AGRICA: Journal of Sustainable Dryland Agriculture, 18 (2): 225-241 (2025)
URL: https://e-journal.uniflor.ac.id/index.php/Agr/article/view/5388
DOI: https://doi.org/ 10.37478/agr.v18i2.5388

PENGENDALIAN PENYAKIT LAYU *Fusarium* PADA BAWANG MERAH (*Allium ascolonicum* L.) DENGAN *Gliocladium* sp. DAN *Trichoderma* sp.

CONTROL of Fusarium WILT DISEASE IN SHALLOTS (Allium ascolonicum L.) USING Gliocladium sp. AND Trichoderma sp.

Jesis Silvano *, Gusti Ngurah Alit Susanta Wirya, Khamdan Khalimi
Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana
Jl. PB. Sudirman, Denpasar, Bali, 80231. Indonesia
* Email Coresponden: jesissilvano22@gmail.com

Info Artikel Diterima: 17/02/2025 Direvisi: 21/02/2025 Disetujui: 14/11/2025

ABSTRAK

Bawang merah (*Allium ascolonicum* L.) merupakan komoditas penting di Indonesia dengan nilai komersial yang cukup besar. Namun demikian, budidaya bawang merah menghadapi tantangan yang signifikan karena penyakit layu yang disebabkan oleh *Fusarium* sp. Penyakit ini menimbulkan kerusakan pada tanaman, bermanifestasi sebagai daun yang menggulung dan berwarna hijau muda, berpotensi menyebabkan kematian tanaman, sehingga mengurangi produksi pangan. Penulisan ini bertujuan untuk menilai efikasi jamur antagonis, yaitu *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp., dalam mengendalikan penyakit layu Fusarium pada bawang merah. Penulisan ini dilakukan dengan menggunakan uji in vitro untuk menilai efikasi antijamur kedua jamur tersebut terhadap Fusarium sp., serta percobaan in vivo untuk mengevaluasi efisiensi pengendalian di lapangan. Analisis Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (GC-MS) digunakan untuk menentukan bahan kimia aktif yang dihasilkan. Temuan memperlihatkan jika Trichoderma sp. memiliki kapasitas penghambatan terbesar sebesar 77%, diikuti oleh Gliocladium sp. sebesar 75%.Uji in vivo memperlihatkan jika perlakuan dengan Trichoderma sp. menekan tingkat serangan penyakit hingga 16% pada 14 hari setelah tanam (HST), sedangkan Gliocladium sp. menekan serangan hingga 33%. Tanaman tanpa perlakuan memperlihatkan tingkat serangan penyakit 100%.

KATA KUNCI: Bawang merah, F. *oxysporum* f.sp. *cepae*, Jamur Antagonis, GC-MS

ABSTRACT

One of Indonesia's most valuable commodities is scallions, a type of onion known as Allium ascalonicum L. Wilt disease, caused by Fusarium sp., poses significant challenges to shallot production. Curled, light-green leaves, along with complete plant death, are symptoms of this disease, which reduces harvest yields. In order to manage Fusarium wilt disease in shallots, this research intends to assess the efficacy of antagonistic fungi, namely Trichoderma sp. and Gliocladium sp. The research used in vitro testing to find out how well the fungus inhibited the growth of Fusarium sp., and in vivo studies to see how well the control worked in the real world. The active chemicals that were generated were identified by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) analysis. With an inhibitory power of 77%, Trichoderma sp. topped the list, followed by Gliocladium sp. with 75%.

KEYWORDS: *Antagonistic Fungi, F. oxysporum f.sp. cepae, GC-MS, Shallot*

Cite this as: Jesis Silvano, Gusti N.A.S Wirya dan Khamdan Khalimi (2025). Pengendalian penyakit layu Fusarium pada bawang merah (Allium ascolonicum L.) dengan Gliocladium sp. dan Trichoderma sp.. Agrica: Journal of Sustainable Agriculture, 18(2), 225-241. doi: https://doi.org/ 10.37478/agr.v18i2.5388

Copyright (c) 2025 Jesis Silvano, Gusti N.A.S Wirya dan Khamdan Khalimi. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium ascolonicum* L.) merupakan tanaman ekonomi penting yang digunakan sebagai bahan penyedap makanan. Hal ini mengakibatkan permintaan bawang merah terus meningkat. Badan Pusat Statistik menyatakan bahwa produksi tanaman bawang merah Indonesia pada tahun 2021 sebesar 2.004.590 ton dan pada tahun 2022 sebesar 1.982.360 ton. Angka ini memperlihatkan penurunan produksi sebesar 1,11% atau 22,33 ribu ton (Badan Pusat Statistik, 2022). Penyakit layu atau moler merupakan tantangan signifikan dalam budidaya bawang merah di daerah tropis. Penyakit ini disebabkan oleh jamur *Fusarium* oxysporum f.sp. *cepae* (Bramantya *et al.*, 2016) dan merupakan hambatan signifikan untuk meningkatkan hasil bawang merah. Infeksi oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dapat menyebabkan tanaman layu, yang menyebabkan penurunan hasil yang substansial. *Fusarium* sp. ialah patogen tular tanah yang mampu bertahan hidup dalam jangka waktu lama tanpa adanya tanaman inang. Patogen ini dapat bertahan hidup di dalam tanah sebagai klamidospora (Semangun, 2001), sehingga memudahkan infeksi dini pada tanaman yang baru ditanam. Jamur antagonis telah diteliti secara ekstensif sebagai agen hayati untuk mengendalikan jamur patogen pada tanaman. Berbagai jamur antagonis yang terbukti efektif menghambat jamur patogen meliputi *Gliocladium* viride, *Gliocladium* virens, *Gliocladium* roseum, *Trichoderma* harzianum, dan *Trichoderma* koningii (Santoso *et al.*, 2013). Sejumlah penulisan telah memperlihatkan kemanjuran jamur antagonis dalam menekan pertumbuhan penyakit tanaman. Misalnya, *Gliocladium* sp. telah memperlihatkan kapasitas untuk menghambat proliferasi *Fusarium* oxysporum f.sp. *lycopersici* pada tanaman tomat (Phabiola, 2021) dan mengurangi kejadian penyakit lanas yang disebabkan oleh *Phytophthora nicotianae* pada tembakau Deli (Zahara, 2013). Lebih jauh, penulisan yang dilakukan oleh Ramadhina dkk. (2013) memperlihatkan jika *Gliocladium* sp. bermanfaat dalam menghambat perkembangan *Fusarium* oxysporum pada bawang merah. Sebaliknya, penggunaan *Trichoderma* sp. telah terbukti dapat mengendalikan penyakit moler sekaligus meningkatkan perkembangan tanaman bawang merah. (Deden dan Umiyati, 2017).

METODE

Penulisan ini dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu dari bulan Januari sampai dengan Maret 2024, di Laboratorium Penyakit Tanaman Konsentrasi Perlindungan Tanaman Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Tahap uji kontrol dilaksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Udayana.

Alat yang digunakan dalam prosedur penulisan ini antara lain cawan petri, labu Erlenmeyer, autoklaf, laminar airflow hood, pembakar Bunsen, timbangan, masker, dan sarung tangan. Penulisan ini menggunakan alkohol

70%, akuades, dan media PDA (kentang, dekstrosa, agar, akuades). Cendawan antagonis bersumber dari Laboratorium Penyakit Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Udayana, yaitu *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens*, *G. aureum*, dan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* sebagai cendawan patogen.

Mengevaluasi efikasi penghambatan jamur antagonis terhadap perkembangan jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* secara in vitro menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Efikasi penghambatan *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum* terhadap perkembangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dinilai menggunakan metodologi yang ditetapkan oleh Khalimi dan Wirya (2009). Media pertumbuhan disiapkan dengan meletakkan 10 ml media PDA yang diencerkan (sekitar 50 °C) ke atas cawan petri. Jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* diletakkan di tengah media PDA di dalam cawan Petri, diikuti oleh inokulasi masing-masing jamur antagonis pada empat titik, masing-masing 2 cm dari tepi cawan Petri, di sekitar *F. oxysporum* f.sp. *cepae*. Setiap terapi diberikan tiga kali. Cawan Petri kemudian diinkubasi pada suhu ruangan. Luas koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* ditentukan menggunakan perhitungan menggunakan kertas kisi milimeter. Proporsi daya hambat jamur antagonis diperkirakan menggunakan rumus berikut,

$$\text{Daya hambat (\%)} = \frac{\text{Luas koloni kontrol} - \text{Luas koloni perlakuan}}{\text{Luas koloni kontrol}} \times 100\%$$

Laju perkembangbiakan koloni jamur diperkirakan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Laju pertumbuhan koloni} = \frac{\text{Luas koloni pada pengamatan terakhir}}{\text{Selang Waktu}}$$

Senyawa antijamur dari ekstrak jamur antagonis tertentu, yang diperoleh dari temuan uji penghambatan in vitro, diidentifikasi menggunakan GCMS (7890A GC-system 5975C inert XL E1/C1 MSD model G3174A, Agilent Technologies, Wilmington, DE, AS) mengikuti metodologi Ahamed dan Ahring (2011). Alikuot 2 µl dari ekstrak jamur antagonis yang dipilih disuntikkan ke dalam GCMS. Suhu injektor dipertahankan pada 240 °C selama 26 menit. Identifikasi senyawa antijamur dari ekstrak jamur antagonis yang dipilih dilakukan dengan membandingkan hasil dengan pustaka basis data NIST, dan nama kimia dari temuan tersebut mematuhi nomenklatur yang ditetapkan oleh basis data NIST. Uji penghambatan jamur antagonis yang dipilih, berdasarkan temuan in vitro, dilakukan untuk mengevaluasi kemanjurannya dalam mengendalikan penyakit layu bawang merah secara in vivo. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan 3 perlakuan dan 9 kali ulangan. Setiap perlakuan diulang dua kali dan mengikutsertakan satu tanaman bawang merah, sehingga diperlukan pengamatan sebanyak 54 tanaman bawang merah:

Tabel 1. Model Rancangan Acak Kelompok

Kelompok								
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Fo	Tv	Ga	Ga	Fo	Tv	Fo	Ga	Tv
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1
Tv	Ga	Fo	Fo	Ga	Fo	Ga	Tv	Fo
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1
Ga	Fo	Tv	Tv	Tv	Ga	Tv	Fo	Ga
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1

Fo: Kontrol (100 ml suspensi *F. oxysporum* f.sp. *cepae*)
Tv: 50 ml suspensi *Trichoderma* terpilih + 50 ml suspensi *F. oxysporum* f.sp. *cepae*
Ga: 50 ml suspensi *Gliocladium* terpilih + 50 ml suspensi *F. oxysporum* f.sp. *cepae*

Kemanjuran jamur antagonis yang dipilih dalam mengelola penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dinilai dengan menentukan proporsi kejadian penyakit yang disebabkan oleh jamur patogen. Pengamatan dilakukan selama 21 hari, dengan penilaian dilakukan setiap 3 hari. Proporsi penyakit *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini.,

$$P = \frac{A}{N} \times 100\%$$

Ket :
P = Persentase kejadian penyakit (%)
A = Jumlah tanaman bawang merah yang sakit pada setiap perlakuan
N = Jumlah total tanaman bawang merah yang diamati

Analisis statistik data dilakukan dengan menggunakan ANOVA (Analysis of Variance). Jika uji F memperlihatkan pengaruh yang signifikan, maka dilanjutkan dengan Uji Rentang Berganda Duncan (Duncan's Multiple Range Test/DMRT) untuk mencari selisih rata-rata pada tingkat signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji daya hambat in vitro jamur antagonis terhadap *F. oxysporum* f.sp. *cepae* memperlihatkan jika *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum* efektif menghambat pertumbuhan koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dengan presentase daya hambat antara 51% sampai dengan 77% pada 7 hari pasca inokulasi (Tabel 2.).

Tabel 2. Hasil uji daya hambat jamur antagonis terhadap *F. oxysporum* f.sp. *cepae*

Perlakuan	Luas Koloni (cm^2)	Laju pertumbuhan koloni (cm^2/hari)	Persentase Daya Hambat (%)
Kontrol	4,50 c	0,642 c	-
T. harzianum	2,17 b	0,310 b	51 c
T. koninggi	1,53 ab	0,218 ab	66 b
T. virens	1,10 a	0,157 a	75 a
T. viridae	1,33 a	0,190 a	70 ab
G. viridae	1,73 ab	0,247 ab	61 b
G. roseum	1,23 a	0,175 a	72 a
G. virens	1,17 a	0,167 a	74 a
G. aureum	1,00 a	0,142 a	77 a

Keterangan : Nilai yang dikuti dengan huruf berbeda menunjukan adanya beda nyata berdasarkan uji lanjut *Duncan's Multiple range test* pada tingkat kepercayaan 95%.

Tabel 2. memperlihatkan jika jamur antagonis dapat menghambat perkembangan *F. oxysporum* f.sp. *cepae*. Koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan kontrol memperlihatkan perkembangan normal, dengan laju pertumbuhan koloni sebesar 0,642 cm^2/hari (Table 2.). Koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* ditekan pada perlakuan *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum*. Luas koloni jamur yang berkurang mencerminkan luasnya perkembangan jamur. Luas koloni jamur yang berkurang berkorelasi dengan peningkatan efikasi penghambatan jamur antagonis terhadap jamur berbahaya. Proliferasi jamur dalam konteks *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum* ditekan oleh senyawa antijamur yang dihasilkan oleh *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum* melalui mekanisme antibiosis. Proliferasi jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dalam keberadaan *T. harzanium, T. koningii, T. virens, T. viridae, G. viridae, G. roseum, G. virens, dan G. aureum* ditekan, memperlihatkan laju pertumbuhan koloni antara 0,310 cm^2/hari dan 0,142 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan T. harzianum sebesar 0,310 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan G. Viridae sebesar 0,247 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan T. koninggi sebesar 0,218 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan T. viridae sebesar 0,190 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada perlakuan G. roseum sebesar 0,175 cm^2/hari. Laju proliferasi koloni jamur *F. oxysporum* f.sp. Koloni jamur *cepae* pada perlakuan G. virens ialah 0,167 cm^2/hari.

Rizal (2017) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. dapat menghasilkan senyawa toksik gliotoksin dan gliovirin, bersama dengan zat antibiotik

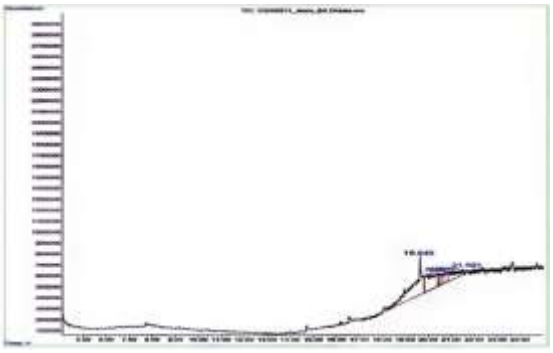
epidethiodicctopiperazine, yang menekan infeksi. *G. aureum* merupakan jamur yang dikenal sebagai agen pengendali hayati yang berkhasiat dalam menekan proliferasi jamur patogen yang bertanggung jawab atas penyakit tanaman. *G. aureum* dapat mensintesis berbagai agen antimikroba, termasuk antibiotik, yang dapat menghambat proliferasi dan pematangan jamur berbahaya. Bahan kimia ini berfungsi untuk mengganggu proses metabolisme infeksi. Salah satu bahan kimia yang dihasilkan ialah gliotoksin, yang memiliki karakteristik toksik yang dapat menghambat proliferasi banyak infeksi jamur dengan merusak membran sel, memengaruhi fungsi metabolisme, dan menghambat sintesis protein. Adriansyah dkk. (2015) memperlihatkan jika mekanisme antagonis *Trichoderma* spp. dalam penekanan patogen berfungsi sebagai mikroparasit dan pesaing yang kuat. Awalnya, hifa *Trichoderma* spp. memanjang, selanjutnya melingkar dan menyusup ke dinding sel inang. Kerusakan pada dinding sel, bersama dengan keberadaan enzim β-1,3 glukanase, menyebabkan ketidakseimbangan konsentrasi ion dalam cairan, sehingga terjadi osmosis. Osmosis yang berkepanjangan dapat menyebabkan lisis membran sel, yang akhirnya mengakibatkan kematian sel. Yudha dkk. (2016) mengatakan bahwa mikroparasitisme ini akan berhenti setelah habisnya isi sitoplasma sel inang. Analisis GCMS mengungkapkan bahwa ekstrak *G. aureum* terdiri dari enam senyawa: 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole; 1-(4-Methoxyphenyl) imidazoline-2-thion; 7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahidro-6-metoksi-1-[(4-metoksifenil)metil]-2,8-dimetil-; 2-Metilpirazolo[3,4-d]tiazolo[3,2-a]pirimidin-4(2H)-on; Asam 3-Metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, ester tetradecyl; dan trans-.beta. -Cyano-3-stilbazole (Tabel 2.).

Tabel 3. Senyawa yang dihasilkan *G. aureum*

Peak	Senyawa yang teridentifikasi	Waktu Retensi (menit)	Area (%)	Rumus Kimia
1	5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole	19,646	47,59	$C_{12}H_{14}O_4$
2	1-(4-Methoxyphenyl) imidazoline-2-thione	20,335	26,70	$C_3H_6N_2S$
3	7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahydro-6-methoxy-1-[(4-methoxyphenyl)methyl]-2,8-dimethyl-	20,457	3,00	$C_{19}H_{23}NO$
4	2-Methylpyrazolo[3,4-d]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4(2H)-one	20,547	4,92	$C_{16}H_{14}$
5	3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester	20,791	5,25	$C_{22}H_{33}F_3O_3$
6	trans-.beta.-Cyano-3-stilbazole	21,501	1,55	$C_7H_5F_3N_2O_2$

Molekul 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole diidentifikasi pada puncak 1 dengan waktu retensi 19,646 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 47,59% (Gambar 1.). Saat ini, belum ada data ilmiah atau penulisan yang cukup yang memperlihatkan jika zat kimia 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole memiliki aktivitas antijamur. Senyawa turunan benzodioxole tertentu memperlihatkan sifat antimikroba, sebagaimana dibuktikan oleh penulisan yang dilakukan oleh Song *et al.* (2019), yang memperlihatkan jika senyawa analog γ-laktam yang mengandung gugus 1,3-benzodioxole memiliki aktivitas antijamur terhadap Rhizoctonia solani, Alternaria tenuis Nees, Gloeosporium theae-sinensis, dan *Fusarium* graminearum. Saat ini, tidak ada referensi atau penulisan yang secara eksplisit memperlihatkan aktivitas antijamur untuk zat kimia 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole.

Banyak senyawa turunan benzodioxole telah didokumentasikan memperlihatkan aktivitas antijamur, terutama karena struktur kimianya memfasilitasi interaksi dengan komponen seluler jamur. Contoh penting termasuk turunan 1,3-benzodioxole piperine, glaziovianin A, asam oksolinat, cinoxacin, dan miloxacin (Song *et al.*, 2019). Yang *et al.* (2021) melaporkan bahwa senyawa turunan 1,3-benzodioxole, termasuk sanguinarine, chelerythrine, podophyllotoxin, steganacin, dan combretastatin A-2, memperlihatkan aktivitas antijamur terhadap jamur Phyllosticta piricola, Alternaria brassicae, Curvularia lunata, Pyricularia grisea, dan Alternaria alternata. Senyawa 11-(4-Methoxyphenyl)imidazoline-2-thione diidentifikasi pada puncak 2 dengan waktu retensi 20,335 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 26,70% (Gambar 4.3). Senyawa 1-(4-Methoxyphenyl) Imidazoline-2-thione tidak dibahas secara luas dalam literatur ilmiah tentang tindakan antijamur khususnya. Imidazoline-2-thione termasuk dalam golongan bahan kimia yang dicirikan oleh struktur inti imidazoline, dan senyawa lain dalam keluarga imidazol dikenal karena sifat antimikrobanya, termasuk aktivitas antijamur. Imidazoline dan imidazol ialah bahan kimia heterosiklik yang sering digunakan sebagai dasar dalam formulasi obat antijamur, termasuk klotrimazol dan ketokonazol.



Gambar 1. Data representatif kromatografi GC-MS dari ekstrak *G. Aureum*

Molekul 7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahidro-6-metoksi-1-[(4-metoksifenil)metil]-2,8-dimetil diidentifikasi pada puncak 3 dengan waktu retensi 20,457 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 3,00% (Gambar 1.). Zat kimia 7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahidro-6-metoksi-1-[(4-metoksifenil)metil]-2,8-dimetil- termasuk dalam golongan alkaloid isoquinoline. Alkaloid isoquinoline ialah kategori senyawa kimia alami yang dicirikan oleh struktur heterosiklik yang mencakup inti isoquinoline. Alkaloid isoquinoline memperlihatkan banyak aktivitas biologis, terutama sebagai agen antimikroba termasuk sifat antibakteri, antijamur, antiparasit, dan antivirus. Senyawa kimia 2-Metilpirazolo[3,4-d]tiazolo[3,2-a]pirimidin-4(2H)-on diidentifikasi pada puncak 4, dengan waktu retensi 20,547 menit dan persentase area 4,92% (Gambar 1.). Senyawa 2-Metilpirazolo[3,4-d]tiazolo[3,2-a] Pirimidin-4(2H)-on ialah senyawa kimia dengan kerangka pirazolo-tiazolo-pirimidin, yang termasuk dalam golongan senyawa heterosiklik. Heterosiklik dengan konfigurasi cincin ini sering diteliti dalam kimia medisinal untuk banyak aktivitas biologis, termasuk sifat antibakteri dan antijamur. Meskipun demikian, tidak ada laporan substansial atau temuan ilmiah yang secara eksplisit memperlihatkan jika 2-Metilpirazolo[3,4-d]tiazolo[3,2-a] Pirimidin-4(2H)-on memiliki khasiat antijamur. Banyak senyawa heterosiklik dengan struktur serupa telah diteliti untuk mengetahui aksi antijamurnya.

Senyawa asam 3-Metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, tetradecyl ester diidentifikasi pada puncak 5 dengan waktu retensi 20,791 menit, yang memperlihatkan persentase area sebesar 5,25% (Gambar 1.). Saat ini, asam 3-Metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, tetradecyl ester belum diteliti atau dijelaskan secara luas dalam literatur ilmiah tentang khasiat antijamurnya. Molekul ini, yang memiliki gugus asam benzoat yang dimodifikasi dengan gugus ester, belum diteliti atau didokumentasikan dengan baik untuk aktivitas antijamur khususnya dalam literatur ilmiah. Meskipun demikian, berdasarkan beberapa atribut struktural, kita dapat mengevaluasi aktivitas biologis prospektif dari bahan kimia tersebut. Senyawa dengan inti asam benzoat memiliki berbagai sifat antibakteri, termasuk khasiat terhadap bakteri dan jamur. Asam benzoat merupakan agen antibakteri yang sering digunakan sebagai pengawet makanan karena kemampuannya untuk mencegah perkembangbiakan jamur dan ragi pada dosis tertentu.

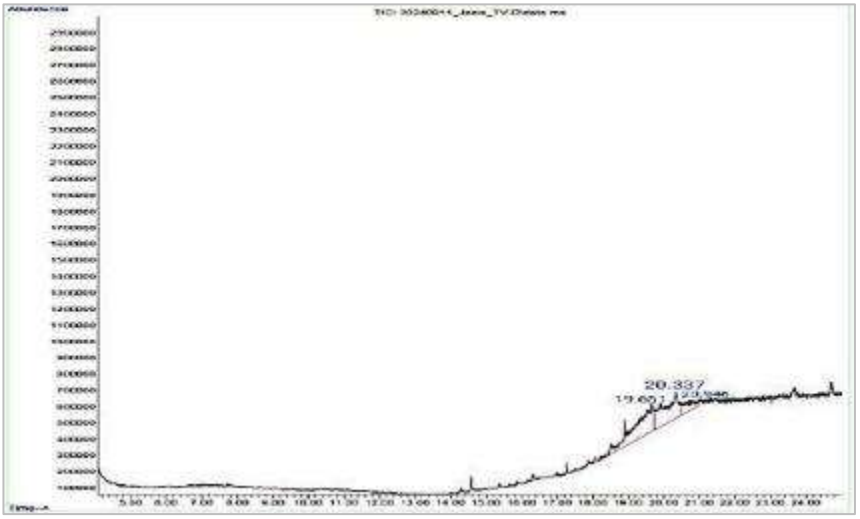
Bahan kimia trans-.beta.-Cyano-3-stilbazole diidentifikasi pada puncak 6 dengan waktu retensi 21,501 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 1,55% (Gambar 1.). Trans-β-Cyano-3-stilbazole merupakan molekul yang mencakup gugus stilbena dan siano, bersama dengan cincin piridina. Senyawa dengan struktur stilbazole memiliki gugus aromatik yang mampu berinteraksi dengan struktur sel mikroba, termasuk jamur, sedangkan gugus nitril memengaruhi lipofilisitas dan kemanjuran penetrasi membran bahan kimia tersebut. Kemanjuran antijamur yang tepat dari trans-β-

Cyano-3-stilbazole masih kurang dilaporkan dalam literatur ilmiah. Stilbazole merupakan analog stilbena dengan cincin piridina. Hasil analisis GCMS memperlihatkan jika ekstrak T. virens terdiri dari tiga senyawa: asam 6,7-Dimetoksi-3-metil-1,2,3,4-tetrahidroisokuinolin-3-karboksilat, metil ester; Papaveroline, 2'-bromo-2-metil-, tetrametil (ester); dan asam 3-Metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, tetradesil ester. (Tabel 3.).

Tabel 4. Senyawa yang dihasilkan oleh *T. Virens*

Peak	Senyawa yang teridentifikasi	Waktu Retensi (menit)	Area (%)	Rumus Kimia
1	6,7-Dimethoxy-3-methyl-1,2,3,4-tetrahydroisoquinoline-3-carboxylic acid, methyl ester	19,651	50.82	$C_{12}H_{15}NO_4$
2	Papaveroline, 2'-bromo-2-methyl-,tetramethyl(ester)	20,337	37.64	$C_{12}H_{26}BrNO_4$
3	3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester	20,946	11.54	$C_{22}H_{33}F_3O_3$

Senyawa 6,7-Dimetoksi-3-metil-1,2,3,4-tetrahidroisokuinolin-3-asam karboksilat, metil ester diidentifikasi pada puncak 1 dengan waktu retensi 19,651 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 50,82% (Gambar 2.). 6,7-Dimetoksi-3-metil-1,2,3,4-tetrahidroisokuinolin-3-asam karboksilat, metil ester ialah turunan isokuinolin yang diklasifikasikan dalam kategori alkaloid. Alkaloid isokuinolin memiliki sifat antibakteri. Meskipun demikian, khasiat antijamur khusus dari bahan kimia ini belum didokumentasikan secara luas dalam literatur ilmiah. Isokuinolin merupakan konstituen penting dari beberapa bahan kimia bioaktif, termasuk beberapa yang memiliki aktivitas antibakteri. Struktur heterosiklik ini memfasilitasi interaksi dengan biomolekul penting, termasuk enzim dan membran sel. Sejumlah bahan kimia turunan isoquinoline, termasuk stepharanine, palmatrubine, dan groenlandicine, memiliki tindakan antijamur terhadap C. albicans, Candida glabrata, Candida krusei, Cryptococcus neoformans, dan Candida parapsilosis. (Qing *et al.,* 2017).



Gambar 2. Data representatif kromatografi GC-MS dari ekstrak *T.* Virens

Senyawa Papaveroline, 2'-bromo-2-methyl-,tetramethyl(ester) terdeteksi di peak 2 pada waktu retensi 20,337 menit dengan persentase area sebesar 37,64% (Gambar 2.). Papaveroline, 2'-bromo-2-methyl-, tetramethyl(ester) ialah turunan dari papaveroline, sebuah alkaloid yang umumnya terkait dengan struktur isoquinoline. Meskipun papaveroline dan beberapa turunannya telah dikenal memiliki aktivitas biologis, seperti antiinflamasi dan vasodilator, aktivitas antijamur spesifik dari senyawa ini, terutama dalam bentuk 2'-bromo-2-methyl-, tetramethyl(ester), belum banyak dilaporkan dalam literatur ilmiah. Kerangka isoquinoline dalam papaveroline, isoquinoline merupakan struktur inti yang ditemukan dalam banyak alkaloid bioaktif. Senyawa berbasis isoquinoline telah terbukti memiliki aktivitas antimikroba, termasuk antijamur. Struktur heterosikliknya memungkinkan senyawa berinteraksi dengan komponen biologis penting, seperti membran sel atau enzim yang esensial bagi pertumbuhan mikroba.

Molekul asam 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic, tetradecyl ester diidentifikasi pada puncak 3 dengan waktu retensi 20,946 menit, memperlihatkan persentase area sebesar 11,54% (Gambar 2.). Senyawa kimia asam 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic, tetradecyl ester tidak secara eksplisit didokumentasikan memiliki aksi antijamur dalam literatur yang ada. Meskipun demikian, komposisi kimianya, termasuk asam benzoat, modifikasi ester, dan penggantian fluorin, memperlihatkan aksi antibakteri potensial yang layak diselidiki melalui pengujian laboratorium. Molekul asam 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic, tetradecyl ester memiliki kerangka asam benzoat, dan perubahan struktural dapat memperlihatkan aksi antijamur potensial. Meskipun demikian, diperlukan lebih banyak percobaan biologis untuk memvalidasi aksi ini. Senyawa yang menampilkan inti asam benzoat, termasuk asam benzoat dan turunannya, memiliki aksi

antijamur. Hal ini dibuktikan oleh Kim *et al.* (2010) bahwa senyawa yang analog dengan benzoic acid memiliki aktivitas antijamur terhadap *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus* dan *Aspergillus terreus*.

Kemampuan *T. virens* dan *G. aureum* untuk mengendalikan perkembangan penyakit layu *F.* oxysporum f.sp. *cepae* diuji pada tanaman bawang yang ditanam di polybag. Tanaman bawang yang berumur 14 hari direndam terlebih dahulu dengan suspensi campuran antara jamur antagonis dan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dengan volume 100 ml atau 1:1, kemudian untuk perlakuan kontrol juga dilakukan perendaman dengan 100 ml volume suspensi *F. oxysporum* f.sp. *cepae* Perendaman akar dilakukan selama 24 jam sebelum tanam. Hasil uji efektivitas jamur antagonis memperlihatkan jika perlakuan *T. virens* mampu menekan kejadian penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dari 100% menjadi 16% jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Sedangkan perlakuan *G. aureum* mampu menekan kejadian penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dari 100% menjadi 33% jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol (Tabel 4.).

Tabel 4. Persentase penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada tanaman bawang

Perlakuan	Persentase Penyakit Layu *Fusarium* (%)
K (Tanpa jamur antagonis)	100 b
F1 (*G. aureum* + *F. oxysporum* **f.sp.** *cepae*)	33 a
F2 (*T. virens* + *F. oxysporum* **f.sp.** *cepae*)	16 a

Keterangan: Nilai yang dikuti dengan huruf berbeda menunjukan adanya beda nyata berdasarkan uji lanjut *Duncan's Multiple range test* pada tingkat kepercayaan 95%

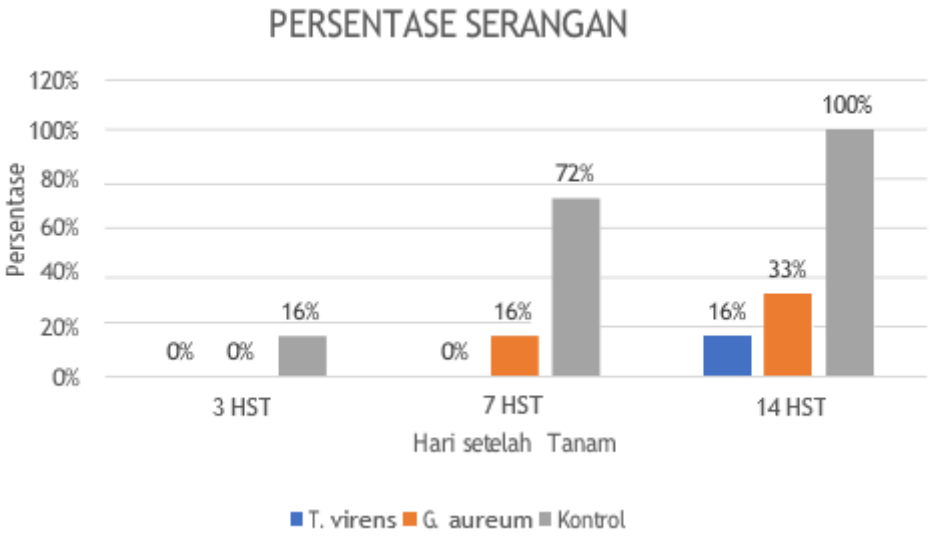
Kecilnya persentase penyakit pada tanaman bawang merah yang diaplikasikan *T. virens* diduga karena kemampuan *T. virens* dalam menghambat patogen dengan cara menghasilkan senyawa antijamur 6,7-Dimethoxy-3-methyl-1,2,3,4 tetrahydroisoquinoline - 3 -carboxylic acid, methyl ester; Papaveroline, 2'-bromo-2- methyl-,tetramethyl(ester); dan 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester yang berdasarkan analisis GCMS. Menurut Adriansyah *et al.* (2015) bahwa jamur *Trichoderma* sp. diketahui mempunyai kemampuan antagonis yang tinggi dalam menghambat perkembangan jamur patogen tular-tanah. Mekanisme antagonis yang terjadi diduga berkaitan dengan adanya tiga mekanisme yang bekerja secara sinergis yaitu mekanisme antibiosis, kompetisi ruang tumbuh dan nutrisi, dan sifat mikoparasit. *Trichoderma* sp. menghasilkan trichodermin, demadin dan viridin yang terbagi atas dua tipe yaitu fungistatik yang menghambat perkembangan populasi jamur dan fungisidal yang mampu mematikan jamur patogen. Selain itu *Trichoderma*

sp. merupakan jamur yang memiliki sifat mikoparasit. Mikoparasit merupakan kemampuan untuk membatasi pertumbuhan dan aktivitas jamur patogen yang dilakukan oleh jamur antagonis dengan memanfaatkan makanan dari inangnya (Mahato, 2005).

Kecilnya persentase penyakit pada tanaman bawang merah yang diaplikasikan *G.aureum* diduga karena kemampuan *G.aureum* dalam menghambat patogen dengan cara menghasilkan senyawa antijamur 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole; 1-(4- Methoxyphenyl) imidazoline-2-thione; 7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahydro-6-methoxy-1- [(4-methoxyphenyl)methyl]-2,8-dimethyl-; 2-Methylpyrazolo[3,4-d]thiazolo[3,2-a] pyrimidin -4(2H)-one; 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester; dan trans-.beta.-Cyano-3-stilbazole berdasarkan analisis GCMS. Menurut (Skoog & Wichman, 2013) *Gliocladium* sp. menghasilkan antibiotik antijamur yaitu gliotoksin, gliovirin, dan viridin. Mekanisme antibiotik gliotoksin dan gliovirin antara lain menyebabkan penggumpalan sitoplasma jamur patogen, kerusakan dinding sel jamur, dan kebocoran sitoplasma yang menyebabkan kehilangan protein, asam amino, karbohidrat, dan zat terlarut dari hifa. Enzim yang dihasilkan oleh *Gliocladium* sp. ialah enzim hidrolisis, kitinase, dan protease, yang semuanya dapat beraksi terhadap kekuatan dinding sel dan menyebabkan kerusakan dinding sel dari jamur patogen.

Rendahnya kejadian penyakit pada tanaman bawang merah yang diobati dengan *T. virens* disebabkan oleh kemampuan *T. virens* dalam menekan infeksi melalui produksi zat kimia anti jamur. 6 7-Dimethoxy-3-methyl-1,2,3,4-tetrahydroisoquinoline-3-carboxylic acid, methyl ester; Papaveroline, 2'-bromo-2-methyl-, tetramethyl (ester); dan 3-Methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester sebagaimana ditentukan dengan analisis GCMS. Adriansyah dkk. (2015) menyatakan bahwa *Trichoderma* sp. mempunyai kemampuan antagonis yang signifikan dalam menekan pertumbuhan jamur patogen tular tanah. Mekanisme antagonis tersebut diduga melibatkan tiga proses sinergis yaitu antibiosis, kompetisi untuk mendapatkan ruang dan sumber daya pertumbuhan, dan mikoparasitisme. *Trichoderma* sp. mensintesis trichodermin, demadin, dan viridin, yang dikategorikan menjadi dua jenis: fungistatik, yang menghambat proliferasi jamur, dan fungisida, yang membasmi jamur berbahaya. Lebih lanjut, *Trichoderma* sp. ialah jamur yang memperlihatkan karakteristik mikoparasit. Mikoparasit memiliki kemampuan untuk menghambat perkembangan dan aktivitas jamur patogen melalui jamur antagonis yang mendapatkan makanan dari inangnya (Mahato, 2005). Sedikitnya kejadian penyakit pada tanaman bawang merah yang diobati dengan *G. aureum* dikaitkan dengan kapasitas *G. aureum* untuk menekan infeksi melalui produksi bahan kimia antijamur. 5-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole; 1-(4-methoxyphenyl)imidazoline-2-thion; 7-isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahydro -6-methoxy -1- [(4-

methoxyphenyl)methyl] -2,8-dimethyl-; 2-Metilpirazolo[3,4-d]tiazolo[3,2-a] Pirimidin-4(2H)-on; asam 3-metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, tetradesil ester; dan trans-β.-Siano-3-stilbazol sebagaimana ditentukan dengan analisis GCMS. Sebagaimana dinyatakan oleh Skoog dan Wichman (2013), *Gliocladium* sp. mensintesis antibiotik antijamur, yaitu gliotoksin, glioviri, dan viridin. Proses antibiotik gliotoksin dan glioviri meliputi penggumpalan sitoplasma jamur patogen, kerusakan dinding sel jamur, dan penginduksian kebocoran sitoplasma, yang mengakibatkan hilangnya protein, asam amino, karbohidrat, dan zat terlarut dari hifa. Enzim yang dihasilkan oleh *Gliocladium* sp. meliputi enzim hidrolitik, kitinase, dan protease, yang semuanya dapat membahayakan integritas dinding sel dan menimbulkan kerusakan pada dinding sel jamur patogen. Tanaman bawang yang dibudidayakan dalam bahan tanam yang diobati dengan *T. virens* dan *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada 3 HST dan 7 HST tidak memperlihatkan tanda-tanda penyakit, sehingga menghasilkan persentase 0%. Namun, setelah 14 HST, persentasenya meningkat menjadi 16%. Insidensi penyakit pada tanaman bawang yang diobati dengan *G. aureum* + *F. oxysporum* f.sp. *cepae* ialah 0% pada 3 HST, naik menjadi 16% pada 7 HST, dan selanjutnya meningkat menjadi 33% pada 14 HST. Tanaman bawang tanpa pengobatan jamur antagonis (kontrol) memiliki insidensi penyakit sebesar 16% pada 3 HST, yang meningkat secara substansial menjadi 72% pada 7 HST, yang akhirnya mencapai 100% pada akhir periode pengamatan pada 14 HST. Tanaman bawang yang dibudidayakan dalam media tanam yang diobati dengan T. virens memperlihatkan hasil yang lebih unggul, karena insidensi penyakit lebih rendah dibandingkan dengan pengobatan dengan jamur antagonis *G. aureum*.



Gambar 3. Histogram persentase penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* dari 3 HST hingga 14 HST

Kematian jamur berbahaya sering dikaitkan dengan kekurangan nutrisi. Akibatnya, pengelolaan penyakit busuk umbi melalui bakteri yang bermusuhan berupaya mendominasi perebutan sumber daya dan ruang. Persyaratan makanan sepanjang siklus hidup *F. oxysporum* f.sp. *cepae* sangat penting untuk mempertahankan tingkat perkecambahan spora sebesar 20-30%. Tingkat perkecambahan dapat menurun karena persaingan nutrisi dengan mikroba yang bermusuhan. Jamur saprofit, termasuk *Trichoderma* sp. dan *Glocladium* sp., secara inheren bertindak sebagai parasit yang menargetkan berbagai jamur patogen yang mempengaruhi tanaman, memperlihatkan berbagai aktivitas. *Trichoderma* sp. dan *Glocladium* sp. berfungsi sebagai hiperparasit terhadap jamur patogen, memperlihatkan tingkat perkembangan yang cepat. Gejala penyakit layu *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada bawang merah mencakup sifat-sifat unik yang membedakannya dari gejala penyakit lainnya. Daun tanaman bawang merah tanpa perlakuan jamur antagonis di media tanam memperlihatkan layu, terpelintir, dan terkulai ke tanah karena struktur pendukung yang melemah akibat infeksi patogen. Pada fase berikutnya, daun layu dan kemudian mati. Akar yang sakit memperlihatkan perkembangan yang tidak biasa dan berwarna kuning kecokelatan atau membusuk. Gejala penyakit layu *cepae F. oxysporum* f.sp. yang terlihat di lapangan identik dengan yang didokumentasikan oleh (Herlina *et al.,* 2021)

SIMPULAN

Hasil penulisan menyimpulkan bahwa *Gliocladium* sp. dan *Trichoderma* sp. efektif menghambat pertumbuhan jamur patogen *F. oxysporum* f.sp. *cepae* pada media PDA secara in vitro, dengan persentase penghambatan sebagai berikut: *G. aureum* sebesar 77%, T. virens sebesar 75%, *G. virens* sebesar 74%, *G. roseum* sebesar 72%, *T. aspergillum* sebesar 70%, *T. koningii* sebesar 66%, G. viridae sebesar 61%, dan *T. harzianum* sebesar 51%. Jamur antagonis *T. virens* dan *G. aureum* dapat mengurangi penyakit layu pada tanaman bawang merah yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f.sp. *cepae* secara in vivo, sehingga dapat menurunkan kejadian penyakit layu pada tanaman bawang merah dari 100% menjadi 16% dan 33%. Molekul antijamur yang disintesis oleh *G. aureum* ialah 55-Ethynyl-4,7-dimethoxy-2H-1,3-benzodioxole; 1-(4-Methoxyphenyl)imidazoline-2-thion; 7-Isoquinolinol, 1,2,3,4-tetrahydro.-6-methoxy-1-[(4-methoxyphenyl)methyl] -2,8-dimethyl-; 2-methylpyrazolo[3,4-d]thiazolo[3,2-a]pyrimidin-4(2H)-one; 3-methoxy-2,4,5-trifluorobenzoic acid, tetradecyl ester; dan trans-.beta.-Cyano-3-stilbazole. Bersamaan dengan itu, agen antijamur yang disintesis oleh *T. virens* meliputi asam 6,7-Dimetoksi-3-metil-1,2,3,4-tetrahidroisokuinolin-3-karboksilat, metil ester; Papaveroline, 2'-bromo-2-metil-, tetrametil (ester); dan asam 3-Metoksi-2,4,5-trifluorobenzoat, tetradesil ester.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis merasa perlu untuk menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adriansyah, A., S., A. M., Hamawi, M., & Ikhwan, A. (2015). Uji Metabolisme Sekunder *Trichoderma* sp. Sebagai Antimikrobia Patogen Tanaman Pseudomonas solanacearum Secara In Vitro. *Gontor AGROTECH Science Journal*, *2*(1), 22–25.

Amaria Widi, Soeshanty Funny, & Ferry Yulius. (2016). Keefektivan Biofungisida *Trichoderma* sp. Dengan Tiga Jenis Bahan Pembawa Terhadap Jamur Akar Putih Rigidoporus microporus. *Jurnal TIDP*, *3*(1), 38–40.

Amborabe´, B.-E., Lessard, P. F., Chollet, J.-F., & Roblin, G. (2002). Antifungal effects of salicylic acid and other benzoic acid derivatives toward Eutypa lata: structure-activity relationship. *Plant Phsiology and BIochemistry*, *40*(1), 1052–1054.

Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik Hortikultura 2022* (S. Rita, Ed.; 1st ed., Vol. 1). BPS- Statistic Indonesia.

Berlian, I., Setyawan, B., & Hadi, H. (2013a). Mekanisme Antagonisme *Trichoderma* spp. Terhadap Beberapa Patogen Tular Tanah. *Warta Perkaretan*, *32*(2), 74. https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v32i2.39

Berlian, I., Setyawan, B., & Hadi, H. (2013b). Mekanism Antagonisme *Trichoderma* spp. Terhadap Beberapa Patogen Tular Tanah. *Warta Perkaretan*, *2*(1), 74–77.

Bondock, S., Fadaly, W., & Metwally, M. A. (2010). Synthesis and antimicrobial activity of some new thiazole,thiophene and pyrazole derivatives containing benzothiazole moiety. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *45*(1), 3694–3696.

Bramantya, P. E., Wiyatiningsih, S., & Nirwanto, H. (2016). Uji Ketahanan Berbagai Kultivar Bawang Merah (Allium ascalonicum) Terhadap Infeksi Moler (*Fusarium* oxysporum f.sp.*cepae*). *Plumula*, *5*(1), 11–14.

Herlina, L., Istiaji, B. , & Wiyono, s. (2021). The casual agent of *Fusarium* disease infested shallots in Java Islands of Indonesia. *EDP Sciences*, *232*(1), 30–32.

Hikmawati, Auliah, M. R., Ramlah, & Fitrianti. (2020). Identifikasi Jamur Penyebab Penyakit Moler Pada Tanaman Bawang Merah (Allium Ascolonicum L.) Di Kabupaten Enrekang. *Agrovital : Jurnal Ilmu Pertanian*, *5*(2), 83–85.

Howell, C. R. (2004). Understanding the mechanisms employed by *Trichoderma* virens to effect biological control of cotton diseases. *Phytopathology* , *2*, 178–179.

Jasiewicz, B., Babijczuk, K., Warżajtis, B., Rychlewska, U., Starzyk, J., Cofta, G., & Mro´wczyn´ska, L. (2023). Indole Derivatives Bearing Imidazole, Benzothiazole-2-Thione or Benzoxazole- 2-Thione Moieties—Synthesis, Structure and Evaluation of Their Cytoprotective, Antioxidant, Antibacterial and Fungicidal Activities. *Molecules*, *28*(2), 708. https://doi.org/10.3390/molecules28020708

Kim, J. H., Campbell, B. C., Mahoney, N., Chan, K. L., Molyneux, R. J., &

Balajee, A. (2010). Augmenting the activity of antifungal agents against aspergilli using structural analogues of benzoic acid as chemosensitizing agents. *British Mycological Society*, *114*(1), 817–820.

Nugroho, B., Astriani, D., & Mildaryani, W. (2011). Variasi Virulensi Isolat *Fusarium* oxysporum f.sp.*cepae* Pada Beberapa Varietas Bawang Merah. *Agrin*, *15*(2), 8–10.

Qing, Z.-X., Yang, P., Tang, Q., Cheng, P., Liu, X.-B., Zheng, Y., Liu, Y.-S., & Zeng, J.-G. (2017). Isoquinoline Alkaloids and Their Antiviral, Antibacterial, and Antifungal Activities and Structure-Activity Relationship. *Current Organic Chemistry*, *21*, 1–10.

Rastija, V., Vrandecˇic´, K., C'osic´, J., Kanizˇai Sˇaric´, G., Majic´, I., Agic´, D., Sˇubaric´, D., Karnasˇ, M., Besˇlo, D., Brahmbhatt, H., & Komar, M. (2023). Antifungal Activities of Fluorinated Pyrazole Aldehydes on Phytopathogenic Fungi, and Their Effect on Entomopathogenic Nematodes, and Soil-Beneficial Bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(11), 9335. https://doi.org/10.3390/ijms24119335

Rizal, S. (2017). Uji Antagonis *Gliocladium* sp. Dalam Menghambat Pertumbuhan Jamur Penyebab Penyakit Busuk Aantraknosa (Colletotricum capsici). *Sainmatika*, *14*(2), 100–106.

Santoso, S. E., Soesanto, L., Agung, D. T., & Haryanto, D. (2013). *Penekanan Hayati Penyakit Moler Pada Bawang Merah Dengan Trichoderma Harzianum, Trichoderma Koningii, Dan Pseoudomonas Fluorescens P60*.

Savjani, J. K., & Gajjar, A. K. (2011). Pharmaceutical Importance and Synthetic Strategis for Imidazolidine-2-thione and Imidazole-2-thione Derivatives. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *14*(24), 1076–1080.

Situmorang, D., Khalimi, K., & Phabiola, T. A. (2021). Pengembangan Formula Biofungisida dan Aplikasinya dalam Mengendalikan Penyakit Layu *Fusarium* pada Tanaman Tomat (Solanum lycopersicum L.). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, *10*(1), 428–432.

Skoog, B., & Wichman, A. (2013). Calculation of the isoelectric points of polypeptides from the amino acid composition. *Trends in Analytical Chemistry*, *5*(4), 82–84.

Sumarni, N., & Hidayat, A. (2005). *Budidaya Bawang Merah* (book, Vol. 1). Balai Penelitian Tanaman Sayuran.

Teixeira, M. M., Carvalho, D. T., Sousa, E., & Pinto, E. (2022). New Antifungal Agents with Azole Moieties. *Pharmaceuticals*, *15*(11), 1427. https://doi.org/10.3390/ph15111427

Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise, S., Manganiello, G., & Lorito, M. (2014). *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. *The Open Mycology Journal*, *8*(1), 72–74.

Yang, R., Li, Z., Xie, J., Liu, J., Qin, T., Liu, J., Du, H., & Ye, H. (2021). 4-Aminoquinolines Bearing a 1,3-Benzodioxole Moiety: Synthesis and Biological Evaluation as Potential Antifungal Agents. *Chemistry & Biodiversity*, *18*, 2–7.

Yudha, M. k, Soesanto, L., & Mugiastuti, E. (2016). Pemanfaatan empat isolat *Trichoderma* sp. untuk mengendalikan penyakit akar gada pada tanaman caisin. *Jurnal*

Kultivasi, *15*(3), 144–146.

Zhao, Z., Shang, X., Lawoe, R. K., Liu, Y., Zhou, R., Sun, Y., Yan, Y., Li, J., Yang, G., & Yang, C. (2019). Anti-phytopathogenic activity and the possible mechanisms of action of isoquinoline alkaloid sanguinarine. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *159*, 51–58. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.05.015