

**Mekanisme Antagonisme Cendawan Entomopatogen
terhadap *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*
Penyebab Penyakit Panama Pisang**

**Antagonistic Mechanism of Entomopathogenic Fungi
Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*,
The Causal Agents of Banana's Panama Disease**

Sri Listiyowati*, Tya Rustiani, Gayuh Rahayu
Institut Pertanian Bogor, Bogor 16880

ABSTRAK

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* merupakan cendawan tular tanah penyebab penyakit panama pada tanaman pisang. Agens hayati dari kelompok cendawan telah banyak dilakukan untuk mengendalikan penyakit tanaman. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi empat koleksi cendawan entomopatogen berdasarkan pada ciri morfologinya dan mengevaluasi mekanisme antagonismenya terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cubense* IPBCC 19 1472. Isolat cendawan entomopatogen dengan kode PS 4, PS 9, PS 11 berasal dari kawasan Situ Gunung, Sukabumi, Jawa Barat dan isolat KRC berasal dari Kebun Raya Cibodas, Jawa Barat. Identifikasi cendawan dilakukan berdasarkan ciri morfologi pada medium agar-agar dekstrosa kentang. Mekanisme antagonistik diteliti menggunakan metode biakan ganda dan sebagai kontrol digunakan biakan tunggal *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Pengamatan dilakukan terhadap daya hambat cendawan entomopatogen dan pertumbuhan koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Semua cendawan entomopatogen tidak dapat diidentifikasi secara morfologi karena tidak bersporulasi. Pertumbuhan koloninya lebih lambat daripada *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Semua cendawan entomopatogen menghambat *F. oxysporum* f. sp. *cubense* melalui mekanisme kompetisi ruang. Isolat KRC memiliki aktivitas antagonisme paling besar, diikuti berturut-turut oleh isolat PS 9, PS 11, dan PS 4. *F. oxysporum* f. sp. *cubense* membentuk klamidospora sebagai respons terhadap cendawan entomopatogen isolat PS 9 dan vakuolisasi ketika berinteraksi dengan tiga isolat cendawan entomopatogen lainnya.

Kata kunci: biakan ganda, daya hambat, klamidospora, patogen, vakuolisasi

ABSTRACT

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* is a soil-borne fungus that causes Panama disease in banana plants. Fungus biological agents have been widely used to control plant diseases. Therefore, this study aimed to identify four collections of entomopathogenic fungi based on their morphological characteristics and evaluate their antagonism mechanism against *F. oxysporum* f. sp. *cubense* IPBCC 19 1472. The entomopathogenic fungus isolates with codes PS 4, PS 9, PS 11 came from the Situ Gunung area, Sukabumi, West Java and KRC isolate came from the Cibodas Botanical Gardens, West Java. Identification of the fungus was carried out based on morphological characteristics on potato dextrose agar medium. While the antagonistic mechanism against *F. oxysporum* f. sp. *cubense* was studied

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, IPB University, Bogor 16880.
Tel: 0251-8622833, Surel: sriili@apps.ipb.ac.id

using dual culture method and a single culture of *F. oxysporum* f. sp. *cubense* was used as control. The entomopathogenic fungi grew slower than *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. They produced no spore, so their identity cannot be conclusive. All entomopathogenic fungi inhibited the growth of pathogen through space competition. KRC isolate showed the highest inhibition towards *F. oxysporum* f. sp. *cubense* followed in order by PS 9, PS 11, and PS 4. *F. oxysporum* f. sp. *cubense* formed chlamydospores during interaction with PS 9, while vacuolization when in contact with the other three entomopathogenic fungal isolates.

Key words: chlamydospores, dual cultures, inhibition, pathogen, vacuolization

PENDAHULUAN

Pisang (*Musa* spp.) merupakan salah satu buah yang memiliki nilai gizi dan ekonomi, serta banyak dikonsumsi masyarakat. Produksi pisang di Indonesia hingga tahun 2015 berfluktuasi dengan rata-rata pertumbuhan mencapai 4.16% per tahun (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian 2016). Salah satu kendala produksi pada tanaman pisang di Indonesia ialah penyakit layu fusarium. Penyakit ini disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Buddenhagen 2009, Dita *et al.* 2018, Rahayu *et al.* 2020a, 2020b).

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* merupakan patogen tular tanah yang mampu bertahan dalam jangka waktu lama dengan membentuk kladospora. Cendawan ini menyerang berbagai fase pertumbuhan pisang, mulai dari plantlet, anakan sampai tanaman dewasa. Bahan tanam yang berasal dari tanaman sakit dapat juga menjadi sumber penularan. Massa miselium *F. oxysporum* f. sp. *cubense* pada tanaman pisang sakit menyumbat jaringan pembuluh xilem (Dita *et al.* 2018) dan mengganggu aliran air dan mineral (Ruzicka *et al.* 2015). Gejala awal serangannya ialah daun tua menguning. Kolonisasi patogen akan merusak lebih banyak jaringan pembuluh dan menunjukkan gejala layu pada tanaman, selanjutnya tanaman yang terinfeksi ini akan mati.

Pengendalian patogen tanaman umumnya menggunakan pestisida sintetik yang dapat menyebabkan kerugian bagi manusia dan lingkungan, resistensi, resurgensi, dan ledakan hama sekunder. Oleh karena itu perlu dicari alternatif pengendalian yang aman dan ramah lingkungan. Cendawan

entomopatogen *Beauveria* sp. dilaporkan sebagai antagonis terhadap berbagai fitopatogen secara *in vitro* (Deb *et al.* 2017), seperti menghambat pertumbuhan *F. solani* patogen melalui mekanisme antibiosis (Halwiyah *et al.* 2019) dan memiliki aktivitas anticendawan yang efektif terhadap *F. oxysporum* penyebab penyakit layu pada tanaman tomat (Culebro-Ricaldi *et al.* 2017). Oleh sebab itu, cendawan entomopatogen yang bersifat antagonis terhadap patogen tanaman dapat dijadikan salah satu alternatif pengendalian biologi cendawan patogen (Vega *et al.* 2009). Cendawan entomopatogen koleksi Laboratorium Mikologi, Departemen Biologi belum pernah diidentifikasi dan dievaluasi potensi antagonisnya. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi empat galur cendawan entomopatogen dan mengevaluasi mekanisme antagonismenya terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cubense*.

BAHAN DAN METODE

Biakan Cendawan

Cendawan entomopatogen yang diuji merupakan koleksi Laboratorium Mikologi, Departemen Biologi, FMIPA, IPB, yaitu galur PS 4, PS 9 dan PS 11 berasal dari kawasan Situ Gunung, Sukabumi, serta KRC berasal Kebun Raya Cibodas, Cianjur, sedangkan cendawan patogen yang digunakan ialah *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* IPBCC 19 1472.

Karakterisasi Cendawan Entomopatogen dan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

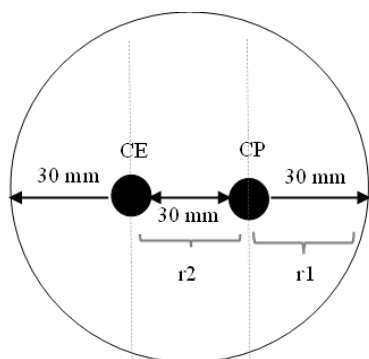
Cendawan diinkubasi pada medium agar-agar dekstrosa kentang (ADK) selama 14 hari dan diamati morfologinya. Pengamatan

makroskopi meliputi bentuk, warna dan tekstur koloni, sebaran miselium (aerial atau nonaerial), serta pertumbuhan koloninya. Struktur cendawan diamati secara mikroskopi menggunakan preparat Riddle (1950) berumur 4-7 hari. Preparat disiapkan dalam larutan Shear's dan diamati menggunakan mikroskop majemuk yang terhubung dengan kamera mikroskop pada perbesaran 400× dan 1000×. Struktur soma dan reproduksi diamati sebanyak 30 pengukuran menggunakan aplikasi Betaview versi 3.7.

Uji Antagonisme *in Vitro* dengan Metode Biakan Ganda

Uji antagonisme antara 4 galur cendawan entomopatogen dan cendawan patogen *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* disusun dalam rancangan acak lengkap. Masing masing perlakuan diulang sebanyak 5 kali.

Uji antagonis antara cendawan entomopatogen dan cendawan patogen dilakukan menggunakan metode biakan ganda (Dennis dan Webster 1971) pada medium ADK di dalam cawan Petri (Ø 9 mm). Cendawan entomopatogen *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* ditumbuhkan 7 hari lebih awal, kemudian cendawan patogen ditumbuhkan dalam cawan yang sama. Inokulum cendawan entomopatogen diletakkan pada jarak 30 mm dari tepi cawan dan cendawan patogen diinokulasikan berhadapan dengan cendawan entomopatogen pada jarak 30 mm (Gambar 1).



Gambar 1 Uji biakan ganda cendawan entomopatogen (CE) dan cendawan patogen (CP): *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubeuse*. Inokulum CE dan CP, masing-masing berdiameter 5 mm.

Biakan diinkubasi pada suhu ruang selama 14 hari dan diameter koloni cendawan patogen yang berpasangan dengan cendawan entomopatogen diamati pertumbuhannya. Biakan tunggal *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* digunakan sebagai kontrol.

Daya hambat cendawan entomopatogen dihitung menggunakan rumus Fokkema: (1973):

$$\text{Daya hambat (\%)} = \frac{r1-r2}{r1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

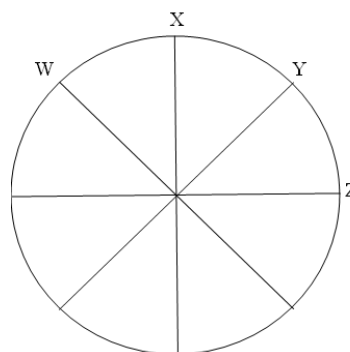
r1, jari-jari koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* yang tumbuh berlawanan dengan koloni cendawan entomopatogen; dan r2, jari-jari koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* yang tumbuh ke arah cendawan entomopatogen.

Selain itu, pertumbuhan koloni cendawan patogen *F. oxysporum* f. sp. *cubeuse* yang berpasangan dengan cendawan entomopatogen juga diukur. Pertumbuhannya dinyatakan sebagai rata-rata dari diameter koloninya (Gambar 2) yang dihitung menggunakan rumus sebagai Achmad dan Mulyaningsih (2015):

$$\text{Diameter koloni (mm)} = \frac{W+X+Y+Z}{4}, \text{ dengan}$$

W, X, Y dan Z, berturut-turut sebagai sumbu pengukuran diameter koloni.

Interaksi hifa cendawan diamati dengan teknik biakan preparat (Qiu *et. al* 2005). Sepotong lempeng ADK berdiameter 5 mm diletakkan pada bagian tengah kaca objek steril. Biakan cendawan entomopatogen dan



Gambar 2 Skema pengukuran untuk memperoleh rata-rata pertumbuhan diameter koloni cendawan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubeuse* pada waktu dipasangkan dengan cendawan entomopatogen.

cendawan patogen ditumbuhkan berhadapan pada tepi lempeng ADK, lalu ditutup dengan kaca penutup steril. Kontrol dibuat dengan menumbuhkan cendawan patogen *F. oxysporum* f. sp. *cubense* saja. Masing-masing kaca objek diletakkan di dalam cawan steril yang berisi kertas lembap steril dan diinkubasi pada suhu ruang (25–28 °C) selama 3–5 hari. Pengamatan bentuk parasitisme dilakukan bila terjadi pertemuan kedua biakan pada ±3 hari inkubasi. Kaca penutup dipindahkan ke kaca objek steril yang ditetesi larutan Shear’s dan diamati parasitismenya menggunakan mikroskop pada perbesaran 400× dan 1000×.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan varian *one way anova* pada selang kepercayaan 95% dengan program SPSS versi 25.0. Hasil analisis ragam yang berbeda nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf nyata 5%.

HASIL

Cendawan Entomopatogen

Cendawan entomopatogen galur PS 4, PS 9, PS 11, dan KRC memiliki karakter makroskopis dan mikroskopis berbeda (Tabel 1 dan 2, Gambar 3 dan 4). Semua galur memiliki hifa septat, hialin, dengan diameter 1.90-2.26 µm, tetapi tidak ditemukan struktur reproduksinya (konidium). Konidium tidak ditemukan pada cendawan entomopatogen menyebabkan cendawan tidak dapat diidentifikasi secara morfologi sehingga nama cendawan tidak dapat ditentukan. Ciri

cendawan entomopatogen ini sangat berbeda dari ciri *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang memiliki warna koloni putih kapas dengan semburatmerahmudahinggaungupadamedium ADK, tekstur permukaan koloni mengapas dengan sebaran miselium aerial atau tidak rata. Pertumbuhan diameter koloni 81–87 mm dalam kurun waktu 14 hari inkubasi pada suhu ruang (28 ± 2 °C). Hifa *F. oxysporum* f. sp. *cubense* bersekat, hialin dan berdiameter 3.41 µm (Gambar 5a), serta memiliki fialid (Gambar 5b). Bentuk makrokonidiumnya sedikit melengkung seperti perahu dengan ujung runcing dan berdiameter 8.35 µm (Gambar 5c), mikrokonidiumnya berbentuk bulat telur atau lonjong dan berdiameter 4.88 µm (Gambar 5d). Adapun pertumbuhan cendawan entomopatogen lebih lambat dibandingkan dengan *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, yakni hanya mencapai kurang dari separuhnya (Gambar 6).

Potensi Antagonisme Cendawan Entomopatogen terhadap *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

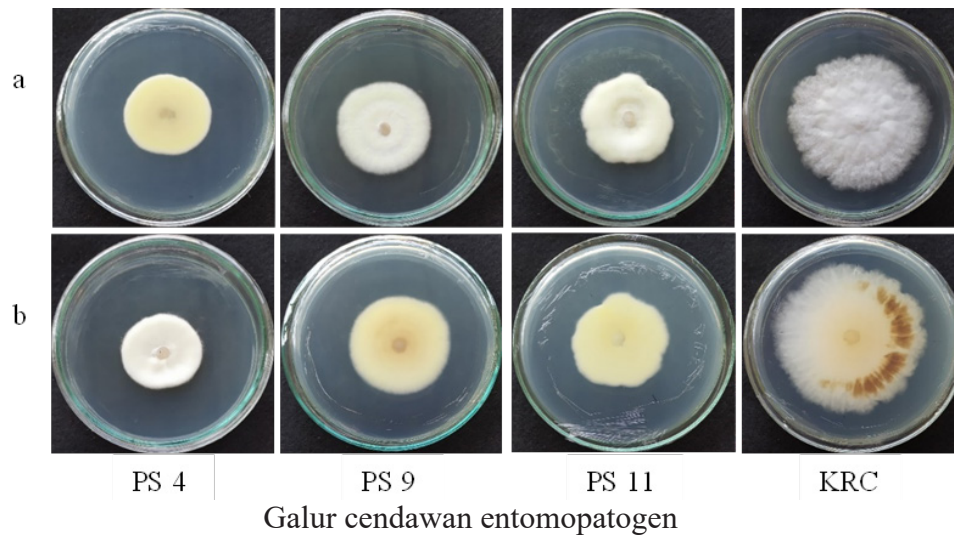
Jari-jari koloni cendawan patogen *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang tidak mengarah pada koloni semua cendawan entomopatogen

Tabel 2 Diameter hifa cendawan entomopatogen

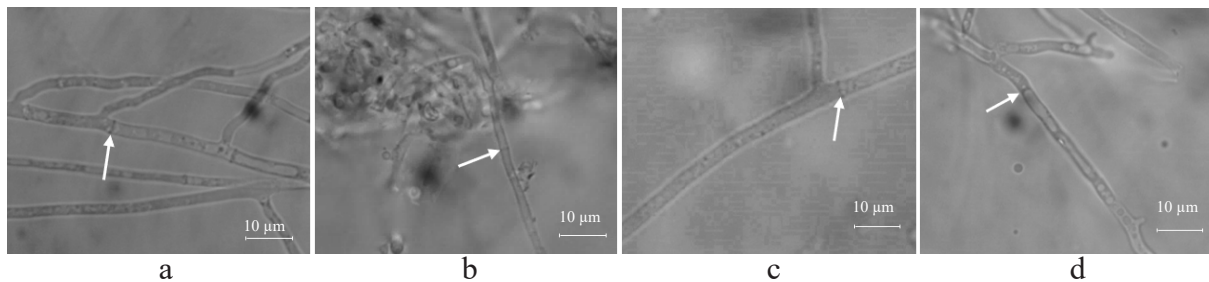
Galur cendawan entomopatogen	Diameter (µm)
PS 4	2.26
PS 9	1.97
PS 11	2.10
KRC	1.90

Tabel 1 Morfologi koloni galur cendawan entomopatogen pada medium agar-agar dekstroza kentang berumur 14 hari

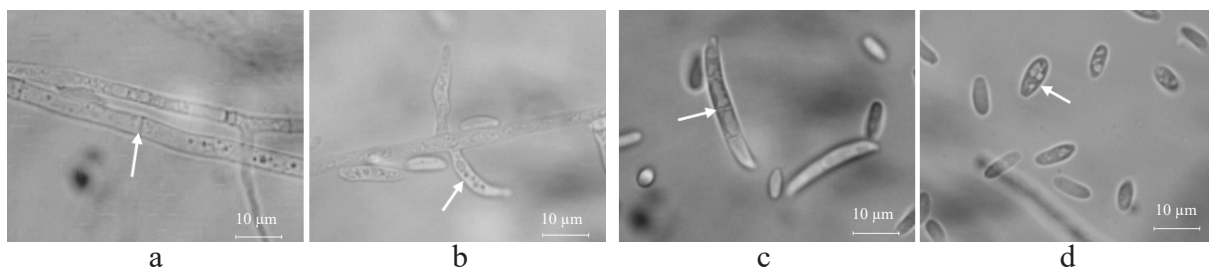
Galur cendawan entomopatogen	Warna pada permukaan		Bentuk	Sebaran miselium	Tekstur	Diameter (mm)
	Atas	Bawah				
PS 4	Putih	Putih krem sampai kekuningan	Bulat	Tidak rata / aerial	Mengapas	35–37
PS 9	Putih	Putih krem sampai kekuningan	Bulat	Rata / nonaerial	Mengapas	42–44
PS 11	Putih	Putih krem sampai kekuningan	Bulat	Tidak rata / aerial	Mengapas	37–44
KRC	Putih	Putih krem dengan bagian pinggir mencokelat	Bulat	Tidak rata / aerial	Mengapas	52–67



Gambar 3 Penampakan koloni cendawan entomopatogen berumur 14 hari pada medium agar-agar dekstrosa kentang. a, permukaan atas dan b, permukaan bawah.



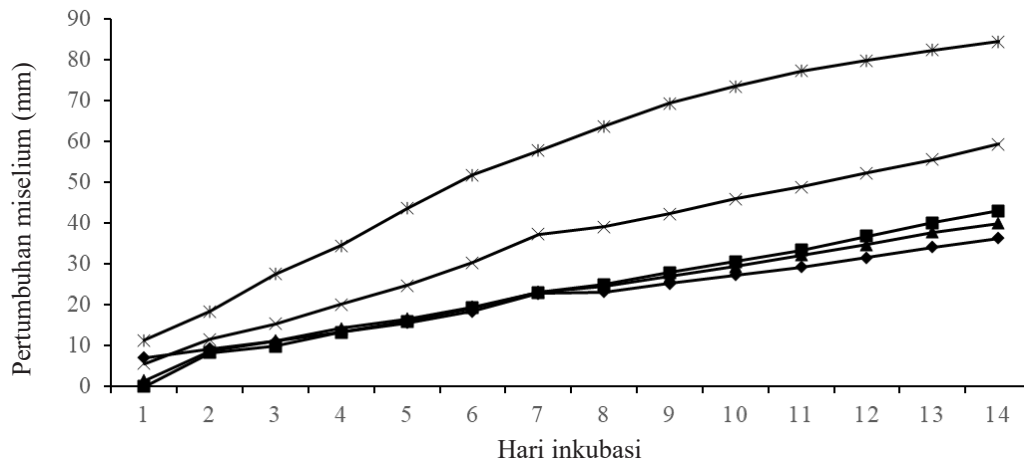
Gambar 4 Morfologi mikroskopi struktur soma (hifa septat) galur cendawan entomopatogen. a, PS 4; b, PS 9; c, PS 11; dan d, KRC.



Gambar 5 Morfologi mikroskopi struktur soma dan reproduksi cendawan patogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. a, hifa septat; b, fialid; c, makrokonidium bersekat; d, mikrokonidium.

(r1) memiliki nilai rata-rata yang lebih panjang dibandingkan dengan jari-jari pertumbuhannya yang ke arah cendawan entomopatogen (r2) (Tabel 3). Hal ini mengindikasikan bahwa semua cendawan entomopatogen mampu menghambat koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Galur KRC paling kuat menghambat *F. oxysporum* f. sp. *cubense* dibandingkan dengan cendawan entomopatogen lainnya, yakni hingga mencapai 67.18% (Tabel 4).

Uji antagonisme menunjukkan bahwa miselium kedua koloni cendawan yang dipasangkan saling bertemu pada hari ke-14 (Gambar 7). Koloni cendawan patogen tumbuh menutupi cendawan PS 4 sehingga pertumbuhan koloni PS 4 menjadi terhambat. Koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* tumbuh mengelilingi koloni PS 9, begitu pula dengan koloni PS 11. Sebaliknya, koloni galur KRC tumbuh menutupi koloni *F. oxysporum* f. sp.



Gambar 6 Pertumbuhan miselium masing-masing galur cendawan entomopatogen serta *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pada medium agar-agar dekstrosa kentang pada suhu ruang. ◆, PS 4; ■, PS 9; ▲, PS 11; ×, KRC; dan ✱, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

Tabel 3 Jari-jari koloni *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan cendawan entomopatogen pada medium agar-agar dekstrosa kentang pada umur 14 hari

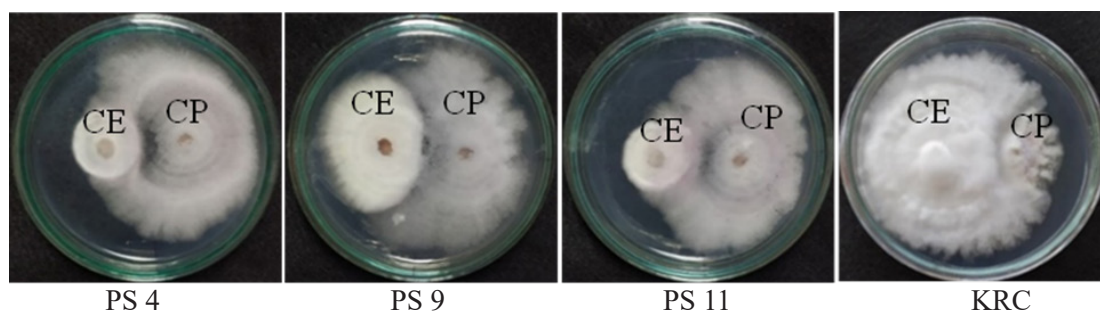
Galur cendawan	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> (cm)	
	r1	r2
PS 4	3.00	2.66
PS 9	3.00	1.70
PS 11	2.98	2.56
KRC	2.45	0.43
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	3.00*	3.00*

Keterangan: r1, jari-jari koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* berlawanan terhadap koloni cendawan antagonis; r2, jari-jari koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang tumbuh ke arah cendawan antagonis. *, jari-jari koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang ditumbuhkan sendiri.

Tabel 4 Daya hambat cendawan entomopatogen terhadap pertumbuhan koloni *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pada hari ke- 14 setelah inkubasi

Galur cendawan entomopatogen	Daya hambat (%)
PS 4	18.37 ± 2.09 c
PS 9	31.86 ± 2.08 b
PS 11	21.72 ± 2.39 c
KRC	67.18 ± 2.62 a

Keterangan: Angka pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada α 5%.



Gambar 7 Interaksi antara empat galur cendawan entomopatogen dan cendawan patogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pada masa inkubasi 14 hari. CE, cendawan entomopatogen; dan CP, cendawan patogen.

cubense dan menghambat pertumbuhan *F. oxysporum* f. sp. *cubense*.

Koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan galur KRC memiliki rata-rata pertumbuhan diameter sebesar 20.9 mm dan berbeda nyata terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang ditumbuhkan sendiri (kontrol), maupun terhadap masing-masing *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang ditumbuhkan dengan tiga cendawan entomopatogen lainnya (Tabel 5). Rata-rata pertumbuhan diameter koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* kontrol sebesar 55.5 mm. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan galur KRC menjadi terhambat. Sebaliknya, koloni *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan

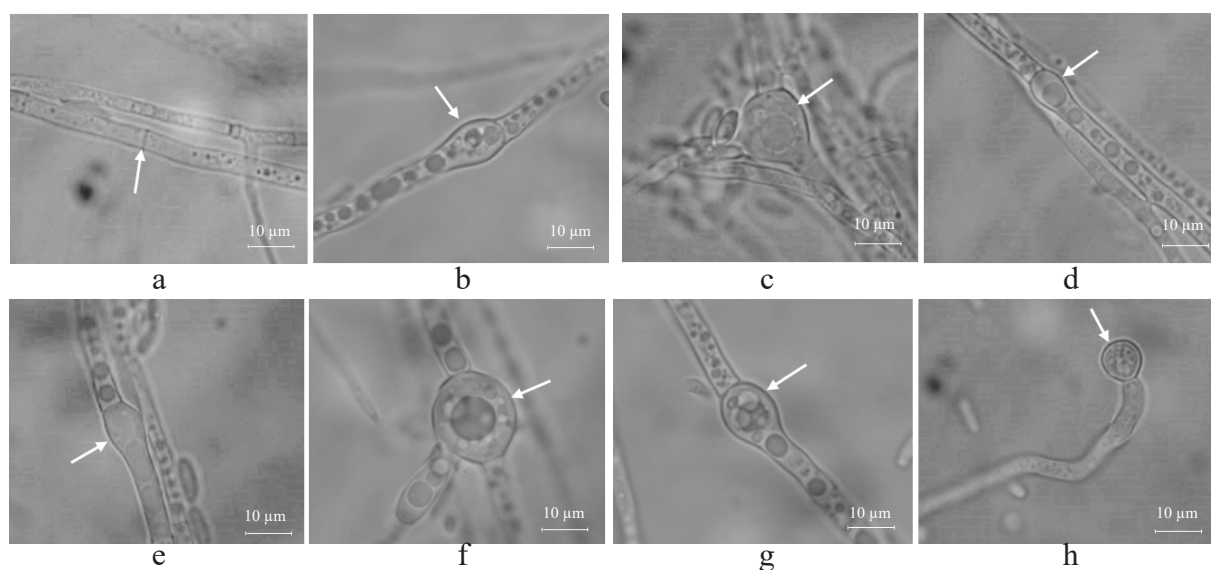
dengan galur PS 4 dan PS 9 tidak berbeda nyata terhadap *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang ditumbuhkan sendiri (kontrol), dengan rata-rata diameter pertumbuhan berturut-turut sebesar 48.6 mm dan 48.7 mm. Galur PS 4 dan PS 9 tidak menghambat *F. oxysporum* f. sp. *cubense*.

Perubahan morfologi hifa *F. oxysporum* f. sp. *cubense* tampak dari pengamatan mikroskopis yang disebabkan oleh kehadiran cendawan entomopatogen (Gambar 8). Hifa *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan galur PS 4, PS 11, dan KRC menunjukkan ada vakuolisasi pada hifa *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Gambar 8b, 8c-e, 8f-g). Hifa *F. oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan galur PS 9 membentuk klamidospora pada bagian terminal (Gambar 8h).

Tabel 5 Rata-rata pertumbuhan diameter koloni *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* yang dipasangkan dengan empat galur cendawan entomopatogen

Galur cendawan entomopatogen	Diameter (mm)
PS 4	48.6 ± 2.36 ab
PS 9	48.7 ± 2.58 ab
PS 11	46.1 ± 2.33 b
KRC	20.9 ± 0.82 c
Kontrol	55.5 ± 2.82 a

Keterangan: Angka pada setiap kolom yang diikuti dengan huruf sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada α 5%.



Gambar 8 Perubahan morfologi hifa *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* pada interaksi biakan ganda dengan cendawan entomopatogen hari ke-14 inkubasi. a, Kontrol; b, Hifa tervakuolisasi (tanda panah) pada pertemuan dengan galur PS 4; c-e, Hifa tervakuolisasi (tanda panah) pada pertemuan dengan galur PS 11; f-g, Hifanya tervakuolisasi (tanda panah) pada pertemuan dengan galur KRC; h, Terbentuk klamidospora (tanda panah) pada pertemuan dengan galur PS 9.

PEMBAHASAN

Cendawan entomopatogen yang diteliti tidak membentuk konidium pada medium ADK. Sporulasi cendawan entomopatogen *Aspergillus* spp. dan *Talaromyces* spp. lebih tinggi pada medium ADK dibandingkan dengan sporulasinya pada *corn meal agar* dan *sabouraud dextrose agar* (Fitriana *et al.* 2018). Sporulasi cendawan entomopatogen *Verticillium lecanii* juga dipengaruhi oleh jenis medium (Derakhshan *et al.* 2008). Pertumbuhan dan sporulasi cendawan entomopatogen tidak hanya dipengaruhi oleh bahankomposisi penyusun jenis medium, tetapi juga galur cendawannya (Sharma *et al.* 2002, Senthamizhselvan *et al.* 2010, Cojanu dan Lumînare 2021), bahkan bentuk medium padat atau cair, contohnya pada *Beauveria bassiana* (Sharma *et al.* 2002, Senthamizhselvan *et al.* 2010). Sporulasi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* IBC1201 dipengaruhi oleh suhu, cahaya, pH, potensial air, konsentrasi karbon, rasio C:N, serta kombinasi sumber karbon dan nitrogen (Gao 2011). Oleh sebab itu, cendawan entomopatogen yang diteliti harus dirangsang untuk bersporulasi dengan menumbuhkannya pada beberapa kondisi yang berbeda. Sporulasi beberapa cendawan nonentomopatogen dapat dipicu melalui pemberian sinar ultraviolet (Leach 1965) atau cahaya (Leach dan Trione 1965).

Karakteristik spora menjadi ciri pembeda pada hampir semua genus dan spesies cendawan. Keempat galur cendawan entomopatogen yang diamati pada penelitian ini belum dapat menjadi pembeda untuk tingkat takson mana pun. Kini, cendawan yang tidak bersporulasi dapat diidentifikasi secara molekuler dengan menggunakan marka umum seperti ITS atau dengan marka yang khas (*barcode*) untuk genus cendawan, seperti TEF-1 α , RPB2, atau TUB2 (Oliveira dan Azevedo 2022) atau menggunakan primer spesifik (Rahayu *et al.* 2019).

Ciri *F. oxysporum* f. sp. *cubense* IPBCC 19 1472 mirip dengan ciri *F. oxysporum* yang diuraikan oleh Ploetz (2006). *F. oxysporum* diciriknya memiliki miselium berwarna

putih hingga ungu dan sporodokium berwarna coklat hingga oranye. Mikrokonidium dan makrokonidium diproduksi pada monofialid bercabang dan tidak bercabang. Bentuk makrokonidium melengkung atau sabit dan bersel 4-8, sedangkan mikrokonidium berbentuk oval atau seperti ginjal, bersel satu atau dua. Selain itu, klamidospora terminal dan interkalar biasanya berbentuk bulat dan terbentuk secara tunggal atau berpasangan dalam hifa atau konidium.

Pertumbuhan koloni cendawan antagonis memengaruhi daya hambatnya terhadap cendawan patogen (Schoneberg *et al.* 2015). Cendawan antagonis yang memiliki pertumbuhan lebih lambat daripada pertumbuhan cendawan patogen akan memiliki kemampuan yang rendah dalam menekan pertumbuhan cendawan patogen (Rachmawati *et al.* 2016). Tovar *et al.* (2013) menyatakan bahwa cendawan entomopatogen yang ditumbuhkan lebih awal daripada cendawan yang akan dikendalikannya dapat meningkatkan kemampuan menghambatnya secara *in vitro*.

Otten *et al.* (2004) melaporkan cendawan antagonis mampu menghambat cendawan patogen, jika persentase penghambatannya lebih besar dari 60%. Jika persentase penghambatan hanya mencapai 30% maka cendawan antagonis hanya memiliki kemampuan yang minimal dalam menghambat pertumbuhan cendawan patogen. Živković *et al.* (2017) membagi kemampuan daya hambat cendawan uji terhadap cendawan patogen menjadi tiga kategori, yaitu kuat (>67%), sedang (36-66%), dan lemah (<35%). Oleh karena itu, galur KRC merupakan cendawan antagonis yang memiliki aktivitas kuat dibandingkan dengan galur PS 4, PS 9, dan PS 11. Hanya galur KRC yang koloninya tumbuh sangat cepat di antara galur cendawan entomopatogen yang diuji. Cendawan antagonis yang memiliki laju pertumbuhan lebih cepat dari cendawan patogen dapat menunjukkan efektivitas yang lebih baik untuk menekan pertumbuhan patogen (Amaria *et al.* 2015).

Biakan ganda dari cendawan yang diuji menunjukkan terdapat kontak miselium. Pada

pertemuan tersebut diduga terjadi persaingan perebutan ruang tumbuh di antara kedua cendawan dengan cara yang berbeda-beda. Tipe interaksi pada daerah pertemuan tersebut tergolong dalam interaksi fisik (Kolesidis *et al.* 2019). Pada interaksi fisik, salah satu cendawan dapat tumbuh melewati dan atau mengelilingi cendawan lainnya. Mekanisme kompetisi ruang dan nutrisi merupakan mekanisme utama pada interaksi cendawan entomopatogen dengan *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Kompetisi tersebut menjadi mekanisme antagonisme pada sebagian besar agens hayati.

Respons *F. oxysporum* f. sp. *cubense* terhadap cendawan antagonis bervariasi, seperti vakuolisasi dan pembentukan klamidospora. Respons tersebut menunjukkan terdapat kelainan akibat berinteraksi dengan cendawan antagonisnya. Antagonis *Bacillus subtilis* terhadap *F. oxysporum* mengakibatkan kelainan pada morfologi hifa yang berupa pembengkakan hifa, vakuolisasi, dan granulisasi hingga lisis (Chaurasia *et al.* 2005). Vakuolisasi ialah pembengkakan vakuola dan mengarah ke pembengkakan hifa (Medina-Romero *et al.* 2017) yang terjadi sebagai bentuk pertahanan (Palmer 2015). Klamidospora *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* patogen mengandung dinding sel lebih tebal dan lebih banyak mengandung glikogen dan lipid daripada mikrokonidium sehingga memungkinkannya untuk bertahan hidup (YuanYu *et al.* 2019). Perubahan kondisi lingkungan dapat memengaruhi morfologi seluler dengan membentuk morfotipe berupa klamidospora yang mempunyai potensi bertahan hidup bagi *Zymoseptoria tritici* patogen (Francisco *et al.* 2019).

Simpulan dari penelitian ini ialah galur cendawan entomopatogen PS 4, PS 9, PS 11, dan KRC tidak dapat diidentifikasi secara morfologi. Semua galur cendawan entomopatogen menghambat melalui mekanisme kompetisi ruang. Cendawan entomopatogen galur KRC memiliki daya hambat terbesar dengan aktivitas antagonisme kuat, sedangkan tiga galur lainnya memiliki aktivitas antagonisme lemah. *Fusarium*

oxysporum f. sp. *cubense* membentuk klamidospora sebagai respons terhadap galur PS 9 dan mengalami vakuolisasi pada waktu berinteraksi dengan galur PS 4, PS 11, dan KRC.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Mulyaningsih I. 2015. Pengaruh pH, penggoyangan media, dan ekstrak daun sirih merah (*Piper crocatum* Linn.) terhadap pertumbuhan cendawan *Rhizoctonia* sp. Jurnal Hortikultura. 25(2):150–159. DOI: <https://doi.org/10.21082/jhort.v25n2.2015.p150-159>.
- Amaria W, Harni R, Samsudin. 2015. Evaluasi jamur antagonis dalam menghambat pertumbuhan *Rigidoporus microporus* penyebab penyakit jamur akar putih pada tanaman karet. Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar. 2(1):51–60. DOI: <https://doi.org/10.21082/jtidp.v2n1.2015.p51-60>.
- Buddenhagen I. 2009. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and history of introduction of “Tropical Race 4” to better manage banana production. Acta Horticulturae. 828: 193–204. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.828.19>.
- Chaurasia B, Pandey A, Palni LMS, Trivedi P, Kumar B, Colvin N. 2005. Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi *in vitro*. Microbiological Research. 160:75–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2004.09.013>.
- Cojanu D, Luminare C-M. 2021. Effect of different carbon and nitrogen sources on sporulation *Beauveria bassiana* romanian strains. Romanian Journal for Plant Protection. 11:24–31. DOI: <https://doi.org/10.54574/RJPP.14.04>.
- Culebro-Ricaldi JM, Ruiz-Valdiviezo VM, Rodriguez-Mendiola MA, Avila-Miranda ME, Gutierrez-Miceli FA, CruzRodríguez RI, Dendooven L, Montes-Molina JA. 2017. Antifungal properties of *Beauveria bassiana* strains against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3

- in tomato crop. *Journal Environment Biology*. 38:821–827. DOI: <https://doi.org/10.22438/jeb/38/5/MRN-412>.
- Deb L, Rajesh T, Tombisana RK, Majumder D. 2017. Antagonistic potential of *Beauveria* sp. against phytopathogens. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 6(1):207–212.
- Dennis C, Webster J. 1971. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*: III. Hyphal interaction. *Transactions of British Mycological Society*. 57(3):363–369. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(71\)80050-5](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(71)80050-5).
- Derakhshan A, Rabindra RJ, Ramanujam B, Rahimi M. 2008. Evaluation of different media and methods of cultivation on the production and viability of entomopathogenic fungi, *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 11(11):1506–1509. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1506.1509>.
- Dita M, Barquero M, Heck D, Mizubuti ESG, Staver CP. 2018. Fusarium wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*. 9:1–21. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>.
- Fitriana Y, Suharjo R, Swibawa IG, Purnomo, Lestari P, Merdiana E. 2018. Influence of culture medium on the sporulation and viability of *Aspergillus* spp. and *Talaromyces* spp. entomopathogenic fungi. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 18 (1): 12–22. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11812-22>.
- Fokkema NJ. 1973. The role of saprophytic fungi in antagonism against *Drechslera sorokiniana* (*Helminthosporium sativum*) on agar plate and on rye leaves with pollen. *Physiological Plant Pathology*. 3:195–205. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-4059\(73\)90082-9](https://doi.org/10.1016/0048-4059(73)90082-9).
- Francisco CS, Ma X, Zwysig MM, McDonald BA, Palma-Guerrero J. 2019. Morphological changes in response to environmental stresses in the fungal plant pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Scientific Reports* 9:9642. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45994-3>.
- Gao L. 2011. A novel method to optimize culture conditions for biomass and sporulation of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* IBC1201. *Brazilian Journal of Microbiology*. 42:1574–1584. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000400045>.
- Halwiyah N, Ferniah RS, Raharjo B, Purwantisari S. 2019. Uji antagonisme jamur patogen *Fusarium solani* penyebab penyakit layu pada tanaman cabai dengan menggunakan *Beauveria bassiana* secara *in vitro*. *Jurnal Akademika Biologi*. 8(2):8–17.
- Kolesidis DA, Boddy L, Eastwood DC, Yuan C, Fowler MS. 2019. Predicting fungal community dynamics driven by competition for space. *Fungal Ecology*. 41:13–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.04.003>.
- Leach CM, Trione EJ. 1965. An action spectrum for light induced sporulation in the fungus *Ascochyta pisi*. *Plant Physiology*. 40(5):808–812. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.40.5.808>.
- Leach CM. 1965. Ultraviolet-absorbing substances associated with light-induced sporulation in fungi. *Canadian Journal of Botany*. 43(2):185–200. DOI: <https://doi.org/10.1139/b65-024>.
- Medina-Romero YM, Roque-Flores G, Macias-Rubalcava ML. 2017. Volatile organic compounds from endophytic fungi as innovative postharvest control of *Fusarium oxysporum* in cherry tomato fruits. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 101(22):8209–8222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8542-8>.
- Oliveira M, Azevedo L. 2022. Molecular markers: an overview of data published for fungi over the last ten years. *Journal of Fungi*. 8(8):803. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8080803>.
- Otten W, Bailey DJ, Gilligan CA. 2004. Empirical evidence of spatial thresholds to control invasion of fungal parasites and

- saprotrophs. *Journal New Phytologist*. 163:125–132. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01086.x>.
- Palmer GE. 2015. Vacuolar trafficking and *Candida albicans* pathogenesis. *Communicative & Integrative Biology*. 4(2):239–242. DOI: <https://doi.org/10.4161/cib.4.2.14717>.
- Ploetz RC. 2006. Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology*. 96(6):653–656. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0653>.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2016. Outlook Komoditas Pertanian Subsektor Hortikultura. Jakarta (ID): Kementerian Pertanian.
- Qiu WY, Yao YF, Zhu YF, Zhang YM, Zhou P, Jin YQ, Zhang B. 2005. Fungal spectrum identified by a new slide culture and *in vitro* drug susceptibility using etest in fungal keratitis. *Current Eye Research*. 30(12):1113–1120. DOI: <https://doi.org/10.1080/02713680500423671>.
- Rachmawati R, Rahabistara A, Afandhi A. 2016. Daya antagonis tiga jamur patogen serangga terhadap jamur patogen tular tanah *Fusarium* sp. (hypocreales = nectriaceae) secara *in vitro*. *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan*. 4(2):93–101.
- Rahayu G, Maulana I, and Widodo. 2020a. Endobacterial symbiont of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* and the pathogenicity of their symbiosis towards banana plantling. *IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci.* 457:012051. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/457/1/012051>.
- Rahayu G, Thamrin JAD, Rianti P. 2020b. Community Structure of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in Java and Sumatra Based on *Cryphonectriaparasitica* Vic Primer. *IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci.* 457: 012052. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/457/1/012052>.
- Rahayu G, Mahasari NPW, Widodo. 2019. Identifikasi infraspesifik *Fusarium oxysporum* asal substrat nonpisang dan kemampuan pindah inangnya ke tanaman pisang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 15(1):27–35. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.15.1.27>.
- Riddle RW. 1950. Permanent stained mycological preparation obtained by slide culture. *Mycological Research*. 42:265–270. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1950.12017830>.
- Ruzicka K, Ursache R, Hejatko J, Helariutta Y. 2015. Xylem development - from the cradle to the grave. *New Phytologist*. 207:519–535. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.13383>.
- Schoneberg A, Musa T, Voegelé RT, Vogelgsang S. 2015. The potential of antagonistic fungi for control of *Fusarium graminearum* and *Fusarium crookwellense* varies depending on the experimental approach. *Journal of Applied Microbiology*. 118:1165–1179. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.12775>.
- Senthamizhselvan P, Alice J, Sujeetha RP, Jeyalakshmi C. 2010. Growth, sporulation and biomass production of native entomopathogenic fungal isolates on a suitable medium. *Journal of Biopesticides* 3(2):466–469
- Sharma S, Gupta RBL, Yadava CPS. 2002. Selection of a suitable medium for mass multiplication of entomofungal pathogens. *Indian Journal of Entomologi* 64(3):2254–2262
- Tovar MDL, Urquiza AO, Jurado IG, Casas AT, Moraga EQ. 2013. Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive. *Biological Control*. 67:409–420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.09.006>.
- Vega FE, Goettel MS, Blackwell M, Chandler D, Jackson MA, Keller S, Koike M, Maniania NK, Monzon A, Ownley BH *et al.* 2009. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. *Fungal Ecology*. 2:149–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>.
- Yuan Yu C, Jenn Wen, Chihli W. 2019. Analysis of stress resistances of chlamydo spores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Journal of Plant Medicine* 61(4):21–30.

Živković ST, Stošić SS, Stevanović ML, Gašić KM, Aleksić GA, Vučurović IB, Ristić DT. 2017. *Colletotrichum orbiculare* on watermelon: identification

and *in vitro* inhibition by antagonistic fungi. Matica Srpska Journal of Natural Science. 133:331–343. DOI: <https://doi.org/10.2298/ZMSPN1733331Z>.