

ENKAPSULASI BENIH CABAI BERBAHAN AKTIF *Trichoderma* sp. UNTUK PENGENDALIAN *Ralstonia solanacearum*

ENCAPSULATION OF CHILI SEEDS WITH ACTIVE INGREDIENTS *Trichoderma* sp. FOR CONTROL OF *Ralstonia solanacearum*

Farila Puji Rahayu, Arika Purnawati*, dan Herry Nirwanto

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

* Corresponding Author. E-mail address: arika_p@upnjatim.ac.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 13 August 2024

Peer Review: 02 September 2024

Accepted: 28 November 2025

KATA KUNCI:

Cabai, enkapsulasi benih, layu bakteri, *Ralstonia solanacearum*, *Trichoderma* sp.

KEYWORDS:

Chili, seed encapsulation, bacterial wilt disease, *Ralstonia solanacearum*, *Trichoderma* sp.

ABSTRAK

Cabai memiliki nilai ekonomi dan permintaan pasar yang cukup tinggi. Hasil produksi cabai yang meningkat sebanyak 115.250 ton pada tahun 2022 harus dipertahankan dengan baik. Kendala budidaya cabai seperti serangan patogen *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu bakteri dapat dikendalikan dengan pemanfaatan agensia hayati seperti *Trichoderma* sp. yang selain berperan menjadi agensia hayati juga dapat menghasilkan fitohormon yang memacu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promoting Fungi*). *Trichoderma* sp. dalam pertumbuhannya membutuhkan substrat sebagai energi, penggunaan dedak dan biochar yang dapat menjadi media perkembangbiakan *Trichoderma* sp. sebagai bahan penyalut dalam enkapsulasi benih perlu dikembangkan. Manfaat enkapsulasi pada benih yaitu dapat menjaga benih dari pengaruh lingkungan selama masa perkecambahan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan dedak dan biochar sebagai bahan penyalut enkapsulasi benih cabai, serta kemampuan *Trichoderma* sp. sebagai bahan aktif pada enkapsulasi benih dalam mengendalikan penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan berupa P01 (benih non-enkapsulasi), P02 (benih direndam *Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL), P1 (bahan penyalut dedak+*Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL), dan P2 (bahan penyalut biochar+*Trichoderma* 10^6 konidia/mL). Ulangan perlakuan diulang sebanyak lima kali dengan enam ulangan untuk setiap unit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dedak dan biochar sebagai bahan penyalut dapat menjaga viabilitas *Trichoderma* sp. dan mampu mengendalikan penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. Hasil penelitian ini berkontribusi untuk teknologi mutu benih dan pengendalian secara biologis.

ABSTRACT

Chili has quite high economic value and market demand. Chili production which increased by 115,250 tons in 2022 must be maintained properly. Problems with chili cultivation such as attacks by the pathogen *Ralstonia solanacearum* which causes bacterial wilt disease can be controlled by using biological agents such as *Trichoderma* sp. which in addition to acting as a biological agent can also produce phytohormones that stimulate plant growth (*Plant Growth Promoting Fungi*). *Trichoderma* sp. in its growth requires a substrate as energy, the use of bran and biochar which can be a medium for the cultivation of *Trichoderma* sp. as a coating material in seed encapsulation needs to be developed. The benefits of encapsulation in seeds are that it can protect seeds from environmental influences during the germination period. The purpose of this study was to determine the ability of bran and biochar as coating materials for chili seed encapsulation, as well as the ability of *Trichoderma* sp. as an active ingredient in seed encapsulation in controlling bacterial wilt disease *Ralstonia solanacearum*. The experimental design used was a Completely Randomized Design (CRD) with four treatments in the form of P01 (non-encapsulated seeds), P02 (seeds soaked in *Trichoderma* sp. 10^6 conidia/mL), P1 (coating material bran + *Trichoderma* sp. 10^6 conidia/mL), and P2 (coating material biochar + *Trichoderma* 10^6 conidia/mL). The treatment was repeated five times with six replications for each unit. The results showed that bran and biochar as coating materials can maintain the viability of *Trichoderma* sp. and are able to control bacterial wilt disease *Ralstonia solanacearum*. The results of this study contribute to seed quality technology and biological control.

1. PENDAHULUAN

Tahun 2024 produksi cabai rawit di Indonesia mencapai 1.564.975 ton, dengan Provinsi Jawa Timur menyumbang sekitar 36,4% dari total produksi nasional. Data tersebut menunjukkan bahwa cabai merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi dengan permintaan dan harga jual yang relatif stabil di pasaran (Agustina *et al.*, 2025). Buah cabai memiliki kandungan berbagai macam vitamin dan terdapat senyawa bioaktif alkaloid capsaicin. Kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif tersebut tidak hanya menentukan kualitas dan cita rasa cabai, tetapi juga berpengaruh terhadap daya tahan tanaman terhadap stres lingkungan dan serangan penyakit, karena keseimbangan unsur hara dan metabolit sekunder berperan dalam sistem pertahanan fisiologis tanaman (Mubarokah *et al.*, 2015).

Rasa pedas cabai banyak disukai oleh masyarakat Indonesia, hal tersebut memberikan inovasi dunia industri makanan untuk menambah varian rasa pedas cabai (Alindi *et al.*, 2023). Hasil produksi cabai nasional tahun 2022 mengalami peningkatan sebanyak 115.250 ton dari tahun 2021 (BPS, 2023). Peningkatan hasil produksi perlu dijaga secara berkelanjutan untuk memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat. Keberlanjutan produksi cabai kerap terganggu oleh serangan penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* yang dapat menyebabkan kerusakan sistem perakaran dan menurunkan hasil panen secara signifikan. Cara yang dapat dilakukan dalam mempertahankan hasil produksi cabai yaitu dengan mengatasi kendala budidaya cabai.

Kendala yang dialami oleh petani dalam budidaya cabai sebagian besar disebabkan oleh faktor lingkungan dan iklim, serta serangan patogen penyebab penyakit. Menurut Purnamayani dan Susilawati (2014), salah satu penyakit yang mematikan bagi tanaman cabai yaitu penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. Addy *et al.*, (2016) menyebutkan bahwa *Ralstonia solanacearum* dapat menyebabkan kerugian hingga 100% pada budidaya tanaman cabai. Pengendalian secara umum dilakukan menggunakan bakterisida yang mengandung antibiotik streptomisin. Pada Januari 2021, Badan Perlindungan Lingkungan AS (EPA) menyetujui label tambahan, yang akan berakhir pada April 2023, untuk penggunaan streptomisin pada 100.000 hektar lahan jeruk di Florida untuk mengendalikan penyakit jeruk hijau (*huanglongbing*; *Candidatus liberibacter* spp.). Akan tetapi, keputusan EPA telah ditentang di pengadilan oleh kelompok lingkungan dan pekerja pertanian (Rhouma *et al.*, 2023) karena penggunaan jangka panjang dapat menyebabkan fitotoksik pada tanaman dan membentuk reservoir bakteri yang resisten (Raini, 2015). Pengendalian yang direkomendasikan dan dinilai ramah lingkungan yaitu pengendalian hayati, salah satunya dengan memanfaatkan mikroba antagonis yang dapat menghambat pertumbuhan patogen melalui kompetisi, predasi, dan antibiosis (Asril *et al.*, 2020).

Mikroba antagonis yang sering ditemukan di tanah yang mampu berperan sebagai agen hayati untuk mengendalikan patogen adalah jamur *Trichoderma* sp. (Uruilal *et al.*, 2012). *Trichoderma* sp. mengendalikan patogen dengan cara menghambat pertumbuhannya melalui mekanisme antibiosis serta bersaing untuk ruang dan nutrisi. Penelitian Sari *et al.*, (2022) mengenai potensi *Trichoderma* sp. yang dilakukan secara *in vitro* yaitu *Trichoderma harzianum* berpotensi dalam menghambat pertumbuhan *Ralstonia solanacearum*, rata-rata zona hambat sebesar 9,6 mm pada 24 jam dan 6,8 mm pada 48 jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Trichoderma* sp. sebagai agen hayati efektif dalam melindungi tanaman dari patogen (Marieska *et al.*, 2022). Salah satu cara memanfaatkan agen hayati ini adalah dengan menggunakannya sebagai bahan aktif dalam teknik enkapsulasi benih, yaitu teknik membungkus benih dengan bahan pelindung agar benih tidak mudah rusak, memiliki viabilitas yang baik, dan terlindung dari patogen (Saputri *et al.*, 2015). Metode enkapsulasi pada benih cabai rawit mampu mengendalikan penyakit rebah kecambah akibat

patogen *Sclerotium rolfsii* hingga 81.30% dibandingkan dengan metode perendaman yang memperoleh persentase 76.38 % (Mahmudi dan Rachmawati, 2025)

Pertumbuhan *Trichoderma* sp. membutuhkan energi, kadar air yang optimal, pH yang sesuai, dan pengaruh senyawa kimia di sekitarnya. Biochar merupakan salah satu media penyimpan karbon dalam waktu yang lama, karbon tersebut dibutuhkan oleh mikroba seperti *Trichoderma* sp. sebagai energi (Sarwono, 2016). Biochar sebagai bahan organik mampu mempertahankan pH pada setiap perubahan kondisi. Ketika pH larutan tinggi, maka proton dari gugus fungsional akan dilepaskan dan menetralkan OH dalam larutan. Sebaliknya, ketika pH menurun, maka kation yang teradsorpsi di permukaan akan dilepaskan ke dalam larutan sehingga pH dapat dipertahankan (Hidayat *et al.*, 2018). Kemampuan biochar dalam mempertahankan pH tersebut diharapkan mampu menjadi media pertumbuhan *Trichoderma* sp. dalam enkapsulasi benih. Energi yang terdapat dalam dedak berupa karbohidrat Penelitian oleh Gusnawaty *et al.*, (2017) memberikan hasil bahwa *Trichoderma* sp. mampu tumbuh dengan optimal pada media dedak, pertumbuhan 100% terjadi pada 4 HSI. Kresnawaty *et al.*, (2016) menyatakan bahwa biochar termasuk dalam media tumbuh yang cukup baik bagi berbagai mikroba tanah, hal ini karena kompetisi di dalam pori mikro dalam biochar cukup rendah, sehingga memungkinkan mikroba untuk bersporulasi dengan maksimal. Kemampuan dedak dan biochar sebagai media pertumbuhan *Trichoderma* sp. diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyalut dalam enkapsulasi benih dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.

Pemanfaatan bahan penyalut sebagai penyedia nutrisi bagi agensia hayati, serta pemilihan perekat dalam enkapsulasi benih perlu diperhatikan. Bahan penyalut yang sulit terurai di tanah akan memengaruhi proses imbibisi benih dan dapat mengganggu proses perkecambahan. Penelitian mengenai enkapsulasi benih cabai menggunakan bahan penyalut organik seperti dedak dan biochar yang dikombinasikan dengan agensia hayati *Trichoderma* sp. masih jarang dilakukan di Indonesia, sehingga kajian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efektivitasnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan dedak dan biochar sebagai bahan penyalut enkapsulasi benih dengan menggunakan bahan aktif *Trichoderma* sp., serta untuk mengetahui kemampuan benih hasil enkapsulasi berbahan aktif *Trichoderma* sp. dalam mengendalikan penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan pada bulan Februari 2024 hingga Juli 2024. Penelitian secara *in vitro* di Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan uji secara *in vivo* dilaksanakan di *greenhouse* Kecamatan Kandangan, Kabupaten Kediri, Jawa Timur terletak antara 7°36'12"- 8°0'32" LS dan 111° 47'05"- 112°18'20" BT. Suhu udara berkisar antara 23 °C sampai dengan 31 °C dan berada pada ketinggian 176 mdpl (BPS, 2022).

2.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam uji *in vitro* yaitu Laminar Air Flow (LAF), autoklaf (*All American*), mesin enkapsulasi sederhana dengan kecepatan 50-150 rpm, vortex, cawan petri diameter 9 cm, tabung reaksi, erlenmeyer, gelas beaker, jarum ose, pinset, pelubang media agar diameter 5 mm, bunsen, korek, mikropipet 1000 µL, tip mikropipet 1 mL, timbangan analitik, kertas merang, dan sprayer. Alat yang digunakan untuk uji secara *in vivo* yaitu polybag, garpu rumput, sekop, dan gembor. Bahan yang digunakan yaitu benih cabai, media PDA, media NA, media NB, media YPGA, media PDB, biakan murni jamur *Trichoderma* sp., biakan murni *Ralstonia solanacearum*,

glukosa sebagai perekat dengan konsentrasi 2%, dedak dan biochar sebagai bahan penyalut, aquades, alkohol 70%, NaOCl 1%, tanah dan pupuk kompos sebagai media tanam.

2.3 METODE PENELITIAN

Rancangan percobaan pada penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan berupa perbedaan bahan penyalut. Perlakuan terdiri dari P01: benih non-enkapsulasi; P02: benih yang direndam *Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL; P1: benih disalut dedak dengan bahan aktif *Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL; P2: benih disalut biochar dengan bahan aktif *Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL. Perlakuan diulang sebanyak 5 kali, sehingga unit perlakuan sejumlah 20 unit dengan masing-masing unit terdapat 6 ulangan, maka total sampel yaitu sebanyak 120 sampel.

2.3 PELAKSANAAN PENELITIAN

2.3.1 Seleksi Benih Cabai

Benih cabai yang digunakan untuk penelitian yaitu varietas Arimbi yang berasal dari penyimpanan hasil panen milik petani, hal ini dilakukan agar benih untuk perlakuan terhindar dari antijamur dan antibakteri kimia. Benih yang digunakan berasal dari buah cabai yang sehat tanpa gejala penyakit. Benih diambil dari buah cabai yang telah dikering anginkan selama tujuh hari. Seleksi benih dilakukan dengan teknik rendam, benih yang tetap berada didasar diasumsikan sebagai benih dengan kualitas baik.

2.3.2 Sterilisasi Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang berbahan dasar *glassware* disterilisasi pada autoclave suhu $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 15-20 menit, sedangkan alat dari *stainless steel* disterilisasi pada oven suhu $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam. Bahan penyalut biochar disterilisasi dengan cara dioven selama 30 menit (Agus *et al.*, 2022). Bahan penyalut dedak sebelum disterilisasi harus direndam dengan air selama 24 jam, kemudian diperas dan dimasukkan dalam botol, selanjutnya dedak disterilisasi dengan autoklaf suhu $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ (15 menit) (Gusnawaty *et al.*, 2017). Benih cabai dilakukan sterilisasi dengan cara mencuci benih pada alkohol 70 % (1 menit), kemudian NaOCl 1 % (2 menit), lalu benih dibilas dengan aquades steril sebanyak 3 kali (Asniah *et al.*, 2014).

2.3.3 Pembuatan Formulasi Bahan Penyalut

Bahan aktif *Trichoderma* sp. dibiakkan pada media media *Potato Dextrose Broth* (PDB) dengan cara mengambil sebanyak dua cakram (dua plong) *Trichoderma* sp. diameter 1 cm yang telah berumur 14 hari, kemudian dikulturkan pada 250 mL PDB. Suspensi diinkubasi pada suhu kamar selama 5 hari, kemudian pada hari ke-6 mulai digojok pada 200 rpm dan dihitung kerapatan mencapai 10^6 konidia/mL (Arsyadmunir *et al.*, 2023). Suspensi *Trichoderma* sp. yang telah mencapai kerapatan 10^6 konidia/mL selanjutnya dihomogenkan dengan bahan penyalut (dedak atau biochar). Penghitungan kerapatan spora dilakukan menggunakan hemocytometer. Komposisi formulasi yang digunakan yaitu sebanyak 50 mL suspensi *Trichoderma* sp. untuk 100 gram bahan penyalut (dedak atau biochar). Bahan dihomogenkan kemudian dioven pada suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga kering.

2.3.4 Proses Enkapsulasi Benih

Enkapsulasi dilakukan dengan memasukkan sebanyak 1 gram benih cabai ke dalam bak enkapsulator, kemudian benih disemprot larutan glukosa sebanyak 5 kali semprot ($\pm 2\text{ mL}$). Bak enkapsulator diputar dan dimasukkan bahan penyalut secara bertahap, setelah satu menit bak

enkapsulator dihentikan, benih yang telah tersalut dapat dipisahkan. Kegiatan enkapsulasi dilakukan berulang hingga semua benih percobaan tersalut oleh bahan penyalut (Marieska *et al.*, 2022).

2.3.5 Uji Viabilitas *Trichoderma* sp. pada Benih Hasil Enkapsulasi

Uji viabilitas dilakukan dengan menghitung spora yang berkecambah dan tidak berkecambah dalam satuan persen. Sebanyak 10 benih cabai enkapsulasi dimasukkan kedalam 10 mL aquades kemudian divortex agar homogen (Arsyadmunir *et al.*, 2023). Media PDA disiapkan dengan mengambil sebanyak tiga plong media PDA yang lain dan diletakkan pada media PDA yang baru (Naufal dan Purwantisari, 2021). Suspensi diteteskan pada permukaan media PDA hasil plong kemudian ditutup dengan cover glass dan diinkubasi selama 24 jam. Viabilitas spora dihitung menggunakan rumus oleh Tarman (2006) dalam Yogaswara *et al.*, (2020) sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Spora yang berkecambah}}{\text{Spora seluruhnya}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: P = Perkecambahan spora.

2.3.6 Uji Antagonis Benih terhadap *Ralstonia solanacearum*

Uji antagonis benih hasil enkapsulasi terhadap *Ralstonia solanacearum* dilakukan dengan memodifikasi metode oleh Murkalina *et al.* (2011), yaitu dengan teknik biakan ganda. Tahapan yang dilakukan yaitu dengan menuang sebanyak 0,1 mL suspensi *Ralstonia solanacearum* yang telah berumur 48 jam ke dalam cawan petri, selanjutnya ditambahkan 10 mL media YPGA cair suhu $\pm 35^{\circ}\text{C}$, agar suspensi dan media homogen maka cawan petri dapat digoyangkan. Benih hasil enkapsulasi sebanyak 1 benih diletakkan pada tengah media yang telah padat. Tahapan selanjutnya yaitu inkubasi dan pengamatan luasan zona hambat pada 24 jam dan 48 jam. Pengukuran zona hambat yaitu dengan mengukur diameter vertikal dan horizontal dari zona hambat yang dihasilkan dengan satuan mm menggunakan jangka sorong, perhitungan luasan zona hambat menggunakan rumus oleh Magvirah *et al.* (2019) sebagai berikut:

$$\text{Zona hambat} = \frac{(Dv - Dc) + (Dh - Dc)}{2} \quad (2)$$

Keterangan: Dv = Diameter vertikal; Dh = Diameter horizontal; Dc = Diameter benih.

2.3.7 Uji In Vivo Benih Hasil Enkapsulasi

Uji *in vivo* benih hasil enkapsulasi dilakukan dengan menanam benih pada media tanam yang telah diinokulasi bakteri *Ralstonia solanacearum* 10^8 CFU/mL. Media tanam terdiri dari tanah steril dan kompos dengan perbandingan 1:1. Benih yang telah berkecambah selanjutnya diamati tinggi tanaman, jumlah daun, dan intensitas penyakit akibat *Ralstonia solanacearum*. Pengukuran tinggi tanaman dimulai dari pangkal bawah atau batang atas tanah hingga titik tumbuh tanaman. Jumlah daun dihitung pada daun yang telah membuka sempurna (Baihaqi, 2013). Tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman diamati untuk mengetahui dampak penggunaan *Trichoderma* sp. yang diduga dapat berperan sebagai PGPF (*Plant Growth Promoting Fungi*).

Persentase intensitas penyakit dihitung setelah muncul gejala pertama hingga 30 HST, hal ini untuk mengetahui kemampuan bahan penyalut dalam menjaga viabilitas *Trichoderma* sp. untuk mengendalikan *Ralstonia solanacearum*. Persentase intensitas penyaki dihitung menggunakan rumus Mayee dan Datar (1986) dalam Latifahani *et al.*, (2014):

$$I = \frac{\sum(n \cdot v)}{N \cdot Z} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan: I = Intensitas penyakit; n = Jumlah tanaman yang terserang; v = Nilai skor serangan pada setiap tanaman yang terserang; N = Jumlah total tanaman yang diamati; Z = Nilai skor serangan tertinggi.

2.3.8 Analisis Data

Hasil data yang diperoleh selanjutnya dianalisis ANOVA (*Analysis of Variance*) menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics *version* 24, apabila hasil analisis menunjukkan nilai signifikansi $<0,05$ maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf nyata 5 %.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Viabilitas *Trichoderma* sp. pada Benih Hasil Enkapsulasi

Viabilitas *Trichoderma* sp. diketahui berdasarkan hasil perhitungan spora yang berkecambah dan tidak berkecambah dalam satuan persen. Viabilitas *Trichoderma* sp. pada benih diamati pada 7, 14, 21, dan 28 hari masa simpan dengan mengamati spora yang berkecambah dan tidak berkecambah pada mikroskop dengan perbesaran 400x (Gambar 1). Hasil analisis uji viabilitas *Trichoderma* sp. menggunakan sidik ragam terdapat pada Tabel 1.

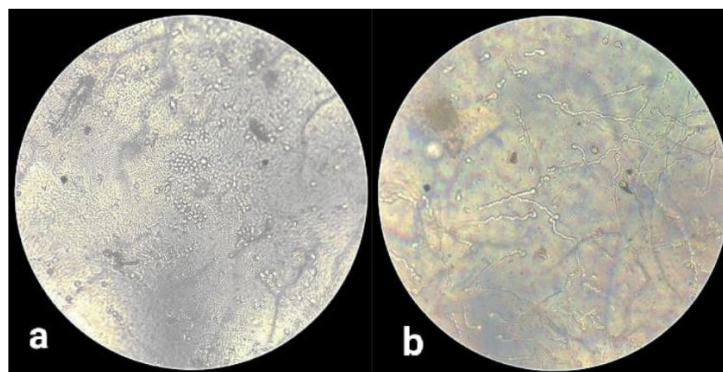
Hasil pengamatan spora pada mikroskop yaitu spora yang tidak berkecambah berbentuk bulat, tidak terdapat konidia, dan bergerombol, sedangkan spora yang berkecambah berbentuk bulat dan terdapat konidia tegak yang saling berkaitan. Konidia terletak pada konidiofor yang merupakan alat reproduksi aseksual *Trichoderma* sp. (Utami et al., 2023). Spora yang tidak berkecambah memiliki kemungkinan untuk membentuk klamidiospora yang berbentuk bulat ketika lingkungan kekurangan nutrisi (Molebila et al., 2020).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan penyalutan benih memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap viabilitas benih pada semua waktu pengamatan (7–28 hari). Nilai F masing-masing adalah 52.38, 50.71, 12225.77, dan 1694.02 dengan nilai signifikansi $p < 0.05$. Hasil uji viabilitas *Trichoderma* sp. pada Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat penurunan persentase seiring bertambahnya waktu simpan, akan tetapi persentase berada kisaran 88-94% termasuk dalam kategori viabilitas yang baik. Hal tersebut merujuk pada pernyataan Ramli (2004) dalam Utami et al., (2023) bahwa persentase viabilitas spora >85 -100 % digolongkan dalam kategori baik.

Tabel 1. Hasil Uji Viabilitas *Trichoderma* sp.

Perlakuan	Viabilitas <i>Trichoderma</i> sp. (%)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
P01	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
P02	13.78 a	12.83 a	0.00 a	0.00 a
P1	94.20 b	92.49 b	91.69 b	91.51 b
P2	92.11 b	91.32 b	90.96 b	88.21 b

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada tingkat 5%.



Gambar 1. Viabilitas *Trichoderma* sp.: a) spora *Trichoderma* sp. tidak berkecambah; b) spora *Trichoderma* sp. Berkecambah.

Penurunan persentase viabilitas *Trichoderma* sp. diduga akibat ketersediaan nutrisi yang kurang sehingga tidak ada aktivitas reproduksi dan akhirnya mengalami dormansi. Wahyuni dan Yanti (2019) menyampaikan bahwa setiap mikroba yang tumbuh membutuhkan karbon sebagai pembentukan energi dan nitrogen untuk mensintesis protein. *Trichoderma* sp. yang mengalami dormansi akibat kekurangan nutrisi yaitu dengan membentuk klamidiospora yang tetap hidup dan tidak menurunkan potensinya sebagai agen antagonis. Menurut Amaria *et al.*, (2016) bahwa dormansi *Trichoderma* sp. akan selesai ketika lingkungan menyediakan nutrisi yang cukup.

Tidak adanya aktivitas oleh *Trichoderma* sp. selama masa simpan dapat menunjukkan bahwa dedak dan biochar merupakan formulasi bahan penyalut yang baik untuk enkapsulasi benih. Hal tersebut mengacu pada penjelasan oleh Situmorang (2012), bahwa bahan penyalut yang baik agar dapat disimpan dalam waktu yang lama yaitu ditandai dengan tidak terdapat aktivitas agensia hayati, seperti proses memperbanyak diri dan proses metabolisme. Hal tersebut disebabkan karena proses metabolisme oleh mikroba dapat menyebabkan peningkatan kadar air pada bahan penyalut (Amaria *et al.*, 2016), apabila hal tersebut terjadi maka dapat merusak bahan penyalut dan menyebabkan masa simpan yang relatif singkat.

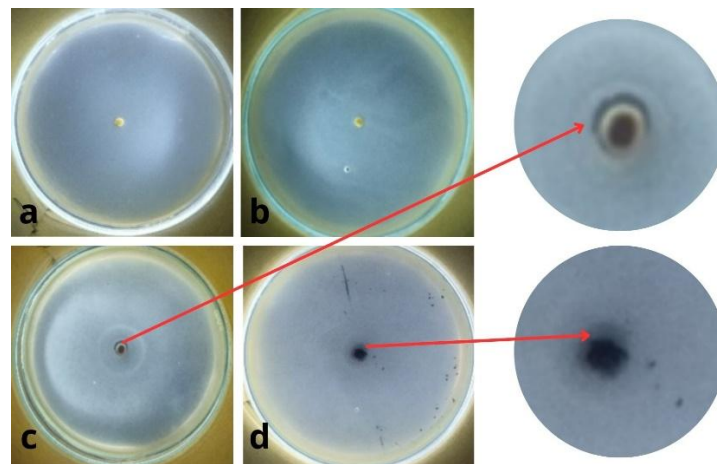
3.2 Uji Antagonis Benih terhadap *Ralstonia solanacearum*

Uji antagonis benih enkapsulasi terhadap bakteri *Ralstonia solanacearum* dilakukan pada media YPGA (*Yeast Potato Glukosa Agar*). Hasil pengamatan pada 24 jam (gambar 2) dan 48 jam (gambar 3) pada perlakuan bahan penyalut dedak (P1) dan biochar (P2) terjadi peningkatan luasan zona hambat (Tabel 2), berbeda dengan perlakuan benih non-enkapsulasi (P01) yang tidak terdapat zona hambat, dan perlakuan benih yang direndam *Trichoderma* sp. 10^6 konidia/mL (P02) yang mengalami penurunan luasan zona hambat pada 48 jam.

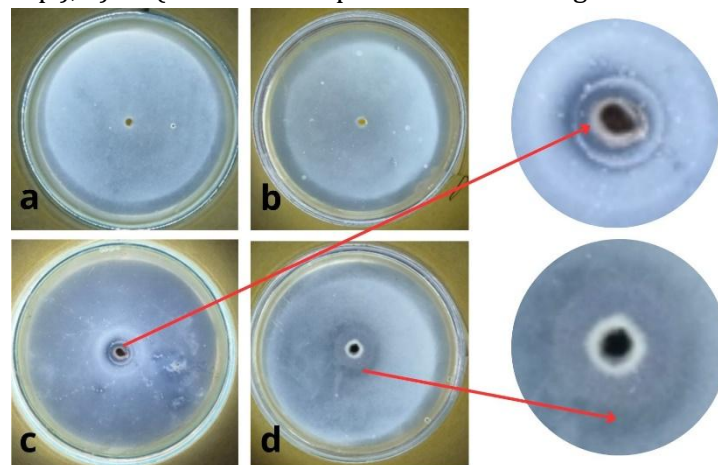
Tabel 2. Hasil Uji Antagonis.

Perlakuan	Luas zona hambat (mm)			
	Zona hambat 24 jam		Zona hambat 48 jam	
P01	0.00	a	0.00	a
P02	0.16	a	0.00	a
P1	2.33	b	4.66	b
P2	1.33	ab	2.66	b

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada tingkat 5%.



Gambar 2. Uji antagonis masa inkubasi 24 jam: a) P01 (benih cabai tanpa enkapsulasi); b) P02 (benih cabai direndam *Trichoderma* sp.); c) P1 (benih terenapsulasi dedak dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.); d) P2 (benih terenapsulasi biochar dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.).



Gambar 3. Uji antagonis masa inkubasi 48 jam: a) P01 (benih cabai tanpa enkapsulasi); b) P02 (benih cabai direndam *Trichoderma* sp.); c) P1 (benih terenapsulasi dedak dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.); d) P2 (benih terenapsulasi biochar dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.).

Zona hambat yang muncul pada uji antagonis antara benih dengan *Ralstonia solanacearum* diduga karena *Trichoderma* sp. sebagai bahan aktif menghasilkan zat antibiotik bersifat antimikroba terhadap *Ralstonia solanacearum*. Menurut Trisnawati *et al.*, (2019) *Trichoderma* sp. dapat menghasilkan metabolit sekunder antimikroba berupa senyawa antibiotik viridin dan trikomidin yang bekerja dengan mekanisme antibiosis. Pernyataan tersebut didukung dengan hasil penelitian oleh Adriansyah *et al.*, (2015) bahwa hasil kultur *Trichoderma* sp. di media cair yang diinduksi *Ralstonia solanacearum* untuk memacu produksi metabolit sekunder pada uji antagonis memiliki zona hambat sebesar 35,98 %, berbeda dengan hasil kultur *Trichoderma* sp. tanpa induksi *Ralstonia solanacearum* memiliki zona hambat sebesar 13,45 %. Hasil penelitian tersebut dapat membuktikan bahwa metabolit sekunder berupa zat antibiotik yang dihasilkan *Trichoderma* sp. memiliki sifat antimikroba terhadap *Ralstonia solanacearum* dan berpotensi dalam menghambat pertumbuhan *Ralstonia solanacearum*.

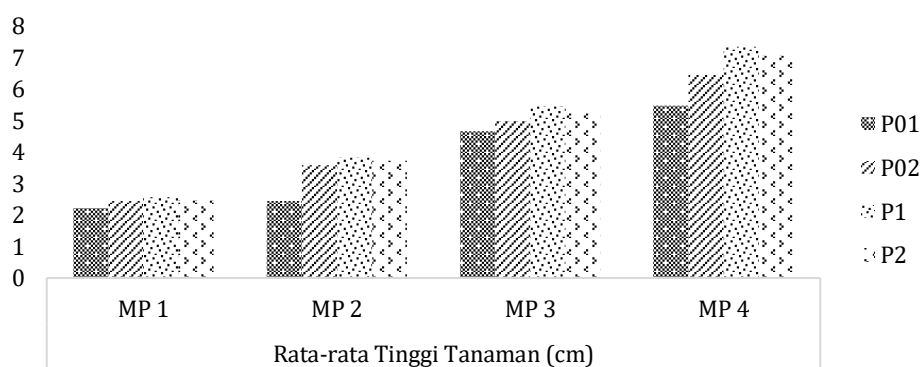
Perlakuan menggunakan bahan penyalut dedak memiliki zona hambat terbesar dibandingkan perlakuan yang lain dan terjadi peningkatan pada 48 jam. Hasil tersebut diduga karena dedak memiliki nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan biochar. Uruilal *et al.* (2012) menyampaikan bahwa dedak memiliki kandungan karbohidrat (27,01 %), fosfor (0,69 %), kalium (1,92 %), dan pH (6,16), sedangkan biochar lebih banyak mengandung karbon yaitu sebanyak 30-60% (Hidayat *et al.*,

2022) dibandingkan dengan kandungan nitrogen dan nutrisi lainnya. Ketersediaan nutrisi pada bahan penyalut berpengaruh terhadap daya hidup *Trichoderma* sp., nutrisi yang cukup dapat membantu untuk tumbuh dengan baik dan menghasilkan zat antibiotik secara maksimal. Nutrisi yang tersedia pada dedak memungkinkan *Trichoderma* sp, untuk tumbuh dengan baik dan mampu menghasilkan zat antibiotik ketika uji antagonis, sehingga memunculkan zona hambat yang lebih luas dibandingkan penggunaan bahan penyalut biochar.

3.3 Uji In Vivo Benih Hasil Enkapsulasi

3.3.1 Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman

Parameter tinggi tanaman dan jumlah daun tanaman pada penelitian ini mengacu pada kemampuan *Trichoderma* sp. sebagai *Plant Growth Promoting Fungi* (PGPF) (Yogaswara et al., 2020) yang dapat menghasilkan hormon pertumbuhan, sehingga dapat memacu pertumbuhan dan hasil daun pada tanaman. Pengamatan dilakukan mulai 7 HST hingga 30 HST, rata-rata tinggi tanaman per-minggu disajikan pada Gambar 4.



Keterangan: MP = Minggu pengamatan; P01 = benih cabai tanpa enkapsulasi; P02 = benih cabai direndam *Trichoderma* sp.; P1 = benih terenkapsulasi dedak dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.; P2 = benih terenkapsulasi biochar dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.

Gambar 4. Rata-rata tinggi tanaman.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Tinggi Tanaman Cabai.

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)			
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4
P01	2.22 a	3.38 a	4.66 a	5.46 a
P02	2.43 b	3.57 ab	4.99 ab	6.45 b
P1	2.57 b	3.82 b	5.45 b	7.33 b
P2	2.46 b	3.73 b	5.23 b	7.05 b

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada tingkat 5 %. MP= Minggu Pengamatan ke-.

Hasil pengamatan tinggi tanaman pada minggu pengamatan ke-4 (Tabel 3) menunjukkan bahwa perlakuan benih non-enkapsulasi (P01) berbeda secara signifikan terhadap perlakuan perendaman benih menggunakan *Trichoderma* sp. (P02), bahan penyalut dedak+*Trichoderma* sp. (P1), dan bahan penyalut biochar+*Trichoderma* sp. (P2).

Perlakuan P02, P1, dan P2 memberikan hasil yang tidak berbeda secara signifikan, hal tersebut karena terdapat bahan aktif *Trichoderma* sp. yang dapat berperan sebagai PGPF penghasil fitohormon (Martínez-medina et al., 2011), selain tugas utamanya sebagai agensia hayati. Fitohormon yang dihasilkan oleh *Trichoderma* sp. yang dapat memacu tinggi tanaman yaitu auksin dan giberelin. Hossain dan Sultana (2020) menjelaskan bahwa hormon auksin yang dihasilkan oleh

Trichoderma sp. dapat mengatur pertumbuhan morfologi akar dengan cara meningkatkan produksi akar lateral dan menghambat pemanjangan akar primer, sedangkan pemanjangan batang dibantu oleh hormon giberelin. Pernyataan tersebut membuktikan bahwa penggunaan *Trichoderma* sp, sebagai bahan aktif pada bahan penyalut dapat memacu tinggi tanaman melalui fitohormon yang dihasilkan berupa hormon auksin dan giberelin.

Fitohormon yang dihasilkan oleh *Trichoderma* sp. selain dapat memacu tinggi tanaman juga dapat memberikan pengaruh terhadap jumlah daun tanaman. Hasil pengamatan jumlah daun tanaman pada minggu pengamatan ke-4 menunjukkan bahwa seluruh perlakuan tidak terdapat perbedaan secara signifikan (Tabel 4), hal ini diduga karena pengaruh *Ralstonia solanacearum* yang menyebabkan tanaman layu dengan gejala awal berupa layu pada bagian daun tanaman muda, kemudian daun rontok hingga akhirnya tanaman mati. Penyebab secara fisiologis yang mendasari hal tersebut terjadi adalah karena respon fisiologis tanaman terhambat oleh *Ralstonia solanacearum*. Fitohormon seperti auksin dan sitokinin yang dihasilkan *Trichoderma* sp. memerlukan waktu untuk memicu pertumbuhan vegetatif, sementara gangguan pada jaringan xilem akibat patogen *Ralstonia solanacearum* membatasi aliran air dan nutrisi ke daun sehingga ekspresi pertumbuhan tidak optimal. Selain itu, aktivitas *Trichoderma* lebih dominan di perakaran, sehingga dampak terhadap jumlah daun dapat terlihat pada fase pertumbuhan berikutnya ketika tanaman mulai pulih dari stres patogen (Illescas et al., 2021).

P01 dengan perlakuan benih non-enkapsulasi memiliki jumlah daun tanaman paling sedikit, meskipun nilai yang ditunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan. Pengaruh patogen *Ralstonia solanacearum* pada perlakuan P01 memberikan dampak yang ditunjukkan dengan persentase intensitas penyakit tertinggi (Tabel 5), hal ini dapat diakibatkan karena tidak terdapat agensia hayati yang melindungi tanaman. P1 dengan perlakuan bahan penyalut dedak+*Trichoderma* sp. memiliki jumlah daun tanaman tertinggi. Dedak sebagai bahan penyalut dapat berperan sebagai sumber energi bagi *Trichoderma* sp., sehingga fitohormon yang dihasilkan lebih maksimal, meskipun pada perlakuan P1 telah terdapat tanaman yang layu pada minggu pengamatan ke-1 (Tabel 5).

Hormon yang berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman yang dihasilkan oleh *Trichoderma* sp. yaitu Zeatin (Ze) atau sitokinin (Martínez-medina et al., 2011) dengan perannya untuk proses pertumbuhan pucuk daun tanaman dan merenegerasi sel tanaman berupa pembentukan daun baru. Hormon lainnya yaitu enzim 1-aminocyclopropane-1carboxylic acid (ACC) deminase (Nascimento et al., 2014) yang bekerja dengan membelah ACC yang dihasilkan tanaman, sehingga dapat meminimalkan etilen dalam tanaman, sebab etilen berperan dalam proses perontokan daun dan pematangan buah, apabila etilen meingkat maka pertumbuhan daun terhambat.

3.3.2 Intensitas Penyakit

Pengamatan terhadap intensitas penyakit tanaman akibat patogen *Ralstonia solanacearum* dimulai sejak muncul gejala pertama hingga 30 HST. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa gejala pertama muncul pada salah satu ulangan perlakuan P1 berupa benih dengan bahan penyalut dedak+*Trichoderma* sp. (Gambar 5) pada 12 HST yaitu minggu pengamatan ke-1. Meskipun demikian, akan tetapi hasil sidik ragam memberikan hasil bahwa mulai minggu pengamatan ke-1 hingga ke-3 tidak terdapat perbedaan secara signifikan (Tabel 5).

Tabel 4. Hasil Pengamatan Jumlah Daun Tanaman Cabai.

Perlakuan	Rata-rata jumlah daun (helai)					
	MP 2		MP 3		MP 4	
P01	2.35	a	4.07	ab	4.78	a
P02	2.72	b	4.45	b	5.85	a
P1	2.58	b	3.82	a	6.65	a

P2	2.62 b	4.01 ab	5.69 a
----	--------	---------	--------

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada tingkat 5 %. MP= Minggu Pengamatan ke-.



Gambar 5. Gejala penyakit layu bakteri: a) P01 (benih cabai tanpa enkapsulasi); b) P02 (benih cabai direndam *Trichoderma* sp.); c) P1 (benih terenapsulasi dedak dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.); d) P2 (benih terenapsulasi biochar dengan bahan aktif *Trichoderma* sp.).

Tabel 5. Hasil Pengamatan Intensitas Penyakit.

Perlakuan	Intensitas penyakit (%)			
	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4
P01	0.00 a	0.27 a	6.80 a	21.66 b
P02	0.00 a	0.00 a	0.00 a	2.77 a
P1	0.41 a	3.33 a	6.52 a	6.66 a
P2	0.00 a	0.00 a	3.19 a	7.63 a

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda secara signifikan berdasarkan uji lanjut DMRT pada tingkat 5 %. MP= Minggu Pengamatan ke-.

Gejala serangan patogen *Ralstonia solanacearum* pada perlakuan P1e(II) yaitu layu pada daun tanaman yang menyebabkan tanaman mati pada 13 HST. Gejala yang ditunjukkan sesuai dengan pernyataan Kasidal *et al.*, (2019) bahwa *Ralstonia solanacearum* dapat menimbulkan gejala layu dan daun muda tanaman menguning, serta apabila bagian batang tanaman dipotong lalu dicelupkan ke air, maka akan muncul massa bakteri atau oze.

Analisis sidik ragam memberikan hasil bahwa perlakuan benih non-enkapsulasi (P01) berbeda secara signifikan terhadap perlakuan benih direndam *Trichoderma* sp. (P02), benih dengan bahan penyalut dedak+*Trichoderma* sp. (P1), dan benih dengan bahan penyalut biochar+*Trichoderma* sp. (P2). Persentase intensitas penyakit tertinggi yaitu pada perlakuan tanpa penggunaan bahan aktif *Trichoderma* sp. (P01) sebesar 21,66 %, hal tersebut dapat terjadi karena tidak mendapat peran *Trichoderma* sp. sebagai agensia hayati untuk melindungi tanaman. Mekanisme *Trichoderma* sp. dalam menekan perkembangan *Ralstonia solanacearum* yaitu melalui metabolit sekunder yang bersifat antimikroba seperti gliotoksin, peptaibol, dan 6-pentyl- α -pyrone yang memiliki aktivitas antibakteri dan mampu menghambat pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* (Zeilinger *et al.*, 2016). Perlakuan P02, P1, dan P2 menunjukkan tidak terdapat perbedaan secara signifikan, hal ini karena ketiga perlakuan tersebut menggunakan *Trichoderma* sp. sebagai bahan aktif. Perlakuan P02 menunjukkan tingkat persentase intensitas penyakit terendah yaitu 2,77 %, pada penelitian lain dengan perlakuan serupa memberikan hasil bahwa perendaman benih menggunakan suspensi *Trichoderma* sp. dapat menghambat pertumbuhan patogen dan mengurangi tingkat keparahan serangan *Pyricularia grisea* hingga 21% pada 10 minggu pengamatan.

Perlakuan P1 (6,66 %) dan P2 (7,63 %) yang menggunakan bahan penyalut+ *Trichoderma* sp. menunjukkan hasil persentase intensitas yang berbeda signifikan dengan P01 (21,66 %), meskipun

perlakuan P1 menunjukkan gejala penyakit paling awal. Keefektifan *Trichoderma* sp. dalam mengendalikan patogen *Ralstonia solanacearum* dipengaruhi dengan tingkat viabilitasnya, pada penelitian ini, bahan penyalut dapat menjaga viabilitas *Trichoderma* sp. hingga lebih dari 88 %. Viabilitas yang tinggi memungkinkan *Trichoderma* berkolonisasi lebih cepat di daerah rizosfer, sehingga meningkatkan kemampuan kompetisi terhadap patogen dalam memperebutkan ruang dan nutrisi, sekaligus memperkuat aktivitas antibiosis melalui produksi metabolit sekunder dan enzim hidrolitik seperti chitinase dan β -1,3-glucanase. Penurunan viabilitas menghambat pembentukan biofilm pelindung serta menurunkan kemampuan supresi patogen (Sutarman *et al.*, 2021). Jogaiah *et al.* (2013) menyampaikan bahwa kemampuan *Trichoderma* sp. sebagai PGPF dengan viabilitas yang baik dapat berperan untuk menekan serangan patogen *Ralstonia solanacearum* penyebab penyakit layu bakteri. Mekanisme yang terjadi oleh *Trichoderma* sp. terhadap *Ralstonia solanacearum* yaitu dengan menghasilkan zat antibiotik yang bersifat antimikroba dan racun.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan dedak dan biochar sebagai bahan penyalut terbukti dapat menjaga viabilitas *Trichoderma* sp. pada kisaran 88-94 % selama 28 hari masa simpan, persentase viabilitas tersebut dikategorikan baik. Perlakuan dengan penyalut dedak dan biochar terbukti mampu menurunkan intensitas penyakit secara signifikan dibandingkan benih tanpa enkapsulasi, hal tersebut menjelaskan bahwa kedua bahan tersebut memiliki peran penting dalam meningkatkan ketahanan hidup dan aktivitas biologis *Trichoderma* sp. di rizosfer. Penelitian yang dilaksanakan pada greenhouse dengan kondisi lingkungan yang homogen dan waktu yang relatif singkat dapat memberikan hasil yang berbeda pada kondisi lingkungan heterogen yang lebih dinamis. Oleh karena itu, diperlukan uji lanjutan pada skala lapangan dan periode pertumbuhan lebih panjang untuk mengevaluasi konsistensi efektivitas formulasi penyalut terhadap patogen dalam berbagai kondisi agroekosistem.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Addy, H. S., Azizi, N. F., & Mihardjo, P. A. (2016). Detection of bacterial wilt pathogen and isolation of its bacteriophage from banana in Lumajang area, Indonesia. *International Journal of Agronomy*, 2016, Article 5164846. <https://doi.org/10.1155/2016/5164846>
- Adriansyah, A., Hamawi, M., & Ikhwan, A. (2015). Uji metabolit sekunder *Trichoderma* sp. sebagai antimikrobia patogen tanaman *Pseudomonas solanacearum* secara *in vitro*. *Gontor Agrotech Science Journal*, 2(1), 19–30. <https://doi.org/10.21111/agrotech.v2i1.294>
- Agus, Y. A. I. P., Subaedah, S., & Ralle, A. (2022). Pengaruh berbagai jenis media tanam terhadap perkembangbiakan fungi mikoriza arbuskula dengan menggunakan tanaman inang kacang hijau (*Vigna radiata* L.). *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 6(1), 74–82. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v6i1.177>
- Agustina, T., Fitrianto, A., & Indahwati. (2025). Comparison of SARIMA and BES for forecasting red chili production. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 30(2), 333–339. <https://doi.org/10.18343/jipi.30.2.333>
- Alindi, D. Y., Idmayanti, R., & Lestari, T. (2023). Penerapan sistem pakar diagnosa penyakit pada tanaman cabai menggunakan metode *forward chaining* berbasis Android. *JITSI: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.62527/jitsi.4.2.117>
- Amaria, W., Ferry, Y., Samsudin, & Harni, R. (2016). Pengaruh penambahan gliserol pada media perbanyakan terhadap daya simpan biofungisida *Trichoderma*. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 3(3), 159–166. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v3n3.2016.p159-166>

- Arsyadmunir, A., Pawana, G., Badami, K., Sholikhah N., & Wuryandari, Y. (2023). Pengaruh komposisi biopolimer terhadap viabilitas *Trichoderma* sp. sebagai *seed coating* benih jagung. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 16(1), 1–5.
- Asniah, Lestari, D., Mariadi, & Darlian, L. (2014). Potensi cendawan endofit nonpatogen asal akar tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.) sebagai biofungisida patogen *Fusarium oxysporum*. *Agriplus*, 24(2), 177–183.
- Asril, M., Lisafitri, Y., & Siregar, B. A. (2020). A possibility of proteolytic bacteria utilization to control *Ralstonia solanacearum* 59 *in vitro*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 537(1), Article 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/537/1/012040>
- Baihaqi, A., Nawawi, M., & Abadi, A. L. (2013). Teknik aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 1(3), 30–39.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Kabupaten Kediri dalam angka 2022*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Kediri.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Hasil produksi cabai Jawa Timur*. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. [Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur](https://www.bpsprov.jatim.go.id/).
- Gusnawaty, H. S., Taufik, M., Bande, L. O. S., & Asis, A. (2017). Efektivitas beberapa media untuk perbanyakan agens hayati *Trichoderma* sp. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 17(1), 70–76. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11770-76>
- Hidayat, B., Rauf, A., Sabrina, T., & Jamil, A. (2018). Potential of several biomass as biochar for heavy metal adsorbent. *Journal of Asian Scientific Research*, 8(11), 293–300. <https://doi.org/10.18488/journal.2.2018.811.293.300>
- Hossain, M. M., & Sultana, F. (2020). Application and mechanisms of plant growth promoting fungi (PGPF) for phytostimulation. In S. K. Das (Ed.), *Organic agriculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92338>
- Illescas, M., Pedrero-Méndez, A., Pitorini-Bovolini, M., Hermosa, R., & Monte, E. (2021). Phytohormone production profiles in *Trichoderma* species and their relationship to wheat plant responses to water stress. *Pathogens*, 10(8), Article 991. <https://doi.org/10.3390/pathogens10080991>
- Jogaiah, S., Abdelrahman, M., Tran, L.-S. P., & Shin-ichi, I. (2013). Characterization of rhizosphere fungi that mediate resistance in tomato against bacterial wilt disease. *Journal of Experimental Botany*, 64(12), 3829–3842. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert212>
- Kasidal, N., Aidawati, N., & Adriani, D. E. (2019). Uji efektivitas agensia hayati dalam mengendalikan penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* dan meningkatkan pertumbuhan serta hasil tanaman cabai (*Capsicum annuum*). *Enviro Scienteae*, 15(3), 349–356.
- Kresnawaty, I., Budiani, A., & Darmono, T. (2016). Dinamika populasi *Trichoderma harzianum* DT38 pada campuran arang hayati tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan gambut. *E-Journal Menara Perkebunan*, 80(1), 17–24.
- Latifahani, N., Cholil, A., & Djauhari, S. (2014). Ketahanan beberapa varietas jagung (*Zea mays* L.) terhadap serangan penyakit hawar daun (*Exserohilum turcicum* Pass. Leonard et Sugss.). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 2(1), 52–60.
- Magvirah, T., Marwati, & Ardhani, F. (2019). Uji daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* menggunakan ekstrak daun tahongai (*Kleinhovia hospita* L.). *Jurnal Peternakan Lingkungan Tropis*, 2(2), 41–50. <https://doi.org/10.30872/jpltrop.v2i2.3687>
- Mahmudi, Z., & Rachmawati, R. (2025). Efektivitas *seed coating* dengan *Trichoderma* sp. untuk mengendalikan rebah kecambah (*Sclerotium rolfsii*) pada benih cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal HPT*, 13(2), 67–81. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2025.013.2.1>

- Marieska, S. H., Wiyatiningsih, S., & Nirwanto, H. (2022). Viabilitas *Trichoderma* sp. pada enkapsulasi benih selada dalam beberapa masa penyimpanan. *Jurnal AGROHITA: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian*, 7(3), 555–559. <https://doi.org/10.31604/jap.v7i3.7012>
- Martínez-Medina, A., Roldán, A., Albacete, A., & Pascual, J. A. (2011). The interaction with arbuscular mycorrhizal fungi or *Trichoderma harzianum* alters the shoot hormonal profile in melon plants. *Phytochemistry*, 72(2–3), 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.11.008>
- Mas'ud, S. E., & Wahyuningsih, S. (2022). *Statistik Konsumsi Pangan Indonesia Tahun 2022*. Pusat Data dan Informasi Pertanian, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Molebila, D. Y., Rosmana, A., & Tresnaputra, U. S. (2020). *Trichoderma* asal akar kopi dari Alor: Karakterisasi morfologi dan keefektifannya menghambat *Colletotrichum* penyebab penyakit antraknosa secara *in vitro*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 16(2), 61–68. <https://doi.org/10.14692/jfi.16.2.61-68>
- Mubarokah, N., Setyawan, H. B., & Sholikhah, U. (2015). Kadar capsaicin dua varietas cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) sebagai respon pengaruh dosis pupuk nitrogen. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 1(1), 1–7.
- Murkalina, S., Khotimah, S., & Febrianti, L. (2011). Uji antagonis *Trichoderma harzianum* terhadap *Erwinia* sp. penyebab penyakit busuk bakteri pada *Aloe vera*. *Jurnal Fitomedika*, 7(3), 150–154.
- Nascimento, F. X., Rossi, M. J., Soares, C. R. F. S., McConkey, B. J., & Glick, B. R. (2014). New insights into 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase phylogeny, evolution and ecological significance. *PLoS ONE*, 9(6), Article e99168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099168>
- Naufal, M. F. Q., & Purwantisari, S. (2021). Viabilitas biofungisida produk lokal dan aplikasinya untuk penundaan gejala penyakit hawar daun tanaman kentang. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 22(2), 188–195. <https://doi.org/10.14710/bioma.22.2.188-195>
- Purnamayani, R., & Susilawati, E. (2014). *Hama dan penyakit tanaman cabai serta pengendaliannya*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jambi.
- Raini, M. (2015). Kajian pestisida berbahan aktif antibiotika. *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 25(1), 33–42.
- Rhouma, M., Archambault, M., & Butaye, P. (2023). Antimicrobial use and resistance in animals from a One Health perspective. *Veterinary Sciences*, 10(5), Article 319. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050319>
- Saputri, E., Lisnawita, & Pinem, M. I. (2015). Enkapsulasi beberapa jenis *Trichoderma* sp. pada benih kedelai untuk mengendalikan penyakit *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(3), 1123–1131.
- Sari, A. R., Prasetyawati, E. T., & Wiyatiningsih, S. (2022). Potensi *Trichoderma* spp. sebagai antagonis penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) secara *in vitro*. *Agrohita: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian*, 7(3), 524–532.
- Sarwono, R. (2016). Biochar sebagai penyimpan karbon, perbaikan sifat tanah, dan mencegah pemanasan global: Tinjauan. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18, 79–90.
- Situmorang, E. C. (2012). *Penyimpanan spora T. asperellum T13 dan Aspergillus niger A1 dalam bahan pembawa padat dan cair* [Skripsi, Institut Pertanian Bogor].
- Sutarman, Ahmad, K. J., Lianini, A. S., & Prihatiningrum, A. E. (2021). Characterizations of *Trichoderma* sp. and its effect on *Ralstonia solanacearum* of tobacco seedlings. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 21(1), 8–19. <https://doi.org/10.23960/jhptt.1218-19>
- Trisnawati, E., Panggeso, J., & Asrul. (2019). Pengaruh aplikasi *Trichoderma* sp. terhadap layu bakteri *Ralstonia solanacearum* pada tanaman pisang. *E-J. Agrotekbis*, 7(4), 210–215.
- Uruilal, U., Kalay, A. M., Kaya, E., & Siregar, A. (2012). Pemanfaatan kompos ela sagu, sekam dan dedak sebagai media perbanyakan agens hayati. *Agrologia*, 1(1), 21–30.

- Utami, W. P., Syam, N., & Suriyanti. (2023). Perbanyak jamur *Trichoderma* sp. pada beberapa jenis media tumbuh dengan metode terbuka dan tertutup. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4(1), 111–118. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v4i1.318>
- Wahyuni, S. H., & Yanti, D. P. (2019). Pengaruh kombinasi berbagai jenis pupuk organik yang didekomposisi dengan *Trichoderma viride* terhadap intensitas kerusakan bonggol tanaman pisang. *Jurnal Pertanian Tropik*, 6(3), 458–465. <https://doi.org/10.32734/jopt.v6i3.3197>
- Yogaswara, Y., Suharjo, R., Dirmawati, S. R., & Ginting, C. (2020). Uji kemampuan isolat jamur *Trichoderma* spp. sebagai antagonis *Ganoderma boninense* dan plant growth promoting fungi (PGPF). *Jurnal Agrotek Tropika*, 8(2), 235. <https://doi.org/10.23960/jat.v8i2.3904>
- Zeilinger, S., Gruber, S., Bansal, R., & Mukherjee, P. K. (2016). Secondary metabolism in *Trichoderma*—Chemistry meets genomics. *Fungal Biology Reviews*, 30(2), 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>