



REVIEW

Cendawan entomopatogen sebagai penginduksi ketahanan tanaman: Sebuah tinjauan sistematis

Entomopathogenic fungi as plant resistance inducer: A systematic review

Indri Yanil Vajri^{1*}, Trizelia², Retna Astuti Kuswardani¹, Magdalena Saragih¹

¹Program Studi Agroteknologi, Universitas Medan Area
Jalan Kolam No. 1, Medan 20223, Indonesia

²Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas
Jalan Limau manis, Kecamatan Pauh, Padang 25175, Indonesia

(diterima September 2023, disetujui Februari 2024)

ABSTRAK

Perhatian ahli patologi serangga terhadap potensi cendawan entomopatogen (CEP) sebagai penginduksi ketahanan tanaman telah mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa jenis CEP yang mendapat perhatian sebagai agens biocontrol populasi serangga hama diantaranya *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* dan *Trichoderma* sp. karena mampu menginfeksi dan mematikan serangga secara langsung, memiliki kisaran inang yang luas, dan telah digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis serangga hama. Selain mampu menginfeksi dan mematikan serangga hama, CEP juga dapat hidup secara endofit pada jaringan tanaman dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dengan merangsang terjadinya peningkatan fitohormon. Dalam artikel ini, kami meninjau peranan cendawan sebagai entomopatogen, karakter cendawan entomopatogen, dan peranannya sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Peninjauan dilakukan dari artikel-artikel original dan laporan terkait yang mengulas tentang hasil penelitian tentang peranan cendawan entomopatogen sebagai penginduksi ketahanan tanaman dengan mencantumkan kata kunci cendawan endofit entomopatogen, induksi ketahanan, karakterisasi, ketahanan sistemik dan serangga herbivora. Tinjauan sistematis ini menyimpulkan bahwa CEP sebagai penginduksi ketahanan tanaman merupakan alternatif pengendalian yang sangat menjanjikan dalam perkembangan management perlindungan tanaman terhadap serangga hama.

Kata kunci: cendawan endofit entomopatogen, induksi ketahanan, karakterisasi, ketahanan sistemik, serangga herbivora

ABSTRACT

Insect pathologists' attention to the potential of entomopathogenic fungi (EPF) as inducers of plant resistance has increased in recent years. Several types of EPF that have received attention as biocontrol agents for insect pest populations include *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma* sp. because they are able to infect and kill insects directly, has a wide host range, and has been used to control various types of insect pests. Apart from being able to infect and kill insect pests, EPF can also live endophytically in plant tissue and increase plant resistance to pest attacks. The presence of EPF as endophytes is able to induce plant resistance by stimulating an increase phytohormones production. In this article, we reviewed the role of fungi as entomopathogens, the

*Penulis korespondensi: Indri Yanil Vajri, Program Studi Agroteknologi, Universitas Medan Area,

Jalan Kolam No. 1, Kota Medan 20223, Indonesia, Tel: (061) 8225602, 8201994, Faks: (061) 8226331 Email: indriyanilvajri@staff.uma.ac.id

characteristics of entomopathogenic fungi, and their role as inducers of plant resistance. The review was carried out by collecting information from original articles and related reports which reviewed the results of research on the role of entomopathogenic fungi as plant resistance inducers by including the keywords entomopathogenic endophytic fungi, resistance induction, characterization, systemic resistance and herbivorous insects. This systematic review concludes that EPF as an inducer of plant resistance is a very promising control alternative in the development of plant protection management against insect pests.

Key words: characterization, entomopathogenic endophytic fungi, herbivorous insects, resistance induction, systemic resistance

PENDAHULUAN

Cendawan entomopatogen (CEP) merupakan salah satu agens hayati yang berperan dalam mengendalikan serangga hama. CEP dapat bersifat parasit obligat dan parasit fakultatif yang dapat menimbulkan gejala penyakit terhadap serangga (Shahid et al. 2012). CEP menginfeksi serangga dan menyebabkan gangguan fisiologis sehingga serangga tidak mampu berkembang dengan baik. Potensi CEP sebagai mikopestisida telah banyak dikaji dan menjadi perhatian karena perannya mengendalikan serangga hama secara langsung tanpa merugikan terhadap serangga menguntungkan (Vega et al. 2012).

Pemanfaatan CEP sebagai parasit fakultatif, yaitu *Beauveria bassiana* dan *Metharizium anisopliae*. CEP *B. bassiana* menyebabkan mortalitas terhadap larva ulat grayak jagung (UGJ) (*Spodoptera frugiperda*) hingga 75% (Ramirez-Rodriguez & Sánchez-Peña 2016) dan penggerek umbi kentang (*Phthorimaea operculella*) hingga 63% (Khorrami et al. 2018). CEP *M. anisopliae* dilaporkan menyebabkan mortalitas terhadap telur dan neonates UGJ hingga 90% (Akutse et al. 2019). *Trichoderma asperellum* umumnya sebagai saprofit fakultatif memiliki potensi sebagai CEP karena bersifat *antifeedant* terhadap UGJ (Bamisile et al. 2018) mengendalikan nimfa kutu kebul (*Bemisia tabaci*) hingga 73% pada tanaman kapas (Anwar et al. 2016) dan *Acanthoscelides obtectus* pada tanaman *Phaseolus vulgaris* (Rodríguez-González et al. 2017).

Selain mampu mematikan serangga hama secara langsung, pengaruh CEP terhadap hama juga dapat terjadi secara tidak langsung, yaitu melalui induksi ketahanan tanaman. Induksi ketahanan tanaman merupakan suatu proses aktivasi mekanisme ketahanan laten yang diekspresikan oleh tanaman karena suatu mekanisme yang

terjadi akibat rangsangan dari luar, salah satunya karena keberadaan cendawan yang hidup secara endofit dalam jaringan tanaman (Singh et al. 2021). Kemampuan tanaman dalam menghambat perkembangan hama merupakan suatu proses yang bersifat kompleks yang diatur oleh berbagai jenis senyawa, seperti asam salisilat, asam jasmonat, dan etilen (Kessler & Baldwin 2002).

CEP yang dilaporkan dapat hidup secara endofit dalam jaringan tanaman (Jallow et al. 2008), di antaranya adalah *B. bassiana* (pada tanaman jagung, kentang, kapas, tomat, bawang, pisang, dan kakao), *Isaria farinosa*, *Cladosporium* spp., *Acremonium* spp., dan *Clonostachys rosea* (pada tanaman kopi), *Lecanicillium lecanii* (pada tanaman Carolina) (Vega 2008; Orole & Adejumo 2009; Vega et al. 2009), *M. anisopliae* (pada tanaman ubi kayu) (Greenfield et al. 2016), dan *Fusarium oxysporum* pada tanaman bawang (Martinuz et al. 2012). CEP yang hidup secara endofit dapat berpengaruh terhadap serangga herbivora. CEP *B. bassiana* yang diinokulasikan pada benih kedelai mampu mengurangi lama hidup serta fertilitas dan fekunditas imago betina *Helicoverpa gelotopoeon* (berturut-turut 12,79%, 38,03%, dan 5,4%) (Russo et al. 2019). CEP *M. anisopliae* yang diinokulasikan pada benih jagung mampu menyebabkan mortalitas UGJ hingga 55% (Lira et al. 2020). *Trichoderma* sp. yang diinokulasikan pada benih jagung juga mampu menurunkan aktivitas makan UGJ hingga 25% (Contreras-Comejo 2017).

Dalam ulasan ini penulis fokus pada pemanfaatan CEP sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Penulis mengulas beberapa hal penting, yaitu (1) cendawan entomopatogen (CEP), (2) karakter CEP, (3) CEP endofit, dan (4) pemanfaatan CEP untuk menginduksi ketahanan tanaman. Tinjauan sistematis dilakukan terhadap literatur-literatur terkait mengenai peranan CEP

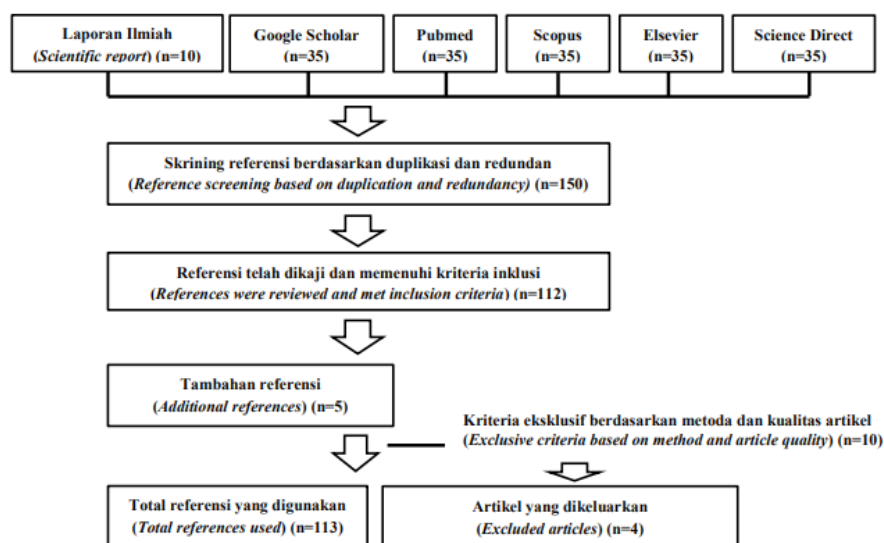
sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Langkah pertama dilakukan identifikasi artikel dalam berbagai sumber laporan ilmiah, Pubmed, Scopus, Science Direct, dan Elsevier menggunakan kata kunci yang telah ditentukan dengan batas waktu publikasi yang tidak ditentukan. Langkah kedua dilakukan pengkajian relevansi judul artikel yang diperoleh dengan sub topik pembahasan penelitian. Langkah ketiga dilakukan validasi kedalaman dan kualitas isi artikel serta relevansinya dengan sub topik pembahasan penelitian. Langkah keempat dilakukan review artikel (Gambar 1). Informasi dalam artikel ini diharapkan menjadi acuan bagi pertanian ke depan dalam pemanfaatan CEP sebagai alternatif perlindungan tanaman sehingga menghasilkan pengendalian hama yang lebih efektif.

CENDAWAN ENTOMOPATOGEN

CEP merupakan cendawan golongan patogen yang bersifat parasit yang dapat menimbulkan gejala penyakit pada serangga inang (Shahid et al. 2012). CEP memulai proses infeksi pada serangga ketika spora menempel pada kutikula inang, berkecambah, lalu melakukan penetrasi kutikula dan berkembang di dalam tubuh inang. CEP menyebar di seluruh tubuh inang dengan cepat, menghancurkan jaringan dan menyebabkan kematian. CEP bersifat patogen terhadap berbagai jenis serangga di antaranya larva Lepidoptera,

kutudaun, thrips, dan serangga kosmopolitan lainnya (Garcia-Gutierrez et al. 2011). Patogenesitas CEP dipengaruhi oleh faktor alam, seperti angin, curah hujan, serta frekuensi kontak antara serangga dan cendawan. CEP umumnya patogen terhadap serangga hama sehingga menekan resiko kerugian bagi organisme non-target atau serangga-serangga yang menguntungkan (Smith et al. 1981). Kemampuan CEP dalam menginfeksi serangga memiliki potensi besar sebagai mikopestisida (Vega et al. 2012).

Sebagian besar CEP termasuk dalam Ordo Entomophthorales dan Neozygitales (Entomophthoromycota). Selain itu, terdapat juga dalam Ordo Hypocreales (beberapa genera), dan Onygenales (Genus *Ascospaera*) (Boomsma et al. 2014). Entomophthorales menginfeksi inang pada fase larva dan dewasa (Hajek et al. 2016). Entomophthorales yang ditemukan sebagai CEP, yaitu *Strongwellsea* sp. (menginfeksi *Coenosia testacea*), *Paradelia intersecta* dan *Pandora lipai* (menginfeksi *Rhagoxycha fulva*), *Zoopthora forficulae* (menginfeksi *Forficula* sp.), *Neozygites parvispora* (menginfeksi *Limothrips dentricornis*), *Entomophthora planchoniana* (menginfeksi *Elatobium abietinum*), dan *Pandora formicae* (menginfeksi *Formica* sp.) (White et al. 2006; Humber 2008). Hypocreales memiliki kisaran inang yang luas, mampu menginfeksi berbagai tahap kehidupan dalam spesies serangga yang sama, bersifat oportunistik dan/atau generalis, dapat ditemukan di tanah, air, tanaman, dan beberapa



Gambar 1. Langkah-langkah penulis dalam menseleksi referensi pendukung penyusunan review.
Figure 1. The steps taken by the author in the selection of references to assist in the preparation of the review.

spesies arthropoda sehingga lebih mudah dieksplorasi. Hypocreales yang telah banyak dilaporkan sebagai CEP di antaranya *Beauveria* spp. (Steenberg et al. 2001), *Metarhizium* spp. (Skovgård & Steenberg 2002), dan *Trichoderma* spp. (Bamisile et al. 2018).

CEP *B. bassiana* dilaporkan dapat menyebabkan mortalitas terhadap ulat krop kubis *Crociodomia pavonana* hingga 82,5% (Trizelia & Nurdin 2010), ulat grayak *Spodoptera litura* hingga 79% (Trizelia et al. 2016), nimfa kutukebul *B. tabaci* hingga 70% (Flowerina et al. 2021), kepik kubis *Eurydema pulchrum* hingga 72% (Trizelia et al. 2019), dan larva UGJ instar 2 dan 3 masing-masingnya hingga 97% dan 98,3% (Gomez et al. 2018; Ramirez-Rodriguez & Sánchez-Peña 2016).

CEP *Metharizium* spp. dilaporkan mampu menyebabkan mortalitas neonates UGJ hingga 96,5% (Acutse et al. 2019), dan pupa penggerek buah kakao *Conopomorpha cramerella* hingga 96,67% (Trizelia et al. 2013) serta menekan pembentukan imago wereng batang coklat *Nilaparvata lugens* hingga 62,7% (Trizelia et al. 2023a). Peranan *Trichoderma* sp. dilaporkan menyebabkan mortalitas pada nimfa *B. tabaci* hingga 73% (Anwar et al. 2016).

Selain mematikan serangga hama fase pasca embrionik, CEP juga memiliki efek ovisidal pada serangga. CEP *B. bassiana* mampu menekan perkembangan telur *Maruca vitrata* dan telur *Clavigralla tomentosicollis* masing-masingnya 100% dan 91,4% (Ekesi et al. 2002), dan telur *Perileucoptera coffeella* berkisar 27,4–96,9% (Villacorta 1983). CEP *M. anisopliae* mampu menekan perkembangan telur penggerek umbi kentang *Phthorimaea operculella* hingga 63% (Khorrami et al. 2018), telur ulat grayak *S. litura* hingga 75,70% (Trizelia et al. 2011) dan telur UGJ hingga 87% (Acutse et al. 2019). Selain itu, *Trichoderma* sp. mampu menekan perkembangan telur *Xylotrechus arvicola* hingga 90% (Rodriguez-Gonzalez et al, 2017). Laporan kemampuan cendawan *B. bassiana*, *M. anisopliae*, dan *Trichoderma* sp. dapat dilihat pada Tabel 1.

CEP bersifat aktif dalam menginfeksi inang, dimulai setelah terjadinya kontak hingga kematian serangga inang. Periode kontak awal hingga kematian serangga berlangsung 6–8 hari setelah perkecambahan konidia tergantung strain dan spesies inang (Srisukchayakul et al. 2005).

Komposisi dan struktur kimia kutikula serangga akan mempengaruhi proses adhesi konidia CEP (Boucias et al. 1988). Setelah kontak pada kutikula serangga, CEP mulai melakukan penetrasi dan menyerang tubuh inang. Epikutikula yang terbuat dari senyawa lipid berfungsi memberi serangga perlindungan dari pengeringan dan komunikasi kimia. Spora CEP berkecambah dan melakukan penetrasi kutikula secara langsung atau tumbuh di sepanjang endokutikula, yang berada di antara epidermis dan eksokutikula (Kumar et al. 1997). Enzim yang dihasilkan CEP akan melisis endokutikula serangga lalu hifa berkembang dalam *haemocoel* (Srisukchayakul et al. 2005).

CEP yang memiliki efek ovisidal, terjadi melalui proses adhesi, perkecambahan, dan penetrasi ke dalam telur inang dengan periode waktu yang berbeda. Proses infeksi CEP dapat terjadi dalam waktu 24 jam pasca-inokulasi *B. bassiana* and *I. fumosorosea* terhadap telur *Tetranychus urticae* (Zhang et al. 2014), 6 jam pasca-inokulasi *M. anisopliae* terhadap telur penggerek daun *Tuta absoluta* dan 72 jam pasca-inokulasi *M. anisopliae* terhadap telur *T. absoluta* (Pires et al. 2009).

Patogenesitas CEP terhadap serangga dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan, karakteristik CEP, kadar mikotoksin, interaksi sistemik tanaman dengan CEP dan mikroorganisme lain (Vidal & Jaber 2015), mekanisme infeksi, pertahanan serangga inang, dan kondisi lingkungan. CEP dapat menginfeksi semua tahap kehidupan inang, tetapi tidak semua tahap kehidupan inang memiliki kerentanan yang sama (Moisan et al. 2019). Larva muda merupakan tahap yang paling rentan terinfeksi, namun efek ovisidal CEP akan menjadi solusi yang efektif sebagai proteksi awal terhadap kerusakan. (Opisa et al. 2018). Dikaitkan dengan potensi penggunaannya dalam pengendalian hayati, interaksi cendawan dan serangga merupakan hal yang penting untuk dikaji. Hal tersebut dapat diketahui dari karakter CEP dalam menyebabkan kematian terhadap inangnya.

KARAKTER CEP

CEP ditinjau dari faktor patogenesitasnya memiliki berbagai karakter menghasilkan enzim pengurai dinding sel dan toksin (Peng et al.

Tabel 1. Daftar tiga genus cendawan entomopatogen yang pernah diteliti untuk mengendalikan serangga dan arthropoda lain

Table 1. List of three genera of entomopathogenic fungi studied for the control of insects and other arthropods

No.	(Cendawan entomopatogen) <i>(entomopathogenic fungi)</i>	Metoda <i>(Methods)</i>	Serangga atau arthropoda yang menjadi inang dan referensinya <i>(Host insects or arthropods and references)</i>
1.	<i>Beauveria bassiana</i>	Egg-spraying Larva-spraying Nimfa-spraying Leaf-dipping Diteteskan pada larva <i>(Dripped on larva)</i>	<i>Tetranychus urticae</i> (Zhang et al. 2014) <i>Spodoptera frugiperda</i> (Akutse et al. 2019); Carneiro et al. 2008), Telur dan nimfa <i>Bemisia tabaci</i> (Flowerina et al. 2021), <i>Spodoptera frugiperda</i> dan <i>Epilachna varivestis</i> (Garcia et al. 2011), <i>Spoladea recurvalis</i> (Opisa et al. 2018), <i>Xylotrechus arvicola</i> (Rodriguez-Gonzalez et al. 2017), <i>Crociodolomia pavonana</i> (F.) (Trizelia & Nurdin 2010), <i>Spodoptera litura</i> F. (Trizelia et al. 2016) <i>Eurydema pulchrum</i> Westw. (Trizelia et al. 2019) <i>Spodoptera litura</i> F. (Ayudya et al. 2019) <i>Plutella xylostella</i> (Nunilahwati et al. 2012)
2.	<i>Metharizium anisopliae</i>	Egg-spraying Larva-spraying Nimfa/Imago sprayig Pupa-spraying Potato-dippig, Leaf-dipping, Egg-dipping Egg-dipping Leaf-dipping Diteteskan pada larva <i>(Dripped on larva)</i>	<i>Tuta absoluta</i> (Pires et al. 2009), <i>Spodoptera litura</i> (Trizelia et al. 2011) <i>Spodoptera frugiperda</i> (Akutse et al. 2019), <i>Spodoptera frugiperda</i> dan <i>Epilachna varivestis</i> (Garcia et al. 2011), <i>Spoladea recurvalis</i> (Opisa et al. 2018) <i>Nillaparvata lugens</i> (Trizelia et al. 2023b) <i>Conopomorpha Cramerella</i> Snell. (Trizelia et al. 2013) <i>Phthorimaea operculella</i> Zeller (Khorrami et al. 2018) <i>Maruca vitrata</i> dan <i>Clavigralla tomentosicollis</i> (Ekesi et al. 2002) <i>Perileucoptera coffeella</i> (Villacorta 1983) <i>Plutella xylostella</i> (Nunilahwati et al. 2012)
3.	<i>Trichoderma</i> sp.	Larva-spraying	<i>Bemisia tabaci</i> (Anwar et al. 2016), <i>Xylotrechus arvicola</i> (Rodriguez-Gonzalez et al. 2017)

2021), enzim protease, lipase, dan aminopeptidase (Clarkson & Charnley 1996), enzim kitinase (Giridhar et al. 2012), zat pengatur tumbuh, dan protein efektor yang dapat dimanfaatkan dalam mengendalikan serangga hama, patogen, dan gulma (Peng et al. 2021). Enzim ekstraseluler berperan dalam penetrasi CEP pada integumen larva dengan komposisi kutikula yang berbeda setelah diekspresikan dalam perkecambahan konidia. Produksi enzim dipengaruhi oleh komposisi kutikula inang sehingga mempengaruhi waktu dan jumlah enzim yang diekspresikan (El-Sayed et al. 1993a; 1993b).

Implikasi enzim dalam patogenesis sudah dikenal baik untuk *M. anisopliae* dan *B. bassiana*. Pada *M. anisopliae*, produksi enzim endoprotease

dan aminopeptidase terjadi selama pembentukan appressoria yang berperan pada tahap awal infeksi untuk menembus kutikula serangga. (Clarkson & Charnley 1996). Aktivitas enzimatik (*subtilisin-like serin protease – Pr1*) *Metarhizium* dilaporkan oleh Nunes et al. (2010) pada media substrat kutikula *A. gemmatilis* lebih tinggi dibandingkan dengan substrat lainnya, seperti kasein dan eksuvia pupa.

Trichoderma sp. dilaporkan menghasilkan enzim kitinase (Giridhar et al. 2012) yang berperan dalam mendegradasi kutikula dan dinding sel saluran usus serangga sehingga menyebabkan peningkatan permeabilitas saluran pencernaan. Proses pencernaan dan penyerapan nutrisi akan terganggu sehingga larva dan pupa berkembang menjadi abnormal bahkan dapat menyebabkan

kematian (Berini et al. 2015). Enzim kitinase efektif bekerja pada pH 4–7 (Seidl 2008), yang merupakan pH saluran pencernaan serangga Lepidoptera (7–10) (Chapman 1982). Selain mampu menginfeksi dan mematikan serangga, CEP juga dilaporkan mampu hidup secara endofit pada tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap serangan hama.

CEP ENDOFIT

Selain menginfeksi serangga hama, CEP juga dilaporkan dapat mengkolonisasi jaringan tanaman (cendawan endofit) (Vega 2008; Vega 2018). CEP yang diisolasi dari jaringan tanaman di antaranya adalah *B. basiana* (pada tanaman jagung, kentang, kapas, tomat, bawang, pisang dan kakao), *I. farinosa*, *Cladosporium* spp., *Acremonium* spp., dan *Clonostachys rosea* (pada tanaman kopi), *L. lecanii* (pada tanaman Carolina) (Vega 2008; Orole & Adejumo 2009; Vega et al. 2009), *M. anisopliae* (pada tanaman ubi kayu) (Greenfield et al. 2016), dan *F. oxysporum* pada tanaman bawang (Martinuz et al. 2012).

CEP berasosiasi dengan tanaman dalam menjalani bagian dari siklus hidupnya tanpa menyebabkan penyakit pada tanaman (Hardoim et al. 2015). Kolonisasi CEP dalam jaringan tanaman diawali dari konidia CEP yang membentuk tabung kecambah dan berkembang menjadi hifa. CEP masuk melalui bukaan alami atau langsung melalui dinding sel epidermis dengan bantuan enzim atau tekanan mekanis. CEP di dalam jaringan tanaman mengkolonisasi ruang antara sel parenkim atau bahkan di pembuluh xylem yang terlokalisasi dalam jaringan tertentu atau bersifat sistemik (Rodriguez et al. 2009). Umumnya CEP berada pada interseluler inang dan lokasi jaringan; dan dapat menjadi intraseluler dan masuk ke dalam sel inang dalam sitoplasma atau di ruang periplasma (Thomas & Sekhar 2014; White et al. 2014). CEP yang hidup secara endofit menunjukkan bahwa CEP memiliki siklus hidup yang kompleks selain bersifat saprofit dalam tanah, atau parasit fakultatif pada inang invertebrata (Mantzoukas & Grammatikopoulos 2020; Jaber & Araj 2018; Manoussopoulos et al. 2019; González-Mas et al. 2019a).

CEP di dalam jaringan tanaman akan bergantung pada tanaman inang untuk nutrisi, perlindungan, dan perkembangannya. CEP dapat ditemukan dalam biji, daun, batang atau akar pada beberapa spesies tanaman inang (Vega 2008; Trizelia et al. 2023b; Trizelia et al. 2021). CEP yang diisolasi dari jaringan tanaman di antaranya *B. basiana*, *I. farinosa*, *Cladosporium* spp., *C. rosea*, *Acremonium* spp., dan *L. lecanii* (Vega 2018). CEP dari tanaman inang yang telah dikonfirmasi keberadaannya pada media buatan di antaranya *M. anisopliae* (Akello & Sikora 2012; Greenfield et al. 2016), *F. oxysporum*, *H. lixii*, *G. moniliformis*, dan *Trichoderma* spp. (Martinuz et al. 2012; Akutse et al. 2013; Trizelia et al. 2020), *B. bassiana* (Trizelia 2020) dan lainnya.

PEMANFAATAN CEP ENDOFIT UNTUK MENGINDUKSI KETAHANAN TANAMAN

Keberadaan CEP dalam jaringan tanaman dapat terjadi secara alami (endofit alami), atau dapat diinokulasikan secara buatan melalui inokulasi benih, aplikasi daun, perendaman bibit dan bahan perbanyak vegetatif, penyiraman tanah, serta injeksi (Vega 2018; Bamisile et al. 2018; Saragih et al. 2019a). CEP yang hidup secara endofit dilaporkan dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan kehidupan serangga herbivora melalui peningkatan perkecambahan dan pertumbuhan tanaman (Saragih et al. 2019b; Trizelia 2020; Saragih et al. 2021; Saragih et al. 2022; Yuliana et al. 2023; Yusniwati et al. 2023a; Yusniwati et al. 2023b), menekan perkembangan hama (Jaber & Araj 2018; Vidal & Jaber 2015), bersifat *antifeedant* (Russo et al. 2018; Russo et al. 2019; Manoussopoulos et al. 2019) dan menurunkan tingkat reproduksi serangga (González-Mas et al. 2019b), serta mengurangi preferensi oviposisi imago betina dan menghambat pembentukan telur (Hendra et al. 2022). Keefektifan CEP yang diinokulasikan pada jaringan tanaman ditampilkan pada Tabel 2.

Pemanfaatan CEP secara endofit dalam program pengendalian hama dipengaruhi oleh faktor ekologis (abiotik dan biotik) dan metoda inokulasi terhadap kemampuan kolonisasi dan virulensi CEP dalam pengendalian serangga hama

Tabel 2. Penelitian cendawan entomopatogen sebagai cendawan endofit pada berbagai jenis tanaman inang dan serangga fitofag yang menjadi target
Table 2. Researchs on entomopathogenic fungi as endophytes on various host plants and targeted phytophagous insects

No.	(Cendawan entomopatogen) (<i>entomopathogenic fungi</i>)	Cendawan entomopatogen sebagai endofit (<i>Entomopathogenic fungi as endophytes</i>)		
		Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Tanaman inang (<i>Host plant</i>)	Serangga target dan referensi (<i>Targeted insect and reference</i>)
1.	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i> (Akello & Sikora, 2012), (Jaber & Enkerli 2016)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i> dan <i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Liriomyza huidobrensis</i> (Akutse et al. 2013)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Corchorus capsularis</i>	<i>Apion corchori</i> (Biswas et al. 2013)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Tetranychus urticae</i> Koch (Dash et al. 2018)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Liriomyza huidobrensis</i> , <i>Sativae blanchard</i> dan <i>I. Trifolii</i> (Gathage et al. 2016)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i>	(Jaber & Enkerli 2016)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Gosypium hirsutum</i>	<i>Aphis gossypii</i> Glover (Lopez et al. 2014)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Helicoverpa zea</i> (Powell et al. 2009)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Spodoptera littoralis</i> (Sánchez-Rodríguez et al. 2017)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Herlinda et al. 2022)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Sari et al. 2022)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Capsicum annum</i>	<i>Myzus persicae</i> (Trizelia et al. 2020)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Capsicum annum</i>	<i>Bemisia tabaci</i> (Saragih et al. 2022)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Cucumis melo</i> L. Cv. Siglo	<i>Aphis gossypii</i> (Gonzales-Mas et al. 2019)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Gosypium hirsutum</i> , <i>Triticum aestivum</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Lycopersicum esculentum</i> , dan <i>Cucurbita maxima</i>	<i>Aphis gossypii</i> dan <i>Chortoicetes terminifera</i> (Gurulingappa et al. 2010)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Solanum lycopersicon</i> cv. Harzfeuer	<i>Tuta absoluta</i> (Klieber & Reineke 2015)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench	<i>Sesamia nonagrioides</i> (Mantzoukas Grammatikopoulos 2020)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Medicago sativa</i> L., <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill dan <i>Cucumis melo</i> L.	<i>Spodoptera littoralis</i> (Resquin-Romero et al. 2016)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Vitis vinifera</i> L.	<i>Planococcus ficus</i> (Rondot & Reineke 2018)
		<i>Foliar-spraying</i>	<i>Glycine max</i> L. Merrill.	<i>Helicoverpa gelotopoeon</i> (Russo et al. 2019)
		<i>Soil-drenching</i>	<i>Capsicum annum</i>	<i>Myzus persicae</i> , <i>Aphidius colemani</i> (Jaber et al. 2018)
		<i>Rhizomes-soaking</i>	<i>Fragaria ananassa</i>	<i>Myzus persicae</i> (Manoussopoulos et al. 2019)
		<i>Foliar-spray</i> , <i>seed-immersion</i> dan <i>root-immersion</i>	<i>Glycine max</i> L. Merrill.	(Russo et al. 2018)

Tabel 2. Penelitian cendawan entomopatogen sebagai cendawan endofit pada berbagai jenis tanaman inang dan serangga fitofag yang menjadi target (lanjutan...)**Table 2.** Researchs on entomopathogenic fungi as endophytes on various host plants and targeted phytophagous insects (continue...)

No.	(Cendawan entomopatogen) (<i>entomopathogenic fungi</i>)	Cendawan entomopatogen sebagai endofit (<i>Entomopathogenic fungi as endophytes</i>)		
		Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Tanaman inang (<i>Host plant</i>)	Serangga target dan referensi (<i>Targeted insect and reference</i>)
2.	<i>Metharizium anisopliae</i>	<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i> (Akello & Sikora 2012)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Herlinda et al. 2022)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Sari et al. 2022)
		<i>Seed-coating</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Lira et al. 2020)
		<i>Soil-drenching</i>	<i>Manihot esculenta</i>	(Greenfield et al. 2016)
3.	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Rhizomes-soaking</i>	<i>Fragaria ananassa</i>	<i>Myzus persicae</i> (Manoussopoulos et al. 2019)
		<i>Foliar-spray, seed-immersion dan Root-immersion</i>	<i>Glycine max</i>	(Russo et al. 2018)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i> (Akello & Sikora 2012)
		<i>Seed-soaking</i>	<i>Vicia faba</i> dan <i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Liriomyza huidobrensis</i> (Akutse et al. 2013)
		<i>Root-treatment</i>	<i>Zea mays</i>	<i>Spodoptera frugiperda</i> (Contreras-Cornejo et al. 2017)
		<i>Soaking-seeds dan Soaking-root</i>	<i>Allium cepa</i>	<i>Thrips tabaci</i> (Muvea et al. 2014)

target (Bamisile et al. 2018). CEP yang hidup secara endofit memiliki manfaat mutualisme sebagai pelindung tanaman karena menimbulkan efek merugikan bagi herbivora sebagai bentuk perlindungan adaptif terhadap serangga herbivora (Puri et al. 2016).

CEP *B. bassiana* yang dikolonisasikan dengan aplikasi daun pada tanaman kapas, menyebabkan mortalitas nimfa *Aphis gossypii* hingga 61% dan menurunkan bobot *Chortoicetes terminifera* hingga hingga 51,85% (Gurulingappa et al. 2010). Kolonisasi *B. bassiana* melalui aplikasi benih, penyemprotan daun dan penyiraman tanah pada tanaman *Papaver somniferum* dapat mengurangi populasi larva *Iraella luteipe* hingga 73,4% (Quesada-Moraga et al. 2009). Kolonisasi *B. bassiana* dengan perendaman akar pisang dapat menekan populasi *Cosmopolites sordidus* hingga 88,9% dan menekan kerusakan tanaman hingga 86,7% (Akello et al. 2008).

White et al. (2002) melaporkan bahwa kolonisasi *M. anisopliae* pada tanaman jagung dan sorgum dapat mengurangi kerusakan oleh *Ostrinia nubilalis* dan *Sesamia calamistis* hingga 75%. Selain *B. bassiana* dan *M. anisopliae*, kolonisasi *Trichoderma* sp. juga mempengaruhi pola makan UGJ yang ditandai dengan penurunan jumlah luka dan luas daun yang dikonsumsi. Penurunan kerusakan tanaman dan penekanan populasi hama terjadi akibat adanya rangsangan signal pertahanan tanaman akibat kolonisasi mikroba nonpatogenik di dalam jaringan tanaman, yaitu CEP (Salas-Marina et al. 2015).

Tanaman menghasilkan hormon sebagai bentuk pertahanan tanaman terhadap serangga herbivora diantaranya, yaitu *salicylic acid* (SA), *jasmonic acid* (JA), dan etilen. Produksi hormon dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta sifat mikroorganisme dan serangga yang menyerang (Van der Does et al. 2013). Fitohormon JA dan

turunannya berperan dalam meregulasi induksi pertahanan tanaman terhadap serangga herbivora (Vadassery et al. 2012). Protein yang diatur oleh JA berperan dalam pertahanan tanaman dengan menargetkan saluran pencernaan serangga untuk mengganggu proses pencernaan dan penyerapan nutrisi (Zhu-Salzman et al. 2008).

Serangga herbivora dengan tipe mulut menggigit mengunyah atau tipe mulut menusuk menghisap akan merangsang aktifnya JA atau SA (Rodriguez-Saona et al. 2010). Mekanisme molekuler yang diaktifkan sebagai respons terhadap serangan herbivora melibatkan beberapa protein sebagai pengatur utama (Kim & Felton 2013). Faktor transkripsi MYC2, regulator positif untuk gen yang responsif terhadap JA berperan dalam resistensi sistemik yang diinduksi oleh mikroba seperti CEP (Carvalhais et al. 2015), dan membentuk respons pertahanan tanaman (Verhage et al. 2011). Paparan *-pinene* dan (*E*)- *β -caryophyllene* menyebabkan depolarisasi terpen volatil yang berperan dalam aktivasi mekanisme resistensi (Zebelo et al. 2012).

Implementasi CEP dalam pengelolaan hama di Indonesia sudah menjadi perhatian utama khususnya untuk menekan penggunaan pestisida sintetis. Kolonisasi *B. bassiana* melalui perendaman stek, aplikasi daun dan tanah pada tanaman ubi jalar mampu menekan tingkat kerusakan umbi terhadap *Cylas formicarius* menjadi 1%, meningkatkan produksi hingga 43 t/ha serta menjaga populasi serangga predator dan parasitoid dibandingkan dengan penggunaan pestisida kimia (tingkat kerusakan 21% dan nilai produksi 20t/ha) (Prayogo et al. 2024). Kolonisasi *B. bassiana* dengan kombinasi mulsa plastik juga mampu menurunkan kehilangan hasil hingga 96,76% akibat *C. formicarius* dibandingkan dengan penggunaan insektisida (Prayogo et al. 2022a). Aplikasi *Trichoderma* sp., SINPV, *B. bassiana*, *L. lecanii* mampu menurunkan populasi hama dengan tetap mempertahankan populasi musuh alami pada tanaman kacang hijau (Prayogo et al. 2022b), serta mempertahankan kelimpahan arthropoda predator dan parasitoid pada tanaman kedelai dibandingkan aplikasi pestisida sintetis (Prayogo et al. 2022c).

CEP yang diinokulasikan pada jaringan tanaman memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap

serangga herbivora dengan tetap menjaga populasi musuh alami. Penggunaan CEP endofit secara preventif perlu dikembangkan sebagai alternatif biokontrol ramah lingkungan dibandingkan pestisida konvensional dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) di bidang pertanian.

KESIMPULAN

Implementasi cendawan entomopatogen (CEP) dan program pengendalian hama terpadu (PHT) akan membutuhkan suatu pemahaman yang mendalam tentang interaksi ekologi di antaranya faktor abiotik dan biotik, yang mempengaruhi kemampuan CEP untuk mengkolonisasi jaringan tanaman. Keberhasilan pemanfaatan CEP sebagai salah satu pengendalian hayati yang menggunakan cendawan yang bersifat patogen terhadap serangga hama adalah melalui aplikasi secara langsung maupun melalui metode inokulasi buatan (*artificial inoculation*) dengan perlakuan kolonisasi cendawan entomopatogen yang dapat menetap sebagai endofit dalam jaringan tanaman. CEP yang bersifat endofit dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangga hama secara sistemik dengan mengaktifkan enzim, hormon dan senyawa bioaktif tanaman. Aplikasi CEP efektif, murah dan mudah diterapkan dan bersifat ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akello J, Sikora R. 2012. Systemic acropedal influence of endophyte seed treatment on *Acyrtosiphon pisum* and *Aphis fabae* offspring development and reproductive fitness. *Biological Control*. 61:215–221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.02.007>.
- Akello J, Dubois T, Coyne D, Kyamanywa S. 2008. Endophytic *Beauveria bassiana* in banana (*Musa spp.*) reduces banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) fitness and damage. *Crop protection*. 27:1437–1441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.07.003>.
- Akutse K, Maniania N, Fiaboe K, Van Den Berg J, Ekesi S. 2013. Endophytic colonization of *Vicia faba* and *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) by fungal pathogens and their effects on the life-

- history parameters of *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae). *Fungal Ecology*. 6:293–301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2013.01.003>.
- Akutse KS, Kimemia JW, Ekesi S, Khamis FM, Ombura OL, Subramanian S. 2019. Ovicidal effects of entomopathogenic fungal isolates on the invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*. 00:1–9. <https://doi.org/10.1111/jen.12634>.
- Anwar W, Subhani MN, Haider MS, Shahid AA, Mushatq H, Rehman MZ. 2016. First record of *Trichoderma longibrachiatum* as entomopathogenic fungi against *Bemisia tabaci* in Pakistan. *Pakistan Journal of Phytopathol*. 28:287–294.
- Ayudya DR, Herlinda S, Suwandi. 2019. Insecticidal activity of culture filtrates from liquid medium of *Beauveria bassiana* isolates from South Sumatra (Indonesia) wetland soil against larvae of *Spodoptera litura*. *Biodiversitas*. 20:2101–2109. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200802>.
- Bamisile BS, Dash CK, Akutse KS, Keppan R, Afolabi OG, Hussain M, Qasim M, Wang L. 2018. Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: an insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiological Research*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.08.016>.
- Berini F, Caccia S, Franzetti E, Congiu T, Marinelli F, Casartellie M, Tettamantia G. 2015. Effects of *Trichoderma viride* chitinases on the peritrophic matrix of Lepidoptera. *Pest Management Science*. 2016:980–989. DOI <https://doi.org/10.1002/ps.4078>.
- Biswas C, Dey P, Satpathy S, Satya P, Mahapatra B. 2013. Endophytic colonization of white jute (*Corchorus capsularis*) plants by different *Beauveria bassiana* strains for managing stem weevil (*Apion corchori*). *Phytoparasitica*. 41: 17–21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-012-0257-x>.
- Boomsma JJ, Jensen AB, Meyling NV dan Eilenberg J. 2014. Evolutionary interaction networks of insect pathogenic fungi. *Annual Review of Entomology*. 59:467–485. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162054>.
- Boucias DG, Pendland JC, Latgé JP. 1988. Nonspecific factors involved in attachment of entomopathogenic deuteromycetes to host insect cuticle. *Applied and Environmental Microbiology*. 54:1795–1805. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.54.7.1795-1805.1988>.
- Carneiro AA, Gomes EA, Guimarães CT, Fernandes FT, Cruz I. 2008. Molecular characterization and pathogenicity of isolates of *Beauveria* spp. to fall armyworm. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43:513–520. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000400010>.
- Carvalho LC, Dennis PG, Badri DV, Kidd BN, Vivanco JM, Schenk PM, 2015. Linking jasmonic acid signaling, root exudates, and rhizosphere microbiomes. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 28:1049–1058. DOI: <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-15-0016-R/>.
- Chapman RF. 1982. *The Insect: Structure and Function*. Cambridge: Harvard University Press.
- Clarkson JM, Charnley AK. 1996. New insights into the mechanisms of fungal pathogenesis in insects. *Trends in Microbiology*. 4:B197–203. DOI: [https://doi.org/10.1016/0966-842X\(96\)10022-6](https://doi.org/10.1016/0966-842X(96)10022-6).
- Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, del-Val E, Larsen J. 2017. The root endophytic fungus *Trichoderma atroviride* induces foliar herbivory resistance in maize plants. *Applied Soil Ecology*. 124:45–53 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.004>.
- Dash CK, Bamisile BS, Keppan R, Qasim M, Lin Y, Islam SUI, Hussain M, Wang L. 2018. Endophytic entomopathogenic fungi enhance the growth of *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) and negatively affect the development and reproduction of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Microbial Pathogenesis*. 125:385–392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.09.044>.
- Ekesi S, Adamu RS, Maniania NK. 2002. Ovicidal activity of entomopathogenic hyphomycetes to the legume pod borer, *Maruca vitrata* and the pod sucking bug *Clavigralla tomentosicollis*. *Crop Protection*. 21:589–595. DOI: [https://doi.org/10.1016/S02612194\(02\)00015-7](https://doi.org/10.1016/S02612194(02)00015-7).
- El-Sayed GN, Ignoffo CM, Leathers TD, Gupta SC. 1993a. Cuticular and non-cuticular substrate influence on expression of cuticle-degrading enzymes from conidia of entomopathogenic fungus, *Nomuraea rileyi*. *Mycopathologia*. 122:79–87. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01103603>.
- El-Sayed GN, Ignoffo CM, Leathers TD, Gupta SC. 1993b. Insect cuticle and yeast extract effects on germination, growth, and production

- of hydrolytic enzymes by *Nomuraea rileyi*. *Mycopathologia*. 122:143–147. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01103474>.
- Flawerina G, Trizelia, Nurbailis. 2021. Virulence of five isolates of indigenous *Beauveria bassiana* against eggs and nymphs of *Bemisia tabaci* gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *Current Agriculture Research Journal*. 9:1–8. DOI: <https://doi.org/10.12944/CARJ.9.1.07>.
- Garcia-Gutierrez C, MMB Gonzalez, MN Bautista. 2011. Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 37:217–222. DOI: <https://doi.org/10.25100/socolen.v37i2.9077>.
- Gathage JW, Lagat ZO, Fiaboe KKM, Akutse KS, Ekesi S, Maniania NK. 2016. Prospects of fungal endophytes in the control of *Liriomyza leafminer* flies in common bean *Phaseolus vulgaris* under field conditions. *BioControl*. 61:741–753. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9761-0>.
- Giridhar D, Ravi SN, Kirian KV, Kartheek D, Rajanikanth P, Nagalakshmi DM. 2012. Purification, characterization and antifungal activity of chitinase from *Trichoderma viride* N9. *Cell and Tissue Research*. 12:3187–3192.
- Gómez I, Ocelotl J, Sánchez J, Lima C. 2018. Enhancement of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab and Cry1Fa toxicity to *Spodoptera frugiperda* by domain iii mutations indicates there are two limiting steps in toxicity as defined by receptor binding and protein stability. *Applied and Environmental Microbiology*. 84:e01393-18. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01393-18>.
- González-Mas N, Cuenca-Medina M, Gutiérrez-Sánchez F, Quesada-Moraga E. 2019a. Bottom-up effects of endophytic *Beauveria Bassiana* on multitrophic interactions between the cotton aphid, *Aphis gossypii*, and its natural enemies in melon. *Journal of Pest Science*. 92:1271–1281. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01098-5>.
- González-Mas N, Sánchez-Ortiz A, Valverde-García P, Quesada-Moraga E. 2019b. Effects of endophytic entomopathogenic ascomycetes on the life-history traits of *Aphis gossypii* Glover and its interactions with melon plants. *Insects*. 10:165. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects10060165>.
- Greenfield M, Gómez-Jiménez MI, Ortiz V, Vega FE, Kramer M, Parsa S. 2016. *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control*. 95:40–48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.01.002>.
- Gurulingappa P, Sword GA, Murdoch G, Mcgee PA. 2010. Colonization of crop plants by fungal entomopathogens and their effects on two insect pests when in planta. *Biological Control*. 55:34–41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.011>.
- Hajek AE, Gryganskyi A, Bittner T, Liebherr JK, Liebherr JH. 2016. Phylogenetic placement of two species known only from resting spores: *Zoophthora independentia* sp. nov. and *Z. portericomb*. nov. (Entomophthorales: Entomophthoraceae). *Journal of Invertebrate Pathology*. 140:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.09.002>.
- Hardoim PR, Van Overbeek LS, Berg G, Pirttilä AM, Compant S, Campisano A, Döring M, Sessitsch A. 2015. The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 79:293–320 DOI: <https://doi.org/10.1128/membr.00050-14>.
- Hendra Y, Trizelia, Syahrawati M. 2022. Aplikasi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* (Bals.) pada tanaman padi dan pengaruhnya terhadap preferensi oviposisi imago wereng batang coklat (*Nilaparvata lugens* Stal). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*. 4:475–481. DOI: <https://doi.org/10.30595/pspfs.v4i.539>.
- Herlinda S, Gustianingtyas M, Suwandi, Suharjo R, Sari JMP, Suparman, Hamidson H, Hasyim H. 2022. Endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) in seed- treated corn suppressing *Spodoptera frugiperda* growth. *Biodiversitas*. 23:6013-6020. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231156>.
- Humber RA. 2008. Evolution of entomopathogenicity in fungi. *Journal of Invertebrate Pathology*. 98:262e266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.02.017>.
- Jaber LR, Araj SE. 2018. Interactions among endophytic fungal entomopathogens (Ascomycota: Hypocreales), the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae), and the aphid endoparasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control*. 116:53–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.005>.
- Jaber LR, Enkerli J. 2016. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and

- Metarhizium brunneum*. *Biological Control*. 103:187–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.09.008>.
- Jallow MF, Dugassa-Gobena D, Vidal S. 2008. Influence of an endophytic fungus on host plant selection by a polyphagous moth via volatile spectrum changes. *Arthropod-Plant Interactions*. 2:53–62. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-008-9033-8>.
- Kessler A, Baldwin IT. 2002. Plant responses to insect herbivory: The emerging molecular analysis. *Annual Review of Plant Biology*. 53: 299–328. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135207>.
- Steinbrenner AD, Muñoz-Amat KF, Mehrkhou F, Mahmoudian M, Ghosta Y. 2018. Pathogenicity of three different entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* IRAN 2252, *Nomuraea rileyi* IRAN 1020C and *Paecilomyces tenuipes* IRAN 1026C against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae). *Potato Research*. 61:297–308. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-018-9378-z>.
- Kim J, Felton GW. 2013. Priming of antiherbivore defensive responses in plants. *Insect Science*. 20: 273–285. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2012.01584.x>.
- Klieber J, and Reineke A. 2016. The entomopathogen *Beauveria bassiana* has epiphytic and endophytic activity against the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Journal of Applied Entomology*. 140:580–589. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12287>.
- Kumar V, Singh GP, Kumar V, Babu AM, Datta RK. 1997. SEM study on the invasion of *Nomuraea rileyi* (Farlow) on silkworm, *Bombix mori* Linn. causing green muscardine. *Mycopathologia*. 139:141–144. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006800231647>.
- Lira AC, Mascarin GM, Júnior ID. 2020. Microsclerotia production of *Metarhizium* spp. for dual role as plant biostimulant and control of *Spodoptera frugiperda* through corn seed coating. *Fungal Biology*. 124:689–699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.03.011>.
- Lopez DC, Zhu-Salzman K, Ek-Ramos MJ, Sword GA. 2014. The entomopathogenic fungal endophytes *Purpureocillium lilacinum* (formerly *Paecilomyces lilacinus*) and *Beauveria bassiana* negatively affect cotton aphid reproduction under both greenhouse and field conditions. *PloS One*. 9:e103891. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103891>.
- Manoussopoulos Y, Mantzoukas S, Lagogiannis I, Goudoudaki S, Kambouris M. 2019. Effects of three strawberry entomopathogenic fungi on the prefeeding behavior of the Aphid *Myzus persicae*. *Journal of Insect Behavior*. 32:99–108. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10905-019-09709-w/>.
- Mantzoukas S, Grammatikopoulos G. 2020. The effect of three entomopathogenic endophytes of the sweet sorghum on the growth and feeding performance of its pest, *Sesamia nonagrioides* larvae, and their efficacy under field conditions. *Crop Protection*. 127:104952. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104952>.
- Martinuz A, Schouten, A, Menjivar R, Sikora R. 2012. Effectiveness of systemic resistance toward *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) as induced by combined applications of the endophytes *Fusarium oxysporum* Fo162 and *Rhizobium etli* G12. *Biological Control*. 62:206–212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.05.006>.
- Moisan K, Cordovez V, Van de Zande EM, Raaijmakers JM, Dicke M, Lucas-Barbosa D. 2019. Volatiles of pathogenic and non-pathogenic soilborne fungi affect plant development and resistance to insects. *Oecologia*. 190:589–604. DOI: 10.1007/s00442-019-04433-w.
- Muvea AM, Meyhöfer R, Subramanian S, Poehling HM, Ekesi S, Maniania NK. 2014. Colonization of onions by endophytic fungi and their impacts on the biology of *Thrips tabaci*. *PloS One*. 9: e108242. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108242>.
- Nunes ARF, Martins JN, Furlaneto MC, Barros NM. 2010. Production of cuticle egrading proteases by *Nomuraea rileyi* and its virulence against *Anticarsia gemmatilis*. *Ciência Rural*. 40(9): 1853–1859. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000149>.
- Nunilawati H, Herlinda S, Irsan C, Pujiastuti Y. 2012. Exploration, isolation and selection entomopathogenic fungi infectious to *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) on green mustard (*Brassica chinensis*) crop in South Sumatra. *Jurnal HPT Tropika*. 12:1–11. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.1121-11>.
- Opisa S, du Plessis H, Akutse KS, Fiaboe KKM, Ekesi S. 2018. Effects of entomopathogenic fungi and *Bacillus thuringiensis*-based biopesticides on *Spoladea recurvalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Applied Entomology*. 142:617–626. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12512>.

- Orole O, Adejumo T. 2009. Activity of fungal endophytes against four maize wilt pathogens. *African Journal of Microbiology Research*. 3: 969–973.
- Peng Y, Li SJ, Yan J, Tang Y, Cheng JP, Gao AJ, Yao X, Ruan JJ, Xu BL. 2021. Research progress on phytopathogenic fungi and their role as biocontrol agents. *Frontiers in Microbiology*. 12:670135. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135>.
- Pires LM, Marques EJ, Wanderley-Teixeira V, Teixeira AA, Alves LC, Alves ESB. 2009. Ultrastructure of *Tuta absoluta* parasitized eggs and the reproductive potential of females after parasitism by *Metarhizium anisopliae*. *Micron*. 40:255–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micron.2008.07.008>.
- Powell WA, Klingeman WE, Ownley BH, Gwinn KD. 2009. Evidence of endophytic *Beauveria bassiana* in seed-treated tomato plants acting as a systemic entomopathogen to larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomological Science*. 44:391–396. DOI: <https://doi.org/10.18474/0749-8004-44.4.391>.
- Prayogo Y, Bayu MSYI, Indiati SW, Harnowo D, Mejaya MJ. 2022a. Biopesticide efficacy against main pests, diseases, and natural enemies of mungbean (*Vigna Radiata* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*. 20:931–945. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/2002_931945.
- Prayogo Y, Bayu MSYI, Indiati SW, Sumartini, Indriani FC, Ginting E, Susanto GWA, Harnowo D, Mejaya MJ. 2024. Eco-friendly biopesticide of *Beauveria Bassiana* to control sweet potato weevil *Cylas formicarius* (Coleoptera: Curculionidae). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1312:012025. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1312/1/012025>.
- Prayogo Y, Bayu MSYI, Indiati SW, Sumartini, Mejaya MJ, Harnowo D, Susanto GWA, Baliadi Y. 2022b. Innovation of main pest and disease control technology using biopesticides on soybean (*Glycine max* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*. 21:589–608. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/2101_589608.
- Prayogo Y, Bayu MSYI, Indiati SW, Sumartini, Susanto GWA, Harnowo D, Baliadi Y, Widiarta IN, Harsono A, Budiono R, Mejaya MJ, Supriadi, K. 2022. Control measure of sweet potato weevil (*Cylas Formicarius* Fab.) (Coleoptera: Curculionidae) in endemic land of entisol type using mulch and entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Open Agriculture*. 8:20220237. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0237>.
- Quesada-Moraga E, Munoz-Ledesma F, Santiago-Alvarez C. 2009. Systemic protection of *Papaver somniferum* L. against *Iraella uteipes* (Hymenoptera: Cynipidae) by an endophytic strain of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Environmental Entomology*. 38:723–730. DOI: <https://doi.org/10.1603/022.038.0324>.
- Ramirez-Rodriguez D, Sánchez-Peña SR. 2016. Endophytic *Beauveria bassiana* in *Zea mays*: Pathogenicity against larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Southwestern Entomologist*. 41:875–878. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.041.0330>.
- Resquín-Romero G, Garrido-Jurado I, Delso C, Ríos-Moreno A, Quesada-Moraga E. 2016. Transient endophytic colonizations of plants improve the outcome of foliar applications of mycoinsecticides against chewing insects. *Journal of Invertebrate Pathology*. 136:23–31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.03.003>.
- Rodríguez-González Á, Mayo S, González-López Ó, Reinoso B, Gutierrez S, Casquero PA. 2017. Inhibitory activity of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma* spp. on the insect pests *Xylotrechus arvicola* (Coleoptera: Cerambycidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrisomelidae: Bruchinae). *Environmental Monitoring and Assessment*. 189:12–20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5719-z>.
- Rodriguez RJ, White JF, Arnold AE, Redman R. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*. 182:314–330. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02773.x>.
- Rodriguez-Saona C, Chalmers JA, Raj S, Thaler JS. 2010. Induced plant responses to multiple damagers: Differential effects on an herbivore and its parasitoid. *Oecologia*. 143:566–577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0006-7>.
- Rondot Y, Reineke A. 2018. Endophytic *Beauveria bassiana* in grapevine *Vitis vinifera* (L.) reduces infestation with piercing-sucking insects. *Bio Control*. 116:82–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.006>.
- Russo SA, Pelizza MF, Vianna N, Allegrucci MN, Cabello AV, Toledo C, Mourellos AC, Scorsetti. 2018. Effect of endophytic entomopathogenic fungi on soybean *Glycine max* (L.) Merr. Growth and yield. *Journal of King Saud University*

- Science*. 31:728–736. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.008>.
- Russo ML, Scorsetti AC, Vianna MF, Allegrucci N, Ferreri NA, Cabello MN, Pelizza SA. 2019. Effects of endophytic *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) on biological, reproductive parameters and food preference of the soybean pest *Helicoverpa gelotopoeon*. *Journal of King Saud University - Science*. 31: 1077–1082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.11.009>.
- Salas-Marina MA, Isordia-Jasso MI, Islas-Osuna, MA, Delgado-Sánchez P, Jiménez-Bremont JF, Rodríguez-Kessler M, Rosales-Saavedra MT, Herrera-Estrella A, Casas-Flores S. 2015. The Epl1 and Sml protein from *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma virens* differentially modulate systemic disease resistance against different life style pathogens in *Solanum lycopersicum*. *Frontiers in Plant Science*. 6:77. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00077>.
- Sánchez-Rodríguez AR, Raya-Díaz S, Zamarreño ÁM, García-Mina JM, Del Campillo MC, Quesada-Moraga E. 2017. An endophytic *Beauveria bassiana* strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively controls cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) larvae. *Biological Control*. 116:90–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.012>.
- Saragih M, Nurbailis, Trizelia, Yusniwati. 2021. Aplikasi cendawan *Beauveria bassiana* melalui perendaman benih dan pengaruhnya terhadap kolonisasi dan kandungan klorofil daun tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Pertanian Tropik*. 8:107–116. DOI: <https://doi.org/10.32734/jpt.v8i2.6519>.
- Saragih M, Trizelia, Nurbailis, Yusniwati. 2019a. Endophytic colonization and plant growth promoting effect by entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* to red chili (*Capsicum annum* L.) with different inoculation methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 305:012070. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/305/1/012070>.
- Saragih M, Trizelia, Nurbailis, Yusniwati. 2019b. Uji potensi cendawan endofit *Beauveria bassiana* terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Unri Conference Series: Agriculture and Food Security*. 1:151–159. DOI: <https://doi.org/10.31258/unricsagr.1a20>.
- Saragih M, Trizelia, Nurbailis, Yusniwati. 2022. Effect of colonization of the fungus *Beauveria bassiana* on salicylic acid content and population of *Bemisia tabaci* on red chili (*Capsicum annum* l.). 17:1119-1128. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7003536>.
- Sari JMP, Herlinda S, Suwandi. 2022. Endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) in seed-treated corn seedlings Affecting development of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 32:103. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-022-00605-8>.
- Seidl V. 2008. Chitinases of filamentous fungi: A large group of diverse proteins with multiple physiological functions. *Fungal Biology Reviews*. 22:36–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2008.03.002>.
- Shahid AA, Rao QA, Bakhsh A, Husnain T. 2012. Entomopathogenic fungi as biological controllers: New insights into their virulence and pathogenicity. *Archives of Biological Sciences*. 64:21–42. DOI: <https://doi.org/10.2298/ABS1201021S>.
- Singh S, Kaur I, Kariyat R. 2021. The multifunctional roles of polyphenols in plant-herbivore interactions. *International Journal of Molecular Sciences*. 22:1442. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22031442>.
- Skovgård H, Steenberg T. 2002. Activity of pupal parasitoids of the stable fly *Stomoxys calcitrans* and prevalence of entomopathogenic fungi in the stable fly and the house fly *Musca domestica* in Denmark. *BioControl*. 47:45–60. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014434004946>.
- Smith RJ, Pekrul S, Grula E. 1981. Requirement for sequential enzymatic activities for penetration of the integument of the corn earworm (*Heliothis zea*). *Journal of Invertebrate Pathology*. 38: 335–344. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(81\)90099-9](https://doi.org/10.1016/0022-2011(81)90099-9).
- Srisukchayakul P, Wiwat C, Pantuwatana S. 2005. Studies on the pathogenesis of the local isolates of *Nomuraea rileyi* against *Spodoptera litura*. *ScienciaAsia*. 31:273–276. DOI: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2005.31.273>.
- Steenberg T, Jespersen JB, Jensen KMV, Nielsen BO, Humber RA. 2001. Entomopathogenic fungi in flies associated with pastured cattle in Denmark. *Journal of Invertebrate Pathology*. 77:186–197. DOI: <https://doi.org/10.1006/jipa.2001.5021>.
- Thomas P, Sekhar AC. 2014. Live cell imaging reveals extensive intra cellular cytoplasmic colonization of banana by normally noncultivable endophytic bacteria. *AOB Plants* 6:plu002. DOI: <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu002>.

- Trizelia. 2020. The effect of seed treatment duration with entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* on seed germination and seedling growth of chili. *JERAMI: Indonesian Journal of Crop Science*. 3:25–29. DOI: <https://doi.org/10.25077/jijcs.3.1.25-29.2020>.
- Trizelia, Nurdin F. 2010. Virulence of Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* isolates to *Crocidolomia pavonana* F (Lepidoptera: Crambidae). *Agrivita*. 32:254–260. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.213151-158>.
- Trizelia, Nurbailis, Ernawati D. 2013. Virulensi berbagai isolat jamur entomopatogen *Metarhizium* spp. terhadap hama penggerek buah kakao *Conopomorpha Cramerella* Snell. (Lepidoptera: Gracillariidae). *Jurnal HPT Tropika*. 13:151–158.
- Trizelia, Rahma H, Martinius. 2021. Selection of endophytic fungi from Shallot that potential as entomopathogens on *Tenebrio molitor* and *Spodoptera litura* larvae. *Journal of Biopesticides*. 14:125–131. DOI: <https://doi.org/10.57182/jbiopestic.14.2.125-131>.
- Trizelia, Rahma H, Syahrawati M. 2023a. Virulence of five isolates of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*, against brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Jurnal Proteksi Tanaman*. 7:127–135. DOI: <https://doi.org/10.25077/jpt.7.2.127-133.2023>.
- Trizelia, Rahma H, Syahrawati M. 2023b. Diversity of endophytic fungi of rice plants in Padang City, Indonesia, entomopathogenic to brown planthopper (*Nilaparva talugens*). *Biodiversitas*. 24:2384–2391. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240453>.
- Trizelia, Reflin, Ananda W. 2016. Virulensi beberapa isolat cendawan entomopatogen endofit *Beauveria bassiana* Bals. terhadap *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). In: Ismadi et al. (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional BKS PTN Wilayah Barat Bidang Ilmu Pertanian (Lhokseumawe, 4-6 Agustus 2016)*. pp. 409–415. Lhokseumawe: Universitas Malikussaleh
- Trizelia, Sulyanti, Saputra R. 2020. Kemampuan kolonisasi cendawan endofit *Trichoderma* sp. dan *Beauveria bassiana* pada tanaman cabai dan pengaruhnya terhadap populasi kutu daun *Myzus persicae*. In: *Seminar Nasional Fakultas Pertanian UPN “Veteran”* (Yogyakarta, 14 Oktober 2020). pp. 188–198. Yogyakarta: UPN Veteran.
- Trizelia, Syahrawati M, Mardiah A. 2011. Patogenesis beberapa isolat cendawan entomopatogen *Metarhizium* spp. terhadap telur *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 8:45–54. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.8.1.45>.
- Trizelia, Yanti Y, Suhriani. 2019. Potensi cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* (Bals.) untuk pengendalian kepik kubis *Eurydema pulchrum* Westw. (Hemiptera: Pentatomidae). In: *Prosiding Seminar Nasional Agroteknologi 2019 Jurusan Agroteknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati (Bandung, 2 Maret 2019)* pp. 346–352. Bandung: Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati.
- Vadassery J, Reichelt M, Hause B, Gershenzon J, Boland W, Mithöfer A. 2012. CML42-mediated calcium signaling coordinates responses to *Spodoptera herbivory* and abiotic stresses in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 159:1159–1175. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.112.198150>.
- Van der Does D, Leon-Reyes A, Koornneef A, Van Verk MC, Rodenburg N, Pauwels L, Goossens A, Körbes AP, Memelink J, Ritsema T, Van Wees SCM, Pieterse CMJ. 2013. Salicylic acid suppresses jasmonic acid signaling downstream of SCFCOII-JAZ by targeting GCC promoter motifs via transcription factor ORA59. *The Plant Cell*. 25:744–761. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.112.108548>.
- Vega FE, Goettel MS, Blackwell M, Chandler D, Jackson MA, Keller S, Koike M, Maniania NK, Monzon A, Ownley BH. 2009. Fungal entomopathogens: New insights on their ecology. *Fungal Ecology*. 2:149–159. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2009.05.001>.
- Vega FE, Meyling NV, Luangsa-Ard JJ, Blackwell M. 2012. Chapter 6–Fungal Entomopathogens. In: Vega FE, Kaya HK (Eds.) *Insect Pathology*. 2nd ed. pp. 171–220. San Diego: Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384984-7.00006-3>.
- Vega FE. 2008. Insect pathology and fungal endophytes. *Journal of Invertebrate Pathology*. 98:277–279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.008>.
- Vega FE. 2018. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: A review. *Mycologia*. 110:4–30. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>.
- Vidal S, Jaber LR. 2015. Entomopathogenic fungi as endophytes: Plant endophyte herbivore interactions and prospects for use in biological control. *Current Science* 109:46–54.
- Verhage A, Vlaardingerbroek I, Raaymakers C, Van Dam NM, Dicke M, Van Wees SCM, Pieterse CMJ. 2011. Rewiring of the jasmonate signaling

- pathway in Arabidopsis during insect herbivory. *Frontiers in Plant Science*. 2:42. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00047>.
- Villacorta A. 1983. Ovicidal activity of *Metarhizium anisopliae* isolate CM-14 on the coffee leaf miner. *Perileucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Entomophaga*. 28:179–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02372142>.
- White JF, Belanger F, Meyer W, Sullivan RF, Bischoff JF, Lewis E.A. 2002. Clavicipitalean fungal epibionts and endophytes—development of symbiotic interactions with plants. *Symbiosis*. 33:201–213.
- White JF, Torres MS, Somu MP, Johnson H, Irizarry I, Chen Q, Zhang N, Walsh E, Tadych M, Bergen MS. 2014. Hydrogen peroxide staining to visualize intracellular bacterial infections of seedling root cells. *Microscopy Research and Technique*. 77:566–573. DOI: <https://doi.org/10.1002/jemt.22375>.
- White MM, Lichtwardt RW, Colbo MH. 2006. Confirmation and identification of parasitic stages of obligate endobionts (Harpellales) in blackflies (Simuliidae) by means of rRNA sequence data. *Mycological Research*. 110:1070–1079. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.06.008>.
- Yuliana A, Trizelia, Sulyanti. 2023. Aplikasi cendawan entomopatogen *beauveria bassiana* pada benih bawang merah dan pengaruhnya terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit. *Jurnal Sains Agro*. 8:88–96. DOI: <https://doi.org/10.36355/jsa.v8i2.1164>.
- Yusniwati, Nurbailis, Trizelia, Saragih M. 2023a. Potency of entomopathogen *Beauveria bassiana* fungus as biofertilizer and biostimulant to increase the plant growth of *Cayenne pepper* (*Capsicum frutescens* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1160:012005. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012005>.
- Yusniwati, Trizelia, Nurbailis, Saragih. 2023b. Profile and bioactivity of bioactive compounds of *Beauveria bassiana* fungi entomopathogens of endophytes as plant growth boosters. *Agrium: Jurnal Ilmu Pertanian*. 26:50–56. DOI: <https://doi.org/10.30596/agrium.v26i1.14364>.
- Zebelo SA, Matsui K, Ozawa R, Maffei ME. 2012. Plasma membrane potential depolarization and cytosolic calcium flux are early events involved in tomato (*Solanum lycopersicon*) plant-to-plant communication. *Plant Science*. 196:93–100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.08.006>.
- Zhang L, Shi WB, Feng MG. 2014. Histopathological and molecular insights into the ovicidal activities of two entomopathogenic fungi against two-spotted spidermite. *Journal of Invertebrate Pathology*. 117:73–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2014.02.005>.
- Zhu-Salzman K, Luthe DS, Felton GW. 2008. Arthropod-inducible proteins: broad spectrum defenses against multiple herbivores. *Plant Physiology*. 146:852–858. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.107.112177>.