

***Rhizopagus intraradices* dan *Trichoderma asperellum* sebagai Bioprotektan dan Biofertilizer pada Bawang Merah TSS**

(*Rhizopagus intraradices* and *Trichoderma asperellum* as Bioprotectant and Biofertilizer on True Shallot Seeds)

Puti Maharani, Suryanti*, Tri Joko, Susanto Somowiyarjo

(Diterima Juli 2023/Disetujui Januari 2024)

ABSTRAK

True shallot seed (TSS) merupakan salah satu alternatif teknologi yang berpotensi dikembangkan dalam upaya mengatasi perbenihan bawang merah di Indonesia. Kendala lain dalam produksi bawang merah adalah penyakit penting yang menginfeksi bawang merah, yakni penyakit bercak ungu dan moler. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemanfaatan *Rhizopagus intraradices* dan *Trichoderma asperellum* sebagai bioprotektan dan biofertilizer. *T. asperellum* diaplikasikan dengan cara dicampurkan pada tanah sebelum penanaman bibit, sedangkan *R. intraradices* diaplikasikan pada lubang tanam pada saat pemindahan bibit. Parameter yang diamati adalah pertumbuhan dan perkembangan tanaman, intensitas dan insidensi penyakit bercak ungu serta moler merah, dan respons ketahanan umbi hasil panen terhadap *Fusarium solani*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* dapat memengaruhi produksi umbi TSS 35,6%, menekan perkembangan penyakit tanaman dan meningkatkan ketahanan umbi bawang merah terhadap patogen *F. solani* pada periode pascapanen, ditunjukkan dengan perlakuan *R. intraradices* yang memiliki luas infeksi hanya 21,99 mm², diikuti dengan perlakuan *T. asperellum* 26,63 mm², dan perlakuan kontrol 37,66 mm².

Kata kunci: *Rhizopagus intraradices*, *Trichoderma asperellum*, true Shallot Seed

ABSTRACT

True shallot seed (TSS) is one of the alternative potential technologies to solve the availability of seed quality on shallot in Indonesia. Another problem in shallot production is infection by purple blotch and twisted disease. This research evaluated the potency of *Rhizopagus intraradices* and *Trichoderma asperellum* as bioprotectants and biofertilizer. *T. asperellum* was mixed in the soil before seedling transplanting, and *R. intraradices* was applied around the seedling roots at transplanting. The observed parameters were the shallot growth (the plant height, number of leaves, and length of root), plant health (disease incidence and intensity), and bulb resistance to *Fusarium solani*. The result showed that *R. intraradices* and *T. asperellum* increased the resistance of onion bulbs to the pathogen *F. solani* in the postharvest period, indicated by *R. intraradices* treatment that had an infection area of 21.99 mm², followed by *T. asperellum* treatment 26.63 mm², and control of 37.66 mm².

Keywords: *Rhizopagus intraradices*, *Trichoderma asperellum*, true shallot seed

PENDAHULUAN

True shallot seed (TSS) adalah benih bawang merah yang berasal dari biji dan merupakan salah satu alternatif penggunaan bahan tanam bawang merah selain umbi. Kelebihan menggunakan TSS antara lain biaya benih jauh lebih murah dibandingkan dengan umbi benih. Tanaman bawang merah yang ditanam dari TSS memiliki produksi yang lebih stabil, hasil yang lebih tinggi, bebas dari hama dan penyakit, volume benih lebih rendah, biaya produksi lebih murah, dan tidak ada transportasi serta penyimpanan khusus untuk TSS (Askhari-Khorasgani & Pessaraki

2019). TSS untuk produksi bibit bawang merah belum banyak diterapkan oleh petani bawang merah di Indonesia. Penyebabnya antara lain ialah terbatasnya ketersediaan benih TSS dan belum ditemukannya teknologi pembibitan dan pembudidayaan bawang merah dari TSS yang lebih efisien. Transisi adaptasi teknik budi daya bawang merah dari penggunaan bibit umbi yang relatif mudah beralih menggunakan benih TSS masih sulit di tingkat petani karena budi daya tanaman bawang merah menggunakan benih TSS memerlukan ketekunan pemeliharaan terutama di awal pertumbuhan (Makhziah *et al.* 2019). Oleh karena itu, benih TSS yang baik pada masa persemaian sangat penting dirawat.

Penyakit jamur penting yang menginfeksi bawang merah adalah penyakit moler yang disebabkan oleh beberapa spesies *Fusarium* spp. yaitu *Fusarium solani*, *F. acutatum*, dan *F. oxysporum* (Lestiyani *et al.* 2016) dan penyakit bercak ungu yang disebabkan

Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora No.1, Bulaksumur, Sleman, Yogyakarta 55281

* Penulis Korespondensi:

Email: suryanti.faperta@ugm.ac.id

oleh patogen *Alternaria porri* (Ellis) Ciffis. Kedua penyakit tersebut dapat menggagalkan panen dan dapat menjadi patogen pascapanen pada bawang merah. Dalam 3 tahun terakhir, infeksi patogen moler meningkat nyata terutama di musim hujan, dan dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 40% (Supyani *et al.* 2020), sementara kehilangan hasil karena penyakit bercak ungu mencapai 50% sampai 57%, bahkan dapat menyebabkan gagal panen (Gunaeni 2015).

Pengendalian penyakit tanaman dengan memanfaatkan agens pengendali hayati oleh beberapa peneliti menunjukkan hasil positif (El-Mougy & Abdel-Kader 2019). Simbiosis jamur mikoriza arbuskular (JMA) dapat menyebabkan sistem akar tanaman inang tumbuh, menebal, dan meningkatkan percabangan, mempercepat lignifikasi dinding sel, menebalkan epidermis ujung akar, dan meningkatkan jumlah lapisan sel. JMA juga dapat mengubah struktur morfologis akar, dengan demikian secara efektif memperlambat proses infeksi akar oleh patogen. JMA dapat menghasilkan zat kimia seperti fitokimia, kalus, alkaloid, dan fenol pada permukaan baik bagian dalam maupun luar hifa akar. Metabolit sekunder ini bermanfaat bagi tanaman, membantu tanaman inang melawan infeksi yang disebabkan oleh patogen (Weng *et al.* 2022). Inokulasi *R. intraradices* bermanfaat dalam meningkatkan pertumbuhan dan bobot kering tanaman (Sarkar *et al.* 2018), berpengaruh pada produksi biomassa tanaman dan melindungi tanaman dari stres yang disebabkan oleh logam berat di tanah (Huang *et al.* 2017) dengan mendukung peningkatan serapan hara, terutama P, yang terlibat dalam mekanisme detoksifikasi tanaman (Bahraminia *et al.* 2016). *R. intraradices* dapat secara efektif meningkatkan proses fotosintesis dan penyerapan air tanah yang lebih baik, berpengaruh nyata dalam meningkatkan bobot 100 biji, hasil biji per tanaman, hasil per 0,04 ha, polong per tanaman, jumlah biji per tanaman, jumlah cabang, tinggi tanaman, dan bobot segar akar dan pucuk dibandingkan dengan tanaman kedelai yang tidak diinokulasi. Penyakit itu busuk akar kedelai menurun secara nyata dengan inokulasi jamur ini. Dari penelitian ini juga ditemukan bahwa inokulasi *R. intraradices* dapat meningkatkan keragaman mikrob pada tanah rizosfer kedelai (Jie *et al.* 2021).

Aplikasi *Trichoderma* sebagai agens pengendali hayati dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang merah antara lain membuat tanaman lebih vigor, meningkatkan ketahanan tanaman, berfungsi sebagai dekomposer yang dapat memperbaiki kesuburan tanah, serta meningkatkan penyerapan nutrisi bagi tanaman (Rizal *et al.* 2019). Mekanisme *Trichoderma* sp. untuk menekan terjadinya penyakit tanaman antara lain karena kompetisi untuk nutrisi dan ruang, sintesis metabolit antijamur, mikoparasitisme, produksi enzim litik yang mendegradasi dinding sel jamur patogen tanaman, dan juga sebagai induksi ketahanan tanaman (Saravanakumar *et al.*

2016). *Trichoderma* sp. dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan dan menghasilkan banyak konidium dan klamidospora (Hassan *et al.* 2019). Berdasarkan eksperimen Win *et al.* (2021), *T. asperellum* dapat menekan pertumbuhan fitopatogen 65–74% dan menghambat perkecambahan spora 30–75%. Selain itu, *T. asperellum* dilaporkan menghasilkan enzim mikolitik (kitinase dan β -1,3-glukanase), yang berpotensi mendegradasi dinding sel fitopatogen dan aktivitas enzimatik dari kitinase dan β -1,3-glukanase. *T. asperellum* memperlihatkan aktivitas antijamur terhadap 4 spesies jamur fitopatogenik dari genus *Fusarium*. Fungi ini mengekspresikan efek anti-patogen berdasarkan berbagai mekanisme, termasuk daya saing, antibiosis, dan mikoparasitisme, serta berpotensi digunakan sebagai agens pengendali hayati untuk mengatasi penyakit yang disebabkan oleh spektrum luas jamur patogen dari genus *Fusarium*. *T. asperellum* merupakan salah satu jamur pemicu pertumbuhan tanaman (PGPF) yang saat ini dikenal sebagai biopestisida, pupuk hayati, dan pembenah tanah, karena mampu melindungi tanaman, meningkatkan pertumbuhan vegetatif, dan mengurangi populasi patogen. Kolonisasi *T. asperellum* pada akar mentimun meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman yang akhirnya meningkatkan pertumbuhan tanaman. Selain itu, telah dilaporkan bahwa PGPF *T. asperellum* PGPFDOB-V36 juga menunjukkan mikoparasitisme, kolonisasi akar, pemacu pertumbuhan tanaman, dan ISR sehingga dapat dimanfaatkan sebagai agens biokontrol potensial untuk mengendalikan penyakit busuk rimpang kunyit (Vinayarani *et al.* 2019). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi pemanfaatan *R. intraradices* dan *T. asperellum* sebagai bioprotektan dan biofertilizer pada TSS.

METODE PENELITIAN

Penelitian lapangan dilaksanakan pada musim kemarau menggunakan benih bawang merah varietas Lokananta dengan metode penelitian secara eksperimental Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) menggunakan 3 blok. Setiap blok terdiri atas 9 petak sebagai ulangan di lahan pertanian bulak Gotakan, Kapanewon Panjatan, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Analisis laboratorium dikerjakan di Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan dan Rumah Kaca Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian UGM dari bulan Agustus 2019–Januari 2020. Bibit disemai dengan menanam TSS selama \pm 1 bulan, kemudian dipindahkan ke bedengan (petak). Perlakuannya adalah sebagai berikut:

- R = Aplikasi *R. intraradices*
- T = Aplikasi *T. asperellum*
- K = Kontrol

Aplikasi *R. intraradices*

R. intraradices diaplikasikan sebelum penanaman. Untuk setiap bedeng, ditambahkan *R. intraradices* dalam bentuk media zeolit pada setiap larik hingga menutupi lubang dengan dosis 20 g per lubang tanam. Hal ini bertujuan agar perakaran dapat bersimbiosis langsung dengan *R. intraradices*. Setelah itu, tanaman bawang merah berumur ± 1 bulan ditanam 2–3 bibit per lubang dengan jarak tanam 15 cm × 25 cm.

Aplikasi *T. asperellum*

T. asperellum diaplikasikan sebelum penanaman. Untuk setiap bedeng, ditambahkan 1 kg *T. asperellum* dalam wujud bubuk yang dicampurkan pada permukaan tanah. Hal ini bertujuan agar area perakaran dapat didominasi oleh spora *T. asperellum*. Setelah itu, tanaman bawang merah berumur ± 1 bulan ditanam 2–3 bibit per lubang dengan jarak tanam 15 cm × 25 cm.

Pengamatan Penyakit Bercak Ungu dan Moler

• **Insidensi Penyakit**

Daerah Kulon Progo dengan cuaca kering dan kelembapan tinggi mengakibatkan penyebaran penyakit bercak ungu dan moler semakin luas. Penyakit bercak ungu dan moler diamati pada 10 sampel tanaman pada setiap bedeng dengan interval waktu pengamatan setiap pekan. Jumlah tanaman yang menunjukkan gejala penyakit pada setiap bedeng dihitung. Insidensi penyakit (IP) dihitung menggunakan rumus Townsend dan Heuburger (1943):

$$IP = \frac{n}{N} \times 100\% (1)$$

Keterangan:

- n* = Jumlah tanaman yang terinfeksi
- N* = Jumlah tanaman yang diamati dalam satu petak sampel

• **Intensitas Penyakit**

Intensitas penyakit digunakan untuk menetapkan tingkat keparahan penyakit selama periode tanam. Selanjutnya intensitas penyakit dihitung dengan rumus menurut Townsend dan Heuburger (1943):

$$IP = \frac{\sum(n \times v)}{(Z \times N)} \times 100\% (2)$$

Keterangan :

- IP = Intensitas penyakit (%)
- n* = Jumlah daun yang terserang pada setiap kategori
- N* = Jumlah daun yang diamati
- Z* = Nilai numerik atau harga kategori tertinggi yang digunakan
- V* = Nilai numerik atau harga setiap kategori serangan patogen

Penyakit bercak ungu diberi skor menggunakan kategori Putri *et al.* 2016 (Tabel 1), skor gejala penyakit moler menggunakan kategori Juwanda *et al.* (2016) (Tabel 2).

Perkembangan intensitas penyakit selama 7 pekan dianalisis menggunakan grafik. Dari grafik perkembangan intensitas penyakit, dihitung *area under disease progress curve* (AUDPC) dengan rumus Granada *et al.* (2020):

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i + Y_{i+1}}{2} (t_{i+1} - t_i) \quad (3)$$

Keterangan:

- Y_i* = Nilai intensitas penyakit untuk pengamatan ke-*i*
- Y_{i+1}* = Nilai intensitas penyakit untuk pengamatan ke-*i*+1 hari
- (*t_{i+1}*-*t_i*) = Waktu di antara dua pengamatan (hari)
- n* = Jumlah total pengamatan

Tabel 1 Kategori infeksi penyakit bercak ungu

Skor	Gejala
0	Tanaman sehat/tidak ada serangan
1	Bercak pada daun antara > 0%-10%
2	Bercak pada daun antara > 11%-20%
3	Bercak pada daun antara > 21%-40%
4	Bercak pada daun antara > 41%-60%
5	Bercak pada daun > 61%

Sumber: Putri *et al.* 2016.

Tabel 2 Kategori infeksi penyakit moler pada daun tanaman

Skor	Gejala
0	Tidak ada gejala serangan
1	Bagian daun terinfeksi > 0%-20%
2	Bagian daun terinfeksi > 21%-40%
3	Bagian daun terinfeksi > 41%-60%
4	Bagian daun terinfeksi > 61%-80%
5	Bagian daun terinfeksi > 81%

Sumber: Juwanda *et al.* 2016.

Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

Tinggi tanaman diukur pada 10 sampel dengan penggaris (satuan: cm). Jumlah daun diamati dengan menghitung jumlah daun pada setiap tanaman. Tinggi tanaman dan jumlah daun diamati setiap pekan. Bobot segar, bobot kering, panjang akar, dan hasil panen umbi ditentukan pada saat panen untuk mengetahui hasil produksi umbi TSS.

Uji Respons Ketahanan Umbi Hasil Produksi terhadap *F. solani*

Ketahanan diuji dengan menginokulasikan isolat patogen *Fusarium solani* koleksi Laboratorium Ilmu Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Umbi yang digunakan merupakan umbi hasil panen dari tanaman yang diperlakukan dengan agens hayati dan sudah dikeringkan selama 2 bulan. Isolat *F. solani* dikulturkan pada media PDA (*potato dextrose agar*) selama 7 hari. Untuk keperluan inokulasi, kultur dipotong dengan menggunakan bor gabus berdiameter 0,5 cm dan secara aseptis ditempelkan pada bagian cakram (dasar umbi) bawang merah, dan diinkubasi selama 7 hari dalam wadah tertutup yang dilengkapi dengan kapas basah untuk memberikan kelembapan. Pada hari ke-8 setelah inokulasi, gejala diamati dengan cara umbi dibelah, kemudian diamati gejala nekrosis yang muncul, dan diukur luas gejalanya menggunakan mika bening dan kertas milimeter blok.

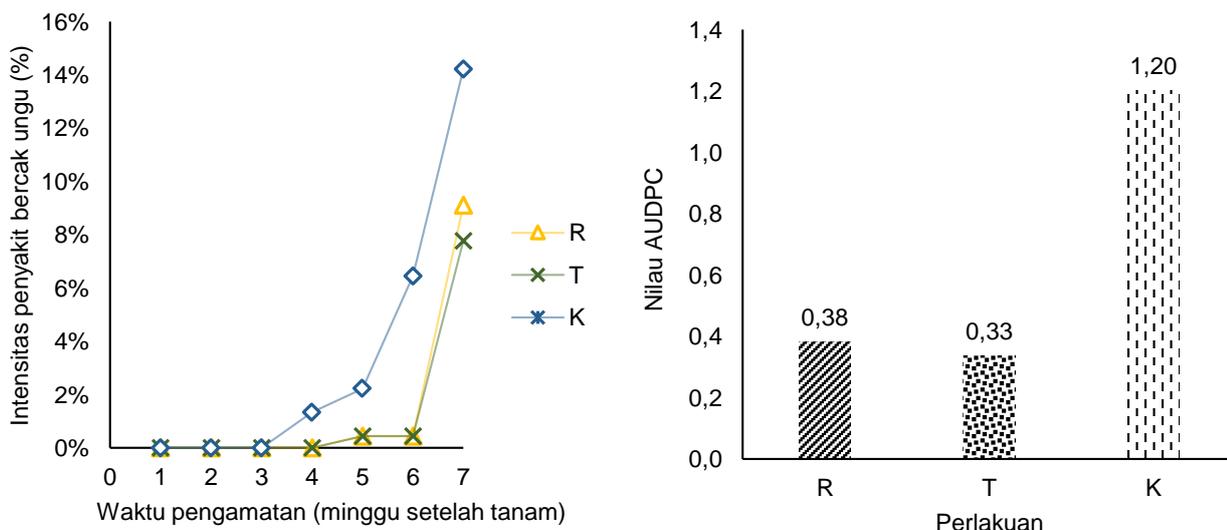
Analisis Data

Data penelitian dianalisis secara statistik. Data dianalisis menggunakan uji *F* dan apabila berbeda nyata, dengan kriteria $F_{hitung} > F_{tabel}$, dilanjutkan dengan *Duncan multiple range test* (DMRT) pada α 5% (Manan *et al.* 2018). Uji DMRT menggunakan aplikasi *R-studio* untuk membandingkan perlakuan dengan beda nyata secara lebih terinci.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Intensitas Penyakit Bercak Ungu

Perkembangan intensitas bercak ungu pada bawang merah yang diperlakukan dengan *R. intraradices* dan *T. asperellum* ditunjukkan pada Gambar 1. Gejala penyakit mulai terlihat pada saat tanaman berumur 3 pekan dan terus berkembang selama masa pertumbuhan. Perlakuan kontrol memperlihatkan intensitas penyakit yang lebih tinggi, dibandingkan dengan tanaman dengan perlakuan *R. intraradices* dan *T. asperellum* (Gambar 1A). Ini mengindikasikan bahwa agens pengendali hayati berperan dalam induksi ketahanan tanaman terhadap bercak ungu. Jamur mikoriza arbuskular mampu memperkuat sistem pertahanan tanaman dan lebih berperan dalam mencegah infeksi patogen. Seperti mikroorganisme bermanfaat lainnya, mikoriza memiliki kemampuan biokontrol patogen dengan bertindak sebagai sistem *priming* dalam resistensi patogen. JMA dapat memicu induksi resistensi sistemik (ISR) tanaman. Mekanisme tersebut mampu membuat tanaman mengubah tingkat ekspresi gennya, tingkat lignifikasi, dan kadar hormon sehingga meningkatkan resistensi patogen (Kalamulla *et al.* 2022). Sejumlah penelitian telah mengonfirmasi bahwa *R. intraradices* meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai patogen. *R. intraradices* mengendalikan tidak hanya patogen tular tanah, tetapi juga menunjukkan penekanan pada patogen yang menginfeksi daun. Kolonisasi mikoriza meningkatkan ketahanan tomat terhadap penyakit daun pada penyakit busuk awal yang disebabkan oleh *Alternaria solani* (Jamiołkowska *et al.* 2020). Inokulasi *R. intraradices* juga dilaporkan meningkatkan secara nyata aktivitas β -1,3-glukanase, kitinase, fenilalanina amonia-liase (PAL) dan lipoksigenase (LOX) pada



Gambar 1 Pengaruh Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* terhadap intensitas penyakit bercak ungu pada tanaman bawang merah asal biji selama 7 minggu pengamatan. A) Perkembangan Intensitas Penyakit Bercak Ungu, B) Nilai AUDPC. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol).

daun tomat terhadap patogen *Alternaria alternata* (Song *et al.* 2015).

T. asperellum membantu mempertahankan kadar klorofil dan karotenoid selama infeksi oleh patogen. Kadar senyawa fenolik meningkat pada umbi bawang setelah inokulasi dengan *T. asperellum*. Peningkatan kadar senyawa fenolik merupakan bagian dari respons pertahanan tanaman bawang merah terhadap infeksi patogen. Banyak senyawa fenolik dengan aktivitas antijamur telah diidentifikasi dan dikategorikan sebagai fenol sederhana, asam fenolik, kumarin, flavonol, dihidrokalkon, tanin, proantosianidin, dan lignan (Zapata-Sarmiento *et al.* 2020). Menurut Luna-Vera *et al.* (2018), isolat *T. asperellum* menunjukkan aktivitas antagonis dalam menekan patogen *Fusarium* spp. dan *Alternaria porridan* didukung oleh Rai & Singh (2023). *T. asperellum* juga efektif menekan patogen *Alternaria* sp. yang diisolasi dari Ashwagandha (53,06%) dan *Alternaria* sp. dari Sarpagandha (53,51%).

Nilai AUDPC perkembangan intensitas penyakit bercak ungu pada TSS memiliki nilai rendah. Perlakuan aplikasi agens pengendali hayati memiliki nilai AUDPC lebih rendah daripada kontrol. Nilai AUDPC perlakuan kontrol ialah 1.20 unit, *R. intraradices* 0,38, dan *T. asperellum* yang terendah, yaitu 0,33 (Gambar 1B). Nilai AUDPC pada ketiga perlakuan tergolong rendah. Semakin rendah nilai AUDPC, semakin baik penekanan terhadap penyakit (Hersanti *et al.* 2019). Ini menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi agens pengendali hayati dapat menekan secara efektif penyakit bercak ungu pada bawang merah.

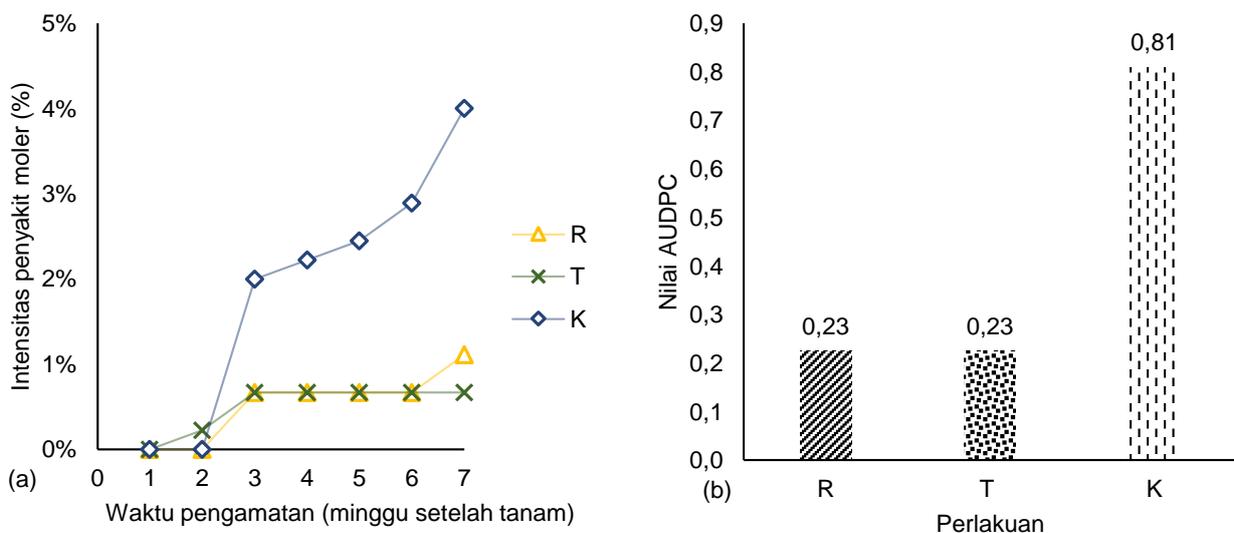
Pengaruh Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Intensitas Penyakit Moler

Perkembangan intensitas penyakit moler pada TSS yang diperlakukan dengan *R. intraradices* dan *T.*

asperellum ditunjukkan pada Gambar 2. Intensitas penyakit semakin meningkat dari pekan pertama hingga pekan terakhir pengamatan. Perlakuan kontrol memperlihatkan intensitas penyakit lebih tinggi daripada perlakuan dengan *R. intraradices* dan *T. asperellum* (Gambar 2A). Jadi, agens pengendali hayati berperan dalam induksi ketahanan tanaman terhadap penyakit moler, dibuktikan dengan tingkat keparahan penyakit yang rendah. Selain itu, rendahnya intensitas penyakit moler juga karena penelitian ini berlangsung pada musim kemarau.

Menurut Spagnoletti *et al.* (2021), *R. intraradices* sebagai agen biokontrol dapat melawan patogen tular tanah gandum *F. pseudograminearum*. Secara keseluruhan, percobaan ini menunjukkan bahwa kolonisasi akar dengan *R. intraradices* menghasilkan tanaman gandum dengan resistensi sistemik terhadap penyakit busuk oleh *F. pseudograminearum*. Hal ini selaras dengan stimulasi kolonisasi jamur mikoriza terhadap spesies *Fusarium*, seperti *F. oxysporum* dan *F. solani*. Win *et al.* (2021) telah membuktikan aktivitas antijamur *T. asperellum* terhadap 4 spesies jamur fitopatogenik dari genus *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. fujikuroi*, *F. tricinctum*, dan *F. cantenulatum*). Mekanisme terkait antagonisme *T. asperellum* terhadap 4 fitopatogen itu ditunjukkan dengan tertekannya pertumbuhan fitopatogen sampai 65–74%, serta menghambat perkecambahan spora 30–75%. Selain itu, *T. asperellum* terbukti mampu menghasilkan enzim mikolitik (kitinase dan β -1,3-glukanase), yang berpotensi mendegradasi dinding sel jamur fitopatogen.

Nilai AUDPC bawang merah TSS terhadap penyakit moler pada ketiga perlakuan bernilai rendah. Perlakuan aplikasi agens pengendali hayati memiliki nilai AUDPC lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. AUDPC perlakuan kontrol adalah 0,81, sedangkan *R. intraradices* dan *T. asperellum* memiliki



Gambar 2 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Intensitas penyakit moler pada tanaman TSS selama 7 pekan pengamatan. A) Intensitas penyakit moler dan B) Nilai AUDPC. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol.

AUDPC yang sama, yaitu 0,23 unit (Gambar 2B). AUDPC pada ketiga perlakuan tergolong rendah. Menurut Nuryani *et al.* (2011), semakin rendah AUDPC, semakin efektif pengendalian patogen, dan sebaliknya. Semakin tinggi AUDPC semakin tidak memengaruhi infeksi patogen. Dengan demikian, perlakuan aplikasi agens pengendali hayati dapat menekan secara efektif penyakit moler pada bawang merah.

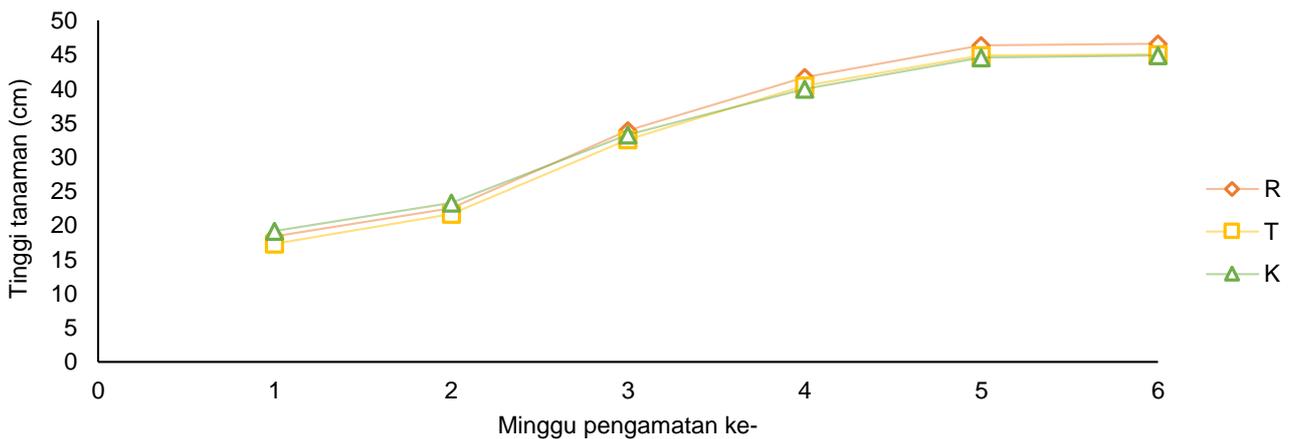
Pengaruh *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Pertumbuhan

Tinggi tanaman yang diaplikasikan dengan *R. intraradices* dan *T. asperellum* selama 6 pekan (Gambar 3) tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Aplikasi agens pengendali hayati tidak mengubah secara nyata morfologi tanaman dilihat dari pertambahan tinggi tanaman. Ini dapat disebabkan oleh pengaruh dari varietas yang digunakan dan agens pengendali hayati. Efektivitas inokulasi jamur mikoriza dan persistensi jamur mikoriza bergantung pada beberapa faktor abiotik dan biotik di dalam tanah, antara lain suhu, kelembapan tanah, spesies

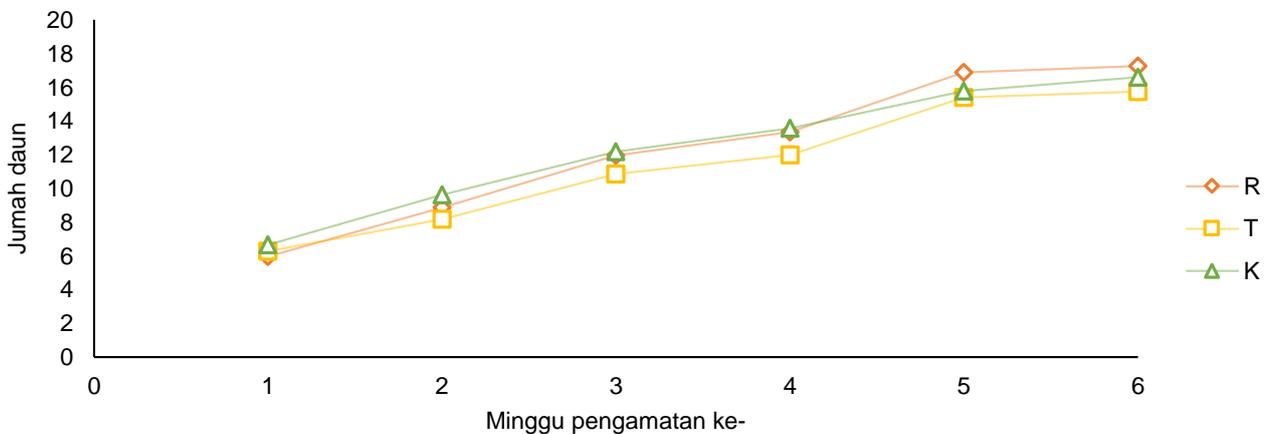
jamur mikoriza, waktu inokulasi mikoriza, kadar inokulum jamur mikoriza, dan potensi inokulum jamur mikoriza (Jamiolkowska *et al.* 2020).

Jumlah daun selama 6 pekan setelah tanam dengan aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata (Gambar 4). Aplikasi agens pengendali hayati tidak mengubah morfologi secara nyata dari pertambahan jumlah daun. Hal ini mengindikasikan bahwa aplikasi agens pengendali hayati tidak berpengaruh nyata pada peningkatan pertumbuhan tanaman dari segi jumlah daun. Jumlah daun dipengaruhi oleh peningkatan pertumbuhan vegetatif tanaman, yang dapat dikaitkan dengan kondisi tanaman, penyerapan nutrisi, serta peningkatan fotosintesis, dan transportasi metabolit. Pertumbuhan yang lebih baik dan jumlah daun yang lebih banyak disebabkan oleh penyerapan unsur K yang lebih baik oleh tanaman, yang diekspresikan dengan meningkatnya konsentrasi unsur K di daun (Jamiolkowska *et al.* 2020).

Hasil pengamatan produksi dan perkembangan tanaman (Tabel 3) menggambarkan tidak ada dampak nyata pada bobot kering dan bobot segar tajuk dan



Gambar 3 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* terhadap tinggi tanaman TSS selama 6 pekan pengamatan. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol.



Gambar 4 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada jumlah daun TSS Biji selama 6 pekan pengamatan. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol.

akar tanaman. Namun, dampaknya berkebalikan dengan parameter panjang akar. Perlakuan *R. intraradices* menghasilkan akar yang lebih Panjang dibandingkan dengan *T. asperellum* dan kontrol. Aplikasi agens pengendali hayati dapat menaikkan luas permukaan perakaran untuk menyerap nutrisi. Hal ini sesuai dengan temuan Kalamulla *et al.* (2022), bahwa JMA memengaruhi perolehan hara dari tanah dan meningkatkan pertumbuhan, biomassa, dan terakhir, produktivitas tanaman. Jamur mikoriza adalah biotrof obligat dan bergantung pada 20% senyawa karbon dari inangnya dan mengubahnya untuk memperluas daerah penyerapan nutrisi. Hifa dapat tumbuh di luar zona penipisan nutrisi seluas 25 cm di dalam tanah sehingga membantu tanaman dalam menyerap unsur hara. Pada tanaman yang diinokulasi, morfologi akar diubah dengan membentuk cabang akar lateral seperti rambut akar, apeks yang khas, memodifikasi pembelahan sel, dan diferensiasi pada akar. Dalam simbiosis jamur mikoriza, serapan nutrisi terjadi melalui transporter miselium ekstra-radikal ke miselium intraradikal dan kemudian ke sel tumbuhan melalui transporter yang diinduksi jamur mikoriza yang terletak di membran peri-arbuskular, sehingga peningkatan efisiensi penyerapan nutrisi berkorelasi dengan tingkat distribusi hifa dan kolonisasi yang semakin luas.

Jie *et al.* (2021) mendukung bahwa laju kolonisasi jamur mikoriza pada akar kedelai yang diinokulasi dengan *R. intraradices* secara nyata lebih tinggi daripada kontrol akar tanpa inokulasi. Tingkat kolonisasi jamur mikoriza dipengaruhi secara positif oleh peningkatan nutrisi tanaman secara terus menerus. Laju kolonisasi mikoriza dipengaruhi secara positif oleh inokulasi *R. intraradices*. Ini menunjukkan bahwa perlakuan inokulasi *R. intraradices* paling tinggi (73,68%) pada tanaman kedelai dibandingkan dengan kontrol (18,32%).

Pengaruh Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Hasil Panen

Produksi umbi bawang merah yang diberi *R. intraradices* dan *T. asperellum* (Tabel 4) berbeda nyata. Perlakuan *R. intraradices* menghasilkan

produksi lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 21.568 kg/ha, dengan *T. asperellum* menghasilkan 19.854 kg/ha, sedangkan pada kontrol hanya 19.253 kg/ha. Rerata bobot segar umbi per tanaman pada perlakuan *R. intraradices* menunjukkan hasil yang berbeda nyata dibandingkan dengan kontrol, mengindikasikan pengaruh positif pada produksi TSS. Menurut Azmi *et al.* (2011), jumlah umbi bawang merah lebih banyak dipengaruhi oleh faktor genetik dan hanya sedikit dipengaruhi oleh lingkungan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan benih TSS memiliki genetik yang bagus dan menghasilkan produksi yang unggul. Temuan ini selaras dengan pendapat Wang *et al.* (2018) bahwa inokulasi JMA meningkatkan bobot segar dan kering serta konsentrasi N pada daun dan akar. Menurut Golubkina *et al.* (2020), inokulasi mikoriza spesies *Glomus versiforme* dan *G. intraradices* dapat meningkatkan pertumbuhan bawang merah dengan meningkatkan indeks luas daun, bobot kering umbi, kandungan klorofil daun, prekositasi umbi, hasil produksi umbi, dan efisiensi penggunaan air.

Pengaruh Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada Ketahanan Umbi terhadap *F. solani*

Uji respons ketahanan TSS dengan inokulasi patogen *F. solani* digunakan untuk menilai ketahanannya terhadap patogen tular tanah. Gejala nekrosis yang tampak pada umbi setelah inokulasi ditunjukkan pada Gambar 5. Infeksi *F. solani* muncul dari bagian cakram (dasar umbi) bawang merah yang diinokulasi. Gejala infeksi *F. solani* terlihat dari nekrosis berwarna kuning kecokelatan pada pangkal umbi. Ketiga perlakuan memperlihatkan luas infeksi patogen *F. solani* yang berbeda. Perlakuan kontrol menunjukkan infeksi yang paling luas dibandingkan dengan kedua tanaman yang diberi perlakuan agens pengendali hayati. Perlakuan *R. intraradices* dan *T. asperellum* dapat menekan perkembangan infeksi *F. solani*.

Luas gejala infeksi *F. solani* pada hari ke-8 setelah inokulasi (Gambar 6) jelas menunjukkan luas infeksi paling rendah pada perlakuan *R. intraradices*, diikuti

Tabel 3 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada panjang akar, bobot segar, dan bobot kering bawang merah asal biji

Perlakuan	Panjang akar (cm)	Berat Segar tajuk (g)	Berat Segar akar (g)	Berat Kering tajuk (g)	Berat Kering akar (g)
<i>R. intraradices</i>	9,27 a*	14,00 a	1,85 a	1,19 a	0,08 a
<i>T. asperellum</i>	8,35 ab	13,14 a	0,88 a	1,12 a	0,07 a
Kontrol	7,8 b	10,02 a	0,73 a	0,91 a	0,06 a

Keterangan: * data berbeda nyata berdasarkan hasil uji DMRT pada taraf 5%.

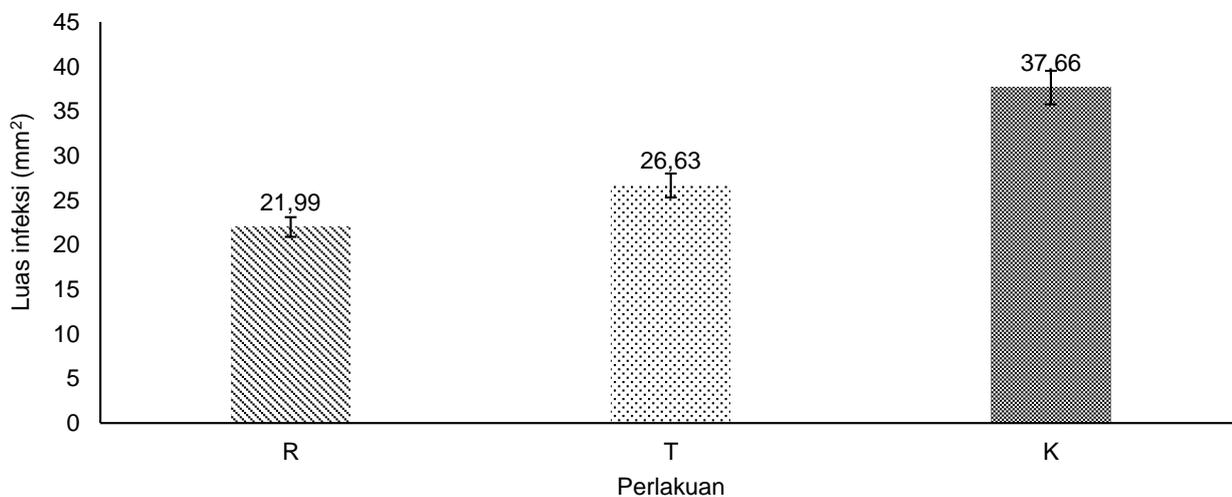
Tabel 4 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada hasil panen umbi bawang merah asal biji

Perlakuan	Jumlah produksi per perlakuan (kg/ha)	Bobot umbi per tanaman (g)
<i>R. intraradices</i>	21,568 a*	431,36 a*
<i>T. asperellum</i>	19,854 ab	397,08 ab
Kontrol	19,253 b	385,06 b

Keterangan: * data berbeda nyata berdasarkan hasil uji DMRT pada taraf 5%.



Gambar 5 Hasil uji ketahanan umbi bawang merah terhadap Infeksi patogen *Fusarium solani*. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol.



Gambar 6 Pengaruh aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* pada luas gejala infeksi umbi TSS oleh patogen *F. solani* pada 7 hari pengamatan. R = Aplikasi *R. intraradices*, T = Aplikasi *T. asperellum*, dan K = Kontrol.

dengan perlakuan *T. asperellum* dan kontrol. Ini membuktikan bahwa aplikasi agens hayati pada saat budi daya bawang merah dapat meningkatkan ketahanan terhadap infeksi patogen *F. solani* pada periode pascapanen. Umbi yang diberi perlakuan menjadi lebih tahan terhadap infeksi *F. solani* karena agens memicu induksi ketahanan tanaman. Hal ini sesuai dengan temuan Afiefah (2020), yakni rerata tingkat infeksi *F. solani* pada umbi bawang merah dengan aplikasi jamur mikoriza berbeda nyata dengan sampel umbi aplikasi *Trichoderma* sp. dan kontrol. Tanaman yang diinokulasi *R. intraradices* memiliki tingkat kolonisasi yang tinggi di perakaran tanaman. Asosiasi *R. intraradices* dan akar tanaman dapat mengembangkan hifa, arbuskula, dan vesikel. Inokulum *R. intraradices* masih dapat ditemukan pada jaringan tanaman pascapanen dan mendukung penghambatan patogen (Kumari & Prabina 2019). Mikoriza dapat menginduksi tanaman inang untuk membentuk sistem pertahanan dengan mekanisme antara lain meningkatkan konsentrasi fitohormon,

menginduksi produksi substrat sinyal, regulasi ekspresi gen, dan meningkatkan produksi protein. Mikoriza dapat menginduksi sintesis berbagai pensinyalan zat seperti oksida nitrat (NO) Asam jasmonat (JA), Asam salisilat (SA), Etilen (ET), Asam absisat (ABA), hidrogen peroksida (H₂O₂), dan Ca²⁺ (Weng *et al.* 2022).

(Weng *et al.* 2022).

R. intraradices telah digunakan sebagai biokontrol agen melawan patogen tular tanah dari gandum *F. pseudograminearum*. Hasilnya jelas terlihat bahwa dalam kondisi percobaan rumah kaca, galur *R. intraradices* meningkatkan parameter pertumbuhan tanaman gandum yang terinfeksi *F. pseudograminearum*. *R. intraradices* juga menunjukkan penurunan insiden dan keparahan gejala mahkota Fusarium dan busuk akar, yang mengindikasikan peningkatan toleransi tanaman gandum terhadap penyakit ini. Dapat disimpulkan bahwa kolonisasi akar dengan *R. intraradices* menghasilkan tanaman gandum dengan resistensi

sistemik terhadap penyakit mahkota dan busuk akar yang diinduksi oleh *F. pseudograminearum* (Spagnoletti *et al.* 2021).

Menurut Rai & Singh (2023), *T. asperellum* menunjukkan efek penghambatan dan efektif dalam mengendalikan pertumbuhan patogen secara nyata. Setelah 96 jam (hari ke-3) dan 120 jam (hari ke-4) inokulasi *F. solani*, pertumbuhan radial patogen adalah 13,10 mm sedangkan pada kontrol 29,17 mm, yang berarti pertumbuhan terhambat sampai 55,01%. Setelah 144 jam (hari ke-6) inokulasi, maksimal penghambatan tercatat 15,10 mm dengan kontrol menunjukkan pertumbuhan 35,10 mm; berarti penurunan pertumbuhan 56,36%.

KESIMPULAN

Aplikasi *R. intraradices* dan *T. asperellum* dapat memengaruhi produksi umbi TSS sampai 35.6%, menekan perkembangan penyakit tanaman, dan meningkatkan ketahanan umbi bawang merah terhadap patogen *F. solani* pada periode pascapanen. Perlakuan *R. intraradices* menunjukkan luas infeksi 21,99 mm², diikuti dengan perlakuan *T. asperellum* 26,63 mm² dan perlakuan kontrol yang mencapai 37,66 mm².

DAFTAR PUSTAKA

- Afiefah C N. 2020. *Penggunaan Jamur Mikoriza dan Trichoderma sp. untuk Meningkatkan Kesehatan Bawang Merah*. [Tesis]. Yogyakarta (ID): Universitas Gadjah Mada. Hal 1–60.
- Askhari-Khorasgani O, Pesarakli M. 2019. Agricultural management and environmental requirements for production of true shallot seeds: A review. *Advances in Plants & Agricultural Research*. 9(2): 318–322.
- Azmi C, Hidayat IM, Wiguna G. 2011. Pengaruh varietas dan ukuran umbi terhadap produktivitas bawang merah. *Jurnal Hortikultura*. 21(3): 206–213. <https://doi.org/10.21082/jhort.v21n3.2011.p206-213>
- Bahraminia M, Zarei M, Ronaghi A, Ghasemi-Fasaei R. 2016. Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of lead-contaminated soil by vetiver grass. *International Journal of Phytoremediation*. 18(7): 730–737. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1131242>
- El-Mougy NS, Abdel-Kader MM. 2019. Biocontrol measures against onion basal rot incidence under natural field conditions. *Journal of Plant Pathology*. 101: 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42161-018-00237-8>
- Golubkina N, Amagova Z, Matsadze V, Zamana S, Tallarita A, Orcid, Caruso G. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on yield, biochemical characteristics, and elemental composition of garlic and onion under selenium supply. *Plants*. 9(84): 1–15. doi: <https://doi.org/10.3390/plants9010084>.
- Granada D, Lujan LL, Restrepo SR, Morales J, Jaramillo CP, Andrade G, Pérez JCB. 2020. Bacterial extracts and bioformulates as a promising control of fruit body rot and root rot in avocado cv. Hass. *Journal of Integrative Agriculture*. 19(3): 748–758. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62720-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62720-6)
- Gunaeni. 2015. Physical and mechanical control of pests and diseases in the production of shallots (*Allium ascalonicum* L.). *Agrin*. 19(1): 37–57.
- Hassan MM, Farid MA., Gaber MA. 2019. Rapid identification of *Trichoderma koningiopsis* and *Trichoderma longibrachiatum* using sequence-characterized amplified region markers. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 29: 13–20. <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0113-0>
- Hersanti, Sudarjat, Damayanti A. 2019. Kemampuan *Bacillus subtilis* dan *Lysinibacillus* sp. dalam silika nano dan serat karbon untuk menginduksi ketahanan bawang merah terhadap penyakit bercak ungu (*Alternaria porri* (ell.) Cif). *Jurnal Agrikultura*. 30(1): 8–16. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v30i1.22698>
- Huang L, Zhang H, Song Y, Yang Y, Chen H, Tang M. 2017. Subcellular compartmentalization and chemical forms of lead participate in lead tolerance of *Robinia pseudoacacia* with *Funneliformis mosseae*. *Frontiers in Plant Science*. 8(517): 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00517>
- Jamiołkowska A, Thanon AH, Skwaryło-Bednarz B, Patkowska E, Mielniczuk E. 2020. Mycorrhizal inoculation as an alternative in the ecological production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *International Agrophysics*. 34: 253–264. <https://doi.org/10.31545/intagr/118196>
- Jie W-G, Yao Y-X, Guo N, Zhang Y-Z, Qiao W. 2021. Effects of *Rhizophagus intraradices* on plant growth and the composition of microbial communities in the roots of continuous cropping soybean at maturity. *Sustainability*. 13(6623): 1–12. doi: <https://doi.org/10.3390/su13126623>.
- Juwanda M, Khotimah K, Amin M. 2016. Peningkatan ketahanan bawang merah terhadap penyakit layu fusarium melalui induksi ketahanan dengan asam salisilat secara in vitro. *Agrin*. 20(1): 15–28.
- Kalamulla R, Karunarathna SC, Tibpromma S, Galappaththi MCA, Suwannarach N, Stephenson SL, Asad S, Salem ZS, Yapa N. 2022. Arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable agriculture.

- Sustainability*. 14(12250): 1–14.
<https://doi.org/10.3390/su141912250>
- Kumari SMP, Prabina BJ. 2019. Protection of tomato, *Lycopersicon esculentum*, from wilt pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by arbuscular mycorrhizal fungi, *Glomus* sp. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 8(4): 1368–1378.:
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.159>.
- Lestiyani A, Wibowo A, Subandiyah S, Gambley C, Ito S, Harper S. 2016. Identification of *Fusarium* spp., the causal agent of twisted disease of shallot. *Acta Horticulturae*. 1128: 155–160.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1128.22>
- Luna-Vera AM, Palacios-Pala EF, Camacho-Luna V, Solis-Centeno Y, Bravo-Luna L, Rodríguez-Monroy M, Sepúlveda-Jiménez G. 2018. Potential of *Trichoderma asperellum* TC3 in the control of onion diseases. *Frontera Biotecnológica*. 11: 232–232
- Makhziah IR, Moeljani, Santoso J. 2019. Diseminasi teknologi *true seed of shallot* dan umbi mini bawang merah di Karangploso, Malang, Jawa Timur. *Agrokreatif (Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat)*. 5(3): 165–172.
<https://doi.org/10.29244/agrokreatif.5.3.165-172>
- Manan A, Mugiastuti E, Soesanto L. 2018. Kemampuan campuran *Bacillus* sp., *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma* sp. untuk mengendalikan penyakit layu bakteri pada tanaman tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(2): 63–68. <https://doi.org/10.14692/jfi.14.2.63>
- Nuryani, Yusuf S, Djantika I, Hanudin, Marwoto B. 2011. Pengendalian penyakit layu fusarium pada subang gladiol dengan pengasapan dan biopestisida. *Jurnal Hortikultura* 21(1): 40–50.
<https://doi.org/10.21082/jhort.v21n1.2011.p40-50>
- Putri AOT, Hadisutrisno B, Wibowo A. 2016. Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskular terhadap pertumbuhan bibit dan intensitas penyakit bercak daun cengkeh. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*. 10(2): 145–154.
<https://doi.org/10.20886/jpth.2016.10.2.145-154>
- Rai D, Singh N. 2023. Efficacy of *Trichoderma asperellum* against different pathogens of selected medicinal plants. *Indian Journal of Experimental Biology*. 61: 303–310.
<https://doi.org/10.56042/ijeb.v61i04.172>
- Rizal S, Novianti D, Septiani M. 2019. Pengaruh jamur *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.). *J Indobiosains*. 1(1): 14–21.
- Saravanakumar K, Yu C, Dou K, Wang M, Li Y, Chen J. 2016. Synergistic effect of *Trichoderma*-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Biological Control*. 94: 37–46.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.12.001>
- Sarkar A, Asaeda T, Wang Q, Kaneko Y, Rashid M. 2018. Arbuscularmycorrhiza confers lead tolerance and uptake in *Miscanthus sacchariflorus*. *Chem Ecol*. 34(5): 454–469.
<https://doi.org/10.1080/02757540.2018.1437150>
- Song Y, Chen D, Lu K, Sun Z, Zeng R. 2015. Enhanced tomato disease resistance primed by arbuscular mycorrhizal fungus. *Frontiers in Plant Science*. 6 (786): 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00786>.
- Spagnoletti FN, Carmona M, Balestrasse K, Chiocchio V, Giacometti R, Lavado RS. 2021. The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices* reduces the root rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in wheat. *Rhizosphere*. 19(100369): 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100369>
- Supyani SH, Poromarto SH, Supriyadi, Hadiwiyono. 2020. Moler disease of shallot in Brebes Central Java in the last three years: the intensity and resulting yield losses is increasing. Makalah daring pada 2nd Sriwidjaja International Conference of Environmental Issues, 21 Okt. 2020.
- Townsend GR, Heuberger JV. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide. *Plant Diseases Report*. 24(1): 340–343.
- Vinayarani G, Madhusudhan KN, Prakash HS. 2019. Induction of systemic resistance in turmeric by rhizospheric isolate *Trichoderma asperellum* against rhizome rot disease. *Journal of Plant Pathology*. 101: 965–980.
<https://doi.org/10.1007/s42161-019-00303-9>
- Wang Y, Wang M, Li Y, Wu A, Huang J. 2018. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of *Chrysanthemum morifolium* under salt stress. *PLoS One*. 13(4): 1–15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196408>.
- Weng W, Yan J, Zhou M, Yao X, Gao A, Ma C, Cheng J, Ruan J. 2022. Roles of Arbuscular mycorrhizal Fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. *Microorganisms*. 10(1266): 1–16.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10071266>.
- Win T, Przemyslaw Malec BB, Khan S, Fu P. 2021. Newly isolated strain of *Trichoderma asperellum* from disease-suppressive soil is a potential biocontrol agent to suppress *Fusarium* soil-borne fungal phytopathogens. *Journal of Plant Pathology*. 103: 549–561. <https://doi.org/10.1007/s42161-021-00780-x>
- Zapata-Sarmiento DH, Palacios-Pala EF, Rodríguez-Hernández AA, Melchor DLM, Rodríguez-Monroy

M, Sepúlveda-Jiménez G. 2020. *Trichoderma asperellum*, a potential biological control agent of *Stemphylium vesicarium*, on onion (*Allium cepa* L.).

Biological Control. 140(104105): 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104105>.