

UJI ANTAGONISME JAMUR KANDIDAT AGEN BIOKONTROL TERHADAP *Fusarium oxysporum* PADA BAWANG MERAH SECARA *IN VITRO*

FUNGAL ANTAGONISM TEST OF CANDIDATE BIOCONTROL AGENTS AGAINST *FUSARIUM OXYSPORUM* ON SHALLOTS *IN VITRO*

Nurindah Musarofah, Hasna Nabila Kusumastuti, Cindy Adisty Rudi Ananda Putri, Aura Dwipuspita Sahara Firdaus, dan Rina Sri Kasiamdari*

Department of Biologi, Faculty of Biologi, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: rkasiamdari@ugm.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 23 July 2025

Peer Review: 10 August 2025

Accepted: 22 February 2026

KATA KUNCI:

Agen biokontrol, bawang merah, *Fusarium oxysporum*, uji antagonisme

KEYWORDS:

Antagonism test, biocontrol agent, *Fusarium oxysporum*, shallot

ABSTRAK

Bawang merah (*Allium cepa* L.) merupakan tanaman budidaya bernilai komersial tinggi dengan permintaan yang semakin bertambah. Budidaya bawang merah sering terkendala oleh serangan *Fusarium oxysporum* penyebab penyakit layu fusarium atau moler. Infeksi *F. oxysporum* menyebabkan gejala menguningnya daun, daun memelintir, pembusukan akar, dan keberadaan jamur pada dasar umbi. Penelitian ini dirancang untuk mengidentifikasi kemampuan jamur antagonis sebagai agen biokontrol terhadap *F. oxysporum*. Penelitian menggunakan metode *dual culture* antara jamur patogen dengan jamur antagonis meliputi *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum*, *Ceratorhiza* sp., dan *Trichoderma asperellum* melalui pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis dengan pembuatan preparat metode *adhesive tape preparation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian daya hambat diperoleh isolat *T. asperellum* memiliki persentase daya hambat yang sangat tinggi mencapai 88,71% melalui mekanisme mikoparasitisme; diikuti oleh *P. chrysogenum* dengan persentase penghambatan 64,14% dengan mekanisme kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme; *Ceratorhiza* sp. dengan persentase penghambatan 53,01% dengan mekanisme antibiosis dan mikoparasitisme; serta *C. globosum* dengan persentase penghambatan terendah sebesar 37,40% dengan mekanisme kompetisi dan antibiosis. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pemanfaatan jamur antagonis, khususnya *T. asperellum*, berpeluang dikembangkan sebagai alternatif pengendalian hayati yang ramah lingkungan untuk menekan penyakit layu fusarium pada bawang merah.

ABSTRACT

Shallot (*Allium cepa* L.) is widely cultivated as a horticultural crop with considerable economic importance and increasing demand. Shallot cultivation is often constrained by the attack of *Fusarium oxysporum* which causes Fusarium wilt or moler disease. *Fusarium oxysporum* infection causes symptoms of leaf yellowing, leaf twisting, root decay, and the incidence of fungi at the base of the bulb. The objective of this study is to identify the potential of antagonistic fungi as biocontrol agents capable of inhibiting *F. oxysporum*. The study used a dual culture method between pathogenic fungi and antagonistic fungi including *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum*, *Ceratorhiza* sp., and *Trichoderma asperellum* through macroscopic and microscopic observations with adhesive tape preparation method. The study revealed that the antagonism test obtained *T. asperellum* isolates had a very high percentage of inhibition reaching 88.71% through the mechanism of mycoparasitism; followed by *P. chrysogenum* with a percentage inhibition of 64.14% with the mechanism of competition, antibiosis, and mycoparasitism; *Ceratorhiza* sp. with a percentage inhibition of 53.01% with the mechanism of antibiosis and mycoparasitism; and *C. globosum* with the lowest percentage inhibition of 37.40% with the mechanism of competition and antibiosis. The findings show that the application of antagonistic fungi, especially *T. asperellum*, can be considered to be developed as a sustainable alternative for biological control to suppress Fusarium wilt disease in shallots.

1. PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium cepa* L.) merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi penting. Hal ini dikarenakan bawang merah merupakan bahan penting yang paling dibutuhkan oleh masyarakat sebagai bahan penambah rasa. Selain sebagai bahan bumbu penyedap, bawang merah juga memiliki kandungan antioksidan dan *quercetin* yang bermanfaat bagi kesehatan dalam meningkatkan sistem kekebalan tubuh (Cahyaningrum et al., 2023). Kebutuhan masyarakat akan bawang merah menyebabkan permintaan bawang merah semakin meningkat setiap tahunnya. Alasan tersebut menyebabkan budidaya bawang merah perlu lebih diperhatikan agar terjaga kualitasnya.

Serangan mikroorganisme patogen tanah menjadi penyebab utama penyakit pada bawang merah dan mengakibatkan penurunan produksi bawang merah. Penyakit yang sering menginfeksi bawang merah, yaitu layu fusarium atau moler yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum*. Jamur tersebut tergolong sebagai patogen tular tanah sehingga dapat hidup di tanah untuk waktu lama (Sholeh & Nurcahyanti, 2023; Manang et al., 2024). Gejala yang disebabkan karena infeksi *Fusarium oxysporum* pada tanaman bawang merah ditunjukkan dengan daun tanaman yang menguning, bentuk daun memelintir, dan ketika tanaman dicabut akan terlihat akar tanaman yang membusuk, serta dasar umbi akan terlihat jamur yang berwarna keputihan (Budiarti et al., 2022; Djamaluddin et al., 2022).

Beberapa jamur antagonis diketahui dapat menurunkan pertumbuhan jamur patogen tular tanah misalnya. *Penicillium chrysogenum* (Assaf et al., 2020), *Chaetomium globosum* (Kaur et al., 2020), *Ceratorhiza* sp. (Taheri et al., 2024), dan *Trichoderma asperellum* (Putri & Anhar, 2024) termasuk dalam kategori jamur antagonis memiliki potensi sebagai agen biokontrol patogen tular tanah. Assaf et al. (2020) melaporkan bahwa *Penicillium* dapat memproduksi senyawa penting berupa metabolit sekunder, mikotoksin, senyawa antibakteri dan antijamur. Senyawa penisilin yang dihasilkan oleh *Penicillium* dapat membunuh pertumbuhan mikroba patogen. *Penicillium* sp. mengandung senyawa antimikroba berupa *griseofulvin* yang berperan sebagai senyawa antimikroba (Nurulita et al., 2020). Menurut Karpova et al., (2021) *P. chrysogenum* VKPM F-1310 dapat menghambat patogen *Fusarium oxysporum* mencapai 55%. *C. globosum* merupakan salah satu jamur antagonis yang berpotensi sebagai antimikroba dan memiliki kegunaan sebagai agen hayati, jamur ini memiliki kandungan alkaloid yang dapat melindungi tumbuhan dari patogen (Kaur et al., 2020; Triastuti, 2020). Pada penelitian Ma et al., (2023) mengemukakan bahwa penggunaan *C. globosum* CEF-082 memiliki hasil yang baik dalam melawan patogen *Fusarium* spp. dan *Verticillium* spp. Mekanisme yang terjadi dari proses antagonisme *C. globosum* adalah adanya proses metabolit, antibiosis, mikoparasitisme, serta kompetisi ruang dan nutrisi.

Ceratorhiza sp. termasuk jamur kelompok *Binucleate Rhizoctonia* (BNR), kelompok jamur tersebut bersifat nonpatogen. Jamur BNR memiliki kemampuan kolonisasi yang cepat dan kemampuan untuk menekan jamur patogen dalam hal mendapatkan nutrisi dari tanaman sehingga dapat membatasi kejadian dan tingkat keparahan penyakit pada tanaman (Suryantini et al., 2011; Maculewicz, 2015). Selain itu, mekanisme lain dari pertahanan jamur tersebut dengan menghasilkan enzim kitinase yang dapat merusak dinding sel jamur patogen (Haryuni et al., 2014). *Trichoderma* merupakan kelompok jamur biokontrol yang berperan dalam penanggulangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Jamur ini umumnya ditemukan di berbagai lingkungan seperti tanah, udara, dan permukaan tanaman, sehingga mudah beradaptasi dan tersebar luas (Haouhach et al., 2020; Zheng et al., 2021; Wang R. et al., 2022; Yao et al., 2023). *T. asperellum* memiliki nilai serta potensi aplikasi yang besar dalam pengendalian hayati penyakit tanaman (Tyśkiewicz et al., 2022; Yao et al., 2023). Sebagai agen biokontrol, *T. asperellum* dapat menunjukkan berbagai mekanisme tindakan antagonis terhadap patogen tanaman dengan perilaku parasit dan mikoparasit, yang secara

langsung menyerang dan memakan jamur lain. Kemampuan *T. asperellum* dalam menghambat patogen juga didukung oleh produksi yang luas dari enzim ekstraseluler seperti kitinase dan glukonase yang berfungsi dalam mendegradasi komponen dinding sel jamur patogen, seperti kitin dan β -glukan (Kubicek et al., 2001; Zeilinger et al., 2007).

Meskipun berbagai jenis jamur antagonis seperti *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum*, *Ceratorhiza* sp., dan *Trichoderma asperellum* telah diketahui memiliki potensi sebagai agen biokontrol penghambat pertumbuhan patogen. Namun penelitian yang membandingkan kemampuan daya hambat serta mekanismenya dari keempat jamur tersebut terhadap *Fusarium oxysporum* masih terbatas sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi isolat yang paling potensial sebagai agen biokontrol spesifik terhadap *Fusarium oxysporum* pada bawang merah.

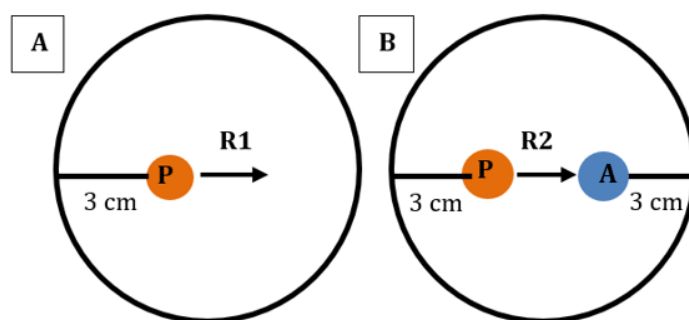
2. BAHAN DAN METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel tanaman bawang merah yang terinfeksi Layu fusarium dilakukan di Sentra Bawang Merah Srikayangan, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian dilakukan pada bulan September 2024 sampai dengan Mei 2025 di Laboratorium Sistematika Tumbuhan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada.

2.2. Identifikasi Jamur Patogen Penyebab Penyakit Moler pada Bawang Merah

Identifikasi jamur patogen pada tanaman bawang merah dilakukan dengan pengambilan sampel tanaman bergejala penyakit, kemudian diisolasi menggunakan medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) menggunakan teknik *plate culture* (Nevalainen et al., 2014). Bagian tanaman yang terinfeksi jamur disiapkan berupa potongan 0,5 x 0,5 cm, disterilkan selama 1 menit dengan natrium hipoklorit (NaOCl) 1 %, dan dibilas dengan akuades sejumlah tiga ulangan pencucian. Setiap cawan petri diisi empat potongan sampel pada keempat sisi yang berbeda. Hasil isolasi tersebut kemudian diinkubasi. Jamur hasil isolasi tersebut dapat dipisahkan dengan cara subkultur. Jamur hasil pemurnian diidentifikasi dengan pengamatan makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan makroskopis meliputi bentuk, tekstur hingga pertumbuhan koloni, sedangkan pengamatan secara mikroskopis dilakukan melalui pembuatan preparat untuk mengamati hifa serta konidia pada jamur yang telah diisolasi dengan mikroskop pada perbesaran 40x dan 100x.



Gambar 1. Uji daya hambat pada cawan petri 3 cm dari tepi: A) Kontrol koloni jamur patogen; B) *dual culture* koloni jamur patogen dan koloni jamur antagonis. Keterangan = P: Patogen; A: Antagonis.

2.3. Karakterisasi Jamur Antagonis

Karakterisasi dilakukan melalui pengamatan makroskopis dan mikroskopis. Karakterisasi makroskopis yang diamati diantaranya adalah warna, tekstur, diameter, hingga kecepatan pertumbuhan dari jamur antagonis. Karakterisasi mikroskopis dilakukan di bawah mikroskop dengan melihat hifa, sekat, hingga ciri khas dari jamur antagonis. Isolat jamur antagonis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Penicillium chrysogenum* dari PT. Indonesia Paramartha Lab Samarinda, *Cerathozia* sp. dari akar tanaman *Dendrobium lineale*, *Chaetomium globosum* dari Indonesia Culture Collection (InaCC) BRIN, dan *Trichoderma asperellum* dari Laboratorium Hama Penyakit Tanaman Universitas Brawijaya.

2.4. Pengukuran Daya Hambat Jamur Antagonis terhadap Jamur Patogen

Pengukuran daya hambat dilaksanakan untuk menentukan persentase penghambatan dari jamur antagonis terhadap jamur patogen. Metode pengujian daya hambat dilakukan dengan cara memindahkan isolat jamur patogen dan jamur antagonis yang telah diremajakan sebelumnya secara berlawanan menggunakan *cork borer* berdiameter 0,5 cm dalam cawan petri baru (Gambar 3). Persentase daya hambat dihitung menggunakan rumus (Ali & Samosir, 2021) sebagai berikut:

$$\% \text{ Daya hambat} = \frac{R1-R2}{R1} \times 100\% \quad (1)$$

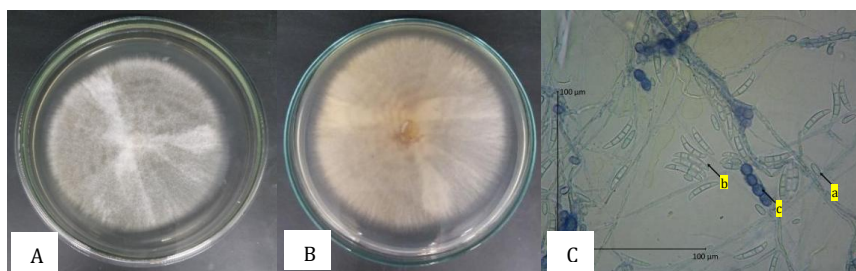
Keterangan: R1 = Jari-jari koloni jamur patogen yang menjauhi koloni jamur antagonis (mm); R2 = Jari-jari koloni jamur patogen yang mendekati koloni jamur antagonis (mm).

Pengukuran daya hambat dilakukan dengan menempatkan jamur patogen pada cawan petri dengan jarak 3 cm dari tepi, serta jamur antagonis berlawanan arah dengan jamur patogen dengan jarak 3 cm dari tepi cawan petri (Ali & Samosir, 2021). Pertumbuhan diamati hingga terjadi pertemuan antara jamur patogen dengan jamur antagonis. Pengamatan makroskopis dilakukan melalui pengukuran zona pertumbuhan masing-masing jamur serta perhitungan persentase daya hambat. Untuk mekanisme daya hambat dari kedua jamur tersebut dilakukan melalui pembuatan preparat semi permanen dengan pewarnaan *trypan blue*. Pertemuan hifa diamati menggunakan metode *adhesive tape preparation (cellophane tape prep)* (Hasbi, 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Jamur Patogen Penyebab Layu Fusarium pada Bawang Merah

Bagian tanaman bawang merah yang terinfeksi patogen diisolasi dalam media PDA. Hasil isolasi dipurifikasi dalam media PDA baru untuk dilakukan identifikasi. Hasil purifikasi dari isolat tersebut diamati karakteristiknya secara makroskopis dan mikroskopis. Karakter-karakter isolat yang diidentifikasi dibandingkan dengan referensi dari penelitian terdahulu (Tabel 1).



Gambar 2. Karakter makroskopis dan mikroskopis *Fusarium oxysporum*: A) koloni (bagian atas); B) koloni (bagian bawah); dan C) struktur mikroskopis (a) mikrokonidia; (b) makrokonidia; (c) khamidospora.

Tabel 1. Karakterisasi Jamur Patogen Penyebab Layu Fusarium pada Bawang Merah.

Karakter Morfologi	Karakter patogen	Keterangan referensi
Bentuk koloni	Melingkar	Melingkar (Nuraini <i>et al.</i> , 2017)
Warna permukaan atas	Putih	Putih (Pamekas <i>et al.</i> , 2017)
Warna permukaan bawah	Putih	Putih (Herawati <i>et al.</i> , 2015)
Tekstur	Halus mengembang	Halus dan mengembang seperti kapas (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Pola pertumbuhan	Menggumpal, tipis	Tipis dan menggumpal (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Laju pertumbuhan	Lambat	Lambat (Sutejo <i>et al.</i> , 2008)
Hifa	Bercabang, bersekat	Bersekat dan bercabang (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Warna hifa	Hialin	Hialin (Pamekas <i>et al.</i> , 2020)
Struktur makrokonidia	Bulan Sabit	Seperti bulan sabit (Wardhana <i>et al.</i> , 2021)
Sekat makrokonidia	3-5 sekat	3 – 5 sekat (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Ukuran makrokonidia	13,62 x 2,88 μm	11,3–21,2 μm x 2,7–3,4 μm (Wardhana <i>et al.</i> , 2021)
Struktur mikrokonidia	Oval	Oval (Wardhana <i>et al.</i> , 2021)
Sekat mikrokonidia	Tidak bersekat	Tidak ada sekat – 2 sekat (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Ukuran mikrokonidia	5,33 x 2,14 μm	2,6 – 14,8 μm x 2 – 3,1 μm (Asrul <i>et al.</i> , 2021)
Klamidospora	Bulat, berantai	Bulat dan berantai (Asrul <i>et al.</i> , 2021)

Berdasarkan hasil identifikasi jamur patogen pada Tabel 1. dapat diketahui bahwa secara makroskopis jamur tersebut memiliki karakteristik bentuk koloni melingkar, koloni berwarna putih, koloni memiliki struktur halus mengembang, pola pertumbuhan koloni menggumpal atau tipis, serta laju pertumbuhan koloni jamur tersebut lambat (Sutejo *et al.*, 2008; Herawati *et al.*, 2015; Nuraini *et al.*, 2017; Pamekas *et al.*, 2020; Asrul *et al.*, 2021). Secara mikroskopis, jamur tersebut memiliki karakteristik tipe hifa bercabang dan bersekat, hifa berwarna hialin, struktur makrokonidia berbentuk seperti bulan sabit atau kano, ukuran makrokonidia sebesar 13,62 x 2,88 μm , struktur mikrokonidia berbentuk oval, tidak bersekat, dan berukuran 5,33 x 2,14 μm , serta memiliki klamidospora berbentuk bulat berantai (Pamekas *et al.*, 2020; Asrul *et al.*, 2021; Wardhana *et al.*, 2021). Berdasarkan karakter yang telah didapatkan, jamur patogen hasil isolasi memiliki kesesuaian dengan karakter yang dimiliki oleh *Fusarium oxysporum* menurut referensi pada Tabel 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa jamur patogen hasil isolasi merupakan spesies *Fusarium oxysporum*.

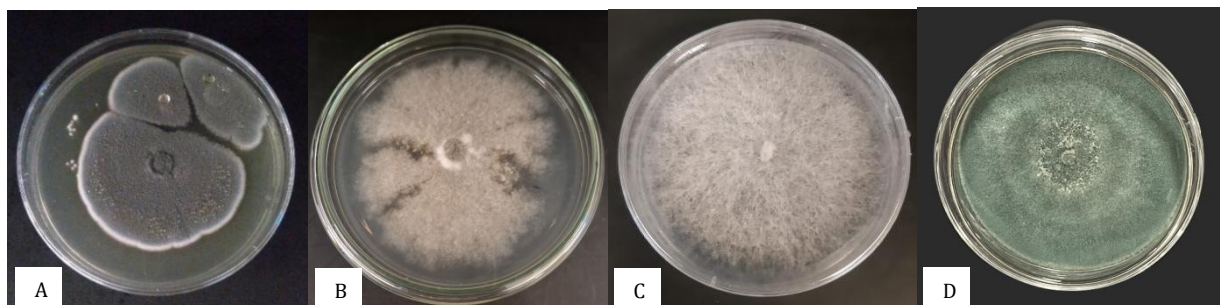
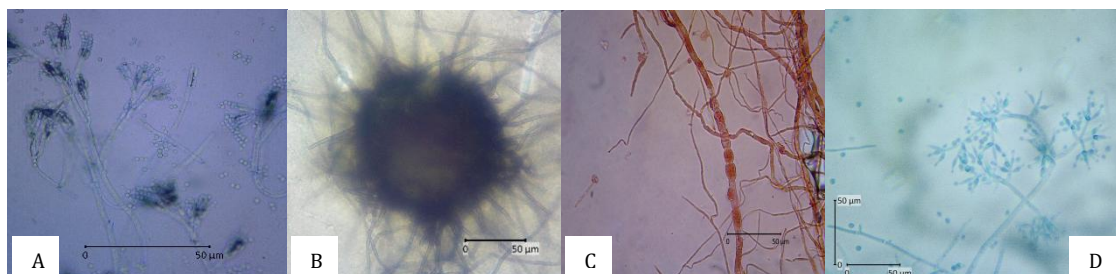
3.2 Karakterisasi Jamur Antagonis

Karakterisasi jamur antagonis secara makroskopis dan mikroskopis dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 2. Karakter-karakter yang diperoleh digunakan sebagai bukti pendukung dalam mengetahui potensi dan peran ekologis jamur (Putri & Anhar, 2024). Berdasarkan hasil karakterisasi pada Tabel 2. diketahui bahwa karakter *Penicillium chrysogenum* secara makroskopis meliputi warna koloni dari bagian atas biru-hijau, warna koloni bagian bawah kuning muda, permukaan koloni bertekstur *velvety*, bereksudat, dan tepi *irregular* (Barcus *et al.*, 2005; Abastabar *et al.*, 2016; Rahmawati *et al.*, 2016; Nuraini *et al.*, 2017; Lubis & Wati, 2022; Li *et al.*, 2023). Karakter mikroskopis jamur *P. chrysogenum* berupa hifa bersepta, hialin, konidia *globose*, metula silinder, fialid ampulliform, askospora dalam bentuk *cleistocia*, memiliki satu inti sel, dan struktur konidiofor bercabang (Barcus *et al.*, 2005; Bandh *et al.*, 2011; Abastabar *et al.*, 2016; Rahmawati *et al.*, 2016).

Chaetomium globosum memiliki ciri khas makroskopis berupa warna koloni bagian atas putih ketika pertumbuhan muda dan semakin coklat ketika sudah bertumbuh, warna koloni bagian bawah *orange* kecoklatan, tekstur permukaan dari jamur ini adalah *cottony* (Aggrawal, 2015; Watanabe, 1937). Ciri khas mikroskopis dari jamur ini adalah adanya perithecia dengan bentuk *subglobose* dan elips, adanya rambut terminal, rambut terminal ini ada pada perithecia, lalu adanya askospora berbentuk *limoniform* atau seperti lemon (Aggrawal, 2015; Watanabe, 1937).

Tabel 2. Karakterisasi Jamur Antagonis Agen Biokontrol Patogen pada Bawang Merah.

Karakter Morfologi	Hasil Pengamatan			
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Ceratorhiza</i> sp.	<i>Trichoderma asperellum</i>
Warna permukaan atas	Biru-hijau	Putih-Kecoklatan	Putih	Hijau kebiruan
Warna permukaan bawah	Kuning muda	Orange kecoklatan	Putih kecoklatan	Kuning kehijauan
Tekstur	Velvety	Cottony	Cottony	Cottony
Pola pertumbuhan				Radial
Tepi koloni	<i>Irregular</i>	<i>Irregular</i>	Undulate	<i>Irregular</i>
Eksudat	Ada	Ada	Ada	Tidak ada
Hifa	Bersepta	Modifikasi hifa rambut terminal	Bersepta	Bersepta
Warna hifa	Hialin	-	Hialin	Hialin
Warna rambut terminal	-	Coklat zaitun	-	-
Konidia	Ada	-	-	Ada
Bentuk konidia	<i>Globose</i>	-	-	<i>Globose, subglobose</i>
Metula	Silinder	-	-	-
Fialid	Ampulliform	-	-	Ampuliform
Askospora	Ada	Ada	-	-
Bentuk askospora	Bulat	Limoniform	-	-
Bentuk askokarp	Cleistocia	Perithecia	-	-
Jumlah inti sel	Uninukleat	-	Binukleat	Multinukleat
Konidiofor	Bercabang	-	-	Bercabang
Hifa percabangan 90°	-	-	Ada	Ada
Sel monilioid	-	-	Ada	-

Gambar 3. Karakter makroskopis koloni jamur: A) *Penicillium chrysogenum*, B) *Chaetomium globosum*, C) *Ceratorhiza* sp., dan D) *Trichoderma asperellum* pada media PDA.Gambar 4. Karakter mikroskopis koloni jamur: A) *Penicillium chrysogenum*, B) *Chaetomium globosum*, C) *Ceratorhiza* sp., dan D) *Trichoderma asperellum*. Bar = 50 µm.

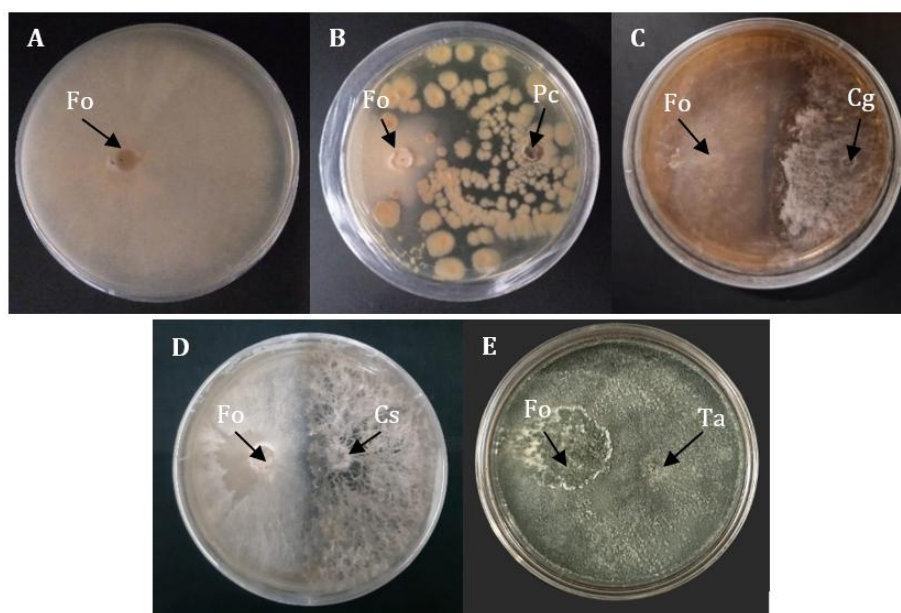
Ceratorhiza sp. memiliki karakter makroskopis meliputi warna permukaan atas koloni berwarna putih, warna permukaan bawah koloni berwarna putih kecoklatan, koloni memiliki tekstur cottony, dan terdapat eksudat di sekitar koloni. Sementara itu, karakter mikroskopis jamur *Ceratorhiza* sp. berupa hifa bersepta, warna hifa hialin, inti sel berjumlah dua (binukleat), terdapat

percabangan hifa 90° dan terdapat sel monilioid (Athipunyakom *et al.*, 2004; Suryantini *et al.*, 2015). Ciri spesifik *Ceratorhiza* adalah bentuk sel monilioid yang elips atau *elongate barrel shape* dengan ukuran 7.5-15.0 x 10.0-25.0 µm (Mahfut, 2021).

Trichoderma asperellum memiliki karakteristik makroskopis meliputi warna koloni tampak atas hijau kebiruan, warna koloni tampak bawah kuning kehijauan, koloni bertekstur *cottony* dengan tepi koloni *smooth* (Saputra *et al.*, 2022). Pada karakteristik mikroskopis meliputi hifa bersepta dengan warna hialin, memiliki konidia berbentuk globose hingga *subglobose*, konidiofor bercabang, fialid *ampuliform* dan terdapat percabangan hifa 90° (Samuels & Nirenberg, 1999).

3.3 Mekanisme Antagonis Jamur dalam Menghambat Patogen

Mekanisme antagonisme jamur terhadap patogen *Fusarium oxysporum* dapat diamati berdasarkan penampakan pertumbuhan kedua jamur hingga memenuhi cawan petri. Jamur patogen memiliki koloni yang lebih besar pada perlakuan kontrol dibandingkan pada perlakuan *dual culture*. Hasil pengujian antagonisme dicantumkan pada Gambar 5. Mekanisme antagonis antara jamur antagonis dengan *F. oxysporum* dalam penelitian ini meliputi kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme. Mekanisme kompetisi terjadi pada isolat *Penicillium chrysogenum* dan *Chaetomium globosum*. Mekanisme antibiosis terjadi pada isolat *P. chrysogenum*, *C. globosum*, dan *Ceratorhiza* sp. Mekanisme mikoparasitisme terjadi pada isolat *P. chrysogenum*, *Ceratorhiza* sp. dan *T. asperellum* (Tabel 3). Mekanisme kompetisi yang terjadi pada perlakuan *dual culture* antara jamur *F. oxysporum* dengan jamur antagonis ditandai oleh koloni jamur antagonis lebih mendominasi dalam ruang dan nutrisi dibandingkan jamur patogen *F. oxysporum*. Pengaruh kandungan enzim selulase pada *P. chrysogenum* dapat menyebabkan pembentukan spora pada fungi terhambat (Safitri *et al.*, 2022; Muhibuddin *et al.*, 2024). Antibiosis terjadi dikarenakan *P. chrysogenum*, *C. globosum*, dan *Ceratorhiza* sp. memiliki kandungan *antifungal* yang dapat menghambat pertumbuhan dari *Fusarium oxysporum* (Park *et al.*, 2005; Nurulita *et al.*, 2020). Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya zona bening pada awal pertumbuhan koloni perlakuan *dual culture*, kemudian terjadi perubahan warna media sebagai respon mekanisme antibiosis jamur.



Gambar 5. Hasil *dual culture* antara jamur antagonis dan *Fusarium oxysporum*: A) Kontrol *F. oxysporum*, B) *F. oxysporum* + *Penicillium chrysogenum*, C) *F. oxysporum* + *Chaetomium globosum*, D) *F. oxysporum* + *Ceratorhiza* sp., E) *F. oxysporum* + *Trichoderma asperellum*.

Isolat *P. chrysogenum*, *Ceratorhiza* sp. dan *T. asperellum* juga memiliki mekanismeambat berupa mikoparasitisme yang memungkinkan jamur tersebut menyerang jamur patogen secara langsung. Proses ini melibatkan pelepasan enzim perusak dinding sel serta pembentukan *appressoria* dan hifa yang melekat pada akar tanaman, dimediasi oleh protein mirip hidrofobin. Oleh karena itu, isolat *P. chrysogenum*, *Ceratorhiza* sp. dan *T. asperellum* dapat lebih cepat menutup zona bening yang terbentuk di awal dibandingkan jamur *F. oxysporum* (Haryuni et al., 2014; Mendoza et al., 2018).

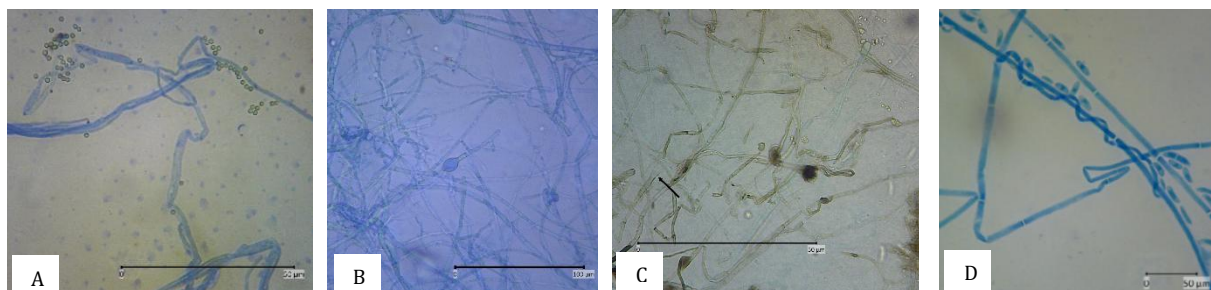
Mekanisme jamur antagonis dalam menghambat pertumbuhan jamur patogen *Fusarium oxysporum* diamati melalui jari-jari koloni jamur patogen antara perlakuan kontrol dan *dual culture*. Hasil dari pengamatan tersebut diperoleh persentase daya hambat jamur antagonis untuk dikategorikan tingkat hambatan yang dihasilkan. Semakin tinggi persentase antagonisme jamur, semakin tinggi potensi jamur antagonis dalam menghambat jamur patogen (Muhibuddin et al., 2024). Hasil daya hambat jamur antagonis terhadap jamur patogen *F. oxysporum* dicantumkan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengamatan uji antagonisme jamur antagonis terhadap *F. oxysporum* pada Tabel 3, kategori jamur antagonis dalam penelitian ini diperoleh kategori sangat tinggi, tinggi, dan sedang (Muhibuddin et al., 2024). Daya hambat *Trichoderma asperellum* memiliki potensi terbesar dalam menghambat jamur patogen *Fusarium oxysporum* sebesar 88,71% dengan kategori sangat tinggi. Kategori tinggi terdapat pada isolat *Penicillium chrysogenum* dan *Ceratorhiza* sp. dengan nilai persentase hambatan sebesar 64,14% dan 53,01%. Daya hambat yang sangat tinggi pada *T. asperellum* termasuk dalam kategori antagonis sangat kuat dan efektif digunakan sebagai agen biokontrol untuk mengendalikan *F. oxysporum*. *T. asperellum* mampu menutupi seluruh permukaan miselium koloni patogen. Hal ini membatasi perkembangan *F. oxysporum* yang menandakan adanya kompetisi kuat antara kedua jamur tersebut. Penghambatan secara makroskopis melalui penguasaan ruang dan perebutan nutrisi, serta secara mikroskopis melalui mekanisme kompetisi dan mikoparasitisme (Pasalo et al., 2022). Sementara itu, isolat *Chaetomium globosum* memiliki persentase daya hambat 37,40% dengan kategori sedang apabila dibandingkan dengan jamur antagonis lainnya. Penelitian ini sejalan dengan Huu Phong et al., (2016) bahwa persentase daya hambat dari *C. globosum* terhadap *Fusarium oxysporum* mencapai 31,69% hingga 34,03%. Penelitian tersebut melaporkan uji daya hambat dengan miselium cenderung rendah, sedangkan daya hambat dengan perlakuan konidia cenderung lebih tinggi. Jamur *C. globosum* dapat menghambat *F. oxysporum* dengan mekanisme antibiosis. Mekanisme tersebut ditandai oleh adanya lisis pada hifa jamur patogen saat diamati secara mikroskopis.

Pengamatan interaksi hifa antara jamur patogen *F. oxysporum* secara mikroskopis dengan jamur kandidat biokontrol. Hasil pengamatan interaksi hifa secara mikroskopis dicantumkan pada Gambar 6. Berdasarkan pengamatan mikroskopis, interaksi hifa jamur antagonis terhadap jamur *Fusarium oxysporum* menyebabkan terjadinya malformasi hifa (Gambar 6). Hifa *F. oxysporum* mengalami pelisisan hifa saat berinteraksi dengan *P. chrysogenum* dan *C. globosum* (Gambar 6A dan 6B). Kandungan terpenoid dari *P. chrysogenum* mempengaruhi pembentukan membran dan sintesis dinding sel dari *F. oxysporum*. Hal ini menyebabkan proses pembentukan dinding sel hifa patogen tidak tersintesis secara utuh sehingga terjadi lisis (Putra & Purwantisari, 2018; Nurulita et al., 2020). Hasil serupa ditemukan pada penelitian Nicoletti & Stefano (2012), bahwa hifa *Penicillium restrictum* mampu melisis hifa *Fusarium solani* dengan melakukan penetrasi struktur haustorium dan memakan isi sel patogen sebagai sumber makanan. Interaksi *F. oxysporum* dengan *C. globosum* juga menunjukkan lisis pada hifa *F. oxysporum* karena *C. globosum* mengandung senyawa antifungal dan mampu menguraikan dinding sel patogen (Aggarwal, 2015). Hasil ini berbanding lurus dengan penelitian Biswas et al. (2012) bahwa *C. globosum* memiliki mekanisme antibiosis dengan cara mengeluarkan *antifungal* yang akan melisis hifa jamur patogen. Dinding sel yang terurai oleh *C. globosum* akan dipakai sebagai sumber karbon dan nitrogen, proses lisis juga terjadi karena adanya enzim hidrolitik penghancur dinding sel (Darshan et al., 2020).

Tabel 3. Pengujian Daya Hambat Jamur Antagonis terhadap *Fusarium oxysporum*.

Jenis Jamur Antagonis	Persentase (%)	Kategori	Mekanisme daya hambat
<i>Penicillium chrysogenum</i>	64,14	Tinggi	Kompetisi, Antibiosis, Mikoparasitisme
<i>Chaetomium globosum</i>	37,40	Sedang	Kompetisi, Antibiosis
<i>Ceratorhiza</i> sp.	53,01	Tinggi	Antibiosis, Mikoparasitisme
<i>Trichoderma asperellum</i>	88,71	Sangat tinggi	Mikoparasitisme



Gambar 6. Interaksi antara hifa *Fusarium oxysporum* dengan hifa jamur antagonis: (A) mekanisme pelisisan hifa dengan *Penicillium chrysogenum*; (B) mekanisme pelisisan hifa dengan *Chaetomium globosum*; (C) mekanisme pelilitan hifa dengan *Ceratorhiza* sp.; dan (D) mekanisme pelilitan hifa dengan *Trichoderma asperellum*. Bar= 50 µm.

Sementara itu, interaksi yang terjadi pada *Ceratorhiza* sp. dan *T. asperellum* menunjukkan pelilitan hifa kedua jamur antagonis tersebut pada hifa *F. oxysporum* (Gambar 5C dan 5D). Penelitian oleh Katherine & Kasiandari (2016) menyatakan bahwa jamur kelompok BNR seperti *Ceratorhiza* sp., *Sistrotrema* sp., dan *Moniliopsis* sp. mampu melakukan kontak secara langsung pada hifa jamur patogen dengan cara melilitkan hifanya pada *F. oxysporum* dan menghambat pertumbuhan jamur patogen tersebut. Terjadinya lisis pada hifa *F. oxysporum* yang berinteraksi dengan *Ceratorhiza* sp. diakibatkan karena reaksi antibiosis dari jamur antagonis tersebut yang dapat mendegradasi kitin dan merusak dinding sel hifa *F. oxysporum* (Haryuni et al., 2014). Hifa *Trichoderma asperellum* melilit hifa *F. oxysporum* menunjukkan interaksi mikoparasitisme diikuti dengan penetrasi langsung ke dalam sel patogen. Penelitian oleh Woo et al., (2006) menyebutkan bahwa proses *T. asperellum* melakukan pelilitan terhadap hifa patogen yang diikuti oleh aktivitas enzim pendegradasi dinding sel (CWDEs) seperti glukukanase, kitinase, dan protease. Enzim-enzim ini mempunyai peran melarutkan komponen dinding sel patogen, sehingga memfasilitasi penetrasi dan penyerapan nutrisi oleh *T. asperellum* dari hifa patogen yang dililitnya. Proses ini kemudian menyebabkan pelisisan hifa *F. oxysporum* yang ditandai dengan keluarnya sitoplasma akibat degradasi dinding sel oleh enzim litik yang dihasilkan oleh *Trichoderma* (Chet, 1990; Sudirman et al., 2011).

4. KESIMPULAN

Trichoderma asperellum menunjukkan penghambatan tertinggi terhadap *Fusarium oxysporum* melalui mikoparasitisme, diikuti *Penicillium chrysogenum* dan *Ceratorhiza* sp. melalui mekanisme kompetisi, antibiosis, dan mikoparasitisme. *T. asperellum*, *P. chrysogenum*, dan *Ceratorhiza* sp. berpotensi dikembangkan sebagai agen biokontrol terhadap *F. oxysporum*, namun diperlukan uji efikasi lebih lanjut di lapangan untuk memastikan efektivitas dan konsistensinya dalam kondisi budidaya bawang merah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada yang telah memberi dana penelitian melalui Hibah Kolaborasi Dosen dan Mahasiswa (KDM) tahun 2025. Penelitian ini merupakan bagian dari skripsi di bawah bimbingan RSK.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abastabar, M., Mirhendi, H., Hedayati, M. T., Shokohi, T., Rezaei-Matehkolaei, A., Mohammadi, R., Badali, H., Moazeni, M., Haghani, I., Ghoghhi, A., & Akhtari, J. (2016). Genetic and morphological diversity of the genus *Penicillium* from Mazandaran and Tehran provinces, Iran. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 9(1), Article e28280. <https://doi.org/10.5812/jjm.28280>
- Aggarwal, R. (2015). *Chaetomium globosum*: A potential biocontrol agent and its mechanism of action. *Indian Phytopathology*, 68(1), 8–24.
- Ali, M., & Samosir, I. Y. (2021). Uji antagonisme jamur endofit tanaman aren (*Arenga pinnata* Merr.) terhadap *Ganoderma boninense* Pat. penyebab penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit. *Jurnal Agrikultura*, 32(3), 304–311. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i3.36611>
- Assaf, C. E. H., Zetina-Serrano, C., Tahtah, N., Khoury, A. E., Atoui, A., Oswald, I. P., Puel, O., & Lorber, S. (2020). Regulation of secondary metabolism in the *Penicillium* genus. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), Article 9462. <https://doi.org/10.3390/ijms21249462>
- Athipunyakom, P., Manoch, L., & Piluek, C. (2004). Isolation and identification of mycorrhizal fungi from eleven terrestrial orchids. *Agriculture and Natural Resources*, 38(2), 216–228.
- Bandh, S. A., Kamili, A. N., & Ganai, B. A. (2011). Identification of some *Penicillium* species by traditional approach of morphological observation and culture. *African Journal of Microbiology Research*, 5(21), 3493–3496. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.677>
- Barcus, A. L., Burdette, S. D., & Herchline, T. E. (2005). Intestinal invasion and disseminated disease associated with *Penicillium chrysogenum*. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 4, Article 21. <https://doi.org/10.1186/1476-0711-4-21>
- Biswas, S. K., Aggarwal, R., Srivastava, K. D., Gupta, S., & Dureja, P. (2012). Characterization of antifungal metabolites of *Chaetomium globosum* Kunze and their antagonism against fungal plant pathogens. *Journal of Biological Control*, 26(1), 70–74.
- Budiarti, S. W., Cahyaningrum, H., & Nugroho, M. A. S. (2022). Inventarisasi penyakit bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) varietas Lokananta asal biji (*True Shallot Seed*). *AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health*, 3(2), 143–153. <https://doi.org/10.20961/agrihealth.v3i2.64617>
- Cahyaningrum, H., Nurhayati, N., Nurmili, N., Suneth, R. F., Sirajuddin, S., Gazali, I., Hafid, A., Lenin, I., & Meilin, A. (2023). Penyakit moler pada bawang merah. *Jurnal Media Pertanian*, 8(2), 152–155. <https://doi.org/10.33087/jagro.v8i2.213>
- Charoenporn, C., Kanokmedhakul, S., Lin, F. C., Poeaim, S., & Soyong, K. (2010). Evaluation of bio-agent formulations to control *Fusarium* wilt of tomato. *African Journal of Biotechnology*, 9(36), 5836–5844. <https://doi.org/10.5897/AJB10.260>
- Chet, I. (1990). Biological control of soil-borne plant pathogens with fungal antagonists in combination with soil treatments. In D. Hornby, R. J. Cook, Y. Henis, W. H. Ko, A. D. Rovira, B. Schippers, & P. R. Scott (Eds.), *Biological control of soil-borne plant pathogens* (pp. 15–25). CAB International.
- Darshan, K., Aggarwal, K., Bashyal, B. M., Singh, J., Shanmugam, V., Gurjar, M. S., & Solanke, A. U. (2020). Transcriptome profiling provides insights into potential antagonistic mechanisms involved in *Chaetomium globosum* against *Bipolaris sorokiniana*. *Frontiers in Microbiology*, 11, Article 578115. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.578115>

- Djamaluddin, R. R., Sukmawaty, E., Masriany, M., & Hafsan, H. (2022). Identifikasi gejala penyakit dan cendawan patogen tanaman bawang merah (*Allium ascolonicum*) di Kecamatan Buntu Batu Kabupaten Enrekang. *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 16(1), 81–92. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v16i1.26027>
- Druzhinina, I. S., Kubicek, C. P., & Schatz, A. (2005). *Trichoderma* biodiversity and its applications. Dalam *Biology of microorganisms* (pp. 37–56). Springer.
- Haouhach, S., Karkachi, N., Oguiba, B., Sidaoui, A., Chamorro, I., Kihal, M., & Monte, E. (2020). Three new reports of *Trichoderma* in Algeria: *T. atrobrunneum* (South), *T. longibrachiatum* (South), and *T. afroharzianum* (Northwest). *Microorganisms*, 8(10), Article 1455. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101455>
- Haryuni, T., Supriyadi, T., & Soemarah, K. D. (2014). Efektivitas jamur *Rhizoctonia binucleate* terhadap perkembangan patogen busuk batang vanili (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*) secara *in vitro*. *Jurnal Ilmiah Agrineca*, 14(2), 1–9.
- Hasbi, N. (2020). Identifikasi jamur penyebab *Tinea manuum* pada pedagang ikan di Pasar Kodim Kota Pekanbaru. *Jurnal Sains dan Teknologi Laboratorium Medik*, 5(2), 1–8.
- Herawati, D., Djauhari, S., & Cholil, A. (2015). Eksplorasi jamur endofit pada daun kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) dan uji antagonis terhadap jamur *Fusarium oxysporum*. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 3(3), 96–103.
- Huu Phong, N., Pongnak, W., & Soyong, K. (2016). Antifungal activities of *Chaetomium* spp. against *Fusarium* wilt of tea. *Plant Protection Science*, 52(1), 10–17. <https://doi.org/10.17221/34/2015-PPS>
- Karpova, N. V., Yaderets, V. V., Glagoleva, E. V., Petrova, K. S., Ovchinnikov, A. I., & Dzhevakhya, V. V. (2021). Antifungal activity of the dry biomass of *Penicillium chrysogenum* F-24-28 and its application in combination with azoxystrobin for efficient crop protection. *Agriculture*, 11(10), Article 935. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100935>
- Kaur, N., Arora, D. S., Kalia, N., & Kaur, M. (2020). Bioactive potential of endophytic fungus *Chaetomium globosum* and GC–MS analysis of its responsible components. *Scientific Reports*, 10, Article 18792. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75722-1>
- Khaterine, & Kasiandari, R. S. (2016). Uji antagonisme tiga isolat fungi endofit anggrek bulan terhadap *Fusarium oxysporum* secara *in vitro*. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 4(1), 47–52. <https://doi.org/10.24252/bio.v4i1.1120>
- Kubicek, C. P., Mach, R. L., Peterbauer, T., & Lorito, M. (2001). *Trichoderma* as biocontrol agent. Dalam *The Mycota X: Industrial applications* (pp. 165–188). Springer.
- Li, T., Su, H., Yu, J., Hao, H., Jia, X., Shi, F., & Xu, C. (2023). Antibacterial metabolites from the beetle-associated fungus *Penicillium chrysogenum*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95(Suppl. 1), Article e20220178. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220178>
- Lubis, S. S., & Wati, E. (2022). Potensi antagonisme cendawan endofit dari jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt) sebagai pengendali patogen *Fusarium* sp. dan *Aspergillus* sp. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 2(1), 188–202. <https://doi.org/10.24036/proseminnasbio/vol2/384>
- Ma, X., Zhang, Y., Wei, F., Zhao, L., Zhou, J., Qi, G., Ma, Z., Zhu, H., Feng, H., & Feng, Z. (2023). Applications of *Chaetomium globosum* CEF-082 improve soil health and mitigate the continuous cropping obstacles for *Gossypium hirsutum*. *Industrial Crops and Products*, 197, Article 116586. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116586>
- Maculewicz, D. (2015). Binucleate *Rhizoctonia* spp. as biocontrol agents against plant pathogens. *Ecological Chemistry and Engineering A*, 22(2), 195–203.
- Mahfut. (2021). Morphological identification of mycorrhizal fungi isolated from native orchid in Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14(5), 1031–1034. <https://doi.org/10.54319/jjbs/140523>

- Manang, A. P. L., Sutoyo, & Sumiati, A. (2024). Review penyakit layu fusarium dan pengendaliannya pada bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Buana Sains*, 24(3), 87–92. <https://doi.org/10.33366/bs.v24i3.6729>
- Mendoza-Mendoza, A., Zaid, R., Lawry, R., Hermosa, R., Monte, E., Horwitz, B. A., & Mukherjee, P. K. (2018). Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: Role of the fungal secretome. *Fungal Biology Reviews*, 32(2), 62–85. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2017.12.001>
- Muhibuddin, A., Yamaniar, F. Y., Sektiono, A. W., & Susanti, A. (2024). Uji antagonisme *Penicillium* spp. UB Forest terhadap patogen penyebab penyakit tanaman cabai. *Agrosaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7(1), 17–28.
- Musa, S. A., Nusaibah, A., & Khairulmazmi, A. (2018). Assessment on *Trichoderma* spp. mixture as a potential biocontrol agent of *Ganoderma boninense* infected oil palm seedlings. *Journal of Oil Palm Research*, 30(3), 403–415. <https://doi.org/10.21894/jopr.2018.0035>
- Nicoletti, R., & Stefano, M. D. (2012). *Penicillium restrictum* as an antagonist of plant pathogenic fungi. *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 6(2), 61–69.
- Nevalainen, H., Kautto, L., & Te'o, J. (2014). Methods for isolation and cultivation of filamentous fungi. In I. T. Paulsen & A. J. Holmes (Eds.), *Environmental microbiology: Methods and protocols* (pp. 3–16). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-712-9_1
- Nuraini, F. R., Setyaningsih, R., & Susilowati, A. (2017). Screening and characterization of endophytic fungi as antagonistic agents toward *Fusarium oxysporum* on eggplant (*Solanum melongena*). *Biodiversitas*, 18(4), 1377–1384. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d180413>
- Nurulita, Y., Yuharmen, Y., Nenci, N., Mellani, A. O., & Nugroho, T. T. (2020). Metabolit sekunder sekresi jamur *Penicillium* spp. isolat tanah gambut Riau sebagai antijamur *Candida albicans*. *Chimica et Natura Acta*, 8(3), 133–143. <https://doi.org/10.24198/cna.v8.n3.32452>
- Pamekas, T. (2020). Respon pertumbuhan cendawan patogenik *Fusarium oxysporum* terhadap metabolit sekunder cendawan antagonis *Trichoderma* sp. *PENDIPA Journal of Science Education*, 4(3), 75–81. <https://doi.org/10.33369/pendipa.4.3.75-81>
- Park, J. H., Choi, G. J., Jang, K. S., Lim, K. H., Kim, H. T., & Cho, J. (2005). Antifungal activity against plant pathogenic fungi of chaetoviridins isolated from *Chaetomium globosum*. *FEMS Microbiology Letters*, 252(2), 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.09.013>
- Pasalo, N. M., Kandou, F. E. F., & Singkoh, M. F. O. (2022). Uji antagonisme jamur *Trichoderma* sp. terhadap patogen *Fusarium* sp. pada tanaman bawang merah *Allium cepa* isolat lokal Tonsewer secara *in vitro*. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 13(2), 48–53. <https://doi.org/10.70561/jal.v13i2.22334>
- Putra, M. B. I., & Purwantisari, S. (2018). Kemampuan antagonisme *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. terhadap *Cercospora nicotianae* *in vitro*. *Jurnal Akademika Biologi*, 7(3), 1–7.
- Putri, U. D., & Anhar, A. (2024). *Trichoderma* sp.: Solusi ramah lingkungan untuk pengendalian patogen dan peningkatan pertumbuhan tanaman. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 4(1), 222–229. <https://doi.org/10.24036/proseminasbio/vol4/939>
- Rahmawati, I., Hastuti, U. S., Sundari, S., & Mastika, L. M. K. (2016). Isolasi dan identifikasi kapang kontaminan pada jenang yang dijual di Trenggalek. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek*, 131–135.
- Rahmawati, R. A., Setiawati, R. A., & Wardoyo, E. R. P. (2020). Pertumbuhan isolat jamur pascapanen penyebab busuk buah pisang ambon (*Musa paradisiaca* L.) secara *in vivo*. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 5(2), 210–217. <https://doi.org/10.20956/bioma.v5i2.11083>
- Safitri, A. L., Mukarlina, & Zakiah, Z. (2022). Daya hambat isolat jamur rizosfer tanaman kopi (*Coffea* sp.) terhadap pertumbuhan jamur penyebab busuk buah kopi (*Coffea* sp.). *Jurnal Bios Logos*, 12(1), 16–24. <https://doi.org/10.35799/jbl.v12i1.35872>

- Samuels, G. J., & Nirenberg, H. I. (1999). *Trichoderma reesei* and related species with *Hypocrea* teleomorphs. *Mycotaxon*, 73, 467–483.
- Saputra, H. S., Lestari, P., & Suparman, S. (2022). Identifikasi dan karakterisasi *Trichoderma asperellum* isolat rizosfer kelapa sawit sebagai agens pengendali hayati. *Jurnal Agroekoteknologi*, 10(2), 187–195.
- Sholeh, M. I., & Nurcahyanti, S. D. (2023). Perkembangan penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*) pada sentra produksi bawang merah di Kabupaten Probolinggo. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 6(2), 56–62. <https://doi.org/10.19184/bip.v6i2.35392>
- Sudirman, A., Sumardiyono, C., & Widyastuti, S. M. (2011). Pengendalian hayati penyakit layu fusarium pisang (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) dengan *Trichoderma* sp. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 17(1), 31–35. <https://doi.org/10.22146/jpti.9396>
- Suryantini, R., Priyatmojo, A., Widyastuti, S. M., & Kasiamdari, R. S. (2011). Karakteristik *Rhizoctonia* spp. dari tanah di bawah tegakan tusam (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese). *Jurnal Budidaya Pertanian*, 7(1), 8–13.
- Suryantini, R., Wulandari, R. S., & Kasiamdari, R. S. (2015). Orchid mycorrhizal fungi: Identification of *Rhizoctonia* from West Kalimantan. *Microbiology Indonesia*, 9(4), 157–162. <https://doi.org/10.5454/mi.9.4.3>
- Sutejo, A. M., Priyatmojo, A., & Wibowo, A. (2008). Identifikasi morfologi beberapa spesies jamur *Fusarium*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 14(1), 7–13. <https://doi.org/10.22146/jpti.11870>
- Taheri, P., Hosseini-Zahani, F., & Tarighi, S. (2024). Binucleate *Rhizoctonia* induced tomato resistance against *Rhizoctonia solani* via affecting antioxidants and cell wall reinforcement. *Heliyon*, 10(6), Article e27881. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27881>
- Triastuti, A. (2020). Fungal endophytes as the source of medicinal natural product. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 16(1), 1–95. <https://doi.org/10.20885/jif.vol16.iss1.art6>
- Tyśkiewicz, R., Nowak, A., Ozimek, E., & Jaroszuć-Ścisęł, J. (2022). *Trichoderma*: The current status of its application in agriculture for the biocontrol of fungal phytopathogens and stimulation of plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(4), Article 2329. <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>
- Waghunde, R. R., Shelake, R. M., & Sabalpara, A. N. (2016). *Trichoderma*: A significant fungus for agriculture and environment. *African Journal of Agricultural Research*, 11(22), 1952–1965. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10584>
- Wang, R., Liu, C., Jiang, X., Tan, Z., Li, H., Xu, S., Zhang, S., Shang, Q., Deising, H. B., Behrens, S. E., & Wu, B. (2022). The newly identified *Trichoderma harzianum* partitivirus (ThPV2) does not diminish spore production and biocontrol activity of its host. *Viruses*, 14(7), Article 1532. <https://doi.org/10.3390/v14071532>
- Wardhana, V. W., Wiyono, S., Hidayat, S. H., & Widodo. (2021). Patogenisitas *Fusarium oxysporum* endofit asal gulma dari pertanaman pisang terhadap bibit pisang Raja Bulu. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.14692/jfi.17.1.1-8>
- Woo, S. L., Scala, F., Ruocco, M., & Lorito, M. (2006). *The molecular biology of the interactions between Trichoderma spp., phytopathogenic fungi, and plants*. *Phytopathology*, 96(2), 181–185. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0181>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14, Article 1160551. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Zeilinger, S., Schinko, T., & Bucher, N. (2007). The fungal plant pathogen *Trichoderma reesei* produces a cell wall degrading enzyme that affects plant growth. *Molecular Plant Pathology*, 8(1), 47–55.

Zheng, H., Qiao, M., Lv, Y., Du, X., Zhang, K.-Q., & Yu, Z. (2021). New species of *Trichoderma* isolated as endophytes and saprobes from Southwest China. *Journal of Fungi*, 7(6), Article 467. <https://doi.org/10.3390/jof7060467>