

Penapisan Cendawan Laut sebagai Agens Pengendalian Hayati *Colletotrichum acutatum* pada Tanaman Cabai

Screening of Marine Fungi as Biological Control Agent of *Colletotrichum acutatum* on Chili

Nur Asmasari Syam, Efi Toding Tondok, Kustiariyah Tarman, Widodo*
Institut Pertanian Bogor, Bogor, 16680

ABSTRAK

Antraknosa merupakan penyakit penting pada tanaman cabai di Indonesia yang disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum*. Antraknosa sangat merugikan karena menurunkan hasil produksi. Tujuan penelitian adalah mendapatkan cendawan laut yang berpotensi menghambat pertumbuhan *C. acutatum* dan menekan penyakit antraknosa, serta mengidentifikasi isolat cendawan laut yang potensial sebagai agens pengendalian hayati. Potensi agens hayati mengacu pada hasil penapisan seperti uji antagonis dan senyawa organik volatil (SOV), sedangkan penghambatan penyakit antraknosa pada cabai didasarkan pada hasil pengukuran insidensi penyakit dan diameter gejala antraknosa. Hasil uji menunjukkan semua isolat cendawan laut berpotensi menghambat pertumbuhan *C. acutatum* dan menghasilkan SOV, serta dapat menekan insidensi penyakit antraknosa pada cabai. Empat galur cendawan laut, yaitu 4145, B3st2, GN322, Z521 memiliki potensi menjadi agens pengendalian hayati penyakit antraknosa pada cabai. Hasil identifikasi empat galur tersebut berdasarkan analisis sikuen nukleotida adalah *Fusarium proliferatum* 4145, *Trichoderma harzianum* B3st2, fungal endofit GN322, dan *Fusarium solani* Z521.

Kata kunci: antraknosa, identifikasi, insidensi penyakit, senyawa organik volatil

ABSTRACT

Anthracoise is an important disease of red chili plants in Indonesia caused by *Colletotrichum acutatum*. Anthracnose is a very detrimental disease because it reduces yields. This study aimed to obtain marine fungi that have the potency to inhibit the growth of *C. acutatum* and suppress anthracnose disease, as well as to identify the potential of marine fungal isolates as biological control agents. The biological control agents' potency was determined based on screening results such as antagonist test and volatile organic compound (VOC) while suppression of anthracnose disease on chili was evaluated by measuring the incidence of disease and the diameter of anthracnose symptoms. The results showed that all marine fungal isolates had the potential to inhibit the growth of *C. acutatum* and produce VOC. All the isolates has also the capability to suppress the incidence of anthracnose in chilies. Four strains of marine fungal, i.e. 4145, B3st2, GN322, Z521. Based on analysis of nucleotide sequences, the *Fusarium proliferatum* 4145, *Trichoderma harzianum* B3st2, fungal endophyte GN322, and *Fusarium solani* Z521 can be used as biological control agents *C. acutatum* on chili.

Keywords: anthracnose, disease incidence, identification, volatile organic compound

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Jalan kamper, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

Tel: 0251-8629354, Faks: 0251-8629362; Surel: widodo@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Cabai (*Capsicum annuum*) merupakan tanaman hortikultura, salah satu komoditas pertanian dengan nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Produktivitas cabai merah nasional tahun 2016 sampai 2019 berfluktuasi. Pada tahun 2019 total produktivitas cabai merah meningkat sebesar 3.76% dibandingkan dengan tahun 2018, namun masih belum dapat mencukupi kebutuhan cabai nasional (BPS 2019). Nurahmi *et al.* (2011) menyatakan bahwa produktivitas cabai merah dapat mencapai 20 ton ha⁻¹. Produktivitas cabai merah dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain anomali iklim, hama, dan penyakit.

Gangguan penyakit merupakan salah satu kendala dalam upaya budi daya tanaman cabai di Indonesia. Penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum* sp. merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman cabai, yang dapat menurunkan hasil sebesar 90% (Suyanti *et al.* 2020). Penyakit antraknosa pada tanaman cabai menyebabkan mati pucuk dan busuk kering pada daun batang, sedangkan gejala khas yang ditimbulkan pada buah cabai ialah bercak cokelat kehitaman pada permukaan buah. Antraknosa dapat disebabkan oleh *C. acutatum*, *C. capsici*, dan *C. gloeosporioides* (Widodo dan Hidayat 2018) dan yang paling banyak ditemukan pada pertanaman cabai di Indonesia ialah *C. acutatum*.

Pengendalian penyakit antraknosa biasanya menggunakan fungisida sintetik yang apabila digunakan terus menerus dapat menimbulkan ketahanan pada patogen, kerusakan lingkungan, peningkatan biaya produksi, dan residu pada buah. Upaya yang telah dilakukan untuk mengendalikan penyakit antraknosa pada cabai yang ramah lingkungan ialah penggunaan pestisida nabati Agr I (Paradisa *et al.* 2020) yang dapat menghambat pertumbuhan *C. acutatum* dan *C. gloeosporioides* namun tidak mampu mengendalikan patogen yang telah berada di dalam jaringan tanaman. Penggunaan nanokitosan Ag ChNPs 500 ppm dan Cu-ChNPs 1000 ppm mampu menghambat

pertumbuhan *C. capsici* sebesar 17.3% dan 42.3% dan secara nyata menekan insidensi penyakit pada tanaman cabai varietas Tanjung, Ciko, dan Kencana (Eris *et al.* 2019). Sudirga dan Suprpta (2021) menyatakan bahwa ekstrak daun *Ficus septica* mengandung senyawa bioaktif anticendawan yang dapat digunakan untuk mengendalikan penyakit antraknosa *C. acutatum*. Pemanfaatan cendawan laut yang kaya akan kandungan senyawa bioaktif merupakan salah satu alternatif pengendalian hayati. Metabolit penicibilaenes A yang diproduksi oleh cendawan laut *Penicillium bilaiae* MA-267 berpotensi sebagai anticendawan terhadap *C. gloeosporioides* (Meng *et al.* 2014).

Cendawan laut hidup dalam habitat yang memiliki kadar garam tinggi, nutrisi terbatas, tekanan tinggi, variasi suhu, kompetisi dengan bakteri, virus, dan cendawan lainnya sehingga cendawan laut memiliki jalur metabolik spesifik (Liberra dan Lindequist 1995). Oleh karena itu, cendawan laut menjadi sumber potensial penghasil senyawa metabolit yang dapat dimanfaatkan sebagai antikanker, antibakteri, dan anticendawan (Wang *et al.* 2016 dan Fang *et al.* 2018). Senyawa baru yang telah diisolasi dari cendawan laut setiap tahun jumlahnya terus meningkat, mencapai 328 senyawa baru pada tahun 2016 (Blunt *et al.* 2018). Sebanyak 448 senyawa metabolit sekunder berasal dari cendawan. Cendawan laut berkontribusi 25% dari total senyawa metabolit sekunder baru dari organisme laut (Carroll *et al.* 2019).

Cendawan laut *Aspergillus* sp. ZA-01 memproduksi senyawa bioaktif aspergixanthone I yang berperan sebagai antivibrio terhadap *Vibrio parahemolyticus* (Zhu *et al.* 2018). Pengendalian hayati untuk penyakit antraknosa pada cabai dengan cendawan laut belum banyak dipelajari, namun demikian beberapa peneliti melaporkan bahwa *Trichoderma atroviride* dan *T. asperelloides*, yang berasal dari laut, dapat menurunkan intensitas penyakit rebah kecambah oleh *Rhizoctonia solani* pada kacang buncis (Gal-Hemed *et al.* 2011). *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 secara nyata dapat menghambat

pertumbuhan *Bipolaris oryzae* sebesar 46% dan dapat dijadikan sebagai agens hayati pengendalian penyakit bercak daun cokelat pada padi (Dethoup *et al.* 2017). Berdasarkan hal tersebut, diharapkan cendawan laut dapat menjadi alternatif agens hayati untuk pengendalian penyakit antraknosa pada buah cabai, yang disebabkan oleh *C. acutatum*.

BAHAN DAN METODE

Peremajaan Cendawan

Sebanyak 27 galur cendawan laut yang digunakan merupakan koleksi Laboratorium Mikrobiologi Hasil Perairan, Departemen Teknologi Hasil Perairan, dan cendawan *C. acutatum* BDG 1525 berasal dari Laboratorium Mikologi Tumbuhan, Departemen Proteksi Tanaman, IPB. Cendawan tersebut diremajakan pada medium agar-agar dekstrosa kentang (ADK) dan diinkubasi pada suhu ruang selama tujuh hari.

Uji Antagonisme

Uji antagonisme dilakukan pada 27 galur cendawan laut yang dipasangkan dengan *C. acutatum*. Sebagai kontrol koloni *C. acutatum* ditumbuhkan pada medium ADK tanpa cendawan laut. Pengujian ini diulang sebanyak tiga kali.

Uji antagonis galur-galur cendawan laut dan *C. acutatum* dilakukan menggunakan metode uji ganda. Koloni *C. acutatum* ($\emptyset = 0.5$ cm) ditumbuhkan terlebih dahulu pada medium ADK dengan jarak 3 cm dari tepi cawan selama tiga hari. Selanjutnya, cendawan laut ($\emptyset = 0.5$ cm) ditumbuhkan dalam cawan yang sama dengan jarak 3 cm dari koloni *C. acutatum*, dan diinkubasikan pada suhu ruang. Pengamatan dilakukan setiap hari dengan mengukur jari-jari koloni cendawan laut dan *C. acutatum* sebanyak dua kali. Data yang diperoleh ditabulasi menggunakan *Microsoft Office Excel* 2019. Persentase daya hambat (I) dihitung menggunakan rumus:

$$I = \frac{(R_1 - R_2)}{R_1} \times 100\%, \text{ dengan}$$

R_1 , jari-jari koloni *C. acutatum* yang menjauhi koloni cendawan laut; dan R_2 , jari-jari koloni *C. acutatum* yang mendekati koloni cendawan laut. Selain itu mekanisme interaksi antara galur cendawan laut dan *C. acutatum* diamati melalui antibiosis, lisis, dan kompetisi. Galur cendawan laut yang berpotensi akan diuji lanjut.

Uji Produksi Senyawa Organik Volatil

Produksi senyawa organik volatil (SOV) galur cendawan laut diamati dengan membandingkan diameter *C. acutatum* pada perlakuan uji dan kontrol. Sebanyak 15 galur cendawan laut dari hasil uji antagonis digunakan sebagai perlakuan dan masing-masing diulang tiga kali.

Medium yang digunakan ialah ADK dengan konsentrasi 25%, 50%, 75%, dan 100%. Uji SOV oleh cendawan laut dilakukan menggunakan dua cawan petri berdiameter yang seragam. Medium ADK standar dituang ke dalam cawan bagian bawah, sedangkan medium ADK perlakuan (konsentrasi tertentu) dituang ke dalam cawan bagian atas.

Koloni cendawan *C. acutatum* ($\emptyset = 0.5$ cm) ditumbuhkan pada cawan petri bagian bawah, setelah berumur dua hari diberi perlakuan dengan cendawan laut ($\emptyset = 0.5$ cm) yang ditumbuhkan pada cawan petri bagian atas. Selanjutnya cawan bagian atas tersebut ditangkupkan ke cawan bagian bawah dan direkatkan dengan plastik supaya SOV-nya tidak menguap dan diinkubasi selama tujuh hari pada suhu ruang (Raza *et al.* 2015; Maknunah dan Sinaga 2018).

Produksi SOV diamati dengan membandingkan diameter *C. acutatum* pada perlakuan uji dengan kontrol. Tingkat penghambatan relatif (THR) oleh cendawan laut dihitung dengan rumus (Yuan *et al.* 2012):

$$\text{THR} = \frac{(D_k - D_p)}{D_k} \times 100\%, \text{ dengan}$$

D_k , diameter koloni *C. acutatum* pada kontrol; dan D_p , diameter koloni *C. acutatum* pada perlakuan cendawan antagonis. Data diolah menggunakan program Minitab 21.1. Perlakuan yang menunjukkan beda nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf 5%.

Penghambatan Penyakit Antraknosa pada Buah Cabai

Sebanyak empat galur cendawan laut dari hasil uji SOV yang berpotensi diuji lanjut dalam penghambatan penyakit antraknosa pada buah cabai. Uji ini dilakukan pada biji cabai varietas Pilar F1 secara *in planta* di rumah kaca. Hasil panen buah cabai digunakan sebagai bahan untuk menguji empat filtrat cendawan laut terpilih. Pengamatan dilakukan terhadap lima buah cabai dan setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali. Peubah yang diamati ialah insidensi penyakit antraknosa pada buah cabai pada hari ketujuh setelah inokulasi.

Penyiapan Filtrat Cendawan Laut.

Biakan berumur tujuh hari pada medium ADK dipotong dengan diameter 0.5 cm. Biakan ini dimasukkan ke dalam 100 mL medium cair dekstrosa kentang, lalu diinkubasi dalam inkubator bergoyang pada kecepatan 100 rpm selama 14 hari. Filtrat cendawan laut disaring dengan kertas saring whatman nomor 1. Selanjutnya filtrat cendawan laut ini disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama satu menit dan diambil filtratnya.

Permukaan biji cabai merah disterilkan dengan NaOCl 1% selama lima menit kemudian dibilas tiga kali dengan akuades steril. Selanjutnya biji cabai direndam dalam filtrat konidium cendawan laut 10^6 cfu mL⁻¹ selama 12 jam dan disemai pada baki semai yang berisi medium semai. Pada umur empat minggu bibit cabai dipindah tanam ke kantung plastik yang berisi medium tanah dengan pupuk kandang (1:1), dan disiram filtrat cendawan laut. Bibit sebagai kontrol hanya disiram dengan akuades steril. Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan penyiraman dan pemupukan secara berkala, sampai tanaman berbuah.

Buah cabai dipanen dan diuji lanjut. Buah dicuci bersih dan disterilisasi permukaan menggunakan NaOCl 1% selama dua menit, serta dibilas dengan akuades steril sebanyak tiga kali. Buah yang telah disterilkan permukaannya direndam selama lima menit dalam filtrat cendawan laut dan dikeringanginkan. Buah cabai ditetesi 20 μ L

filtrat konidium *C. acutatum* dengan kerapatan 10^6 cfu mL⁻¹.

Pengamatan dilakukan terhadap diameter gejala nekrosis pada cabai pada tujuh hari setelah inokulasi. Insidensi penyakit (IP) antraknosa dihitung menggunakan rumus:

$$IP = \frac{n}{N} \times 100\%, \text{ dengan}$$

n, jumlah buah yang bergejala; dan N, jumlah buah yang diamati. Data diperoleh kemudian diolah menggunakan program Minitab 21.1. Perlakuan yang menunjukkan beda nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf 5%.

Identifikasi Cendawan

Identifikasi Morfologi. Karakter morfologi cendawan laut yang diamati ialah koloni makroskopis dari warna, pola pertumbuhan, dan tekstur pada medium ADK pada hari ketujuh. Pengamatan mikroskopis meliputi spora reproduksi dan hifa dengan metode *slide culture*.

Identifikasi Molekuler. Sebanyak empat galur dari hasil uji penghambatan antraknosa pada buah cabai dipilih untuk diidentifikasi molekuler. Ekstraksi DNA dilakukan dengan mengikuti metode Abd-Elsalam *et al.* (2003). Primer universal ITS1 (depan) dan ITS4 (belakang) digunakan untuk amplifikasi DNA (White *et al.* 1990). Produk PCR hasil amplifikasi dikirim ke First BASE Malaysia untuk dirunut susunan nukleotidnya. Analisis dilakukan dengan BLAST yang terdapat dalam situs NCBI.

HASIL

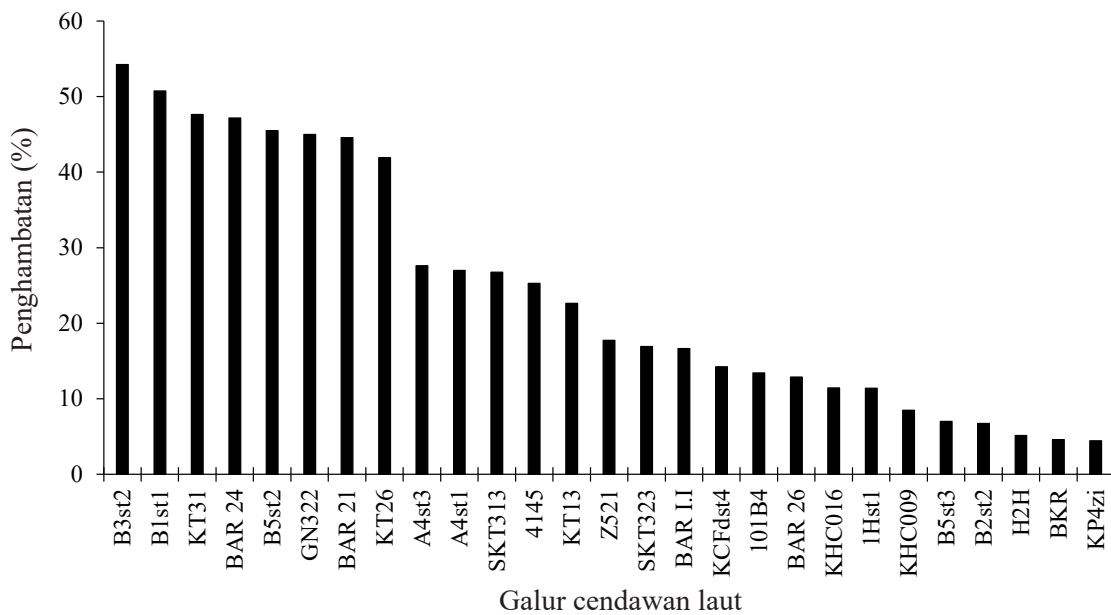
Uji Antagonisme

Sebanyak dua galur, galur B3st2 dan B1st1, hasil uji antagonis dari 27 galur cendawan laut memiliki potensi menekan pertumbuhan *C. acutatum* dengan daya hambat lebih dari 50% pada hari ketujuh (Gambar 1). Cendawan laut galur 4145, A4st3, dan BAR21 menunjukkan mekanisme antibiosis yang ditandai dengan munculnya zona hambat (Gambar 2). Lebar zona hambat galur 4145, A4st3, dan BAR21 pada hari kelima, masing-masing mencapai 5.5, 6.5, dan 7.7 mm (Gambar 2).

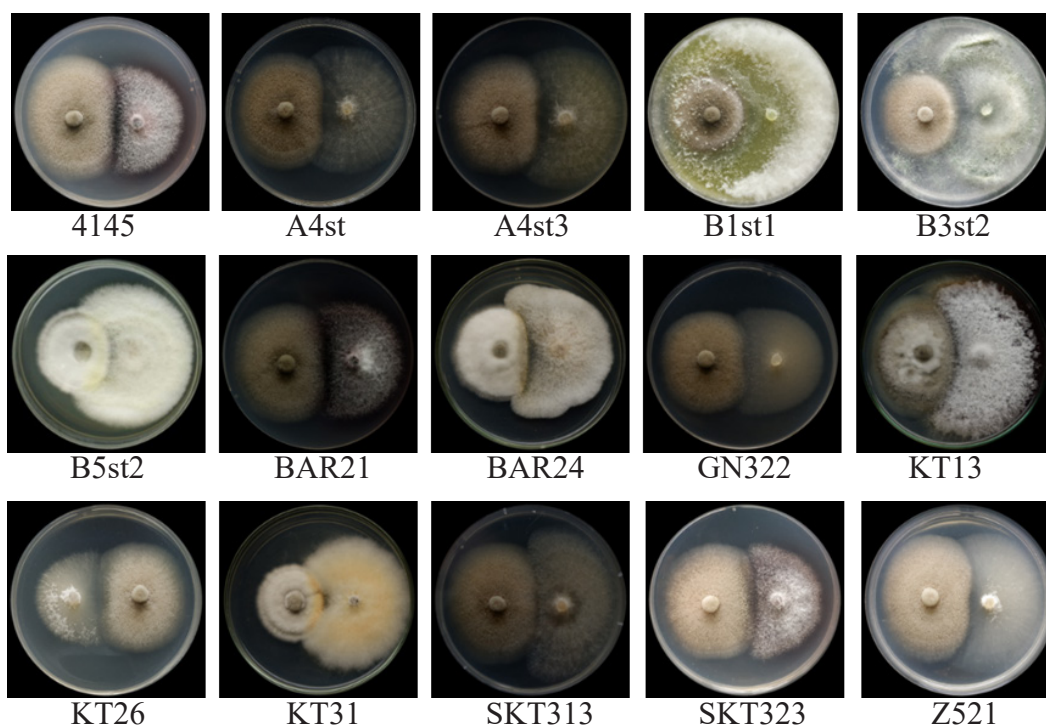
Cendawan laut galur A4st1, B1st1, B3st2, B5st2, BAR24, GN322, KT13, KT26, KT31, SKT313, SKT323, dan Z521 mampu tumbuh dominan di atas koloni patogen *C. acutatum*. Galur-galur tersebut mampu menekan pertumbuhan *C. acutatum* dan menunjukkan adanya kompetisi (Gambar 2). Sebanyak 15 galur cendawan laut dipilih untuk uji lanjut.

Uji Produksi Senyawa Organik Volatil

Uji produksi SOV dari 15 galur cendawan laut pada medium ADK dengan konsentrasi yang berbeda dapat menghambat pertumbuhan *C. acutatum*. Tingkat penghambatannya relatif bervariasi, berkisar antara 4.18% dan 25.39% (Tabel 1). Penghambatan tertinggi dihasilkan oleh B3st2 sebesar 25.39% selanjutnya secara



Gambar 1 Penghambatan relatif cendawan laut terhadap pertumbuhan koloni *Colletotrichum acutatum*.



Gambar 2 Hasil uji antagonisme galur cendawan laut (kanan) dengan cendawan *Colletotrichum acutatum* (kiri) pada tujuh hari setelah inokulasi.

berurutan B1st1, Z521, dan 4145 sebesar 24.58%, 20.19%, dan 20.03%. Cendawan laut galur 4145 memiliki daya hambat tertinggi pada medium ADK 100% (Gambar 3).

Penghambatan Penyakit Antraknosa pada Buah Cabai

Hasil analisis data menunjukkan bahwa insidensi penyakit antraknosa pada cendawan laut galur 4145, B3st2, GN322, dan Z521 berbeda nyata dengan kontrol. Galur 4145 dan GN322 tidak berbeda nyata, namun berbeda nyata pada perlakuan galur B3st2 dan Z521. Galur B3st2 dan Z521 mampu menekan perkembangan penyakit antraknosa pada buah cabai dengan insidensi penyakit sebesar 20%. Cendawan laut galur 4145 dan GN322 berpengaruh terhadap penekanan insidensi penyakit antraknosa masing-masing sebesar 45% dan 35%. Rata-rata diameter gejala penyakit antraknosa pada buah cabai yang memperoleh perlakuan cendawan laut

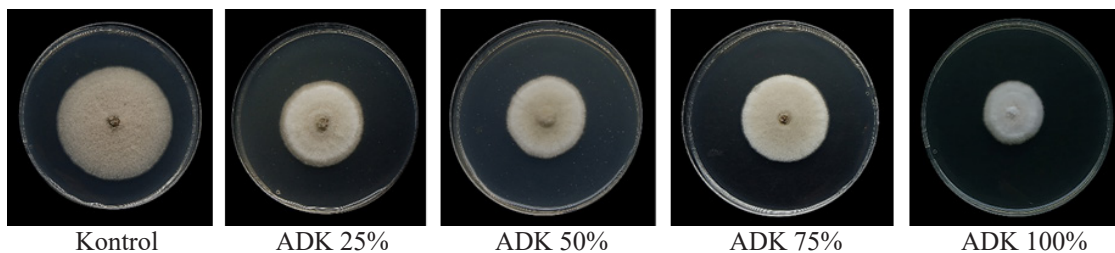
galur 4145, B3st2, GN322, dan Z521 masing-masing sebesar 3.02, 1.60, 1.76, dan 0.94 mm berbeda nyata dengan kontrol sebesar 5.18 mm (Tabel 2).

Identifikasi Cendawan

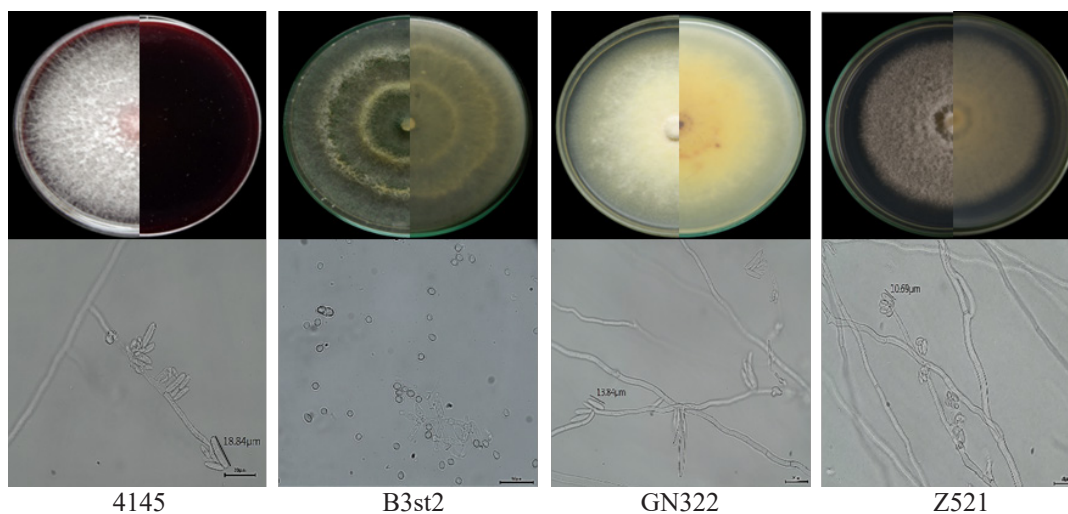
Identifikasi Morfologi.

Pengamatan karakteristik makroskopis cendawan laut galur 4145 memiliki bentuk koloni bulat, elevasi datar, tepian rata, struktur miselium beludru, warna koloni pada permukaan atas putih dan pada permukaan bawah cawan petri berwarna ungu. Cendawan ini memiliki hifa hialin dan berseptat, serta mikrokonidium aseptat berukuran 18.84 µm (Gambar 4a). Dari karakteristik tersebut diduga merupakan anggota genus *Fusarium*.

Cendawan laut galur B3st2 berbentuk filamen, elevasi menonjol, tepian rata, struktur miselium seperti kapas, warna koloni permukaan atas putih kehijauan, dan pada permukaan bawah kuning kehijauan.



Gambar 3 Pengaruh senyawa organik volatil cendawan laut galur 4145 terhadap pertumbuhan *Colletotrichum acutatum* pada hari ketujuh setelah inokulasi.



Gambar 4 Karakteristik morfologi makroskopis (koloni tampak atas dan bawah) dan mikroskopis galur cendawan laut pada hari ketujuh.

Tabel 1 Tingkat penghambatan relatif senyawa organik volatil cendawan laut terhadap pertumbuhan *Colletotrichum acutatum* pada berbagai konsentrasi medium ADK

Galur cendawan laut	Konsentrasi medium ADK			
	25%	50%	75%	100%
4145	18.14 ± 2.45 abcdefgh	17.76 ± 0.98 abcdefghi	13.71 ± 1.84 cdefghijk	20.03 ± 2.21 abcde
A4st1	16.54 ± 3.71 abcdefghi	14.11 ± 1.53 bcdefghijk	18.50 ± 1.42 abcdefg	10.98 ± 0.86 defghijk
A4st3	17.26 ± 0.68 abcdefghi	16.50 ± 1.22 abcdefghi	12.54 ± 4.94 cdefghijk	12.07 ± 3.46 cdefghijk
B1st1	21.66 ± 9.11 abcd	20.81 ± 9.04 abcd	22.34 ± 6.48 abc	24.58 ± 1.34 ab
B3st2	25.39 ± 3.29 a	21.04 ± 2.91 abcd	18.14 ± 1.59 abcdefgh	13.33 ± 0.77 cdefghijk
B5st2	14.54 ± 3.15 bcdefghijk	15.66 ± 0.82 abcdefghij	5.48 ± 1.28 jk	7.67 ± 1.80 hijk
BAR21	12.69 ± 2.54 cdefghijk	13.10 ± 1.53 cdefghijk	6.97 ± 1.79 ijk	9.01 ± 3.03 fghijk
BAR24	13.50 ± 4.64 cdefghijk	12.59 ± 0.93 cdefghijk	13.08 ± 0.73 cdefghijk	13.02 ± 0.96 cdefghijk
GN322	19.38 ± 1.35 abcdef	17.74 ± 0.45 abcdefghi	13.16 ± 2.68 cdefghijk	9.73 ± 0.54 efg hijk
KT13	12.01 ± 0.63 cdefghijk	16.90 ± 2.06 abcdefghi	4.18 ± 2.42 k	8.26 ± 0.46 ghijk
KT26	13.84 ± 2.42 bcdefghijk	13.89 ± 2.24 bcdefghijk	15.34 ± 0.56 abcdefghij	14.19 ± 4.31 bcdefghijk
KT31	14.98 ± 5.44 abcdefghijk	18.76 ± 1.34 abcdefg	12.05 ± 2.45 cdefghijk	7.13 ± 2.20 ijk
SKT313	14.90 ± 1.07 abcdefghijk	13.81 ± 1.13 bcdefghijk	13.77 ± 1.90 cdefghijk	12.54 ± 3.84 cdefghijk
SKT323	13.50 ± 0.55 cdefghijk	17.14 ± 0.43 abcdefghi	17.30 ± 10.75 abcdefghi	7.57 ± 1.02 hijk
Z521	20.20 ± 0.65 abcde	17.01 ± 0.64 abcdefghi	9.16 ± 1.35 fghijk	11.00 ± 1.24 defghijk

*Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji Tukey).

Tabel 2 Pengaruh filtrat cendawan laut pada uji *in planta* terhadap perkembangan antraknosa pada buah cabai

Galur cendawan laut	Insidensi penyakit (%)	Diameter gejala antraknosa (mm)
4145	45.00 ± 0.19bc	3.02 ± 1.69bc
B3st2	20.00 ± 0.23c	1.60 ± 1.88abc
GN322	35.00 ± 0.10bc	1.76 ± 1.33bc
Z521	20.00 ± 0.28c	0.94 ± 0.85c
Kontrol	75.00 ± 0.30ab	5.18 ± 2.37ab

*Angka pada kolom yang sama dan diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (uji Tukey).

Konidiofor galur ini hialin, tegak lurus, banyak percabangan, fialid tunggal, dan konidium berbentuk bulat (Gambar 4b). Karakteristik tersebut diduga merupakan genus *Trichoderma*.

Cendawan laut galur GN322 membentuk koloni bulat, elevasi datar, tepi bergerigi, struktur seperti kapas, warna koloni pada permukaan atas putih dan bagian bawah berwarna putih kekuningan. Galur ini mempunyai hifa berseptat, hialin, makrokonidium panjang yang ujungnya meruncing, sedangkan mikrokonidiumnya berbentuk oval, asepat (Gambar 4c). Karakteristik tersebut diduga merupakan genus *Fusarium*.

Cendawan laut galur Z521 membentuk koloni bulat, elevasi datar, tepi rata, struktur miselium seperti kapas, serta warna koloni putih baik pada bagian atas dan bawah cawan petri. Galur ini memiliki hifa septat, spora aseksual berupa mikrokonidium. Mikrokonidium berbentuk oval, asepat, terbentuk secara berkelompok sebagai kepala semu (*false head*) pada ujung monofialid yang cenderung panjang, berukuran 10.69 μm (Gambar 4d). Karakteristik tersebut diduga merupakan genus *Fusarium*.

Identifikasi Molekuler. Identifikasi morfologi makroskopis dan mikroskopis cendawan laut dikonfirmasi secara molekuler menggunakan pasangan primer universal ITS1 (depan) dan ITS4 (belakang). Penyejajaran

sikuen nukleotida cendawan laut hasil amplifikasi dengan basis data di GenBank menunjukkan bahwa cendawan laut galur 4145 memiliki homologi terdekat 99.63% dengan *Fusarium proliferatum* BH31 asal China (Tabel 3). Cendawan laut galur B3st2 memiliki homologi dengan *Trichoderma harzianum* A1S4-2 asal Malaysia 99.36% (Tabel 4). Cendawan laut galur GN322 memiliki homologi dengan cendawan endofit g109 asal China 99.26% (Tabel 5), dan galur Z521 memiliki homologi dengan *Fusarium solani* OUCMBI110106 asal China 99.30% (Tabel 6).

PEMBAHASAN

Cendawan antagonis dapat menunjukkan mekanisme interaksi secara langsung dan atau tidak langsung dalam pengendalian penyakit antraknosa. Interaksi antara kedua koloni cendawan terjadi pada empat hari setelah inokulasi cendawan laut. Cendawan laut galur 4145, A4st3, dan BAR21 menunjukkan mekanisme antibiosis dengan membentuk zona penghambatan. Penghambatan ini terjadi ketika cendawan laut memproduksi senyawa metabolit dan atau antibiotik yang bersifat toksik bagi patogen sehingga menyebabkan hifa *C. acutatum* menjadi abnormal. Abnormalitas yang terjadi ialah hifa putus, bengkok, dan membengkak. Pertumbuhan hifa yang abnormal pada *C. acutatum*

Tabel 3 Homologi nukleotida daerah ITS cendawan laut galur 4145 dengan isolat-isolat yang terdaftar di GenBank

Identitas GenBank	Kode akses	Query cover	Homologi (%)	Asal
<i>Fusarium proliferatum</i> strain BH31	MH712162.1	99	99.63	China
<i>Fusarium proliferatum</i> strain AH6	MH712164.1	98	99.45	China
<i>Fusarium proliferatum</i> strain BH13	MH712161.1	98	99.45	China
<i>Fusarium proliferatum</i> strain AH15	MH712165.1	99	98.57	China
<i>Fusarium proliferatum</i> isolat GS146	MN511330.1	99	98.57	Korea
<i>Fusarium proliferatum</i> strain MXDC5	MW391506.1	99	98.08	China
<i>Fusarium proliferatum</i> strain SAPB4	KX343956.1	98	96.15	India
<i>Fusarium proliferatum</i> isolat F2	MF033172.1	95	96.14	India
<i>Fusarium proliferatum</i> isolat F28	MF993105.1	95	92.48	Tunisia
<i>Fusarium proliferatum</i> strain AQGS33	KP721572.1	97	92.44	India

Tabel 4 Homologi nukleotida daerah ITS cendawan laut galur B3st2 dengan isolat-isolat yang terdaftar di GenBank

Identitas GenBank	Kode akses	Query cover	Homologi (%)	Asal
<i>Trichoderma harzianum</i> isolat A1S4-2	KJ767087.1	68	99.36	Malaysia
<i>Trichoderma harzianum</i> isolat Mc2151	MK738146.1	68	99.36	USA
<i>Trichoderma harzianum</i> strain TH6	KC403943.1	74	97.65	India
<i>Trichoderma harzianum</i> isolat 1A3	MN046981.1	73	97.50	Brazil
<i>Trichoderma harzianum</i> strain TH9	KC403946.1	73	97.50	India
<i>Trichoderma harzianum</i> strain TH3	KC403940.1	73	97.50	India
<i>Trichoderma harzianum</i> strain CEN257	KC576680.1	72	97.44	Brazil
<i>Trichoderma harzianum</i> strain CGAJ1T-4	KY495195.1	74	97.35	Nigeria
<i>Trichoderma harzianum</i> strain CEN261	KC576683.1	74	97.19	Brazil
<i>Trichoderma harzianum</i> strain TH2	KC403939.1	74	96.64	India

Tabel 5 Homologi nukleotida daerah ITS cendawan laut galur GN322 dengan isolat-isolat yang terdaftar di GenBank

Identitas GenBank	Kode akses	Query cover	Homologi (%)	Asal
Fungal endophyte sp. g109	HM537076.1	99	99.26	China
Fungal endophyte sp. g107	HM537075.1	99	99.26	China
Fungal sp. ARIZ B212	FJ612958.1	99	99.26	Panama
Fungal sp. ARIZ L77	FJ612882.1	99	99.26	Panama
Fungal sp. ARIZ L158	FJ612710.1	99	99.26	Panama
Fungal sp. ARIZ L145	FJ612702.1	99	99.26	Panama
Fungal sp. ARIZ L142	FJ612700.1	99	99.26	Panama
Fungal sp. isolat E2706B	KT996043.1	99	98.40	Ecuador
<i>Fusarium</i> sp. BM3	KJ567458.1	99	98.40	China
Uncultured fungus clone 4248_334	MT236527.1	99	91.20	Sweden

Tabel 6 Homologi nukleotida daerah ITS cendawan laut galur Z521 dengan isolat-isolat yang terdaftar di GenBank

Identitas GenBank	Kode akses	Query cover	Homologi (%)	Asal
<i>Fusarium solani</i> strain OUCMBI110106	KP269017.1	99	99.30	China
<i>Fusarium solani</i> isolat GS222	MN511337.1	99	99.30	Korea
<i>Fusarium solani</i> isolat FsolCpIN1	KC577186.1	98	99.29	India
<i>Fusarium solani</i> strain S1	KJ145420.1	99	99.12	Korea
<i>Fusarium solani</i> isolat 7227	MN922526.1	99	99.12	China
<i>Fusarium solani</i> strain LW-1	EU719658.1	99	99.12	Taiwan
<i>Fusarium solani</i> isolat FSCS6	MT107079.1	99	98.95	India
<i>Fusarium solani</i> strain 168	MW165528.1	99	98.95	Turkey
<i>Fusarium solani</i> strain YQC-C3	KF939488.1	99	98.94	China
<i>Fusarium solani</i> strain AIBF 005-1	GQ229075.1	99	98.77	Brazil

memperlihatkan bahwa galur cendawan laut berpotensi sebagai agens pengendalian hayati. Pada cendawan laut galur A4st1, B1st1, B3st2, B5st2, BAR24, GN322, KT13, KT26, KT31, SKT313, SKT323, dan Z521 terjadi kompetisi

dalam memperebutkan ruang dan nutrisi yang ketersediaannya terbatas.

Karim *et al.* (2020) melaporkan terdapat empat interaksi yang berbeda: antibiosis, lisis, hiperparasitisme, dan kompetisi.

Neurospora sp. DG27 dapat menghambat *C. truncatum* dengan persentase hambatan sebesar 71.98%, *Neurospora* sp. DG17 dan *Syncephalastrum* sp. AG15 masing-masing sebesar 53.74% dan 48.28%. Mekanisme penghambatan *Neurospora* sp. DG27 terjadi secara antibiosis, *Neurospora* sp. DG17 secara kompetisi, dan *Syncephalastrum* sp. AG15 secara mikoparasit (Huda *et al.* 2019).

Senyawa organik volatil ialah senyawa yang mengandung karbon dengan massa molekul rendah yang mudah menguap pada suhu dan tekanan normal. Cendawan laut galur 4145 dan B1st1 pada medium ADK 100% menghasilkan penghambatan maksimal terhadap *C. acutatum*. Konsentrasi nutrisi yang tinggi menyebabkan kedua galur tersebut tumbuh optimal sehingga memproduksi lebih banyak SOV. Produksi SOV optimal pada galur A4st1, KT26, dan SKT323 terjadi di medium ADK 75%. Cendawan laut galur B5st2, BAR21, KT13 dan KT31 memproduksi SOV optimal pada konsentrasi medium ADK 50%, demikian juga galur A4st3, B3st2, BAR24, GN322, SKT313, dan Z521 dapat memproduksi SOV optimal pada konsentrasi medium ADK 25%.

Produksi SOV dapat optimal jika galur tersebut tumbuh pada kondisi medium yang miskin nutrisi. Setiap cendawan memiliki respons pertumbuhan dan aktivitas metabolik yang berbeda saat ditumbuhkan dalam medium ADK. Oleh karena itu, penggunaan medium ADK dengan konsentrasi berbeda bertujuan menentukan kecenderungan setiap galur cendawan laut dalam memproduksi senyawa metabolit.

Semua cendawan laut menghasilkan SOV yang memiliki peran penting dalam pertahanan tanaman terhadap patogen. *T. asperellum* T1 mampu memproduksi SOV yang terbukti dari penghambatan perkembangan patogen, induksi ketahanan, dan stimulasi pertumbuhan tanaman (Wonglom *et al.* 2020). *Aureobasidium pullulans* menghasilkan SOV 2-fenil, 1-butanol-3-metil, 1-butanol-2-metil, dan 1-propanol-2-metil yang dapat digunakan sebagai agens pengendalian hayati yang

mampu menghambat pertumbuhan koloni *C. acutatum* (Francesco *et al.* 2015).

Perlakuan filtrat cendawan laut mampu menekan perkembangan penyakit antraknosa pada buah cabai. Buah cabai yang diinokulasi *C. acutatum* menunjukkan gejala antraknosa pada waktu 72 jam setelah inokulasi. Gejala antraknosa umumnya muncul pada 24 jam setelah inokulasi *C. acutatum* (Muljowati *et al.* 2021). Gejala awal pada permukaan buah berupa bintik-bintik cokelat dan lama kelamaan bintik tersebut menjadi gelap. Rahman *et al.* (2012) melaporkan bahwa kultur filtrat *T. harzianum* IMI-392433 dapat digunakan sebagai agens biokontrol yang efektif untuk mengendalikan penyakit antraknosa pada cabai yang disebabkan oleh *C. capsici*. *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 mampu menghambat perkembangan gejala penyakit antraknosa *C. gloeosporioides* pada cabai (Ruangwong *et al.* 2021).

Penelitian ini berhasil mengkarakterisasi dan mengidentifikasi empat jenis galur cendawan laut, yaitu *F. proliferatum*, *T. harzianum*, fungal endofit sp., *F. solani*. *F. proliferatum* ACQR8 menghasilkan senyawa terpenoid, alkaloid, fenol dan flavonoid yang berfungsi sebagai anticendawan (Singh *et al.* 2021). Piridin 3-butyl, pirazin 3-etil-2.5-dimetil, asam palmitat, asam oleat, asam adipat, dan asam ftalat merupakan senyawa metabolit diproduksi oleh *F. proliferatum* FP85 yang memiliki potensi sebagai anticendawan dan antibakteri (Rasekhi *et al.* 2014). Cendawan *T. harzianum* memproduksi senyawa bioaktif asam asetat, 2-feniletil alkohol, asam heksadekanoat, asam harzianat, 6-pentil-alfa-piron, dan dihidroksiaseton berpotensi sebagai anticendawan (Yassin *et al.* 2021). Zeilinger *et al.* (2016) melaporkan *T. harzianum* menghasilkan senyawa 6-pentil-alfa-piron, dan 2H-piran-2-satu yang memiliki potensi anticendawan. *T. harzianum* WKY1 menghasilkan fitohormon IAA yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengurangi keparahan penyakit (Saber *et al.* 2017). Senyawa asam trans-butenadioat, asam malat, tirosol, asam p-hydroxybenzoic, dan asam azelat merupakan senyawa metabolit

yang diproduksi oleh *F. solani* yang memiliki potensi anticendawan (Vieira *et al.* 2020).

Penelitian kami merupakan laporan pertama dari aktivitas cendawan laut *F. prolifera* 4145, *T. harzianum* B3st2, cendawan endofit sp. GN322, dan *F. solani* Z521 terhadap *C. acutatum* di laboratorium, dan rumah kaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa galur cendawan laut mampu menghambat pertumbuhan koloni *C. acutatum* dan menekan penyakit antraknosa pada buah cabai di rumah kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Elsalam KA, Aly IN, MA Abdel-Satar, Khalil MS, Verreet JA. 2003. PCR identification of *Fusarium* genus based on nuclear ribosomal-DNA sequence data. *African Journal of Biotechnology*. 2(4):82–85. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1016>.
- Blunt JW, Carroll AR, Copp BR, Davis RA, Keyzers RA, Prinsep MR. 2018. Marine natural products. *Natural Product Reports*. 34:235-294. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7NP00052A>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. Statistik Pertanian 2019: Produksi cabai besar, luas panen cabai besar, dan produktivitas cabai besar. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61> [diakses 2 Januari 2022].
- Carroll AR, Copp BR, Davis RA, Keyzers RA, Prinsep MR. 2019. Marine natural products. *Natural Product Reports*. 36(1):122–173. DOI: <https://doi.org/10.1039/C8NP00092A>.
- Dethoup T, Kaewsalong N, Songkumorn P, Jantasorn A. 2017. Potential application of a marine-derived fungus, *Talaromyces tratensis* KUFA 0091 against rice diseases. *Biological Control*. 119:1–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.11.008>.
- Eris DD, Wahyuni S, Putra SM, Yusup CA, Mulyatni AS, Siswanto, Krestini EH, Winarti C. 2019. Pengaruh nanokitosan-Ag/Cu pada perkembangan penyakit antraknosa pada cabai. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 24(3):201–208. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.24.3.201>.
- Fang W, Wang J, Wang J, Shi L, Li K, Lin X, Min Y, Yang B, Tang L, Liu Y, Zhou X. 2018. Cytotoxic and antibacterial eremophilane sesquiterpenes from the marine-derived fungus *Cochliobolus lunatus*. *Journal of Natural Products*. 81(6):1405–1410. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.8b00015>.
- Francesco AD, Ugolini L, Lazzeri L, Mari M. 2015. Production of volatile organic compounds by *Aureobasidium pullulans* as a potential mechanism of action against postharvest fruit pathogens. *Biological Control*. 81:8–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.10.004>.
- Gal-Hemed I, Atanasova L, Komon-Zelazowska M, Druzhinina IS, Viterbo A, Yarden O. 2011. Marine isolates of *Trichoderma* spp. as potential halotolerant agents of biological control for arid-zone agriculture. *Applied and Environmental Microbiology*. 77(15):5100–5109. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00541-11>.
- Huda N, Imaningsih W, Hakim SS. 2019. Uji antagonisme kapang endofit tanaman galem (*Melaleuca cajuputi*) terhadap *Colletotrichum truncatum*. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 3(2):59–74. DOI: <https://doi.org/10.46638/jmi.v3i2.62>.
- Karim A, Rahmiati, Fauziah I. 2020. Isolasi dan uji antagonis *Trichoderma* terhadap *Fusarium oxysporum* secara in vitro. *Jurnal Biosains*. 6:(1):18–22.
- Liberra K, Lindequist U. 1995. Marine fungi: a prolific resource of biologically active natural products. *Journal of Pharmazie*. 50(9):583–588.
- Maknunah J, Sinaga MS. 2018. Eksplorasi dan karakterisasi khamir dan bakteri sebagai agens antagonis terhadap penyebab penyakit blas pada padi. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 14(3):83–88. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.14.3.83>.
- Meng LH, Li XM, Liu Y, Wang BG. 2014. Penicibilaenes A and B, sesquiterpenes with a tricyclo [6.3.1.1,^{1,5}] dodecane skeleton from the marine isolate of

- Penicillium bilaiae MA-267. Organic Letters. 16(23):6052–6055. DOI: <https://doi.org/10.1021/ol503046u>.
- Muljowati JS, Soesanto L, Nugroho LH. 2021. Short communication: Histopathology of red chilli fruit (*Capsicum annuum*) infected with *Colletotrichum acutatum* of Java, Indonesia isolates. Biodiversitas. 22(2):874–880. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220242>.
- Nurahmi E, Mahmud T, Rossiana SS. 2011. Efektifitas pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil cabai merah. Jurnal Floratek. 6(2):158–164.
- Paradisa YB, Wahyuni, Mulyaningsih, Perdani AY, Prianto AH. 2020. Evaluasi pestisida nabati dengan ekstrak mimba (*Azadirachta* sp.) untuk pengendalian pertumbuhan antraknosa pada buah cabai. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 16(3):112–122. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.16.3.112-122>.
- Rahman MA, Rahman MM, Kamruzzaman M, Begum MF, Alam MF. 2012. Use of culture filtrates of *Trichoderma* strains as a biological control agent against *Colletotrichum capsici* causing anthracnose fruit rot disease of chili. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 2(1):9–18.
- Rasekhi F, Tajick MA, Rahimian H, Sharifimehr S. 2014. Some of phytotoxic and antimicrobial compounds extracted from culture filtrates of *Fusarium proliferatum* FP85. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences. 4(5):245–251.
- Raza W, Yuan J, Ling N, Huang Q, Shen Q. 2015. Production of volatile organic compounds by an antagonistic strain *Paenibacillus polymyxa* WR-2 the presence of root exudates and organic fertilizer and their antifungal activity against *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. Biology Control. 80:89–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.09.004>.
- Ruangwong OU, Pornsuriya C, Pitija K, Sunpapao A. 2021. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 against postharvest anthracnose of chili pepper. Journal of Fungi. 7(4):276. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7040276>.
- Saber WIA, Ghoneem KM, Rashad YM, Al-Askar A. 2017. *Trichoderma harzianum* WKY1: an indole acetic acid producer for growth improvement and anthracnose disease control in sorghum. Biocontrol Science and Technology. 27(5):654–676. DOI: <https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1321733>.
- Singh A, Kumar J, Sharma VK, Singh DK, Kumari P, Nishad JH, Gautam VS, Kharwar RN. 2021. Phytochemical analysis and antimicrobial activity of an endophytic *Fusarium proliferatum* (ACQR8), isolated from a folk medicinal plant *Cissus quadrangularis* L. South African Journal of Botany. 140:87–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.004>.
- Sudirga SK, Suprpta DN. 2021. Biological control of anthracnose disease (*Colletotrichum acutatum*) in chili peppers by crude leaf extract of fig (*Ficus septica*). Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 53(1):79–87.
- Suyanti AP, Mariana, Rosa HO. 2020. Pengaruh pemberian beberapa ekstrak gulma lahan pasang surut dalam menghambat *Colletotrichum* sp penyebab penyakit antraknosa pada buah cabai rawit. Jurnal Proteksi Tanaman Tropika. 3(02):215–225.
- Vieira NC, Cortelo PC, Castro-Gamboa I. 2020. Rapid qualitative profiling of metabolites present in *Fusarium solani*, a rhizospheric fungus derived from *Senna spectabilis*, using GC/MS and UPLC-QTOF/MS^E techniques assisted by UNIFI information system. European Journal of Mass Spectrometry. 26(4):281–291. DOI: <https://doi.org/10.1177/1469066720922424>.
- Wang J, He W, Huang X, Tian X, Liao S, Yang B, Wang F, Zhou X, Liu Y. 2016. Antifungal new oxepine-containing alkaloids and xanthenes from the deep-sea-derived fungus *Aspergillus versicolor* SCSIO 05879. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 64(14):2910–2916. DOI:

- <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00527>.
- White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. New York (USA): Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>.
- Widodo, Hidayat SH. 2018. Identification of Colletotrichum species associated with chili anthracnose in Indonesia by morphological characteristics and species-specific primers. Asian Journal of Plant Pathology. 12(1):7–15. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajppaj.2018.7.15>.
- Wonglom P, Ito S, Sunpapao A. 2020. Volatile organic compounds emitted from endophytic fungus *Trichoderma asperellum* T1 mediate antifungal activity, defense response and promote plant growth in lettuce (*Lactuca sativa*). Fungal Ecology. 43:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.100867>.
- Yassin MT, Mostafa AA, Al-Askar AA, Sayed SR, Rady AM. 2021. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* strains against some fusarial pathogens causing stalk rot disease of maize, in vitro. Journal of King Saud University - Science. 33(3):101363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101363>.
- Yuan J, Raza W, Shen Q, Huang Q. 2012. Antifungal activity of *Bacillus amyloliquefaciens* NJN-6 volatile compounds against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Applied and Environmental Microbiology. 78:5942–5944. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01357-12>.
- Zeilinger S, Gruber S, Bansal R, Mukherjee PK. 2016. Secondary metabolism in *Trichoderma*-Chemistry meets genomics. Fungal Biology Reviews. 30(2):74–90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2016.05.001>.
- Zhu A, Zhang XW, Zhang M, Li W, Ma ZY, Zhu HJ, Cao F. 2018. Aspergixanthonones I–K, new anti-vibrio prenylxanthonones from the marine-derived fungus *Aspergillus* sp. ZA-01. Marine Drugs. 16(9):312. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajppaj.2018.7.15>.