

REVIEW FUNGI ENDOFIT SEBAGAI AGEN BIOKONTROL SERANGAN PATOGEN PADA TANAMAN

Review of Endophytic Fungi as Biocontrol Agents Against Plant Pathogen

Noorkomala Sari ^{1)*}

¹⁾Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian,
Universitas Lambung Mangkurat

DOI: <http://dx.doi.org/10.21111/agrotech.v6i1.3734>

Terima 13 Desember 2019

Revisi 5 Mei 2020

Terbit 25 Mei Juni 2020

Abstrak: : Fungi endofit adalah fungi yang hidup pada inter dan intra sel tumbuhan sehat dan tanpa menunjukkan gejala penyakit pada tumbuhan tersebut. Hubungan endofit dengan tumbuhan inangnya direferensikan sebagai hubungan mutualisme dimana fungi endofit menghasilkan mikotoksin dan metabolit sekunder lainnya yang mengakibatkan perubahan fisiologi dan biokimia sel inang sehingga menghambat perkembangan patogen tumbuhan dan fungi endofit mendapatkan nutrisi dari tumbuhan inangnya. Karena kemampuan fungi endofit yang menginduksi respon metabolisme tumbuhan inang sehingga tumbuhan menjadi resisten terhadap patogen tanaman, telah banyak dilakukan penelitian menggunakan fungi endofit dengan cara diinokulasikan pada tanaman komoditas untuk pengendalian persebaran penyakit pada lahan pertanian. Endofit sebagai agen biokontrol, memiliki pengaruh yang besar dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan disarankan oleh beberapa ahli ekologi tanaman sebagai biopestisida dalam mewujudkan pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan.

Kata Kunci : interaksi, metabolit sekunder, ketahanan tanaman terinduksi, penyakit

* Korespondensi email: noorkomala.sari@ulm.ac.id

Alamat : ¹ Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Jalan A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714

Abstract: Endophytic fungi refers as the fungi that live in inter and intracellular of a living cell of the plant and typically shown the asymptotically in the host plant. The relationship between endophyte and its host plant has been studied as mutualistic whereas the endophytic can inhibit the growth pathogen by their mycotoxin and secondary metabolites that change the physiology and biochemical reaction of cell host and the endophyte gain the nutrition form its host. Recent study inoculated endophytic fungi to target plants in order to activate the plant defense mechanism againts pathogens. Since fungi endophytes can induce the systemic resistance on plants defend system, the plant evolves become resistance from the harmful pathogen. These phenomena, bring the endophytic fungi being the biological agent to control the plant diseases. Fungi endophytes have been a significant impact on improving productivity of agriculture, referred by plant ecologists as a biopesticide to actualize sustainability agriculture.

Keywords: interaction, secondary metabolite, induced systemic resistance, diseases

1. Pendahuluan

Endofit merupakan obligat parasit yang mampu hidup hanya dengan mengambil nutrisi dari inangnya (Clay, 2001) dan fungi endofit adalah fungi yang hidup di dalam jaringan tumbuhan sehat dan tidak menunjukkan gejala penyakit (Higginbotham *et al.*, 2013; Faeth and Fagan, 2002). Diagram filogenetik mereka ulang bahwa endofit dulunya berasal dari nenek moyang parasit pada serangga dan kemudian menyebar sebagai epibiotik tanaman biotrofi, contohnya adalah dari famili Clavicipitaceae (Hypocreales; Ascomycota) (Torres *et al.*, 2007a). Clavicipitaceous merupakan endofit yang pernah diisolasi oleh Keith Clay pada tahun 1988 yang memiliki hubungan mutualisme (bertahan) dengan inangnya (Clay, 1988).

Fungi endofit mendapatkan perlindungan dan nutrisi dari tanaman inang dan tanaman inang kemungkinan mendapatkan timbal balik dari hubungan tersebut yaitu memperluas kemampuan kompetitif tanaman dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, herbivora, dan berbagai macam cekaman abiotik (Bhardwaj dan Agrawal, 2014). Penelitian mengemukakan kemampuan fungi endofit dalam memengaruhi pengaktifan sistem tanaman terhadap serangan agen penyakit, sebagai contoh infeksi endofit *Colletotrichum lagenarium* pada tanaman mentimun mampu menyalakan ketahanan sistemik tanaman, *Cladosporium cucumerinum* mampu melindungi tanaman dari *C. lagenarium* dan infeksi *C. lagenarium* pada mentimun dapat mengakibatkan ketahanan tanaman dari serangan layu oleh *Fusarium oxysporum* (Gessler & Kuc, 1982).

Fungi endofit menghabiskan seluruh atau sebagian siklus hidupnya mengkolonisasi pada inter atau intraseluler pada jaringan sehat tanaman inang. Akhir-akhir ini fungi endofit direferensikan sebagai alternatif sumber senyawa bioaktif yang berperan dalam sistem ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Review ini bertujuan untuk membahas kedudukan fungi endofit dalam mempertahankan tanaman dari serangan penyakit dan penelitian-penelitian terakhir menggunakan fungi endofit sebagai agen biokontrol terhadap pertumbuhan agen penyakit pada tanaman.

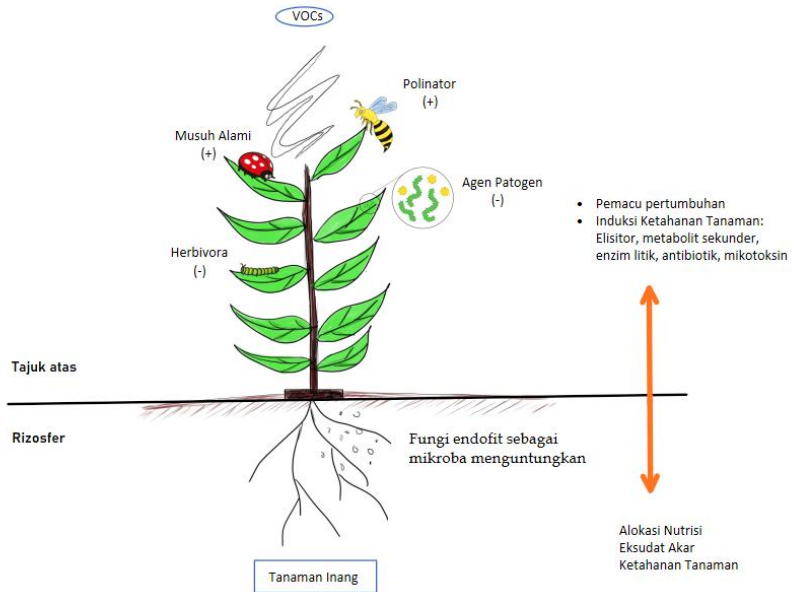
2. Hubungan Fungi Endofit dengan Tumbuhan Inangnya

Hubungan fungi endofit dengan inangnya direferensikan sebagai hubungan mutualisme (Faeth & Fagan, 2002). Hubungan mutualisme fungi endofit dengan tumbuhan inangnya yaitu sel inang memperoleh proteksi terhadap patogen tumbuhan dari senyawa yang dihasilkan endofit sedangkan fungi endofit memperoleh nutrisi dari inangnya (Haniah, 2008). Endofit fungi dapat berasal dari tanah (*soil borne microbes*), terbawa angin (*air borne*) ataupun terbawa benih (*seed borne*).

Menurut Pineda *et al.* (2010) fungi endofit merupakan golongan mikroba menguntungkan (*beneficial soil-borne microbes*) penghuni bawah tanah yang memiliki hubungan multitropik dengan anggota komunitas atas tanah (*aboveground insect*) melalui penghubung (mediator) yaitu tanaman inang. Endofit mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman yang mana memberikan efek negatif pada herbivora dan agen pathogen dan hubungan positif pada musuh alami dan polinator. Mekanisme yang melibatkan endofit-tanaman inang tersebut yaitu mekanisme peningkatan pertumbuhan tanaman dan *Induced Systemic Resistance (ISR)* yang memfasilitasi emisi *Volatile Organic Compounds (VOCs)* dalam menstimulus kehadiran serangga menguntungkan dan

Review Fungi Endofit Sebagai Agen Biokontrol Serangan Patogen Pada Tanaman

mengubah respon interaksi mikroba-tanaman. Mekanisme ini juga mempengaruhi alokasi nutrisi dan eksudat akar (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan multitropik fungi endofit sebagai mikroba bawah tanah yang menguntungkan dalam sistem ketahanan tanaman dan pemacu pertumbuhan

Endofit mempengaruhi sistem pengangkutan nutrisi tumbuhan dengan tahapan mekanisme yaitu: (1) endofit mampu mereduksi aktivitas enzimatis, (2) endofit meningkatkan ketergantungan nutrisi terhadap inang tumbuhan untuk pasokan, dan (3) endofit memberikan hasil produksi berupa senyawa metabolit sekunder spesifik yang menguntungkan tumbuhan contohnya ergot alkaloid (Torres *et al.*, 2007b).

Kemampuan endofit dalam memproduksi mikotoksin dan metabolit lainnya menyebabkan perubahan fisiologi dan biokimia sel inang sehingga secara langsung dapat menghambat perkembangan patogen tumbuhan (Clay, 1988). Tumbuhan yang bersimbiosis dengan fungi endofit memiliki daya pertahanan yang lebih tinggi dibandingkan tumbuhan yang tidak bersimbiosis (Redman *et al.*, 1999). Tumbuhan inang menjadi resisten terhadap patogen tanaman karena fungi endofit mampu menginduksi respon metabolisme inang (Rodriguez *et al.*, 2009). Keberadaan endofit berpengaruh terhadap ekofisiologi tumbuhan yang berefek terhadap daya adaptasi tumbuhan terhadap stres lingkungan (Rodriguez *et al.*, 2008). Endofit mengeluarkan senyawa metabolit sekunder sebagai senyawa bioaktif yang berfungsi untuk menghambat perkembangan sel patogen (Prihatiningtias & Wahyuningsih, 2011).

Pada dulunya endofit dikenal sebagai mikroorganisme yang memiliki hubungan pertahanan-mutualisme dengan inangnya, dengan cara menurunkan tingkat herbivora dengan memproduksi mikotoksin seperti alkaloid (Clay, 1988; Faeth & Fagan, 2002) dan menurut Strobel & Daisy (2003) jamur endofit mampu menghasilkan senyawa alami yang berpotensi sebagai antibiotik, antivirus, antikanker dan aktivitas insektisida.

Namun, interaksi fungi endofit-tanaman inang perlu dikaji terlebih dahulu, karena tidak semua asosiasi endofit dengan

tanaman inang bersifat mutualisme atau memberikan respon tanaman inang lebih resisten terhadap penyakit dan meningkatkan pertumbuhannya. Inokulasi endofit akan merubah sifat tumbuh tanaman secara fisiologi dan metabolisme terhadap mikroorganisme menguntungkan karena hubungan endofit dalam menstimulus *volatile organic compound* (VOC) yang dihasilkan oleh tanaman. Sehingga perlu dilakukan evaluasi terlebih dahulu mengenai jenis endofit yang akan diinokulasikan pada tanaman inang, endofit tersebut secara historis tidak pernah menyebabkan penyakit pada tanaman inang target karena kemampuan fungi endofitik akan mengubah siklusnya menjadi patogenik ketika lingkungan sel inang memungkinkan kolonisasi tidak terkendali (endofitik-patogenik). Selain itu, Giménez *et al.* (2007) menyebutkan bahwa inokulasi spesies endofit pada sel bukan tanaman inang aslinya, akan menyebabkan pola produksi senyawa metabolit sekunder yang berbeda. Sehingga untuk memilih endofit yang tepat dalam memberikan respon menguntungkan pada tanaman inang perlu dilakukan kajian kecocokan lingkungan (*host-specific* atau tidak); keberhasilan interaksi; dan keseimbangan metabolisme endofit-sel inang.

3. Fungi Endofit Sebagai Agen Biokontrol terhadap Patogen

Kemampuan endofit sebagai agen bertahan tanaman terhadap serangan patogen telah lama diteliti memiliki potensi yang sangat

baik dalam mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Banyak penelitian melakukan isolasi fungi endofit dari tanaman obat untuk mengetahui apakah potensi endofit tersebut sama dengan tanaman obat yang menjadi inangnya (Noverita *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 2013; Elfina *et al.*, 2014). Hal ini berhubungan dengan bahan bioaktif yang dikandung pada tanaman inang (Strobel & Daisy, 2003). Produksi senyawa aktif yang dihasilkan oleh tanaman inang berhubungan dengan keberadaan fungi endofit dalam jaringan tanaman tersebut. Keberadaan endofit mempunyai peranan penting dalam meningkatkan respon pertahanan tanaman dari serangan penyakit karena endofit terlibat dalam peningkatan produksi bahan aktif pada sistem kekebalan tanaman (Bhardwaj & Agrawal, 2014).

Telah dilakukan penelitian aktivitas antagonisme fungi endofit terhadap patogen tanaman secara *in vitro* dengan metode *dual culture* (Skidmore & Dickinson, 1976; Begum *et al.*, 2008; Rahman *et al.*, 2009). Metode ini dilakukan dengan menandingkan pertumbuhan patogen dengan fungi endofit pada satu cawan tumbuh. Daya antagonisme dikonfirmasi apabila pertumbuhan patogen tersebut telah dihambat oleh endofit (Gambar 2)



Gambar 2. Skrining kemampuan antagonis endofit *Trichoderma harzianum* terhadap pathogen *Fusarium oxysporum* (Gambar disitasi dari Kalay *et al.* 2018).

Fungi endofit *F. oxysporum*, *F. solani*, dan *Acremonium* sp., mampu menekan kejadian penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *C. acutatum* (33,33-43,33%) pada *C. annuum* kultivar Tit Super (Istikorini, 2008). Endofit *T. harzianum* dan *Chaetomium globosum* mampu menekan pertumbuhan patogen *Colletotrichum capsici* lebih dari 50% (Sultana *et al.*, 2012). Sedangkan secara *greenhouse assay*, endofit *Coniothyrium* sp. mampu menekan penyakit antraknosa sebesar 29,18% (Wilia, 2010).

Saravanakumar *et al.* (2015) melaporkan bahwa endofit *Trichoderma* spp. mampu menekan penyakit layu vaskuler yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* (FOC) pada cucumber hingga 71,67% (T10) karena kemampuan endofit *Trichoderma* spp. dalam mensintesis enzim pendegradasi dinding jamur patogen. Kemampuan antagonisme juga dilakukan dengan menskrining senyawa metabolit dari endofit berupa filtrat kultur yang dapat diisolasi dan diidentifikasi kemudian diujikan pada patogen. Dilaporkan oleh Zhang *et al.* (2013) filtrat kultur endofit

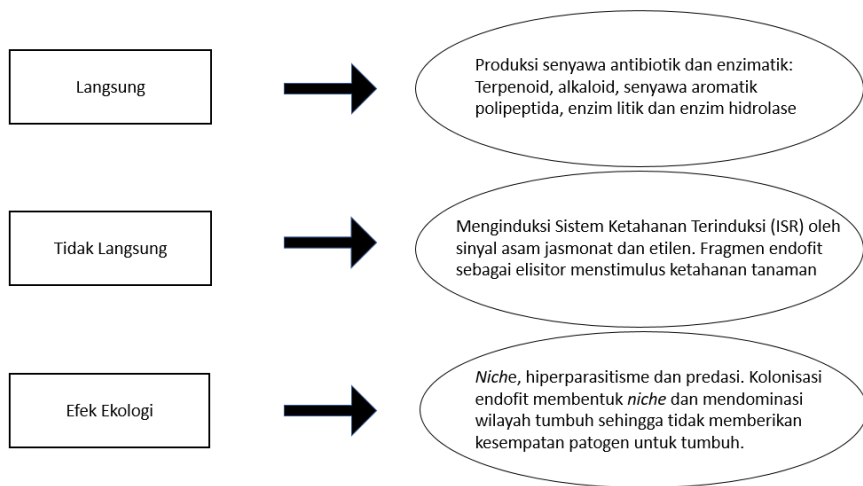
C. globosum diisolasi dari tanaman obat *Ginkgo biloba* pada konsentrasi 20% (v/v) mampu menekan kejadian penyakit oleh patogen *Setosphaeria turcica* (penyebab bercak daun pada tanaman jagung) pada sampel daun jagung hingga 0% pada 72 jam observasi.

Endofit menghasilkan senyawa aromatik yang memiliki kemampuan penghambatan pertumbuhan jamur dilaporkan oleh Zhang *et al.* (2014) endofit *F. oxysporum* menghasilkan *Volatile Organic Compounds* (VOCs) CanR-46 yang mampu meningkatkan daya simpan buah terhadap fumigasi, menekan pertumbuhan jamur *Botrytis cinerea* pada buah tomat.

4. Mekanisme Ketahanan Tanaman oleh Fungi Endofit

Mekanisme ketahanan tanaman yang dipicu oleh fungi endofit berdasarkan Gao *et al.*, 2010 dikategorikan atas tiga cara yaitu : (1) *langsung*: interaksi fungi endofit-agen patogen dengan memproduksi senyawa antibiotik dan enzim litik; (2) *tidak langsung*: menginduksi sistem ketahanan tanaman melalui ketahanan tanaman terinduksi (*Induced Systemic Resistance/ISR*); dan (3) *efek ekologi*: memanfaatkan *niche* ekologi untuk mendominasi wilayah tempat hidup, hiperparasitisme dan predasi (Gambar 3).

Review Fungi Endofit Sebagai Agen Biokontrol Serangan Patogen Pada Tanaman



Gambar 3. Mekanisme ketahanan tanaman yang dipicu oleh fungi endofit berdasarkan Gao *et al.* (2010)

Mekanisme hambat patogen secara langsung oleh fungi endofit merupakan hubungan antagonisme yang spesifik antar spesies (Arnold *et al.*, 2000). Pada mekanisme ini endofit menghasilkan antibiotik berupa senyawa metabolit sekunder yang mampu menekan pertumbuhan patogen. Beberapa antibiotik yang dihasilkan oleh fungi endofit dan telah diidentifikasi yaitu terpenoid, alkaloid, senyawa aromatik, dan polipeptida yang terbukti sensitif terhadap agen patogen (Gao *et al.*, 2010). Beberapa contoh penelitian senyawa antibiotik yang dihasilkan oleh fungal endofit yaitu: *Acremonium zeae* menghasilkan antibiotik pyrrocidines A,B terhadap patogen *Fusarium*

verticillioides dan *Aspergillus flavus* di tanaman jagung (Wicklow *et al.*, 2005), endofit *Phomopsis cassiae* memproduksi Cadinane sesquiterpenes pada *Cassia spectabilis* terhadap patogen *Cladosporium cladosporioides* dan *Cladosporium sphaerospermum* (Silva *et al.*, 2006), dan *Muscodor albus* pada beberapa pohon tropis menghasilkan aciphyllene, 2-methyl furan, tetrahydrofuran, 2-butanone dalam mengendalikan patogen *Stachybotrys chartarum* (Atmosukarto *et al.*, 2005).

Enzim litik merupakan enzim yang mampu memhidrolasi susunan polimerik seperti kitin, protein dan selulosa, hemiselulosa dan DNA (Tripathi *et al.*, 2008). Ketika endofit mengkolonisasi permukaan sel tanaman, endofit tersebut menghasilkan enzim hidrolase untuk melisiskan dinding sel tanaman, enzim ini juga yang mampu mendegradasi dinding sel patogen sehingga sel patogen menjadi lisis dan mati. Beberapa enzim litik yang termasuk diproduksi oleh fungi endofit diantaranya kitinase, selulase, dan β -1,3-glukanase (Palumbo *et al.*, 2005).

Mekanisme tidak langsung oleh fungi endofit dalam mengendalikan pertumbuhan agen patogen yaitu dengan menstimulus sistemik ketahanan tanaman terinduksi (*Induces Systemic Resistance*) yang difasilitasi senyawa asam jasmonat atau etilen. Fungi endofit dalam menginduksi ISR dan ekspresi gen gen PR (pathogenesis-related). Sebagai contoh endofit *Fusarium solani* yang diisolasi dari jaringan akar tomat menghasilkan elisator yang

mampu menginduksi sistemik resisten dengan mentrigger gen-gen PR, PR5 dan PR7 yang terekspresikan pada bagian akar terhadap patogen *Septoria lycopersici* (Kavroulakis *et al.*, 2007).

Lebih jauh, kolonisasi fungi endofit membuat tanaman inang lebih kuat dalam membangun pertahanan sistem ketahanan. Inokulasi endofit *Colletotrichum magna* pada *Citrullus lanatus* dan *Cucumis sativus* menghasilkan respon tanaman dengan lebih banyak mengeluarkan lignin, aktivitas peroksidase yang tinggi dan aktivitas *phenylalanine ammonialyase* dalam menghadapi serangan penyakit yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* dan *Colletotrichum orbiculare* (Redman *et al.*, 1999).

Penelitian terkini mengenai elisitor yang dihasilkan oleh endofit erat dikaitkan dengan kemampuan endofit tersebut dalam meningkatkan kerja tanaman inang dalam memproduksi senyawa metabolit sekunder yang mana berimbas dengan meningkatnya ketahanan tanaman tersebut. Berdasarkan Gao *et al.* (2010), mekanisme produksi senyawa metabolit sekunder oleh tanaman ini sama dengan mekanisme sistemik ketahanan terinduksi, kolonisasi endofit membuat sel tanaman menghasilkan enzim hidrolase dalam memecah fragmen sel endofit, yang mana fragmen hasil hidrolisasi tersebut berperan sebagai elisitor (seperti: lipopolisakarida, polisakarida dan glikoprotein) yang akan menstimulus ketahanan tanaman dan meningkatkan senyawa metabolit sekunder dalam menghadapi serangan patogen.

Pemanfaatan *niche* secara ekologi, merupakan mekanisme fungi endofit dalam mengkolonisasi jaringan tanaman secara dominan dan tidak memberi kesempatan mikroorganisme lain masuk dan menginfeksi secara luas pada daerah tersebut. Kemampuan endofit dalam mengkolonisasi tidak lepas dari tahapan mekanisme masuknya mikroorganisme ke dalam sel inang yaitu *host recognition*; *spore germination*; *penetration* pada epidermis; dan kolonisasi jaringan. Setelah berhasil mengkolonisasi, endofit akan membangun *niche* dan mendapatkan nutrisi dari sel inang, eksudat dan *leachates*. Menurut Harman *et al.* (2004) sel tumbuhan inang akan membatasi jumlah substrat yang memungkinkan kolonisasi endofit berkembang lebih banyak, memproduksi lignin, dan memproses penebalan dinding sel secara intens untuk membatasi perkembangan endofit sehingga mekanisme ini menghalangi sel patogen luar kesulitan untuk bermanifestasi ke dalam sel inang tumbuhan.

Mekanisme parasitisme dapat dicontohkan dengan jalinan hifa jamur *Penicilium* dan *Aspergillus* yang menjerat nematoda penyebab penyakit busuk akar. Beberapa ciri hifa yang bersifat antagonis secara hiperparasitisme ditunjukkan dengan hifa yang mampu membentuk *loop* (kait) sehingga patogen terperangkap diantaranya.

5. Kesimpulan

Kemampuan endofit dalam menghasilkan senyawa metabolit sekunder telah dipelajari dan digunakan sebagai potensi pengendaliannya terhadap penyakit tanaman dengan menginduksi atau menginokulasikan fungi endofit pada tanaman target. Hubungan fungi endofit dengan tanaman inang direferensikan sebagai hubungan mutualisme dimana tanaman inang mendapatkan proteksi dari senyawa dihasilkan dari fungi endofit sedangkan endofit mendapatkan nutrisi dan tempat tinggal dari tanaman inang. Mekanisme endofit dalam melindungi tanaman inang merupakan induksi pengaktifan ketahanan tanaman terinduksi dengan menghasilkan senyawa bioaktif secara tidak langsung; secara langsung yaitu melalui mekanisme sintesis mikotoksin, antibiotik dan enzim litik; dan pemanfaatan ekologi yaitu hiperparasitisme, dominansi *niche*, dan predasi.

6. References

- Arnold, A. E., Mejía, L. C., Kylo, D., Rojas, E. I., Maynard, Z., Robbins, N., and Herre, E. A. 2003. Fungal endophytes limit pathogen damage in a tropical tree. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(26), 15649-15654.
- Atmosukarto, I., Castillo, U., Hess, W.M., Sears, J., and Strobel, G. 2005. Isolation and characterization of *Muscodor albus* I-41.3s, a volatile antibiotic producing fungus. *Plant Science*, 169(5): 854-861.
- Begum, M.M., Sariah, M., Abidin, Z.M.A., Puteh, A.B. and Rahman, M.A., 2008. Antagonistic potential of selected fungal and bacterial biocontrol agents against *Colletotrichum*

- truncatum of soybean seeds. *Pertanica J. Trop. Agric. Sci*, 31(1): 45-53.
- Bhardwaj, A. and Agrawal, P. 2014. A review fungal endophytes: as a store house of bioactive compound. *World J. Pharm. Pharm. Sci*, 3, 228-237.
- Clay, K. 1988. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. *Ecology*, 69(1), 10-16.
- Clay, K. 2001. Symbiosis and the regulation of communities. *American Zoologist*, 41(4), 810-824
- Elfina, D., Martina, A. and Roza, R. M. 2014. Isolasi dan karakterisasi fungi endofit dari kulit buah manggis (*Garcinia mangostana* L) sebagai antimikroba terhadap *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau*, 1(1).
- Faeth, S. H. and Fagan, W. F. 2002. Fungal endophytes: common host plant symbionts but uncommon mutualists. *Integrative and Comparative Biology*, 42(2), 360-368.
- Gao, F. K., Dai, C. C., and Liu, X. Z. 2010. Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 4(13), 1346-1351.
- Gessler, C. and Kuć, J. 1982. Appearance of a host protein in cucumber plants infected with viruses, bacteria and fungi. *Journal of Experimental Botany*, 33(1), 58-66.
- Gimenez, C., Cabrera, R., Reina, M., and Gonzalez-Coloma, A. 2007. Fungal endophytes and their role in plant protection. *Current Organic Chemistry*, 11(8), 707-720.
- Haniah, M. 2008. *Isolasi jamur endofit dari daun sirih (Piper betle L.) sebagai antimikroba terhadap Escherichia coli, Staphylococcus aureus dan Candida albicans* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Higginbotham, S. J., Arnold, A. E., Ibañez, A., Spadafora, C., Coley, P. D., and Kursar, T. A. 2013. Bioactivity of fungal endophytes as a function of endophyte taxonomy and the taxonomy and distribution of their host plants. *PLoS one*, 8(9)

- Istikorini, Y. 2008. Potensi cendawan endofit untuk mengendalikan penyakit antraknosa pada cabai (*Capsicum annum* L.) [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kalay, A.M., Talahaturuson, A. and Rumahlewang, W., 2018. Uji Antagonisme *Trichoderma harzianum* dan *Azotobacter chroococcum* terhadap *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* dan *Fusarium oxysporum* secara *in-vitro*. *Agrologia*, 7(2), 71-78.
- Kavroulakis N.S, Zervakis G.I., Ehaliotis C., Haralampidis, K., and Papadopoulou, K.K. 2007. Role of ethylene in the protection of tomato plants against soil-borne fungal pathogens conferred by an endophytic *Fusarium solani* strain. *J. Exp. Bot.* 58: 3853-3864.
- Noverita, F. D. dan Sinaga, E. 2009. Isolasi dan uji aktivitas antibakteri jamur endofit dari daun dan rimpang *Zingiber ottensii* Val. *Jurnal Farmasi Indonesia*, 4(4), 171-176.
- Palumbo, J. D., Yuen, G. Y., Jochum, C. C., Tatum, K., and Kobayashi, D. Y. 2005. Mutagenesis of β -1, 3-glucanase genes in *Lysobacter enzymogenes* strain C3 results in reduced biological control activity toward *Bipolaris* leaf spot of tall fescue and *Pythium* damping-off of sugar beet. *Phytopathology*, 95(6): 701-707.
- Pineda, A., Zheng, S. J., Van Loon, J. J., Pieterse, C. M., and Dicke, M. 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in plant science*, 15(9): 507-514.
- Prihatiningtias, W. dan Wahyuningsih, M. S. H. 2006. Prospek mikroba endofit sebagai sumber senyawa bioaktif. *Universitas Gadjah Mada*
- Rahman, M.A., Begum, M.F., and Alam, M.F., 2009. Screening of *Trichoderma* isolates as a biological control agent against *Ceratocystis paradoxa* causing pineapple disease of sugarcane. *Mycobiology*, 37(4): 277-285.
- Redman, R. S., Freeman, S., Clifton, D. R., Morrel, J., Brown, G., and Rodriguez, R. J. 1999. Biochemical analysis of plant

- protection afforded by a nonpathogenic endophytic mutant of *Colletotrichum magna*. *Plant Physiology*, 119(2): 795-804.
- Rodriguez, R.J., Henson, J., Volkenburgh, E. V., Hoy, M., Wright, L., Beckwith, F., Kim, Y., and Redman, R.S. (2008). Stress Tolerance in Plant Via habitat-adapted symbiosis. *International Society of Microbial Ecology 2*: 404-416
- Rodriguez, R.J., White Jr, J.F., Arnold, A.E. and Redman, A.R.A., 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New phytologist*, 182(2): 314-330.
- Saravanakumar, K., Yu, C., Dou, K., Wang, M., Li, Y., and Chen, J. 2015. Synergistic effect of Trichoderma-derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Biological Control*, 94: 37-46.
- Silva GH, Teles HL, Zanardi LM, Marx Young MC, Eberlin MN, Hadad R, Pfenning LH, Costa-Neto CM, Castro-Gamboa I, Bolzani YS, and Araújo AR. 2006. Cadinane sesquiterpenoids of *Phomopsis cassiae*, an endophytic fungus associated with *Cassia spectabilis* (Leguminosae). *Phytochemistry*, 67(17): 1964-1969.
- Skidmore, A.M. and Dickinson, C.H., 1976. Colony interactions and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 66(1): 57-64.
- Strobel, G., and Daisy, B. 2003. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 67(4): 491-502.
- Torres, M. S., Singh, A. P., Vorsa, N., Gianfagna, T., and White, J. F. J. 2007a. Were endophytes pre-adapted for defensive mutualism. In *6th International Symposium on Fungal Endophytes of Grasses*. Christchurch, New Zealand: New Zealand Grassland Association (pp. 63-67).
- Torres, M. S., White Jr, J. F., and Bischoff, J. F. 2007b. *Hypocrella panamensis* sp. nov. (Clavicipitaceae, Hypocreales): a new species infecting scale insects on Piper

- carrilloanum in Panama. *Mycological research*, 111(3): 317-323.
- Tripathi, S., Kamal, S., Sheramati, I., Oelmuller, R., and Varma, A. 2008. Mycorrhizal fungi and other root endophytes as biocontrol agents against root pathogens. *Mycorrhiza*, 3 edition, pp. 281-306.
- Wicklrow, D.T., Roth, S., Deyrup, S.T., and Gloer, J.B. 2005. A protective endophyte of maize: *Acremonium zeae* antibiotics inhibitory to *Aspergillus flavus* and *Fusarium verticillioides*. *Mycological Research*, 109(5): 610-618.
- Wilia, W., dan Wiyono, S. 2013. Eksplorasi Cendawan Endofit Dari Tanaman Cabai Yang Berpotensi Sebagai Agens Biokontrol Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum acutatum* L.)(Exploration of Endophytic Fungi from Pepper as Biological Control Agents of Anthracnose (*Colletotrichum acutatum* L.). *Bioplantae*, 2(1), 9-15.
- Sultana, J. N., Pervez, Z., Rahman, H., and Islam, M. S. 2012. In-Vitro Evaluation of different strains of *Trichoderma harzianum* and *Chaetomium globosum* as biological control agents on seedling mortality of chilli. *Bangladesh Res. Pub. J*,6(3): 305-310.
- Xiao, Y., Li, H. X., Li, C., Wang, J. X., Li, J., Wang, M. H., and Ye, Y. H. 2013. Antifungal screening of endophytic fungi from *Ginkgo biloba* for discovery of potent anti-phytopathogenic fungicides. *FEMS microbiology letters*, 339(2): 130-136.
- Zhang, G., Wang, F., Qin, J., Wang, D., Zhang, J., Zhang, Y., Zhang, S. and Pan, H. 2013. Efficacy assessment of antifungal metabolites from *Chaetomium globosum* No. 05, a new biocontrol agent, against *Setosphaeria turcica*. *Biological Control*, 64(1): 90-98.
- Zhang, Q., Zhang, J., Yang, L., Zhang, L., Jiang, D., Chen, W. and Li, G. 2014. Diversity and biocontrol potential of endophytic fungi in *Brassica napus*. *Biological control*, 72, pp.98-108.