

Review: Jamur Endofit sebagai Biokontrol dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Pangan dan Hortikultura di Lahan Suboptimal

*Review: Endophytic Fungus as Biocontrol and Growth Stimulator of Food Crops and
Horticulture in Suboptimal Land*

Jelly Milinia Puspita Sari^{1*)}, Rian Adrian², Raja Bonar Lubis²

¹Departemen Ilmu Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Palembang 30128,
Sumatera Selatan, Indonesia

²Departemen Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas
Sriwijaya, Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir 30862, Sumatera Selatan, Indonesia

^{*)}Penulis untuk korespondensi: jellymiliniaps@gmail.com

Sitasi: Sari JMP, Adrian R, Lubis RB. 2022. Review: endophytic fungus as biocontrol and growth stimulator of food crops and horticulture in suboptimal land. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022. pp. 722-735. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).*

ABSTRACT

The productivity of food crops and horticulture in human needs is threatened due to attacks by pests and pathogens with a total global loss around 50 up to 80%. Continuous application of pesticides in control negatively affects pest resistance, pollutes soil, water, biota, also on farmers and consumers health. This review aimed to summarize the potential of endophytic fungi that are useful as biocontrol agents and growth promoters of food and horticulture crops in suboptimal land. It is suspected that endophytic fungi in horticultural crops are the most widely reported as biocontrol agents and plant growth promoters. The scope of this paper is limited to review scientific articles based on data exploration of endophytic fungi (biology, isolation, and identification of endophytic fungi), their biological activities, and growth promoters in increasing crop productivity. Endophytic fungi are important components of plant micro-ecosystems that are widely found in healthy plant tissues such as the genera *acremonium*, *cladosporium*, *beauveria*, *metarhizium*, *muscodor*, *periconia*, *ampelomyces*, *chaetomium*, *cryptosporiopsis*, *nodulisporium*, *penicillium*, *phomopsis*, and others. Endophytic fungi produce excellent metabolites as biocontrol and growth promoting agents such as antibiotics, antivirals, antiprotozoal, antiparasitic, antioxidant, and immunosuppressant compounds that can be utilized for agricultural and food industries. More than 100 species of endophytic fungi have been reported worldwide as biocontrol and plant growth promoters. Based on the literature review, it can be concluded that endophytic fungi have great potential as biocontrol agents and growth promoters of food crops and horticulture in suboptimal land farming in a sustainable manner.

Keywords: endophytic fungi, biocontrol, biofertilization, stress tolerance, eco-friendl

ABSTRAK

Produktivitas tanaman pangan dan hortikultura dalam memenuhi kebutuhan manusia terancam karena serangan hama dan patogen dengan total kerugian global berkisar 50-80%. Aplikasi pestisida yang dilakukan terus menerus dalam pengendalian dapat menyebabkan resisten hama, pencemaran tanah, air, biota, serta berdampak negatif terhadap kesehatan petani dan konsumen. Ulasan ini bertujuan untuk merangkum potensi

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

jenis jamur endofit yang bermanfaat sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman pangan dan hortikultura di lahan suboptimal. Diduga jamur endofit pada tanaman hortikultura paling banyak dilaporkan sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman. Ruang lingkup penulisan ini sebatas ulasan pada objek artikel ilmiah berdasarkan data hasil eksplorasi jamur endofit (biologi, isolasi, dan identifikasi jamur endofit), aktivitas biologisnya, dan pemacu pertumbuhan dalam meningkatkan produktivitas tanam. Jamur endofit merupakan komponen penting dari ekosistem mikro tanaman yang terdapat secara luas di dalam jaringan tanaman sehat seperti genus *acremonium*, *cladosporium*, *beauveria*, *metarhizium*, *muscodor*, *periconia*, *ampelomyces*, *chaetomium*, *cryptosporiopsis*, *nodulisporium*, *penicillium*, *phomopsis*, dan lainnya. Jamur endofit dapat menghasilkan metabolit yang sangat baik sebagai biokontrol dan agen pemacu pertumbuhan seperti antibiotik, antivirus, antiprotozoal, antiparasit, antioksidan, dan senyawa immunosupresan yang dapat digunakan untuk industri pertanian dan pangan. Lebih dari 100 spesies jamur endofit yang telah dilaporkan di seluruh dunia sebagai biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman. Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jamur endofit memiliki potensi yang besar sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman pangan dan hortikultura dalam pertanian lahan suboptimal secara berkelanjutan.

Kata kunci: jamur endofit, biokontrol, biofertilisasi, toleransi stres, ramah lingkungan

PENDAHULUAN

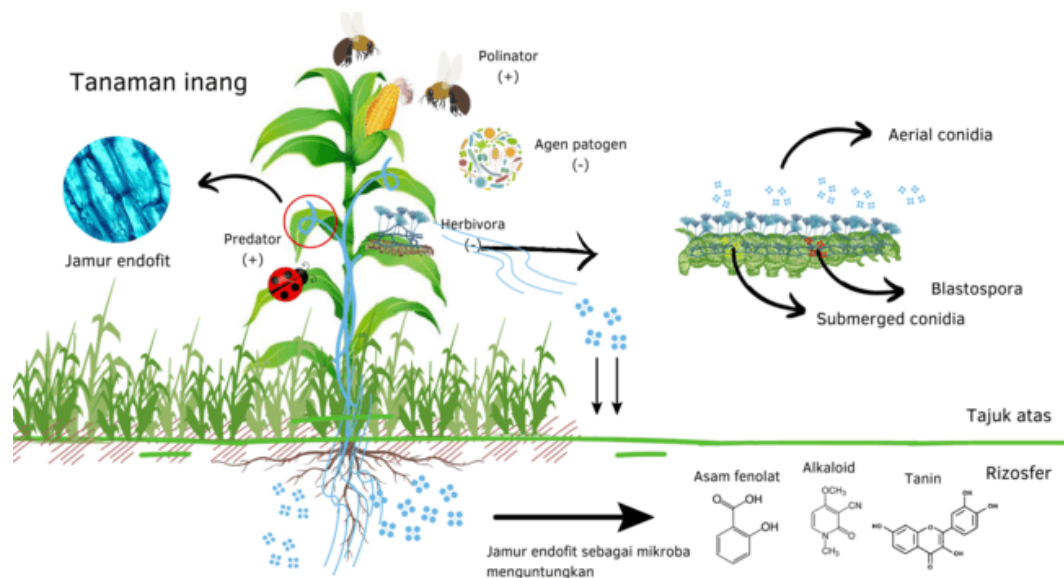
Produk pangan dan hortikultura merupakan barang strategis yang harus dipenuhi sesuai dengan tuntutan dan kebutuhan seluruh masyarakat Indonesia. (Badan Pusat Statistik, 2021). Komoditas ini sering kali mengalami ancaman Organisme Pengganggu Tanaman yang mengakibatkan produktivitas tanaman mengalami kerugian berkisar 50-80% (Prasad *et al.*, 2022). Budidaya tanaman pangan dan hortikultura membutuhkan tanah yang subur, gembur, mengandung banyak humus, memiliki pH tanah 5,5-7,0 dan tidak tergenang. Sementara lahan suboptimal merupakan lahan yang memiliki produktivitas yang rendah, ditambah lagi kebanyakan petani menggunakan pestisida untuk mengendalikan serangan OPT pada pertanaman yang tidak terkendali dan tidak memadai sehingga mengakibatkan terjadinya resisten hama, pencemaran tanah (Savci, 2012), air (Kulkarni & Goswami, 2019), biota (Baron & Rigobelo, 2022), serta berdampak negatif terhadap kesehatan petani dan konsumen (Sabarwal *et al.*, 2018; Zikankuba *et al.*, 2019). Oleh karena itu diperlukan agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman yang dapat meningkatkan produktivitas tanaman terutama di lahan suboptimal salah satunya dengan memanfaatkan jamur endofit .

Jamur endofit adalah jamur yang dapat hidup di jaringan tanaman tanpa mengganggu tanaman atau menyebabkan penyakit dan telah diamati selama lebih dari 400 juta tahun (Fa, 2019). Jamur endofit telah dilaporkan dapat berasosiasi dengan berbagai jenis tanaman dalam ekosistem yang beragam termasuk tanaman pangan dan hortikultura (Russo *et al.*, 2020; Sari *et al.*, 2022). Jamur endofit dan tanaman memiliki hubungan mutualistik dimana jamur endofit memperoleh relung dari tanaman sedangkan tanaman mendapat perlindungan dari hama dan juga meningkatkan pertumbuhan serta ketahanan terhadap lingkungan (Kusari & Spitteller, 2012; Anitha *et al.*, 2013; Arora & Ramawat, 2017; Gustianingtyas *et al.*, 2021; Russo *et al.*, 2021). Sebagai agen biokontrol jamur dapat memproduksi metabolit seperti antibiotik, enzim, dan senyawa volatin (Savci, 2012). Beberapa penelitian telah menganalisis jamur entomopatogen sebagai biostimulan seperti pada benih dan bibit tomat (Moreno-gav *et al.*, 2020), jagung (Mirsam *et al.*, 2021), cabe (Science, 2019) dan terong (Li *et al.*, 2021).

Interaksi jamur endofit dan tanaman masih perlu dijelaskan sepenuhnya untuk pertanian berkelanjutan dalam melindungi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan di masa depan (Baron *et al.*, 2020; Baron & Rigobelo, 2022). Interaksi tanaman dan jamur endofit berpeluang besar digunakan sebagai agen biokontrol, biostimulan dan pupuk hayati. Oleh karena itu ulasan ini bertujuan untuk merangkum potensi jenis jamur endofit yang bermanfaat sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman pangan dan hortikultura di lahan suboptimal.

INTERAKSI TANAMAN DAN JAMUR ENDOFIT

Tanaman biasanya mengandung berbagai mikroba endofit yang dapat menghasilkan metabolit sekunder hasil transfer genetik dari inang tanaman ke mikroorganisme endofit. (Pharmascience *et al.*, 2016; Sari, 2020). Jamur endofit hidup pada tanaman secara simbiosis mutualisme dimana jamur endofit memperoleh nutrisi dari hasil proses metabolisme inang dan dapat melindungi dari serangan hama dan patogen, sedangkan inang tanaman menerima nutrisi dan zat aktif yang digunakan untuk keberlangsungan hidup (Pavithra *et al.*, 2020; Sari, 2020). Jamur endofit yang berada pada tanah (saprofit) dapat masuk ke jaringan tanaman melalui akar dan akan menyebar keseluruh jaringan tanaman. Jamur endofit juga dapat memberikan pengaruh yang positif terhadap polinator dan agen biokontrol yang dapat mengurangi kerusakan pada tanaman dan meningkatkan pertumbuhan tanaman itu sendiri (Gambar 1).



Gambar 1. Interaksi tanaman inang terhadap jamur endofit sebagai agen biokontrol, biostimulan dan bioaktif yang dapat melindungi tanaman inang dari gangguan biotik dan abiotik

Mikroorganisme endofit seperti jamur endofit dapat hidup pada dalam jaringan tanaman inang seperti pada akar, batang, daun, bunga ataupun biji yang dimana tidak mengakibatkan efek negatif pada inang tanaman tersebut (Tirtana *et al.*, 2013; Akmalasari *et al.*, 2013). Jamur endofit berguna untuk menjaga sistem pertahanan tanaman inang terhadap faktor abiotic (Puspita & Sulistyowati, 2012). Jamur endofit mampu membuat bahan aktif biologis yang sama dengan tanaman inangnya (Kusumawardani *et al.*, 2015). Jamur endofit dapat sebagai sumber metabolit bioaktif seperti alkaloid, asam fenolat, saponin, kuinon, steroid, terpenoid dan tanin yang fungsi utamanya melindungi tanaman inang dari gangguan biotik dan abiotik (Lacava *et al.*, 2022).

Jamur endofit mampu menghasilkan mikotoksin dan metabolit lain yang menyebabkan perubahan fisiologis dan biokimiawi pada sel inang sehingga secara langsung menghambat perkembangan patogen tanaman (Sari, 2020). Menurut Akmalasari *et al.* (2013) tanaman yang bersimbiosis dengan jamur endofit memiliki pertahanan diri yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan yang tidak bersimbiosis. Tanaman inang menjadi resisten terhadap patogen tanaman karena jamur endofit dapat merangsang respon metabolisme inang (Mantzoukas & Eliopoulos, 2020). Kehadiran jamur endofit mempengaruhi ekofisiologi tanaman, yang mempengaruhi kemampuan tanaman untuk beradaptasi dengan faktor lingkungan (Sopialena *et al.*, 2018). Jamur endofit dapat mengeluarkan metabolit sekunder berupa senyawa bioaktif yang menghambat perkembangan sel patogen pada tanaman. (Kusumawardani *et al.*, 2015).

JAMUR ENDOFIT TANAMAN PANGAN DAN HORTIKULTURA

Jagung dan padi merupakan komoditas tanaman pangan yang sangat dibutuhkan dan sudah banyak ditemukan di lahan suboptimal, selain karena cenderung mudah beradaptasi saat ini juga sudah tersedia beberapa varietas yang berkembang dengan baik di lahan suboptimal (Astiko *et al.*, 2021; Suparwoto *et al.*, 2019). Jamur endofit yang ditemukan berasosiasi pada tanaman jagung diantaranya adalah *Fusarium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Trichoderma spp.*, *Metarhizium anisopliae*, dan *Hipocrea lyxii* (Tabel 1). Tanaman pangan lainnya yang seringkali dimanfaatkan di lahan suboptimal adalah tanaman padi. Jamur endofit yang ditemukan pada padi adalah *Aspergillus ustus*, *Fusarium oxysporum*, *Acremonium spp.*, *Penicillium simplicissimum* (Tabel 1).

Tabel 1. Jamur endofit pada tanaman pangan

host plant	Species of endophytic fungi	Referensi
<i>Oryza sativa</i>	<i>Aspergillus ustus</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Acremonium spp.</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Fusarium oxysporum</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Penicillium simplicissimum</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Trichoderma spp.</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
<i>Zea mays</i>	<i>Aspergillus carneus</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Aspergillus tubingensis</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Fusarium sacchari</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Fusarium equiseti</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Hypocrea lixii</i>	(Kiarie <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	(Kiarie <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	(Potshangbam <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Trichoderma harzianum</i>	(Kiarie <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Trichoderma atroviride</i>	(Kiarie <i>et al.</i> , 2020)

Jamur endofit tanaman pangan sering berperan sebagai biopestisida, seperti *Acremonium spp.* dan *P. simplicissimum*, yang menghasilkan enzim dan menghambat pertumbuhan terhadap patogen *Pythium ultimum*, *Sclerotium oryzae*, *Rhizoctonia solani* dan *Pyricularia oryzae* (Potshangbam *et al.*, 2017). Jamur endofit lainnya juga punya manfaat untuk biokontrol terhadap hama, seperti *M. anisopliae* (Potshangbam *et al.*, 2017). Peran lainnya yang ditemukan pada jamur endofit adalah sebagai *plant growth promoting* seperti yang ditemukan pada jamur *P. simplicissimum* yang berasosiasi pada tanaman padi (Potshangbam *et al.*, 2017).

Tanaman hortikultura yang banyak dimanfaatkan di lahan suboptimal diantaranya adalah tanaman dari famili solanaceae, cucurbitaceae, dan fabaceae seperti tanaman kacang panjang (Hasbi *et al.*, 2017; Elwan, 2021; Vassanthini & Premanandarajah, 2018). Jamur

endofit yang seringkali diperoleh pada tanaman solanaceae pada umumnya adalah *Beuvaria bassiana*, *Penicillium* spp., dan *Rhizopus* spp (Tabel 2). Pada tanaman cucurbitaceae ditemukan *Penicillium allahabadense*, *Aspergillus foetidus*, *Sacrocladium oryzae*, *Rhizoctonia oryzae*, dan *Trichoderma* spp (Tabel 2). Jamur endofit yang diperoleh berasosiasi pada tanaman kacang panjang adalah *Macrophomina* spp., *Fusarium* spp., dan *Cryptococcus* spp (Tabel 2).

Peranan jamur endofit yang diperoleh pada tanaman solanaceae sangat bermanfaat untuk tanaman, misalnya *B. bassiana* yang ditemukan pada tanaman cabai dan tanaman tomat yang bisa dimanfaatkan sebagai pengendalian dan membuat tanaman lebih tahan serangan terhadap hama (Barra-Bucarei *et al.*, 2020). Jamur endofit juga ditemukan bukan hanya bermanfaat untuk ketahanan terhadap hama, beberapa jamur endofit seperti *Trichoderma phayaoense* dan *Penicillium* spp. juga diketahui memiliki manfaat dalam mengendalikan dan menghambat pertumbuhan patogen penyakit tanaman (Nuangmek *et al.*, 2021; Urooj *et al.*, 2018).

Tabel 2. Jamur endofit pada tanaman hortikultura

family	host plant	Species of endophytic fungi	Referensi
Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i>	<i>Aspergillus foetidus</i>	(Syamsia <i>et al.</i> , 2021)
		<i>Penicillium allahabadense</i>	(Syamsia <i>et al.</i> , 2021)
		<i>Rhizoctonia oryzae</i>	(Syamsia <i>et al.</i> , 2021)
		<i>Sacrocladium oryzae</i>	(Syamsia <i>et al.</i> , 2021)
Fabaceae	<i>Cucumis melo</i>	<i>Trichoderma phayaoense</i>	(Nuangmek <i>et al.</i> , 2021)
	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Cryptococcus</i> spp.	(Kinge <i>et al.</i> , 2022)
<i>Fusarium</i> spp.		(Kinge <i>et al.</i> , 2022)	
<i>Macrophomina</i> spp.		(Kinge <i>et al.</i> , 2022)	
Solanaceae	<i>Capsicum annum</i>	<i>Beauvaria bassiana</i>	(Barra-Bucarei <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Beauvaria bassiana</i>	(Barra-Bucarei <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Solanum melongena</i>	<i>Penicillium citrinum</i>	(Urooj <i>et al.</i> , 2018)
		<i>Penicillium lilacinum</i>	(Urooj <i>et al.</i> , 2018)
		<i>Penicillium purpurogenum</i>	(Urooj <i>et al.</i> , 2018)
	<i>Lycopersicon esculentum</i>	<i>Rhizopus</i> spp.	(Nuraini <i>et al.</i> , 2017)
		<i>Penicillium nigricans</i>	(Urooj <i>et al.</i> , 2018)
		<i>Penicillium javanicum</i>	(Urooj <i>et al.</i> , 2018)

JAMUR ENDOFIT: AGEN BIOKONTROL DAN PEMACU PERTUMBUHAN

Lahan suboptimal merupakan lahan dengan produktivitas rendah dengan beberapa faktor kendala seperti tanah, bahan induk, dan penurunan jumlah air (Hocine *et al.*, 2020). Salah satu teknik untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan menumbuhkan berbagai jenis tanaman dengan ketahanan stres terhadap faktor biotik dan abiotik. Jamur endofit dapat berasosiasi pada jaringan tanaman dan tahap pertumbuhan seperti tahap pembibitan, tahap berbunga, dan tahap berbuah. Menurut Paul *et al.* (2012) jamur endofit pada setiap bagian tanaman memiliki keanekaragaman yang sangat tinggi. Jamur endofit dapat meningkatkan kebugaran tanaman dengan meningkatkan toleransi terhadap logam berat dan kekeringan serta dapat melindungi tanaman dari penyakit dan herbivora atau fitofag (Baron *et al.*, 2020; Raman *et al.*, 2012; Rubini *et al.*, 2005; Science, 2019). Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan menunjukkan jamur endofit dapat menjadi agen biokontrol hama dan penyakit tumbuhan, serta dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman (Tabel 3).

Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022
“Revitalisasi Sumber Pangan Nabati dan Hewani Pascapandemi dalam Mendukung Pertanian Lahan Suboptimal secara Berkelanjutan”

Tabel 3. Jamur endofit sebagai agen biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman

Genus/species of endophytic fungi		Biocontrol agent	Plant growth booster	Referensi
<i>Aspergillus flavus</i>	Disease	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Arachis hypogaea</i> L	(Chandra, 2022; Hernawati <i>et al.</i> , 2011; Senthilkumar <i>et al.</i> , 2014)
	Pest	<i>Aphis gossypii</i> <i>Atteva fabriciella</i> <i>Eligma narcissus</i> <i>Hyblea parea</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	Disease	<i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Zea mays</i> L.	(Hocine <i>et al.</i> , 2020; Sdiri <i>et al.</i> , 2022; Stranska <i>et al.</i> , 2022) (Hazaa <i>et al.</i> , 2022; Walther <i>et al.</i> , 2021)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>		
<i>Aspergillus</i> sp	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i>		(Aji <i>et al.</i> , 2022) (Gustianingtyas <i>et al.</i> , 2021a)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays</i> L	
<i>Beauveria bassiana</i>	Disease	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Alternaria alternata</i>		(Sinno <i>et al.</i> , 2021) (Gustianingtyas <i>et al.</i> , 2021b; Herlinda <i>et al.</i> , 2020; Russo <i>et al.</i> , 2021, 2015; Sari <i>et al.</i> , 2022)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i> <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Zea mays</i> <i>Glycine max</i> <i>Solanum lycopersicum</i> L	
<i>Colletotrichum acutatum</i>	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i> <i>Phytophthora capsici</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	(Paul <i>et al.</i> , 2012) (Gustianingtyas <i>et al.</i> , 2021a) (Contreras-Cornejo <i>et al.</i> , 2018)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays</i> L	
<i>Cladosporium</i> sp	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i> <i>Phytophthora capsici</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	(Bensaci <i>et al.</i> , 2022; Paul <i>et al.</i> , 2012)
	Pest	<i>Myzus persicae</i>		
<i>Cladosporium gossypicola</i>	Disease	<i>Colletotrichum acutatum</i> <i>Phytophthora capsici</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
		<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Zea mays</i> <i>oryza sativa</i>	
<i>Coniothyrium</i> sp	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	(Rosa & Applications, 2021) (El-Sayed <i>et al.</i> , 2020; Hernawati <i>et al.</i> , 2011)
	Pest	<i>Aphis gossypii</i> <i>Spodoptera littoralis</i>		
<i>Cladosporium colombie</i>	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i> <i>Phytophthora capsici</i>	<i>Capsicum annuum</i> L	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
		<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays</i> <i>Glycine max</i>	
<i>Cordyceps nutan</i>	Disease	<i>Spodoptera frugiperda</i>		(Russo <i>et al.</i> , 2015, 2021) (Alfina & Haneda, 2022)
	Pest	<i>Phlaeothripidae</i> <i>Tephritidae</i> <i>Matsucoccidae</i> <i>Pentatomidae</i> <i>Thaumastocoridae</i> <i>Coccidae</i> <i>Diaspididae</i>		
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Disease	<i>Fusarium</i>	<i>Zea mays</i>	(Hao <i>et al.</i> , 2021)

Editor: Siti Herlinda *et. al.*

ISSN: 2963-6051 (print)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

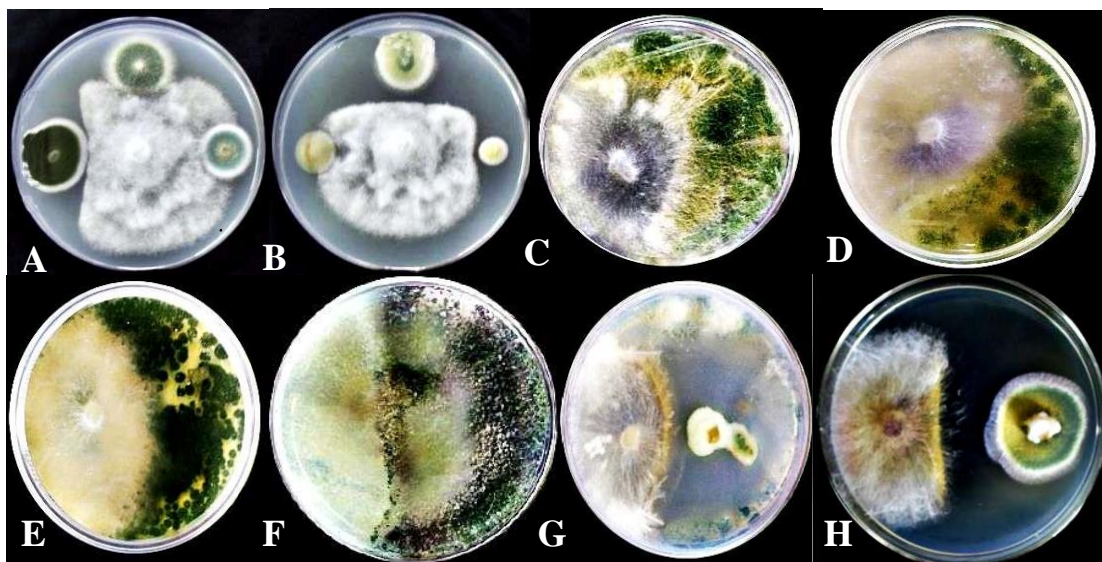
Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 Tahun 2022, Palembang 27 Oktober 2022
“Revitalisasi Sumber Pangan Nabati dan Hewani Pascapandemi dalam Mendukung Pertanian Lahan Suboptimal secara Berkelanjutan”

	Pest	<i>graminearum</i> <i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Glycine max</i>	(Gustianingtyas <i>et al.</i> , 2021b; Herlinda <i>et al.</i> , 2020; Russo <i>et al.</i> , 2021, 2015; Sari <i>et al.</i> , 2022)
<i>Metarhizium robertsii</i>	Disease	<i>Fusarium</i> <i>graminearum</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	(Canassa <i>et al.</i> , 2019)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays L</i>	(Ahmad <i>et al.</i> , 2020)
<i>Nigrospora sphaerica</i>	Pest	<i>Agrotis ipsilon</i> <i>Atteva fabriciella</i> <i>Eligma narcissus</i> <i>Hyblea purea</i>		(Senthilkumar <i>et al.</i> , 2014)
<i>Nigrospora sp</i>	Pest	<i>Aphis gossypii</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Hazaa <i>et al.</i> , 2022; Hernawati <i>et al.</i> , 2011)
<i>Penicillium decaturense</i>	Disease	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Arachis hypogaea L</i> <i>Zea mays L</i>	(Chandra, 2022)
<i>Penicillium rubens</i>	Disease	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Arachis hypogaea L</i> <i>Solanum tuberosum L</i>	(Aji <i>et al.</i> , 2022; Chandra, 2022)
<i>Penicillium crustosum</i>	Disease	<i>Botrytis cinerea</i> <i>Fusarium solani</i> <i>Mucor plumbeus</i>		(Kulišová <i>et al.</i> , 2021)
<i>Penicillium citrinum</i>	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
<i>Penicillium gossypiicola</i>	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
	Disease	<i>Colletotrichum acutatum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
<i>Penicillium crustosum</i>	Disease	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
<i>Penicillium expansum</i>	Disease	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
<i>Penicillium sp.</i>	Disease	<i>Phytophthora capsici</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)
<i>Trichoderma viride</i>	Disease	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Arachis hypogaea L</i>	(Chandra, 2022)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays L</i>	(Contreras-Cornejo <i>et al.</i> , 2018)
<i>Trichoderma virens</i>	Disease	<i>Sclerotium rolfsii</i>	<i>Arachis hypogaea L</i>	(Chandra, 2022)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays L</i>	(Contreras-Cornejo <i>et al.</i> , 2018)
<i>Trichoderma harzianum</i>	Disease	<i>Phytophthora infestans</i>		(El-Hasan <i>et al.</i> , 2022)
	Pest	<i>Spodoptera frugiperda</i>	<i>Zea mays L</i>	(Contreras-Cornejo <i>et al.</i> , 2018)
<i>Xylaria sp</i>	Disease	<i>Fusarium oxysporum</i> <i>Colletotrichum acutatum</i>	<i>Capsicum annuum L</i>	(Paul <i>et al.</i> , 2012)

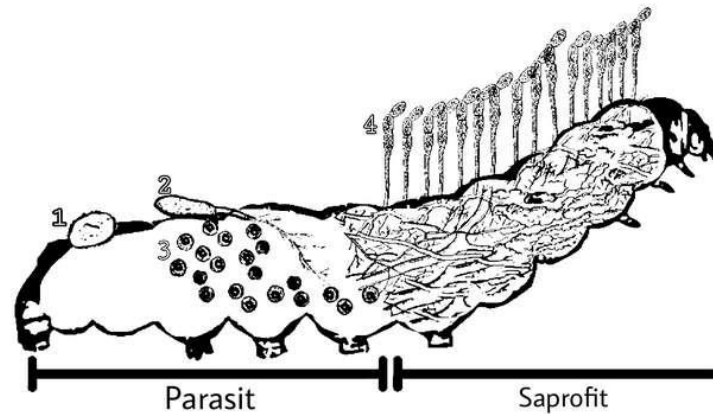
Keuntungan simbiosis jamur endofit dengan tanaman dapat terjadi secara langsung dan/atau tidak langsung, proses langsung dari pertumbuhan tanaman seperti aksesibilitas nutrisi serta dapat membentuk fitohormon dalam tanaman (pembentukan biomassa, peningkatan kemajuan struktur akar, peningkatan massa generasi tanaman, dan produksi). Secara tidak langsung jamur endofit dapat melindungi tanaman dari hama dan patogen serta membantu tanaman bertahan pada kondisi mencekam. Jamur endofit mampu meningkatkan penyerapan unsur hara makro (misalnya magnesium, kalium, nitrogen, dan

fosfor) dan mikro (tembaga, besi dan seng) dari tanah maupun bahan organik dan meningkatkan sumbernya (Chaturvedi, 2022; Rana *et al.*, 2020). Jamur endofit dapat menghasilkan fitohormon yang berbeda seperti sitokinin, giberelin (GA) dan auksin (Khan *et al.*, 2012). Menurut Jaroszuk-Ścisel *et al.* (2014) asam indole-3-asetat merupakan auksin utama yang dibuat oleh jamur endofit sebagai pengatur paling penting dari perkembangan tanaman dan bermanfaat pada pertumbuhan pucuk dan akar, seperti reaksi tropisme, pembelahan sel dan pemanjangan sel, diferensiasi jaringan pembuluh darah dan perkembangan akar. Giberlin penting dalam berbagai reaksi tanaman seperti pemanjangan batang, ekspresi seksual, perkecambahan biji, pembentukan buah, dan pembungaan (Bömke & Tudzynski, 2009).

Jamur endofit dapat melindungi tanaman terhadap hama dan patogen dengan membantu mengembangkan kekebalan tanaman, sehingga mendorong stimulasi jalur resistensi sistemik yang diinduksi (Busby *et al.*, 2016). Jamur endofit juga dapat memproduksi antibiotik dan metabolit sekunder termasuk alkaloid, kuinol, steroid, flavonoid, terpenoid, peptida, poliketone, fenol, senyawa terklorinasi, dan senyawa organik volatil (VOC) yang dapat membentuk aktivitas antivirus, antibakteri, antijamur (Gambar 2), dan serangga (Latz *et al.*, 2018). Jamur endofit juga dapat berperan sebagai jamur entomopatogen dimana serangga yang memakan atau terkontak langsung dengan jamur akan terganggu metabolismenya sehingga dapat menyebabkan kematian, jamur endofit yang menyerang serangga terdiri dari dua fase yaitu parasit dan saprofit (Gambar 3).



Gambar 2. Jamur endofit sebagai agen biokontrol penyakit tanaman; aktivitas jamur *P. oxalicum* terhadap *P. capsici* (A), aktivitas jamur *P. expansum* terhadap *P. capsici* (B) (Paul *et al.*, 2012), aktivitas jamur *A. flavus* terhadap *S. rolfsii* (C), aktifitas *P. decaturense* terhadap *S. rolfsii* (D), aktivitas *P. rubens* terhadap *S. rolfsii* (E), aktivitas *T. viride* terhadap *S. rolfsii* (F), aktivitas *T. virens* terhadap *S. rolfsii* (G) (Chandra, 2022), dan aktivitas *M. anisopliae* terhadap *F. graminearum* (H) (Hao *et al.*, 2021)



Gambar 3. Siklus hidup jamur entomopatogen pada serangga; Spora jamur menempel pada kutikula serangga (1), proses penetrasi terjadi ketika spora jamur berkecambah pada kutikula dan masuk ke hemocoel (2), didalam tubuh serangga jamur akan bereproduksi dan membentuk hifa (3), serangga akan membentuk spora ketika nutrisi sudah tidak mencukupi untuk kebutuhan (serangga mati) fase ini disebut dengan saprofit (4)

KESIMPULAN

Jamur endofit dapat berperan sebagai biocontrol, biofertilisasi dan toleransi stres dalam bidang pertanian khususnya lahan suboptimal yang secara alami mempunyai produktivitas rendah. Kemampuan jamur endofit dalam mendorong perkembangan tanaman dan membuat tanaman tetap hidup di bawah kondisi stres (biotik dan abiotik) merupakan kemampuannya untuk mensekresi sejumlah peningkatan metabolit yang bermanfaat. Jamur endofit berguna karena menyediakan banyak keuntungan langsung (meningkatkan penyerapan unsur hara dan membentuk fitohormon) dan tidak langsung (melindungi tanaman dari hama dan patogen serta memberikan ketahanan pada lingkungan yang mencekam) untuk tanaman. Beberapa temuan penelitian sebelumnya menunjukkan jamur endofit dapat menjadi bioagen yang baik dengan relevansi yang besar untuk multi bidang dan selanjutnya berkembang sebagai bio inokulum yang berkembang menuju tanaman pangan organik untuk masa depan yang lebih sehat dengan mengurangi penggunaan bahan kimia untuk pertanian berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada panitia Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-10 tahun 2022 yang telah memfasilitasi pemakalah dalam prosiding/publikasi jurnal terakreditasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad I, Jiménez-Gasco M, del M, Luthe DS, Shakeel SN, Barbercheck ME. 2020. Endophytic *Metarhizium robertsii* promotes maize growth, suppresses insect growth, and alters plant defense gene expression. *Biol. Control*. 144: 104167. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104167.
- Aji OR, Sari AK, Putri A. 2022. Isolasi dan uji aktivitas antagonisme jamur endofit tanaman pisang (*Musa paradisiaca* L.) terhadap *Fusarium oxysporum*. *Bioscientist*. 10:10–17.
- Akmalasari I, Purwati E, Dewi R. 2013. Isolasi dan identifikasi jamur endofit tanaman manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Biosfera*. 30:82–89.

- Alfina T, Haneda NF. 2022. Entomopathogenic fungi as biological agents in forest plant pest control: A systematic review. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 959. DOI:10.1088/1755-1315/959/1/012013.
- Anitha D, Vijaya T, Pragathi D, Reddy NV, Mouli KC, Venkateswarulu N, Bhargav DS. 2013. Isolation and Characterization of Endophytic Fungi From Endemic. *Int. J. Life Sci. Biotechnol. Pharma Res.* 2:367–373.
- Arora J, Ramawat KG. 2017. An Introduction to Endophytes. *J. Arora.* 1–23. DOI:10.1007/978-3-319-66541-2_1.
- Astiko W, Rohyadi A, Windarningsih M, Muthahanas I. 2021. Respon Hasil Lima Varietas Jagung Pada Aplikasi Paket Pemupukan di Lahan Suboptimal Lombok Utara. *Pros. Semin. Saintek LPPM Univ. Mataram* 3: 103–111.
- Badan Pusat Statistik. 2021. Statistik Hortikultura 2020. *Badan Pus. Stat.* 23–26.
- Baron NC, de Souza Pollo A, Rigobelo EC. 2020. *Purpureocillium lilacinum* and *Metarhizium marquandii* as plant growth-promoting fungi. *PeerJ* 2020. 1–25. DOI:10.7717/peerj.9005.
- Baron NC, Rigobelo EC. 2022. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology.* 13: 39–55. DOI:10.1080/21501203.2021.1945699
- Barra-Bucarei L, Iglesias AF, González MG, Aguayo GS, Carrasco-Fernández J, Castro JF, Campos JO. 2020. Antifungal activity of *Beauveria bassiana* endophyte against *Botrytis cinerea* in two Solanaceae crops. *Microorganisms.* 8: 1–15. DOI:10.3390/microorganisms8010065.
- Bensaci OA, Rouabah K, Aliat T, Lombarkia N, Plushikov VG, Kucher DE, Dokukin PA, Temirbekova SK, Rebouh NY. 2022. Biological Pests Management for Sustainable Agriculture: Understanding the Influence of Cladosporium-Bioformulated Endophytic Fungi Application to Control *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) in Potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plants.* 11: 1–11. DOI:10.3390/plants11152055.
- Bömke C, Tudzynski B. 2009. Diversity, regulation, and evolution of the gibberellin biosynthetic pathway in fungi compared to plants and bacteria. *Phytochemistry.* 70: 1876–1893. DOI:10.1016/j.phytochem.2009.05.020.
- Busby PE, Ridout M, Newcombe G. 2016. Fungal endophytes: modifiers of plant disease. *Plant Mol. Biol.* 90: 645–655. DOI: 10.1007/s11103-015-0412-0.
- Canassa F, Tall S, Moral RA, Lara IAR, Delalibera I, Meyling NV. 2019. Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi *Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. *Biol Control.* 132: 199–208. DOI:10.1016/j.biocontrol.2019.02.003.
- Chandra, Subhash. 2022. Fungi: As Potential Biocontrol Agents. *Indian J. Sci. Res.* 12: 127. DOI:10.32606/ijsr.v12.i2.00021.
- Chaturvedi R. 2022. Role of fungal endophytes in plant growth promotion. *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 10: 2207–2212. DOI: 10.22214/ijraset.2022.44265.
- Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, del-Val E, Larsen J. 2018. The root endophytic fungus *Trichoderma atroviride* induces foliar herbivory resistance in maize plants. *Appl. Soil Ecol.* 124: 45–53. DOI:10.1016/j.apsoil.2017.10.004.
- El-Hasan A, Ngatia G, Link TI, Voegelé RT. 2022. Isolation, identification, and biocontrol potential of root fungal endophytes associated with solanaceous plants against potato late blight (*Phytophthora infestans*). *Plants* 11. DOI: 10.3390/plants11121605.
- El-Sayed ASA, Moustafa AH, Hussein HA, El-Sheikh AA, El-Shafey SN, Fathy NAM, Enan GA. 2020. Potential insecticidal activity of *Sarocladium strictum*, an endophyte of *Cynanchum acutum*, against *Spodoptera littoralis*, a polyphagous insect pest. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 24:101524. DOI:10.1016/j.bcab.2020.101524.

- Fa AN. 2019. Endophytic fungi for sustainable agriculture. *Microb. Biosyst.* 4:31–44. DOI: 10.21608/mb.2019.38886.
- Gustianingtyas M, Herlinda S, Suwandi S. 2021a. The endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) and their pathogenicity against the new invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 22: 1051–1062. DOI: 10.13057/biodiv/d220262.
- Gustianingtyas M, Herlinda S, Suwandi S. 2021b. The endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) and their pathogenicity against the new invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas.* 22: 1051–1062. DOI: 10.13057/BIODIV/D220262.
- Hao Q, Albaghdady DMD, Xiao Y, Xiao X, Mo C, Tian T, Wang G. 2021. Endophytic *Metarhizium anisopliae* is a potential biocontrol agent against wheat Fusarium head blight caused by *Fusarium graminearum*. *J. Plant Pathol.* 103: 875–885. DOI: 10.1007/s42161-021-00866-6.
- Hasbi, Lakitan B, Herlinda S. 2017. Persepsi Petani terhadap Budidaya Cabai Sistem Pertanian Terapung. *Lahan Suboptimal.* 6:126–133.
- Hazaa MA, Shebl MM, Sayed E, Sayed R El, Mahmoud SR, Khattab AA, Amer MM. 2022. Bioprospecting endophytic fungi for antifeedants and larvicides and their enhancement by gamma irradiation. *AMB Express.* DOI: 10.1186/s13568-022-01461-3.
- Herlinda S, Octariati N, Suwandi S, Hasbi. 2020. Exploring entomopathogenic fungi from south sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasive maize pest, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas.* 21: 2955–2965. DOI: 10.13057/biodiv/d210711.
- Hernawati H, Wiyono S, Santoso S. 2011. Leaf endophytic fungi of chili (*Capsicum annum*) and their role in the protection against *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). *Biodiversitas J. Biol. Divers.* 12:187–191. DOI: 10.13057/biodiv/d120401.
- Hocine A, Leila B, Karim H, Elhafid N. 2020. Functional Microbiome for Crop Improvement Under a Changing Environment. *The Plant Microbiome in Sustainable Agriculture.* DOI: 10.1002/9781119505457.ch6.
- Jaroszuk-Ścisiel J, Kurek E, Trytek M. 2014. Efficiency of indoleacetic acid, gibberellic acid and ethylene synthesized in vitro by *Fusarium culmorum* strains with different effects on cereal growth. *Biol.* 69: 281–292. DOI: 10.2478/s11756-013-0328-6.
- Khan A, Hamayun M, Kang SM, Kim YH, Jung HY, Lee JH, Lee IJ. 2012. Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: An example of *Paecilomyces formosus* LHL10. *BMC Microbiol.* 12: 1–14. DOI: 10.1186/1471-2180-12-3.
- Kiarie S, Nyasani JO, Gohole LS, Maniania NK, Subramanian S. 2020. Impact of Fungal Endophyte Colonization of Maize Aphid-Transmitted Viruses. *Plants.* 9: 1–22.
- Kinge TR, Ghosh S, Cason ED, Gryzenhout M. 2022. Characterization of the Endophytic Mycobiome in Cowpea (*Vigna unguiculata*) from a Single Location Using Illumina Sequencing. *Agric.* 12. DOI: 10.3390/agriculture12030333.
- Kulišová M, Vrublevskaia M, Lovecká P, Vrchotová B, Stránská M, Kolařík M, Kolouchová I. 2021. Fungal endophytes of vitis vinifera—plant growth promotion factors. *Agric.* 11: 1–13. DOI: 10.3390/agriculture11121250.
- Kulkarni S, Goswami A. 2019. Effect of excess fertilizers and nutrients: A Review on Impact on Plants and Human Population. *SSRN Electron. J.* 2094–2099. DOI: 10.2139/ssrn.3358171.
- Kusari S, Spitteller M. 2012. Metabolomics of Endophytic Fungi Producing Associated Plant Secondary Metabolites: Progress, Challenges and Opportunities. *Metabolomics.*

DOI: 10.5772/31596.

- Kusumawardani Y, Sulistyowati L, Abdul Cholil. 2015. Potensi antagonis jamur endofit pada tanaman lada (*Piper nigrum* L.) Terhadap jamur phytophthora capsici leionian penyebab penyakit busuk pangkal batang. *J. HPT*. 3:21–29.
- Lacava PT, Bogas AC, Cruz F, de PN. 2022. Plant growth promotion and biocontrol by endophytic and rhizospheric microorganisms from the tropics: A Review and Perspectives. *Front. Sustain. Food Syst.* 6:1–16. DOI: 10.3389/fsufs.2022.796113.
- Latz MAC, Jensen B, Collinge DB, Jørgensen HJL. 2018. Endophytic fungi as biocontrol agents: elucidating mechanisms in disease suppression. *Plant Ecol. Divers.* 11: 555–567. DOI: 10.1080/17550874.2018.1534146.
- Li X, Li D, Yan J, Zhang Y, Wang H, Zhang J, Ahmed T, Li B. 2021. Effect of plant-growth-promoting fungi on eggplant (*Solanum melongena* L.) in New Reclamation Land. *Agric. Sci.* 1–16.
- Mantzoukas S, Eliopoulos PA. 2020. Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Appl. Sci.* 10. DOI: 10.3390/app10010360.
- Mirsam H, Hary S, Aqil M, Azrai M, Pakki S, Muis A, Djaenuddin N, Wahid A. 2021. Heliyon Indigenous fungi from corn as a potential plant growth promoter and its role in *Fusarium verticillioides* suppression on corn. *Heliyon* 7, e07926. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07926.
- Mohamed W, Elwan FHM. 2021. Response of watermelon plants grafted onto different rootstocks to deficit irrigation. *hortscience J. Suez Canal Univ.* 10: 63–71. DOI: 10.21608/hjsc.2021.234769.
- Moreno-gav A, Di F, Brenda S, Santos M. 2020. Paecilomyces variotii as A Plant-Growth Promoter in Horticulture. *Agronomy*.
- Nuangmek W, Aiduang W, Kumla J, Lumyon, S, Suwannarach N. 2021. Evaluation of a Newly Identified Endophytic Fungus, Trichoderma phayaoense for Plant Growth Promotion and Biological Control of Gummy Stem Blight and Wilt of Muskmelon. *Front. Microbiol.* 12. DOI: 10.3389/fmicb.2021.634772.
- Nuraini FR, Setyaningsih R, Susilowati A. 2017. Screening and characterization of endophytic fungi as antagonistic agents toward *Fusarium oxysporum* on eggplant (*Solanum melongena*). *Biodiversitas*. 18: 1377–1384. DOI: 10.13057/biodiv/d180413.
- Paul NC, Deng JX, Sang HK, Choi YP, Yu SH. 2012. Distribution and antifungal activity of endophytic fungi in different growth stages of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in Korea. *Plant Pathol. J.* 28:10–19. DOI: 10.5423/PPJ.OA.07.2011.0126.
- Pavithra G, Bindal S, Rana M, Srivastava S. 2020. Role of endophytic microbes against plant pathogens: A review. *Asian J. Plant Sci.* 19: 54–62. DOI: 10.3923/ajps.2020.54.62.
- Pharmascience J, Article R, Hartanti D, Yunita R, Farmasi F, Muhammadiyah U. 2016. Endophytic bacteria research in Indonesia : A Review. *J. Pharmascience*. 3: 1–9.
- Potshangbam M, Indira Devi S, Sahoo D, Strobel GA. 2017. Functional characterization of endophytic fungal community associated with *Oryza sativa* L. and *Zea mays* L. *Front. Microbiol.* 8: 1–15. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00325.
- Prasad BK, Singh G, Sharma AK. 2022. Bio-management of diseases and insect pests in vegetable crops. *pharma Innov.* 11: 153–155.
- Raman AA, Wheatley W, Popay A, Raman A. 2012. Endophytic fungus vascular plant insect interactions endophytic fungus vascular plant insect interactions. *Environ. Entomol.* 41: 433–447.
- Rana KL, Kour D, Kaur T, Devi R, Yadav AN, Yadav N, Dhaliwal HS, Saxena AK. 2020. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential

- applications for agricultural sustainability, Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/s10482-020-01429-y.
- Rosa LH, Applications B. 2021. Neotropical Endophytic Fungi, Neotropical Endophytic Fungi. DOI: 10.1007/978-3-030-53506-3.
- Rubini MR, Silva-Ribeiro RT, Pomella AWV, Maki CS, Araújo WL, Dos Santos DR, Azevedo JL. 2005. Diversity of endophytic fungal community of cacao (*Theobroma cacao* L.) and biological control of *Crinipellis pernicioso*, causal agent of Witches' Broom Disease. *Int. J. Biol. Sci.* 1: 24–33. DOI: 10.7150/ijbs.1.24.
- Russo ML, Jaber LR, Scorsetti AC, Vianna F, Cabello MN, Pelizza SA. 2021. Effect of entomopathogenic fungi introduced as corn endophytes on the development, reproduction, and food preference of the invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *J. Pest Sci.* (2004). 94: 859–870. DOI: 10.1007/s10340-020-01302-x.
- Russo ML, Pelizza SA, Cabello MN. 2015. Short communication Endophytic colonisation of tobacco, corn, wheat and soybeans by the fungal entomopathogen. *Beauveria bassiana* (Ascomycota, Hypocreales). 25: 475–480. DOI: 10.1080/09583157.2014.982511.
- Sabarwal A, Kumar K, Singh RP. 2018. Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 63:103–114. DOI: 10.1016/j.etap.2018.08.018.
- Sari JMP, Herlinda S, Suwandi S. 2022. Endophytic fungi from South Sumatra (Indonesia) in seed-treated corn seedlings Affecting development of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae). *Egypt. J. Biol. Pest Control* 32. DOI: 10.1186/s41938-022-00605-8.
- Sari N. 2020. Review of endophytic fungi as biocontrol agents against plant pathogen. *Gontor agrotech Sci. J.* 6: 55. DOI:10.21111/agrotech.v6i1.3734.
- Savci S. 2012. An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 3, 73–80. DOI: 10.7763/ijesd.2012.v3.191.
- Science E. 2019. Endophytic Colonization and plant growth promoting effect by entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* to Red Chili (*Capsicum annum* L.) with Different Inoculation Methods Endophytic Colonization and Plant Growth Promoting Effect by Entomopathogenic. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* DOI: 10.1088/1755-1315/305/1/012070.
- Sdiri Y, Lopes T, Rodrigues N, Silva K, Rodrigues I, Pereira JA, Baptista P. 2022. Biocontrol ability and production of volatile organic compounds as a potential mechanism of action of olive endophytes against *Colletotrichum acutatum*. *Microorganisms* 10. DOI: 10.3390/microorganisms10030571.
- Senthilkumar N, Murugesan S, Babu DS. 2014. Metabolite profiling of the extracts of endophytic fungi of entomopathogenic significance, *Aspergillus flavus* and *Nigrospora sphaerica* Isolated from Tropical Tree Species of India, *Tectona grandis* L. *J. Agric. Life Sci.* 1:108–114.
- Sinno M, Ranesi M, Di Lelio I, Iacomino G, Becchimanzi A, Barra E, Molisso D, Pennacchio F, Digilio MC, Vitale S, Turrà D, Harizanova V, Lorito M, Woo SL. 2021. Selection of endophytic *Beauveria bassiana* as a dual biocontrol agent of tomato pathogens and pests. *Pathogens* 10. DOI: 10.3390/pathogens10101242.
- Sopialena, Suyadi, Sahil M, Nurdiana J. 2018. The diversity of endophytic fungi associated with *Piper nigrum* in the tropical areas: A recent study from Kutai Kartanegara, Indonesia. *Biodiversitas.* 19: 2028–2034. DOI: 10.13057/biodiv/d190607.
- Stranska M, Dzuman Z, Prusova N, Behner A, Kolouchova I, Lovecka P, Rezanka T,

- Kolarik M, Hajslova J. 2022. Fungal Endophytes of *Vitis vinifera*-Plant Growth Promoters or Potentially Toxinogenic Agents Toxins (Basel). 14:1–11. DOI: 10.3390/toxins14020066.
- Suparwoto, Harnisah, Waluyo. 2019. Kajian empat varietas unggul padi dengan sistem tanam jarwo 2 : 1 di lahan rawa lebak Desa Sukarame Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan. *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal 2019*. 53–61.
- Syamsia S, Idhan A, Firmansyah AP, Noerfitriyani N, Rahim I, Kesaulya H, Armus R. 2021. Combination on endophytic fungal as the plant growth-promoting fungi (PGPF) on cucumber (*Cucumis sativus*). *Biodiversitas*. 22: 1194–1202. DOI: 10.13057/biodiv/d220315.
- Tirtana ZYG, Sulistyowati L, Cholil A. 2013. Eksplorasi jamur endofit pada tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L) serta potensi antagonismenya terhadap *Phytophthora infestans* (Mont.) de Barry penyebab penyakit hawar daun secara in vitro. *J. HPT*. 1:91–101.
- Urooj F, Farhat H, Ali SA, Ahmed M, Sultana V, Shams ZI, Ara J, Ehteshamul-Haque S. 2018. Role of endophytic *Penicillium* species in suppressing the root rotting fungi of sunflower. *Pakistan J. Bot.* 50: 1621–1628.
- Vassanthini, Premanandarajah. 2018. Influence of soil moisture content and fertilizer potassium on the growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) in sandy regosol. *Proc. 8th Int. Symp. Seusl*. 294–303.
- Walther C, Baumann P, Luck K, Rothe B, Biedermann PHW, Gershenzon J, Köllner TG, Unsicker SB. 2021. Volatile emission and biosynthesis in endophytic fungi colonizing black poplar leaves. *Beilstein J. Org. Chem.* 17: 1698–1711. DOI: 10.3762/bjoc.17.118.
- Puspita YD, Sulistyowati L. 2012. Eksplorasi jamur endofit pada tanaman jeruk (*Citrus* sp.) Fusiprotoplas dengan ketahanan berbeda terhadap *Botriodiplodia theobromae* Pat. *Hpt*. 1: 67–76.
- Zikankuba VL, Mwanyika G, Ntwanya JE, James A. 2019. Pesticide regulations and their malpractice implications on food and environment safety. *Cogent Food Agric*. 5. DOI: 10.1080/23311932.2019.1601544.