tanaman
4	Seluruh daun layu dan menguning atau tanaman mati

Rumus:

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

Keterangan:

DS = *Disease severaty* atau intensitas penyakit (%)

n = Jumlah daun dari setiap kategori serangan

v = Nilai skala dari setiap kategori

N = Jumlah daun yang diamati

Z = Nilai skala dari kategori tertinggi

6) *Area Under the Disease Progress Curve* (AUDPC)

Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur perkembangan penyakit dari waktu ke waktu. Nilai AUDPC diperoleh dengan rumus (Granada *et al*., 2020):

$$AUDPC = \sum_{n}^{i}[\frac{(Yi+Yi+1)}{2} x (t_{i-1} - t_i)]$$

Keterangan :

Yi = Nilai intensitas penyakit pengamatan ke-i

Y_{i+1} = Nilai intensitas penyakit untuk pengamatan ke-i+1

$(t_{i+1} - ti)$ = Waktu diantara 2 pengamatan (hari)

n = Jumlah total pengamatan

Tabel 6. Kategori Ketahanan Berdasarkan Nilai AUDPC (Kumar *et al*., 2026)

Nilai AUDPC	Kategori Ketahanan
0	Sangat resisten
1 – 100	Resisten
101 – 200	Moderat resisten
201 – 300	Moderat rentan
301 – 500	Rentan
501 – 1000	Sangat rentan

7) Laju infeksi (unit/hari)

Laju infeksi merupakan kecepatan penyebaran penyakit dalam suatu populasi tanaman dari waktu ke waktu. Laju infeksi diamati setiap 7 hari sekali. Laju infeksi dapat dihitung dengan rumus menurut (Subekti *et al*., 2006).

$$r = \frac{1}{(t2-t1)} (\ln (\frac{x2}{1-x2}) - \ln (\frac{x1}{1-x1}))$$

Keterangan:

r = laju infeksi penyakit (tanaman/minggu)

x_1 = proporsi penyakit (intensitas penyakit) pada pengamatan pertama

x_2 = proporsi penyakit (intensitas penyakit) pada pengamatan kedua

t_1 = waktu pengamatan pertama

t_2 = waktu pengamatan kedua

8) Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman bawang merah diukur dari batang yang ada diatas tanah hingga ke ujung daun tertinggi. Tinggi tanaman diamati setiap 7 hari sekali.

9) Jumlah daun (helai)

Jumlah daun dihitung dengan cara menghitung setiap daun yang ada pada tanaman bawang merah. Jumlah daun diamati setiap 7 hari sekali.

10) Jumlah umbi (umbi)

Jumlah umbi diperoleh dengan cara menghitung banyaknya umbi satu tanaman bawang merah. Jumlah umbi diamati setelah panen.

11) Panjang akar (cm)

Panjang akar diperoleh dengan cara mengukur akar dari pangkal hingga ujung akar. Panjang akar diamati setelah panen.

12) Rasio tajuk : akar

Rasio tajuk : akar diperoleh berdasarkan panjang tajuk dan panjang akar. Rumus rasio tajuk : akar sebagai berikut.

$$\text{Rasio Tajuk Akar} = \frac{\text{Panjang Tajuk(cm)}}{\text{Panjang Akar(cm)}}$$

13) Berat umbi segar per tanaman (g)

Berat umbi segar diperoleh dengan cara menimbang umbi satu tanaman bawang merah. Bawang merah ditimbang setelah panen.

14) Berat umbi kering per tanaman (g)

Berat umbi kering diperoleh dengan cara menimbang umbi satu tanaman bawang merah. Penibangan dilakukan setelah selama 7 hari.

15) Kolonisasi Mikoriza

Kolonisasi Mikoriza diperoleh dengan metode *slide* yang dimodifikasi. Rumus kolonisasi mikoriza sebagai berikut.

$$\% \text{ kolonisasi} = \frac{\text{Jumlah akar yang terinfeksi}}{\text{Jumlah akar yang diamati}} \text{ x } 100\%$$

Tabel 7. Kategori Presentase kolonisasi (Raisani *et al*., 2020)

Skor (%)	Kategori
0-5	Sangat rendah
6-25	Rendah
26-50	Sedang
51-75	Tinggi
76-100	Sangat tinggi

3.3. Analisis Data

Model linier yang menjelaskan setiap nilai pengamatan sesuai Percobaan Monofaktor 6x5 Rancangan Acak Lengkap (RAL). Model linier yang digunakan sebagai berikut:

$$\mathbf{Yij = \mu + Ti + \varepsilon ij}$$

Keterangan:

Yijk = Nilai pengamatan faktor perlakuan agen hayati ke-i dan ulangan ke-j terhadap pengendalian penyakit moler pada bawang merah.

μ = Efek nilai tengah

Ti = Pengaruh faktor perlakuan agen hayati taraf ke-i

εij = Pengaruh acak dari faktor perlakuan agen hayati taraf ke-i dan ulangan taraf ke-j terhadap pengendalian penyakit moler pada bawang merah.

Hipotesis statistik yang diuji dalam penelitian :

Pengaruh utama faktor perlakuan teknik pengendalian

H0 : T0 = T1 = T2 = T3 = T4 = T5 = 0; Tidak ada pengaruh perlakuan agen hayati pada pengendalian penyakit moler bawang merah.

H1 : Paling sedikit ada Ti ≠ 0; Terdapat pengaruh perlakuan agen hayati pada pengendalian penyakit moler bawang merah.

Data hasil penelitian diolah secara statistik dengan prosedur Analisis Ragam pada taraf nyata 5%. Apabila menunjukkan pengaruh perlakuan yang nyata, maka dilanjutkan dengan Uji Pembanding BNJ (Beda Nyata Jujur) pada taraf 5%.