

**FUNGI ENDOFIT SEBAGAI BOKONTROL PATOGEN UTAMA
TANAMAN CABAI MERAH
(Uji Antagonisme dan Mekanisme Secara *In Vitro*)**



**Sri Nadia Commanechi¹⁾, Wiwiek Harsonowati^{2*)}, Andree Saylendra¹⁾, Endang Sulistyorini¹⁾,
Julio. E. R. Rumbiak¹⁾**

¹Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Sindangsari 42163
Serang Banten Indonesia; ²Pusat Riset Hortikultura Badan Riset dan Inovasi Nasional Cibinong 16915
Bogor Indonesia

*Corresponding author: wiwiek.harsonowati@brin.go.id

To cite this article:

Commanechi, S. N., Harsonowati, W., Saylendra, A., Sulistyorini, E., & Rumbiak, J. E. R. (2024). Fungi Endofit sebagai Biokontrol Patogen Utama Tanaman Cabai Merah (Uji Antagonisme dan Mekanisme Secara *In Vitro*). *JIA (Jurnal Ilmiah Agribisnis) : Jurnal Agribisnis Dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian*, 9(5), 448–457. <https://doi.org/10.37149/jia.v9i5.1596>

Received: October 03, 2024; **Accepted:** November 28, 2024; **Published:** November 29, 2024

ABSTRACT

Endophytic fungi, particularly dark septate endophytes (DSE), have emerged as a promising and sustainable strategy for mitigating fungal pathogens in chili plants. Effective pathogen management is critical in chili production, as fungal infections can cause significant crop losses, reduce fruit quality, and decrease yield. While the use of endophytic fungi in plant protection has been explored in various crops, the potential of DSE as a biocontrol against fungal pathogens in chili plants remains unknown. The present study aimed to evaluate the effectiveness of DSE fungi as biological antagonists against significant pathogens that cause destructive diseases in chili plants, using *in vitro* trials. The study was conducted from December 2023 to March 2024 at the National Research and Innovation Agency (BRIN). A completely randomized design (CRD) was employed, with a single factor—DSE treatment. Three treatments included D0 (control), DSE 411, and DSE 471. Four pathogenic species were tested: *Fusarium oxysporum* (Fo), *Phytophthora capsici* (Py), *Colletotrichum capsici* (Cc), and *Alternaria* sp. (Alt). Inhibition rates (IR) were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), followed by the Least Significant Difference (LSD) test at a 5% significance level. The highest antagonistic activity was observed against *C. capsici* (Cc), with DSE 411 showing a mean value of IR of 77.54%, whereas DSE 471 exhibited a significantly higher IR of 90.26%. Macroscopic observations revealed the formation of clear zones around both DSE colonies, suggesting the mechanism of inhibition by antibiosis or the production of antifungal compounds. Microscopic analysis using scanning electron microscopy (SEM) revealed specific antagonistic mechanisms, including parasitism and competition, as key factors in pathogen suppression. These findings highlight the potential use of DSE fungi as effective biocontrol agents for managing major diseases in chili plants, offering a promising strategy for sustainable disease management and crop protection.

Keywords: antibiosis; biocontrol; dark septate endophytes (DSE); inhibition rate; parasitism.

PENDAHULUAN

Tanaman hortikultura sangat penting untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, sehingga produksinya perlu ditingkatkan. Konsumsi produk hortikultura terus meningkat seiring dengan pemahaman masyarakat yang mulai peduli akan gizi dan kesehatan, pertumbuhan jumlah penduduk, serta peningkatan pendapatan. Tanaman hortikultura yang diprioritaskan di Indonesia salah satunya cabai merah (*Capsicum Annuum* L.) yang merupakan komoditas dengan permintaan tertinggi, yang mempunyai nilai ekonomi tinggi dalam pemenuhan kebutuhan domestik. Oleh karena itu, industri hortikultura perlu mendapat perhatian karena mempunyai peran strategis dalam menunjang perekonomian nasional (Ramasari *et al.*, 2021). Tanaman yang berasal dari Benua Amerika ini memiliki nama latin *Capsicum annuum* L.



Para niagawan dari Portugis dan Spanyol membawa cabai ke Indonesia. Tanaman cabai masuk ke dalam Tanaman cabai termasuk kedalam kingdom Plantae, Divisi Spermatophyta, Subdivisi Angiospermae, Class Dicotyledoneae, Subclass Sympetalae, Ordo Solanales, Famili Solonaceae, Genus Capsicum, Spesies *Capsicum annuum* L. (Yumte *et al.*, 2023). Cabai dimanfaatkan masyarakat sebagai bumbu dan rempah masakan seperti saus, sayur mayur, acar, lalap, dan selai karena mempunyai rasa yang khas serta aroma yang kuat, dalam industri makanan ekstrak cabai sebagai pengganti lada dan dalam industri minuman cabai digunakan dalam proses pembuatan minuman bir jahe. Rasa pedas pada cabai dihasilkan oleh minyak atsiri capcaisin. Cabai juga mengandung vitamin A dan C. Selain sebagai bahan pangan cabai banyak dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan atau tradisional. Zat kimia yang terkandung dalam cabai yaitu 8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide atau lebih dikenal sebagai zat capcaisin, ditambah kandungan vitamin C pada cabai yang bisa membantu memenuhi kekurangan vitamin C dalam tubuh (Polii *et al.*, 2019).

Gangguan akibat terjangkitnya penyakit menjadi masalah utama budidaya tanaman cabai. Pada tanaman cabai telah banyak ditemukan berbagai macam penyakit, seperti penyakit yang diakibatkan nematoda, virus, bakteri, jamur, serta penyakit nonpatogenik seperti kelainan fisiologi, genetik, gangguan hama, dan kerusakan oleh penggunaan pestisida yang tidak tepat. Cendawan patogen yang paling sering ditemukan pada tanaman cabai adalah *F. oxysporum*, *P. capsici*, *C. capsici* dan *Alternaria* sp. *F. oxysporum* merupakan jamur patogen yang menyerang berbagai jenis tanaman, termasuk cabai. Miselium *F. oxysporum* yang menginfeksi pembuluh tanaman (xilem dan floem) akan membentuk organ reproduksi mikrospora, kemudian akan terbawa oleh aliran air dalam kayu dan menyebar keseluruhan bagian tanaman (de Lamo & Takken, 2020). *P. capsici* adalah patogen yang ditularkan melalui tanah. *P. capsici* memiliki spora yang aktif berenang dan bergerak menembus permukaan air bawah tanah. *P. capsici* merupakan patogen yang sulit dikendalikan tanpa upaya pencegahan pergerakan air antar ladang *P. capsici* termasuk cendawan zoospora yang memiliki flagel sehingga dapat dengan mudah menyebarkan dan mencapai sistem perakaran tanaman terutama ketika hujan deras dan terjadi banjir (Quesada-Ocampo *et al.*, 2023).

Penampakan cendawan *C. capsici* secara makroskopis yaitu berupa koloni berwarna putih serta sedikit abu-abu dengan tekstur koloni seperti beludru atau kapas, rata, tebal miselium tumbuh secara teratur. Pada media PDA perlakuan kontrol cendawan miselium membentuk lingkaran berwarna kelabu keputihan (Siswandi *et al.*, 2020). Agen penyebab penyakit bercak coklat adalah jamur *Alt.* Beberapa spesies *Alternaria* merupakan anamorph dari jamur Pleospora, sementara yang lain dianggap anamorph dari *Leptosphaeria*. Jamur ini termasuk dalam famili Pleosporaceae, ordo Pleosporales, filum Ascomycota, kelas Dotidemycota, dan genus *Alternaria*. Tahapan seksual jamur ini tidak diketahui. Genus *Alternaria* dapat menyebabkan kerusakan signifikan (Sopialena & Wati, 2018).

Adanya serangan patogen tersebut menimbulkan penyakit yang dapat menyebabkan kerugian gagal panen dan tanaman mati. Penggunaan fungisida kimia sintetis untuk mengendalikan penyakit akibat cendawan telah berulang kali digunakan dan berakibat buruk pada lingkungan. Ekosistem alam dapat terancam, imbas dari pemakaian zat kimia pada fungisida yang berlebihan. Pestisida yang digunakan secara masif dengan skala besar akan berakibat patogen menjadi resisten dan musnahnya musuh alami. Cara pengendalian penyakit yang tidak tepat akan berdampak cukup besar terhadap penurunan mutu (kualitas) dan hasil panen (kuantitas).

Penggunaan pestisida sintetis yang tidak sesuai akan mengakibatkan peningkatan populasi hama (resurjensi hama), meledaknya populasi hama sekunder, matinya musuh alami dan organisme nontarget, resistensi hama, serta pencemaran lingkungan oleh residu pestisida. Residu pestisida juga sangat berbahaya bila tertinggal pada hasil pertanian dan dikonsumsi oleh manusia (Septariani *et al.*, 2019). Agen hayati dapat digunakan sebagai alternatif untuk menangani serangan cendawan patogen. Banyak agen hayati yang dapat dimanfaatkan salah satunya ialah cendawan endofit Dark Septate Endophyte (DSE). DSE memiliki gen saprofit yang sangat tinggi dalam genomnya. Hal tersebut dapat mendukung pertumbuhan inangnya melalui mineralisasi substrat tanah yang kompleks, sehingga melepaskan unsur hara yang mudah diserap tanaman (Knapp *et al.*, 2018).

Penelitian terbaru tentang pengaruh inokulasi DSE Hasil percobaan pot dengan DSE dan *G. uralensis* menunjukkan bahwa kehadiran DSE meningkatkan kelimpahan jamur saprotrofik dan simbiotrofik dan menghambat pertumbuhan perkembangan patogen jamur (He *et al.*, 2021). Berdasarkan uraian permasalahan tersebut, diperlukan penelitian tentang uji antagonis cendawan endofit terhadap patogen utama penyebab penyakit pada tanaman cabai merah (*Capsicum annuum* L.). Tujuan utama dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh pemberian DSE sebagai cendawan antagonis terhadap patogen penyebab penyakit utama pada tanaman cabai secara *in vitro*.

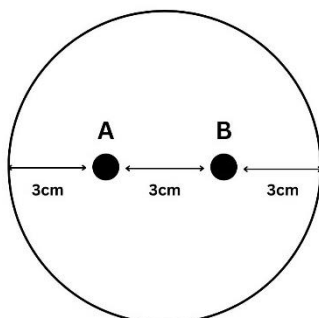
MATERI DAN METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimen di laboratorium, dilaksanakan dari bulan Desember 2023 sampai dengan bulan Maret 2024, bertempat di Cibinong Science Center, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong Kab. Bogor, Provinsi Jawa Barat. Pada penelitian ini peralatan yang diperlukan adalah petridish, pipet ukur, botol, Erlenmeyer, sedotan, scaple, blade, jangka sorong digital, autoklaf, Laminar Air Flow, dan mikroskop. Sedangkan bahan-bahan yang dibutuhkan yaitu isolat patogen *F. oxysporum*, *P.capsici*, *C. capsici*, dan *Alt*, isolat DSE 411 dan 471 yang diperoleh dari koleksi isolat Wiwiek Harsonowati, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Pembimbing III, media *Poteto Dextrose Agar* (PDA), parafilm, plastik warp, aquades, alkohol, serta aluminium foil.

Rancangan percobaan yang diterapkan yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor pemberian perlakuan DSE yang terdiri dari 3 taraf percobaan yaitu: D0 = kontrol, D411 = perlakuan DSE 411, D471 = perlakuan DSE 471. Kombinasi perlakuan sebanyak 12 satuan percobaan dengan 5 kali pengulangan, sehingga dihasilkan 60 unit percobaan. Parameter yang diamati adalah uji antagonis dengan melihat persentase daya hambat, pengamatan makroskopis dan pengamatan mikroskopis. Uji antagonis dilakukan dengan metode *dual culture* dimana isolat cendawan DSE dan cendawan patogen dibiakkan pada media PDA yang sama dengan jarak tertentu (Gambar 1). Pengujian antagonis secara *in vitro* dilakukan dengan metode biakan ganda dalam cawan petri berisi media PDA. Inokulum cendawan endofit dan patogen ditanam berdampingan pada media dalam cawan Petri diameter 90 mm, masing-masing berjarak 30 mm dari tepi cawan. Penanaman isolat patogen pada cawan petri terpisah juga dilakukan sebagai kontrol. Biakan selanjutnya diinkubasi selama 1- 2 minggu tergantung spesies cendawan dalam suhu ruangan. Setelah itu dihitung persentase daya hambat cendawan antagonis dengan menggunakan rumus :

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

Keterangan: R = Persentase daya hambat (%), R1 = Diameter kontrol (mm), R2 = Diameter perlakuan (mm)



Gambar 1. Dual culture : A = Isolat DSE ; B = Isolat cendawan parogen

Selanjutnya dilakukan pengamatan secara makroskopis dengan mengamati inokulum secara visual. Pengamatan berupa karakteristik cendawan seperti warna cendawan dan tekstur koloni. Selain itu juga diamati adanya zona bening. Kemudian pengamatan secara mikroskopis dengan mikroskop elektron pemindaian atau Scanning Electron Microscope (SEM) Pengamatan mikroskopis menggunakan SEM dilakukan dengan tujuan agar dapat mengetahui pertumbuhan abnormal cendawan patogen. Hasil data yang telah terkumpul selanjutnya dianalisis berupa metode analisis data kuantitatif dengan varian F tabel (5%), jika uji ANOVA (sidik ragam) menunjukkan hasil berbeda nyata (signifikan) maka dilakukan uji lanjut. Prinsip uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Antagonis

Kemampuan mikroorganisme antagonis dalam menekan aktivitas mikroba lain di dekatnya dapat dibuktikan dengan menggunakan uji antagonis. Uji antagonis bertujuan untuk mengukur dan mengetahui kemampuan cendawan antagonis dalam menekan pertumbuhan dan perkembangan cendawan patogen pada skala *in vitro* (skala laboratorium). Hasil analisis sidik ragam memperlihatkan bahwa cendawan endofit DSE memberikan pengaruh nyata. Cendawan DSE dapat menghambat pertumbuhan cendawan patogen (Tabel 1). Data pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan F.

oxysporum dengan DSE (Dark Septate Endophyte) berbeda nyata. Sedangkan patogen *P.capsici*, *C. capsici* dan *Alt* yang diberi perlakuan DSE menunjukkan hasil berbeda sangat nyata. Dapat dilihat bahwa nilai persentase daya hambat tertinggi terdapat pada perlakuan setiap cendawan patogen didominasi oleh cendawan endofit DSE 411, dengan daya hambat tertinggi pada perlakuan (CcD471) sebesar 96,26% diikuti perlakuan (CcD411) sebesar 77,54%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa cendawan endofit mampu menekan pertumbuhan cendawan patogen dan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk pengendalian penyakit. cendawan antagonis memiliki daya hambat yang besar terhadap pertumbuhan cendawan patogen dan memiliki luas pertumbuhan yang lebih besar dibanding dengan cendawan patogen yang mempunyai daya hambat yang lebih kecil.

Cendawan patogen *F. oxysporum* dan *P.capsici* yang diberikan perlakuan DSE 471 (Dark Septate Endophyte 471) tidak memberikan perbedaan yang signifikan jika dibandingkan dengan kontrol, hal ini berbanding terbalik dengan cendawan patogen *C. capsici* dan *Alt* yang justru memberikan reaksi yang sangat berbeda nyata baik dengan perlakuan DSE 411 (Dark Septate Endophyte 411) maupun DSE 471 (Dark Septate Endophyte 471). Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap cendawan memiliki mekanisme dan laju pertumbuhan yang berbeda. Perbedaan daya antagonis cendawan edofit disebabkan oleh perbedaan karakteristik morfologi dan fisiologi yang dimiliki oleh masing-masing spesies cendawan. Selain itu perbedaan efisiensi daya antagonis disebabkan oleh faktor lain diantaranya kadar senyawa kimia serta enzim yang terlibat (Ningsih *et al.*, 2016). Selain itu banyak faktor lain yang mempengaruhi hasil persentase daya hambat salah satunya adalah kebutuhan nutrisi pada setiap cendawan berbeda. Isolat tertentu akan tumbuh pada media yang memiliki kandungan nutrisi dalam jumlah yang spesifik. Isolat tertentu tumbuh pada media yang mengandung nutrisi dalam jumlah tertentu. Pertumbuhan dan perkembangan miselium isolat jamur dipengaruhi oleh jumlah nitrogen yang ada dalam media. Meskipun miselium jamur tidak dapat berkembang di media yang kekurangan nitrogen, nitrogen yang berlebihan dalam substrat juga dapat menyebabkan akumulasi amonia, yang meningkatkan pH dan mencegah pertumbuhan miselium

Tabel 1. Persentase daya hambat

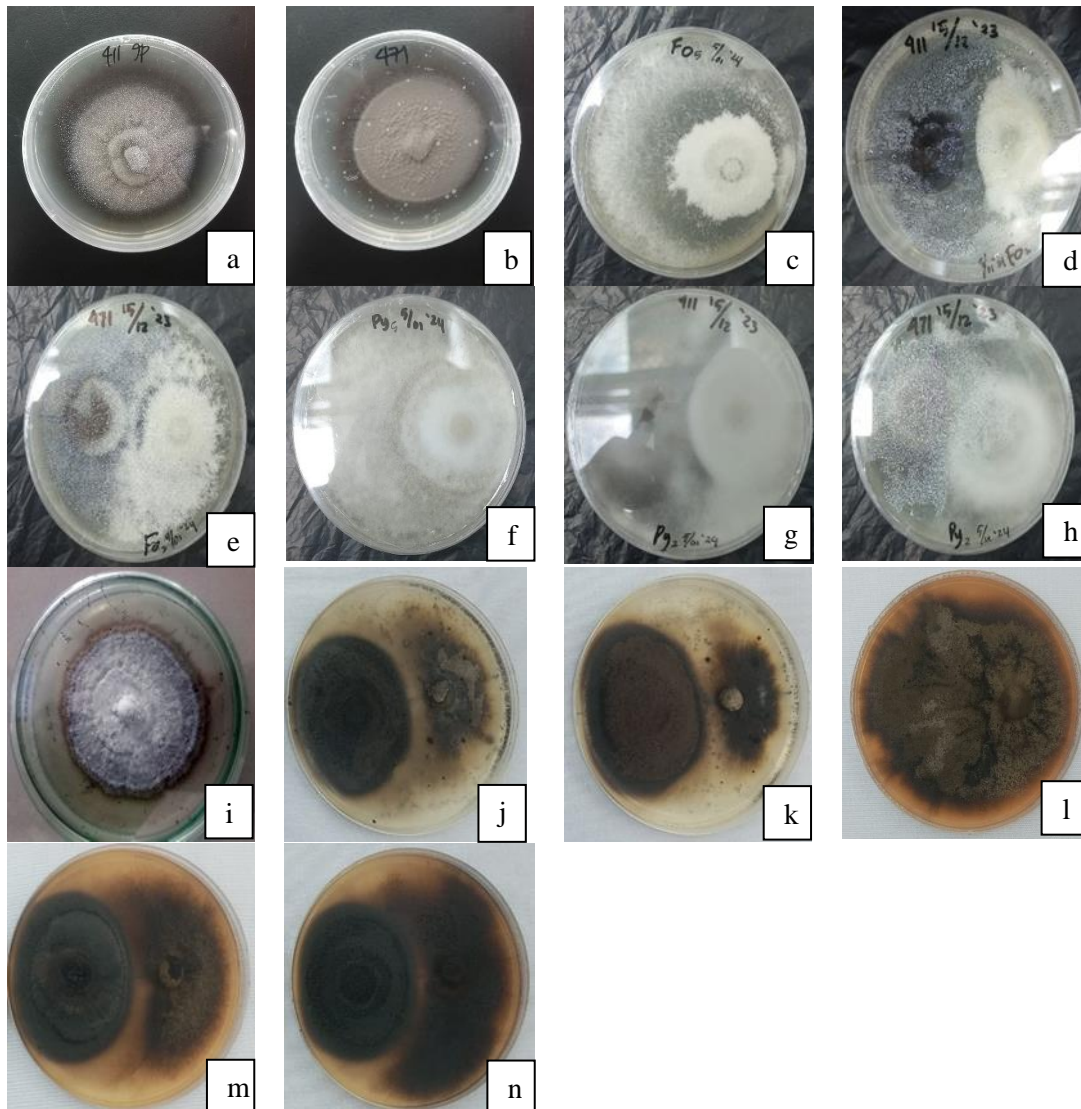
Perlakuan	Ulangan (%)					Rata-Rata	Keterangan
	I	II	III	IV	V		
0,0FoD0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
FoD411	0,00	93,00	0,00	0,00	90,00	55,20	*
FoD471	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PyD0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PyD411	0,00	91,50	95,00	92,00	91,00	73,96	**
PyD471	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CcD0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CcD411	0,00	97,50	96,00	96,50	97,20	77,54	**
CcD471	97,50	94,80	97,20	94,30	97,50	96,26	
0,0AltD0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
AltD411	95,00	96,00	96,00	96,80	0,00	76,76	**
AltD471	95,30	93,50	96,00	0,00	96,33	76,23	

Keterangan: * = berbeda nyata, ** = Sangat berbeda nyata. Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom atau baris yang sama menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT taraf 5%.

Pengamatan Makroskopis

Inspeksi makroskopis, yang melibatkan pengamatan hifa setiap isolat dan interaksi yang terjadi antara patogen jamur dan endofit yang diamati secara visual untuk mengetahui adanya aktifitas antagonis cendawan endofit. Pengamatan secara visual dilakukan dengan melihat zona atau luas pertumbuhan miselium dari masing-masing lempeng inokulum cendawan antagonis dan cendawan patogen. Secara visual Cendawan DSE berwarna gelap dan memiliki tekstur halus (Gambar 2a dan Gambar 2b). Dalam Penelitian yang dilakukan Handayani (2016) karakteristik DSE yang ditemukan pada akar tanaman Jagung dan padi memiliki ciri-ciri hifa berwarna gelap tumbuh secara interselular dan intraselular, ukuran mikrosklerosium beragam, dan terdapat kladospora. Keunggulan lain dari DSE yaitu mikrosklerotia sebagai bentuk kolonisasi pada jaringan akar tanaman. Husen *et al.*, (2022) menyatakan bahwa DSE (Dark Septate Endophyte) merupakan kelompok cendawan endofit yang memiliki hifa melanin dan gelap bersepta, menunjukkan pigmentasi gelap pada media agar, serta mampu mengkolonisasi akar tanaman secara inter dan intraseluler tanpa menyebabkan gejala penyakit. Mikrosklerotia sebagai bentuk pertahanan DSE pada kondisi stres

baik stres abiotik ataupun stres biotik. Cendawan endofit lainnya tidak memiliki kemampuan membentuk mikrosklerotia tersebut. Namun laju pertumbuhan cendawan DSE terbilang lambat karena memerlukan rangsangan atau stimulus agar dapat bersporulasi dan klasifikasinya DSE ini masih terbatas



Gambar 2. Foto beberapa fungi yang dilakukan uji antagonis *dual culture*. (a) isolat DSE 411 kontrol, (b) isolat DSE 471 kontrol, (c) isolat *F. oxysporum* kontrol, (d) isolat *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 411, (e) isolat *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 471, (f) isolat *P. capsici* kontrol, (g) isolat *P. capsici* dengan perlakuan DSE 411, (h) isolat *P. capsici* dengan perlakuan DSE 471, (i) isolat *C. capsici* kontrol, (j) isolat *C. capsici* dengan perlakuan DSE 411, (k) isolat *C. capsici* dengan Perlakuan DSE 471, (l) isolat *Alt* kontrol, (m) isolat *Alt* dengan perlakuan DSE 411, dan (n) isolat *Alt* dengan perlakuan DSE 471.

Pengamatan makroskopis cendawan *F. oxysporum* berwarna putih bersih dengan pembukaan halus seperti kapas (Gambar 2c). Dikutip Ulya *et al.*, (2020) Pada media tumbuh morfologi cendawan *F.* berwarna putih selanjutnya seiring berjalannya waktu hifa akan berubah menjadi pink keunguan, Mula-mula miselium tidak berwarna semakin terang warnanya, akhirnya koloni tersebut tampak seperti benang. Klamidospora dengan dinding tebal terbentuk di miselium yang lebih tua. Pengamatan makroskopis pada uji antagonis cendawan *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 411 (Gambar 2d) menunjukkan adanya jarak antara cendawan patogen dan endofit. ini diduga karena ada enzim atau senyawa kimia tertentu yang membuat pertumbuhannya terhenti. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Firdani *et al.*, (2024) cendawan DSE mempunyai kemampuan menghasilkan metabolit sekunder, antibiotik, mikotoksin, dan berbagai enzim yang

sangat bermanfaat bagi tanaman inang untuk bertahan melawan patogen tanaman. Pada cendawan *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 471 (Gambar 2e) menunjukkan tidak ada jarak diantara cendawan patogen dan endofit ataupun zona bening. Mekanisme yang terjadi bisa dipastikan bukan antibiosis karena tidak danya zona bening. Namun perlu masih perlu ditinjau lebih dalam terkait mekanisme yang terjadi. Karena adanya kemungkinan terjadi mekanisme hiperparasit meski pertumbuhan *Fusarium* lebih mendominasi menutupi sebagian kecil cendawan DSE.

Pengamatan secara visual karakteristik cendawan *P.capsici* secara makroskopis berwarna putih dengan tekstur halus (Gambar 2f). Kusumawardani *et al.*, (2015) menjelaskan isolat *P.capsici* yang diamati memiliki berwarna putih serta 3 variasi bentuk koloni yang yaitu menyerupai bentuk kembang, berbentuk kapas atau cotton, dan tidak memiliki bentuk. Isolat *Phytophthora capsici* menghasilkan klamidospora dan mempunyai hifa yang tidak terpisah. Pengamatan makroskopis pada uji antagonis Cendawan *P.capsici* dengan perlakuan DSE 411 dan DSE 471, keduanya tidak menunjukkan adanya zona bening (Gambar 2g dan Gambar 2h) isolat cendawan DSE 411 dan 471 pada bagian atas hampir separuhnya tertutupi oleh cendawan patogen *P.capsici*. Namun, cendawan DSE 411 dan 471 tumbuh dibagian bawah cendawan patogen. hal tersebut menunjukan adanya persaingan ruang tumbuh antara cendawan *P.capsici* dan cendawan endofit DSE. Mekanisme yang terjadi adalah hiperparasit (parasitisme). Dendang, (2015) menyatakan bahwa adanya hambatan dari cendawan endofit maka pertumbuhan koloni cendawan patogen akan ke atas tidak menyamping. Uji antagonis baik pada cendawan patogen *F. sp.* dan *P.capsici* dengan DSE 411 maupun DSE 471 tidak menunjukkan adanya zona bening. Maka perlu pengujian lebih lanjut dengan pengamatan mikroskopis untuk memastikan jenis mekanisme yang terjadi pada kedua isolat tersebut.

Tabel 2. Pengamatan makroskopis

Isolat	Pengamatan Makroskopis		
	Warna	Tekstur Koloni	Zona Bening
FoD0	Putih	Halus	-
FoD411	Putih	Halus	Tidak ada
	Kehitaman	Halus	
FoD471	Putih	Halus	Tidak ada
	Kehitaman	Halus	
PyD0	Putih	Halus	-
PyD411	Putih	Halus	Tidak ada
	Kehitaman	Halus	
PyD471	Putih	Halus	Tidak ada
	Kehitaman	Halus	
CcD0	Putih keabu-abuan	Halus	-
CcD411	Coklat kehitaman	Halus	Ada
	Kehitaman	Halus	
CcD471	Coklat kehitaman	Halus	Ada
	Kehitaman	Halus	
AltD0	Coklat Tua	Halus	-
AltD411	Coklat Tua	Halus	Ada
	Kehitaman	Halus	
AltD471	Coklat Tua	Halus	Ada
	Kehitaman	Halus	

Karakteristik *C. capsici* memiliki warna abu abu dan ada corak putih dengan tekstur halus (Gambar 2i). Yusmar M *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa ciri-ciri makroskopis cendawan *Colletotricum* : Terdiri atas miselium tebal berwarna putih abu-abu yang dikelilingi hifa putih berbentuk benang tipis seperti kapas Penampakan cendawan *C. capsici* secara makroskopis yaitu berupa koloni berwarna putih serta sedikit abu-abu dengan tekstur koloni seperti beludru atau kapas, rata, tebal miselium tumbuh secara teratur. Pada media PDA perlakuan kontrol cendawan miselium membentuk lingkaran berwarna kelabu keputihan (Siswandi *et al.*, 2020). Karakteristik *Alt* memiliki warna kecoklatan dengan tekstur halus (Gambar 2l). Dalam Nuviani *et al.*, (2023) menjelaskan pertumbuhan koloni cendawan awalnya berwarna warna putih selanjutnya berwarna keabu-abuan dengan bintik coklat, berubah menjadi menjadi hitam, seluruh tekstur cendawan bertekstur halus seperti kapas. Penampakan makroskopis cendawan *C. capsici* baik perlakuan dengan DSE 411 dan DSE 471 (Gambar 2j dan Gambar 2k) jika diamati dengan seksama terdapat zona bening. Selain itu cendawan *C. capsici* berubah berwarna coklat. Hal ini diduga karena zat antibiosis yang hasilkan DSE 411 dan

DSE 471. Dikutip dari Kusumawardani *et al.*, (2015) menyebutkan bahwa aktivitas yang kuat ditunjukkan oleh jamur endofit antagonis dalam produksi enzim yang berguna dalam pengendalian penyakit.

Mekanisme antibiosis juga terjadi pada cendawan patogen *Alt* yang diberikan perlakuan DSE 411 dan DSE 471 (Gambar 2 m dan 2n), ini terbukti dengan adanya zona bening. Zona bening mengindikasikan adanya mekanisme antibiosis yang terjadi pada uji antagonis. Sesuai dengan pernyataan Kusumawardani *et al.*, (2015) dalam penelitiannya mekanisme antibiosis ditunjukkan dengan adanya zona bening. Cendawan endofit yang mengeluarkan zat antibiosis juga dapat dibuktikan dengan tidak tumbuhnya cendawan patogen pada potongan media yang terdapat zona bening. Selain itu DSE mampu mendegradasi senyawa glukosa dan protein dengan adanya zona bening yang terbentuk. Kemampuan dalam mendegradasi protein pada kedua isolat dapat membantu tanaman dengan menyediakan unsur protein menjadi mikro nutrisi yaitu nitrogen di dalam tanah untuk diserap oleh tanaman. Selain Mekanisme antibiosis pengamatan secara visual dapat dilihat bahwa adanya persempitan kompetisi dimana zona diameter pertumbuhan miselium cendawan patogen lebih kecil disinyalir terjadi karena akibat persaingan ruang tumbuh dan nutrisi. Perkembangan jamur endofit yang berdekatan dengan jamur patogen menghambat pertumbuhan jamur patogen. Adanya persaingan diantara kedua isolat menjadikan pertumbuhan cendawan patogen terhambat, penghambatan tersebut karena persaingan ruang tumbuh dan nutrisi yang ada dalam media tumbuh. Pertumbuhan cendawan antagonis yang semakin cepat dengan diameter yang hampir memenuhi cawan petri sehingga cendawan patogen semakin terdesak karena habisnya ruang tumbuh. Akibatnya jari-jari pertumbuhan cendawan patogen menjadi kecil. Sehingga dapat disimpulkan penghambatan cendawan patogen dikelompokkan sebagai mekanisme antibiosis jika terdapat zona hambat antara pertumbuhan miselium cendawan endofit dan patogen, serta kompetisi jika pertumbuhan cendawan endofit mendominasi media.

Pengamatan Mikroskopis

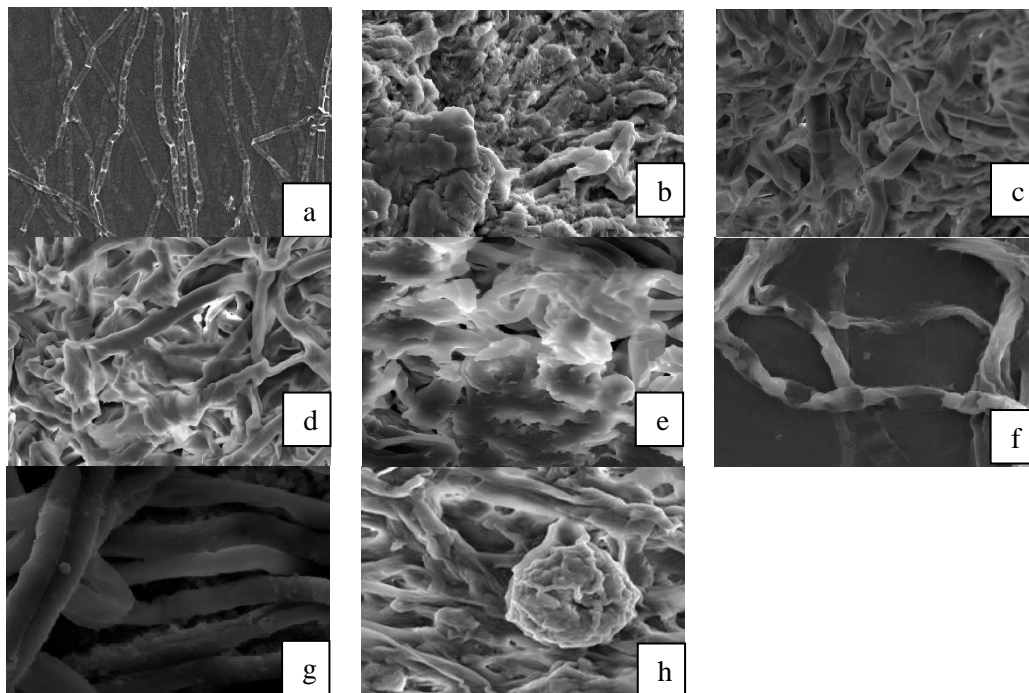
Pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengetahui interaksi yang terjadi antara cendawan patogen dengan cendawan endofit dengan alat bantu mikroskop atau *Scanning Electron Microscope* (SEM). pengamatan secara mikroskopis dilakukan dengan cara mengamati ujung miselium pada daerah zona hambat cendawan patogen, diamati pertumbuhan abnormal miselium cendawan patogen, berupa ujung miselium yang bengkok, miselium bercabang, pecah, membelah, tumbuh kerdil dan lisis. Hasil pengamatan secara mikroskopis dengan menggunakan SEM menunjukkan adanya kerusakan hifa patogen yang disebabkan oleh hifa cendawan endofit. Pada isolat *F. sp.* dengan DSE 411 (Gambar 3e) menunjukkan adanya hifa yang hancur pada cendawan *F. sp.* dan jika dibandingkan dengan *F. oxysporum* kontrol (Gambar 3c) ada beberapa hifa yang bertekstur kasar atau mengkruting. Sedangkan pada isolat *F. oxysporum* dengan DSE 471 (Gambar 3f) terlihat dengan jelas bahwa hifa patogen mengalami kerusakan atau lisis. Berbeda dengan isolat *P.capsici* kontrol (Gambar 3d) yang terlihat hifa menumpuk satu sama lain bentuknya lebih meliuk dengan permukaan halus, pada zona pertemuan *P.capsici* dengan DSE 411 (Gambar 3g) hifa patogen justru lebih renggang dan lurus serta permukaan sedikit kasar seperti ada sesuatu yang menempel pada permukaan hifa. Sedangkan pada isolat *Phytophthora capsici* yang diberi perlakuan DSE 471 (Gambar 3h) ada hifa yang berbentuk bulat besar dan bentuknya meliuk dengan permukaan sedikit lebih kasar serta mengelupas jika dibandingkan dengan kontrol (Gambar 2d).

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis yang dilakukan, perubahan bentuk yang terjadi pada patogen disinyalir berasal dari zat antibiosis yang berasal dari cendawan endofit DSE sehingga mekanisme yang terjadi adalah antibiosis karena terlihat dengan jelas bahwa hifa cendawan patogen akan mengalami malformasi atau berubah bentuk. Dalam Hutabalian *et al.*, (2015) menyatakan bahwa infeksi suatu mikroba ditandai dengan berubahnya bentuk dan warna hifa. Hutabalian *et al.*, (2015) juga menambahkan bahwa interaksi antara cendawan saprofit dengan cendawan patogen dapat menyebabkan hifa patogen menjadi terpotong-potong, hancur dan mengalami lisis. Cara kerja cendawan endofit dalam melawan mikroorganisme patogen adalah dengan mengeluarkan senyawa anti mikroba. Senyawa tersebut merusak dinding sel, mengganggu metabolisme sel, mengganggu permeabilitas membran sel, menghambat sintesis protein dan asam nukleat sel mikroba. Selain itu cendawan endofit juga dapat menghasilkan beberapa senyawa antibakteri, insektisida, hormon pertumbuhan, dan lain-lain. Cendawan antagonis dapat membentuk berbagai jenis interaksi, seperti persaingan untuk mendapatkan ruang, nutrisi antibiosis, atau pengembangan resistensi tanaman terhadap fitopatogen.

Metabolit sekunder, seperti siderofor atau senyawa asam, dapat memobilisasi nutrisi untuk mendukung satu strain, sehingga membatasi sumber nutrisi untuk strain lainnya. Metabolit sekunder juga dapat mengurangi pertumbuhan cendawan lain, menghasilkan respon antibiosis. Selain bersifat

antibiosis, ditemukan senyawa *volatile organic compound* (VOC) yang merupakan senyawa antimikroba molekul rendah karbon yang dapat menguap pada tekanan dan suhu normal (Dalimunthe *et al.*, 2019) Dalam penelitian yang dilakukan Harsonowati *et al.*, (2020) Cendawan DSE *C. Chaetospir* SK51 yang berasosiasi dengan akar memberikan perlindungan tanaman dan meningkatkan kesehatan tanaman dengan meningkatkan parameter pertumbuhan. Aplikasi pertanian dari *C. Chaetospir* SK51 merupakan alternatif yang menjanjikan untuk menekan layu *Fusarium* selama pembibitan hingga produksi. Cara lain agens hayati dalam menghambat patogen adalah dengan lisis yaitu miselium agens hayati mampu menghancurkan atau memotong-motong miselium patogen dan mengakibatkan kematian. Mekanisme pertahanan yang dihasilkan oleh DSE sama seperti cendawan endofit pada umumnya yaitu secara langsung atau tidak langsung seperti menghasilkan metabolit anticendawan, cendawan parasitisme, atau menginduksi ketahanan sistemik tanaman. Potensi isolat DSE mampu mendegradasi senyawa karbon, nitrogen, fosfor, sifedror (mengkelat besi) dan aktivitas katalase.

Terdapat senyawa metabolit berupa hexadecenoic dan linolenic acid yang bersifat antimikrobal. cendawan DSE dapat mendegradasi senyawa organik termasuk selulosa, pati, protein, lipid, asam amino, gelatin, urea, dan pektin dalam kondisi *in vitro*. Meskipun preferensi dalam mendegradasi sumber nutrisi organik tertentu dapat berbeda antar spesies cendawan penelitian DSE menunjukkan bahwa cendawan DSE mampu melakukan mineralisasi senyawa organik yang mengandung N dan P, sehingga menghasilkan mineralisasi senyawa organik N dan P agar tersedia bagi tanaman. DSE juga diketahui mampu melindungi tanaman dari cekaman biotik dengan meningkatkan kinerja tanaman terhadap serangan patogen. Cendawan DSE mampu melindungi tanaman secara langsung dan tidak langsung, induksi cendawan DSE mampu merangsang pertumbuhan tanaman dengan berbagai senyawa serta melindungi tanaman dengan zat antibiosis yang berperan dalam pertahanan tanaman melawan cendawan patogen (Dalimunthe *et al.*, 2019). Menurut (Malicka *et al.*, 2022) dalam penelitiannya, keberadaan cendawan DSE mampu meningkatkan jumlah dan panjang akar halus serta mencegah sel-sel akar dari ultrastruktural kerusakan akibat dehidrasi, yang mungkin kaitannya dengan tingginya kadar indole acetic (IAA) pada DSE. Selain itu akumulasi abscisic acid (ABA) yang berpartisipasi dalam regulasi stomata daun mengurangi kehilangan air melalui transpirasi.



Gambar 2. Foto beberapa isolat yang diamati secara mikroskopis dengan SEM. (a) isolat DSE 411 kontrol, (b) isolat DSE 471 kontrol, (c) isolat *F. oxysporum* kontrol, (d) isolat *P.capsici* kontrol, (e) isolat *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 411, (f) isolat *F. oxysporum* dengan perlakuan DSE 471, (g) isolat *P.capsici* dengan perlakuan DSE 411, (h) isolat *P.capsici* dengan perlakuan DSE 471.

KESIMPULAN

Pada cendawan *C. capsici* dengan rata-rata sebesar 77,54% untuk perlakuan DSE 411 dan perlakuan DSE 471 sebesar 96,26%. Pengamatan makroskopis menunjukkan pada cendawan *C. capsici* dan Alt terdapat mekanisme antibiosis. Pengamatan mikroskopis yang dilakukan pada cendawan *F. oxysporum* dan *P.capsici* menunjukkan adanya mekanis parasitisme serta kompetisi. Perlu adanya kajian lebih dalam mengenai potensi cendawan DSE terhadap tanaman cabai di lapangan, selain itu dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membuka eksplorasi penelitian cendawan DSE lebih lanjut yang masih terbatas di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memberikan apresiasi kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui Program Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) Batch 3 (hibah No. 12/ II.7/HK/2023 yang diberikan kepada Wiwiek Harsonowati) atas dukungan untuk kegiatan penelitian ini. Ungkapan terima kasih Penulis sampaikan kepada ibu Wiwiek Harsonowati yang telah membimbing saya dalam penelitian ini selama di BRIN

REFERENCES

- Dalimunthe, C. I., Soekarno, B. P., Munif, A., & Surono, S. (2019). Seleksi dan Uji Potensi Cendawan Dark Septate Endophyte sebagai Agensia Hayati Penyakit Jamur Akar Putih (*Rigidoporus microporus*) pada Tanaman Karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 37(1), 11–20. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v37i1.624>
- de Lamo, F. J., & Takken, F. L. W. (2020). Biocontrol by *F. oxysporum* Using Endophyte-Mediated Resistance. *Frontiers in Plant Science*, 11(February), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00037>
- Dendang, B. (2015). Uji Antagonisme *Trichoderma* spp. Terhadap *Ganoderma* sp. yang Menyerang Tanaman Sengon Secara *In Vitro*. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 4(2), 147.
- Firdani, C., Lisnawita, & Siregar, L. A. M. (2024). Potensi Dark Septate Endophyte Isolat Sumatera Utara terhadap *Ganoderma boninense* Penyebab Busuk Pangkal Batang Kelapa Sawit. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 20(3), 154–164. <https://doi.org/10.14692/jfi.20.3.154-164>
- Handayani, D. (2016). Keberadaan Cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE) Pada Sistem Perakaran Benih Shorea Salanica. *Eksakta*, 1, 38–44.
- Harsonowati, W., Marian, M., Surono, M., & Narisawa, K. (2020). The Effectiveness of a Dark Septate Endophytic Fungus, *Cladophialophora chaetospora* SK51, to Mitigate Strawberry F. Wilt Disease and With Growth Promotion Activities. *Frontiers in Microbiology*, 11(April), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00585>
- He, C., Wang, W., Hou, J., & Li, X. (2021). Dark Septate Endophytes Isolated From Wild Licorice Roots Grown in the Desert Regions of Northwest China Enhance the Growth of Host Plants Under Water Deficit Stress. *Frontiers in Microbiology*, 12(June), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.522449>
- Husen, E., Surono, Pratiwi, E., & Widowati, L. R. (2022). Metode Analisis Biologi Tanah Edisi 2. In *Balai Penelitian Tanah* (Vol. 3, Issue February).
- Hutabalian, M., Pinem, M. I., & Oemry, S. (2015). Uji Antagonisme Beberapa Jamur Saprofit dan Endofit dari Tanaman Pisang terhadap *F. oxysporum* f.sp. cubens di Laboratorium. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(2), 687–695.
- Knapp, D. G., Németh, J. B., Barry, K., Hainaut, M., Henrissat, B., Johnson, J., Kuo, A., Lim, J. H. P., Lipzen, A., Nolan, M., Ohm, R. A., Tamás, L., Grigoriev, I. V., Spatafora, J. W., Nagy, L. G., & Kovács, G. M. (2018). Comparative genomics provides insights into the lifestyle and reveals functional heterogeneity of dark septate endophytic fungi. *Scientific Reports*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24686-4>
- Kusumawardani, Y., Sulistyowati, L., & Cholil, A. (2015). Potensi Antagonis Jamur Endofit pada Tanaman Lada (*Piper nigrum* L.) terhadap Jamur *P.capsici* Leionian Penyebab pada Busuk Pangkal Batang. *Jurnal HPT*, 3(1), 21–29.
- Malicka, M., Magurno, F., & Piotrowska-Seget, Z. (2022). Plant association with dark septate endophytes: When the going gets tough (and stressful), the tough fungi get going. *Chemosphere*, 302(April), 134830. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134830>
- Ningsih, H., Utami, S. H., & Dwi, L. (2016). Kajian Antagonis *Trichoderma* Spp. terhadap *F. solani* Penyebab Penyakit Layu pada Daun Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) Secara *In Vitro*.

- Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), 814–817.
- Nuviani, E. P. I., Martosudiro, M., & Choliq, F. A. (2023). Pengaruh Beberapa Fungisida terhadap *Alternaria solani* Penyebab Penyakit Bercak Kering pada Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) DI LAPANGAN. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 11(2), 84–92. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2023.011.2.4>
- Polii, M. G. M., Sondakh, T. D., Raintung, J. S. M., Doodoh, B., & Titah, T. (2019). Kajian Teknik Budidaya Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) Kabupaten Minahasa Tenggara. *Eugenia*, 25(3), 73–77.
- Quesada-Ocampo, L. M., Parada-Rojas, C. H., Hansen, Z., Vogel, G., Smart, C., Hausbeck, M. K., Carmo, R. M., Huitema, E., Naegele, R. P., Kousik, C. S., Tandy, P., & Lamour, K. (2023). *P.capsici*: Recent Progress on Fundamental Biology and Disease Management 100 Years after Its Description. *Annual Review of Phytopathology*, 61, 185–208. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021622-103801>
- Ramasari, F., Firdaus, F., Nita, S., & Kartika, K. (2021). Penggunaan Metode You Only Look Once dalam Penentu Pindah Tanaman Cabai Besar Ternetifikasi Telegram. *Elektron : Jurnal Ilmiah*, 13(November), 45–52. <https://doi.org/10.30630/eji.13.2.229>
- Septariani, D. N., Herawati, A., & Mujiyo, M. (2019). Pemanfaatan Berbagai Tanaman Refugia Sebagai Pengendali Hama Alami Pada Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.). *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.20961/prima.v3i1.36106>
- Siswandi, S., Astuti, R., & Maimunah, M. (2020). Uji In-Vitro Ekstrak Kulit Jengkol (*Pithecellobium jiringa*) sebagai Biofungisida terhadap *F. oxysporum*, *C. capsici*, dan *Cercospora capsici* pada Tanaman Cabai. *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)*, 2(2), 144–157. <https://doi.org/10.31289/jiperta.v2i2.332>
- Sopialena, & Wati, M. (2018). Uji Potensi Penggunaan Jamur *Trichoderma harzianum* Rifai dan *Gliocladium virens* Arx untuk Mengendalikan Penyakit Bercak Daun pada Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal Agroekoekoteknologi Tropika Lembab*, 1(1), 61–66.
- Ulya, H., Darmanti, S., & Ferniah, R. S. (2020). Pertumbuhan Daun Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) yang Diinfeksi *F. oxysporum* pada Umur Tanaman yang Berbeda. *Jurnal Akademika Biologi*, 9(1), 1–6.
- Yumte, N., Ali, A., & Sangadji, Z. (2023). Respon Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.). *Jurnal Ilmu Petanian Dan Kehutanan*, 1(1), 19–25.
- Yusmar M, Frila A, & Siti Z. (2023). Uji Efektivitas Asap Cair Cangkang Buah Karet dalam Menghambat Pertumbuhan *C. gloeosporioides* (Penz.) Sacc. Secara *In Vitro*. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 4(1), 695–705. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v4i1.694>