

UPAYA MENGATASI KELEMAHAN CENDAWAN ENTOMOPATOGEN UNTUK MENGENDALIKAN HAMA

Rohimatus

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Email : ima.faizfatin@gmail.com

Faktor-faktor lingkungan yang kurang mendukung aplikasi cendawan entomopatogen banyak ditemui di lapang. Berbagai upaya untuk melindungi dari pengaruh buruk lingkungan dapat dilakukan dengan menambah bahan pelindung. Untuk meningkatkan keefektifan dan viabilitasnya dapat dilakukan dengan menambah bahan perekat dan pembawa. Bioteknologi dan teknologi nano dapat digunakan agar entomopatogen lebih cepat bekerja disertai konsentrasi dan frekuensi aplikasi yang tepat. Agar dapat disimpan dalam jangka waktu lama, stabil, dan dapat digunakan pada saat yang tepat, cendawan entomopatogen dapat diformulasi dan disimpan dalam media yang telah dimodifikasi. Penggunaan bahan-bahan campuran dalam formulasi dapat berupa bahan alami yang murah, mudah diperoleh, serta dengan hasil teknologi yang telah teruji keamanannya bagi lingkungan.

Kata kunci: Kelemahan, aplikasi, cendawan entomopatogen, pengendalian hama

PENDAHULUAN

Pemanfaatan entomopatogen untuk mengendalikan serangan hama merupakan salah satu komponen pengendalian hama terpadu (PHT). Penggunaan entomopatogen dalam teknik pengendalian serangan hama memiliki kelebihan dibandingkan lainnya, antara lain organisme yang digunakan sudah terdapat di alam; dapat mencari dan menemukan hama sendiri; mampu berkembang biak dan menyebar sehingga pengendaliannya dapat berjalan sendiri; selektifitas yang tinggi; tidak menimbulkan hama baru; hama yang dikendalikan tidak menjadi resisten, walaupun ada kemungkinannya sangat lambat; dan hampir tidak ada efek samping yang merugikan bagi lingkungan dan organisme lain. Namun, penggunaan entomopatogen memiliki beberapa kelemahan sehingga harus diantisipasi dalam aplikasinya. Tulisan ini menguraikan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja cendawan entomopatogen dalam pengendalian

hama dan upaya mengatasi kelemahan dalam penggunaannya.

FAKTOR-FAKTOR PENENTU KEBERHASILAN PENGGUNAAN CENDAWAN ENTOMOPATOGEN

Keberhasilan aplikasi entomopatogen sangat ditentukan oleh empat faktor utama yang saling berkaitan satu sama lain (Vega dan Kaya 2012), yaitu

(1) Hama (inang) sasaran.

Sebelum dilakukan aplikasi entomopatogen harus diketahui terlebih dahulu spesies hama yang menyerang dan bioekologinya. Prayogo (2006) menyebutkan stadia serangga hama mempengaruhi perilakunya sehingga akan menentukan keefektifan entomopatogen. Aplikasi entomopatogen tidak akan efektif jika stadia serangga inang dalam proses ganti kulit karena kutikula akan terlepas sehingga inokulum cendawan akan ikut terlepas (Alavo *et al.* 2002). Kerentanan hama sasaran juga menentukan infeksi entomopatogen. Semakin rentan serangga hama sasaran, semakin rendah dosis entomopatogen yang diperlukan untuk menimbulkan infeksi (Vega dan Kaya 2012).

(2) Populasi entomopatogen

Populasi entomopatogen yang berpengaruh meliputi kepadatan, persebaran, infeksi, latenitas, virulensi, dan genetik. Kepadatan populasi entomopatogen harus cukup untuk menimbulkan penyakit pada inang (Vega dan Kaya 2012). Agar lebih efektif dalam menimbulkan penyakit, diperlukan waktu, frekuensi, dan konsentrasi/dosis aplikasi yang tepat (Prayogo 2009).

(3) Transmisi / penularan entomopatogen dari sumber infeksi ke inang baru.

Transmisi langsung patogen terjadi saat ditularkan dari inang terinfeksi ke inang baru yang rentan tanpa bantuan organisme hidup lain, sedangkan yang tidak langsung bergantung pada satu atau beberapa inang sekunder atau vektor untuk memfasilitasi transmisi (Tanada dan Kaya 1993), maupun dari inang yang terinfeksi ke lingkungan kemudian

diakuisisi oleh inang yang rentan (Vega dan Kaya 2012).

(4) Kondisi lingkungan.

Kondisi lingkungan yang berpengaruh, seperti sinar matahari terutama ultra violet/UV, angin, kelembapan, suhu, dan curah hujan. Secara umum, entomopatogen memerlukan kelembapan yang cukup tinggi untuk tumbuh dan berkembang (Vega dan Kaya 2012). Berbeda dengan ekosistem pada tanaman perkebunan yang relatif lebih stabil, inokulum entomopatogen sumber infeksi awal di lapangan sulit untuk bertahan hidup dan berkembang pada tanaman semusim (Farques *et al.* 1997; Thomas dan Jenkins 1997) karena ekosistemnya kurang stabil.

UPAYA MENGATASI KELEMAHAN APLIKASI CENDAWAN ENTOMOPATOGEN

Upaya melindungi dari pengaruh buruk di lapang

Strategi untuk melindungi biopestisida berbahan mikroorganisme dari pengaruh buruk lingkungan, dilakukan dengan beberapa cara (Rangel *et al.* 2008):

(1) Penambahan bahan pelindung, seperti *UV protectant* dan pelindung dari radikal bebas, yang larut dalam minyak.

Paparan UV-A dan UV-B secara langsung akan menyebabkan kematian sel dan mutasi akibat kerusakan susunan kromosom DNA (Begum *et al.* 2009), sedangkan UV-C menyebabkan terjadinya penundaan dan penurunan perkecambahan konidia (Rahmatzadeh dan Khara 2007). Bahan pelindung alami yang dapat digunakan dalam formulasi entomopatogen, antara lain minyak nabati. Minyak tersusun dari trigliserida, gliserol, dan senyawa asam lemak yang banyak mengandung karbon dan nitrogen. Karbon diketahui sebagai sumber utama pembentukan konidia dan perkecambahan (Xu *et al.* 2010). Sementara nitrogen dalam asam lemak yang dirombak oleh enzim lipase digunakan untuk pertumbuhan mikroba (Cliquet dan Jackson 2005). Senyawa gliserol yang terkandung dalam minyak

diketahui sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perkembangan, melindungi dari cekaman kekeringan (Broetto *et al.* 2010; Su *et al.* 2010), mempertahankan kelembapan konidia (Rangel *et al.* 2005), serta mampu mengabsorpsi sinar matahari (Rangel *et al.* 2008). Minyak nabati yang ditambahkan pada suspensi konidia akan membentuk lapisan biofilm yang berfungsi melapisi konidia cendawan dari paparan sinar UV (Leland 2001). Prayogo (2009) menyatakan minyak nabati digunakan sebagai sumber makanan sebelum menemukan inanginya. Kandungan asam lemak tidak jenuh minyak nabati, terutama asam linoleat, mampu dihidrolisis dan dirombak oleh enzim lipase cendawan *Lecanicillium lecanii*. Minyak nabati dari biji kedelai, kacang tanah, dan biji sawi dalam formulasi *L. lecanii* mampu mempertahankan keefektifan cendawan dalam mengendalikan *Myzus persicae* (Williams *et al.* 2000; Alavo *et al.* 2002). Penambahan minyak nabati kacang tanah 10 ml/l ke dalam suspensi *L. lecanii* mampu mempertahankan persistensi konidia hingga 7 hari setelah aplikasi dibandingkan tanpa minyak nabati (hanya 1 hari). Minyak nabati dari kacang tanah lebih baik dibandingkan minyak kedelai dan kelapa (Prayogo *et al.* 2011). Bahan penyerap UV (*Stilbene Brightener* Tinopal) dan bahan pemblok UV (tanah liat) diketahui dapat meningkatkan daya tahan formula *Beauveria bassiana* masing-masing 6,6 dan 8 kali (Inggris *et al.* 1995).

Selain UV, entomopatogen juga dapat terpengaruh oleh radikal bebas berupa molekul oksigen reaktif yang dapat merusak. Untuk itu, dapat ditambahkan antioksidan dan enzim oksidatif yang dapat mereduksi pengaruh molekul oksigen reaktif dan dapat meningkatkan *shelf life* *Metarhizium anisopliae* var. *acridium* dalam formula minyak (Moore *et al.* 1997).

- (2) Penggunaan pengemulsi minyak dan air, seperti minyak nabati dari kacang-kacangan, yang mengandung senyawa lesitin dan kasein (van Nieuwenhuyzen 1976).
- (3) Penggunaan suspensi penyerap, UV seperti tanah liat (*clay*) (Inggris *et al.* 1995).
- (4) Penggunaan adjuvant *wet agent*.

Cendawan entomopatogen pada umumnya sangat rentan terhadap kondisi kekeringan. Sementara beberapa jenis hama justru meningkat populasinya pada saat musim kemarau, seperti Thripidae, Aphididae, dan Acarina. Penggunaan entomopatogen dapat tetap dilakukan

dengan menambahkan adjuvant *wet agent*, dengan bahan aktif alkil fenol etilen oksida (North *et al.* 2006) maupun silikon-polieter kopolimer (Lacey dan Arthurs 2005).

Aplikasi entomopatogen harus menghindari paparan sinar matahari langsung dan dilakukan pada saat kelembapan udara tinggi. Aplikasi *L. muscarium* pada sore hari (setelah pukul 16.00) mampu menyebabkan kematian hama pengisap polong kedelai *Riptortus linearis* hingga 80% (Prayogo dan Tengkan 2004 dalam Prayogo 2006). Disamping itu, aplikasi entomopatogen juga harus memperhatikan tajuk (kanopi) tanaman. Kanopi yang rimbun sangat berguna menaungi deposit inokulum dibandingkan dengan yang terbuka (Deciyanto dan Indrayani 2008). Kebanyakan tanaman perkebunan memiliki kanopi yang rimbun sehingga sangat memudahkan dalam penggunaan cendawan entomopatogen.

Upaya meningkatkan keefektifan dan viabilitas

Efektivitas dan viabilitas cendawan entomopatogen dapat ditingkatkan dengan pemberian bahan pelindung (Vega dan Kaya 2012) dan bahan perekat untuk meningkatkan daya rekat inokulum pada integumen serangga (Prayogo 2006). Penambahan bahan perekat, seperti alkil gliserol ftalat 1 ml/l atau alkil aril poliglikol eter ke dalam suspensi *L. lecanii* mampu meningkatkan keefektifan cendawan entomopatogen hingga 20% dibanding kontrol (Prayogo dan Tengkan 2004 dalam Prayogo 2006). Kedua senyawa tersebut juga berfungsi sebagai pengental (*thickener*), *emulsifier*, *water proofing coating*, dan *drift retardant*.

Penambahan bahan perekat ke dalam suspensi entomopatogen dianjurkan sebelum aplikasi, terutama untuk mengendalikan serangga yang mengalami pergantian kulit beberapa kali. Aplikasi entomopatogen pada saat serangga ganti kulit tidak akan efektif karena inokulum tidak mampu menginfeksi sistem integumen serangga karena ikut terlepas sewaktu ganti kulit (Widayat dan Rayati 1993 dalam Prayogo 2006).

Selain bahan perekat, dalam formulasi perlu ditambahkan bahan pembawa (*carrier*) sebagai makanan cadangan (*starter*) bagi konidia sebelum berhasil menginfeksi hama. Bahan pembawa, berupa tetes tebu, sebanyak 10 ml/l air pada suspensi konidia *B. bassiana*, *L. lecanii*, dan *Paecilomyces fumosoroses* mampu

meningkatkan mortalitas tungau merah pada ubi kayu, dibandingkan larutan gula dan agar. Keefektifan cendawan terlihat dari peningkatan mortalitas tungau merah hingga mencapai 17%. (Prayogo dan Indiaty 2004 dalam Prayogo 2006). Tetes tebu mengandung berbagai nutrisi, terutama gula dan protein, yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan dan pembentukan spora (Prayogo dan Tengkan 2002). Sebelum menemukan inang, entomopatogen memerlukan lingkungan yang sesuai dan nutrisi cukup, agar viabilitas konidia tetap tinggi dan tidak mengalami kekeringan, bahkan kematian sebelum proses infeksi (Prayogo 2006).

Upaya mengatasi lambatnya kinerja

- a. Peningkatan konsentrasi/dosis inokulum.

Secara umum, semakin besar jumlah inokulum yang diaplikasikan, semakin cepat dalam mengendalikan hama. Prayogo (2006; 2009) menyebutkan kerapatan konidia yang dibutuhkan untuk mengendalikan hama pada ekosistem tanaman pangan lebih tinggi dibandingkan tanaman perkebunan. Hal ini disebabkan karena tanaman pangan bersifat semusim sehingga sekali aplikasi, cendawan harus mampu menginfeksi dan mengkolonisasi hama sasaran. Untuk tanaman pangan, dosis yang diperlukan dua kali lebih banyak dibandingkan tanaman perkebunan (Prayogo 2006).

- b. Peningkatan frekuensi aplikasi.

Kemungkinan, isolat yang diaplikasikan sebelumnya belum mampu menginfeksi hama sasaran sehingga perlu dilakukan penambahan aplikasi isolat untuk tahap selanjutnya. Diperlukan minimal tiga kali untuk menghindari kegagalan aplikasi entomopatogen di lapang (Prayogo 2005). Aplikasi *M. anisopliae* 3× berturut-turut selama 3 hari lebih efektif mengendalikan *Spodoptera litura* hingga menyebabkan kematian 86%, dibandingkan dengan aplikasi 1× yang hanya menimbulkan kematian 40% (Prayogo dan Tengkan 2004). Aplikasi cendawan entomopatogen di lapang dapat mengadopsi metode yang dilakukan oleh Gumus *et al.* (2015), yaitu menggunakan serangga hidup yang diinfeksi nematoda entomopatogen di laboratorium kemudian dilepaskan di lapang, yang disebutnya sebagai "living bombs". Serangga yang terinfeksi nantinya akan mati dan nematoda akan keluar dan menginfeksi serangga lainnya. Cara tersebut dapat dilakukan

dengan menginfeksi cendawan entomopatogen pada hama kemudian dilepaskan di lapang. Pergerakan serangga terinfeksi akan menyebarkan konidia dan atau spora cendawan sehingga diharapkan akan dapat menginfeksi serangga yang lain.

c. Pemanfaatan bioteknologi.

Pemanfaatan bioteknologi, misalnya dengan menyisipkan gen toksin *scorpion* pada *L. lecanii* untuk mengendalikan aphid (Xie *et al.* 2015). Pemanfaatan teknologi nano juga dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas entomopatogen. Pemanfaatan teknologi nano dilakukan dengan mengekstrak toksin destruksin *M. anisopliae* kemudian diformulasi dalam ukuran nano. Nilai LC₅₀ spora nano-destruksin terhadap *Ephesia cautella* dan *E. kuehniella* (Lepidoptera; Pyralidae) sebesar 46×10^4 spora/ml, sementara tanpa ukuran nano 111×10^4 spora/ml. Disamping itu, jumlah telur yang diletakkan kedua spesies ngengat tersebut juga menurun secara signifikan setelah disimpan 120 hari (4 bulan) (Sabbour 2013).

Upaya memperpanjang masa simpan

Penyimpanan dan pengembangan entomopatogen dengan teknik formulasi yang tepat sangat diperlukan agar terjaga viabilitas dan efektivitasnya saat diaplikasikan di lapang (Prayogo dan Santoso 2013). Untuk memperpanjang masa simpan cendawan entomopatogen, dapat dilakukan dengan mengurangi kelembapan (mengandung 4-6%) dalam kondisi *freeze-drying* (Moore *et al.* 1997) dan mengurangi kandungan oksigen untuk menurunkan metabolisme spora (Jin *et al.* 1999). Agar membran cendawan tetap stabil, perlu ditambahkan gula tidak tereduksi (*nonreducing disaccharides*), seperti trihalose (Crowe *et al.* 1988). Trehalosa 5% dapat melindungi cendawan dari kekeringan karena mampu mengikat air (Hallsworth dan Magan 1994). Selain trehalose, dapat digunakan maltose untuk melindungi miselium *M. anisopliae* selama kering udara (*air-drying*) (Krueger *et al.* 1992).

Stabilitas entomopatogen dapat dipertahankan apabila formula mengandung nutrisi yang cukup dan mengandung bahan pembawa, seperti tetes tebu. Tetes tebu diketahui dapat mempertahankan viabilitas *L. lecanii* >88% setelah penyimpanan 12 bulan (Derakhshan *et al.* 2008). Formula konidia dalam bentuk tepung yang dicampur dengan bedak (*talc*), tepung

tapioka, dan kaolin mampu mempertahankan viabilitas *M. anisopliae* >80% setelah disimpan 7 bulan (Samodra dan Ibrahim 2006). Penggunaan minyak kelapa dan kedelai dalam formula cair dapat mempertahankan viabilitas *M. anisopliae* hingga 30 bulan (Batta 2003). Viabilitas konidia *L. lecanii* dapat dipertahankan hingga 95% selama 12 bulan dalam formula tepung ubi kayu dan ubi jalar 98% serta formula bedak 95%. Penyimpanan *L. lecanii* juga dapat dilakukan dalam bentuk formula cair yang mengandung molase 97% (Prayogo dan Santoso 2013). Formula tepung ubi kayu dan ubi jalar banyak mengandung amilum yang akan dipecah oleh enzim amilase menjadi glukosa sebagai sumber nutrisi (Charnley 2003 dalam Prayogo dan Santoso 2013).

Epizootik entomopatogen mudah berkembang pada semua jenis tanah karena tanah merupakan habitat utamanya. Aplikasinya tidak hanya dapat dilakukan melalui permukaan tanaman, tetapi juga melalui sistem irigasi bersama-sama dengan air irigasi. Menurut Deciyanto dan Indrayani (2008), deposit konidia di permukaan tanah yang terdistribusikan melalui air irigasi akan menjadi sumber inokulum dan infeksi inang di lapang. Hal ini juga sebagai salah satu upaya konservasi sumber daya hayati untuk meningkatkan perannya sebagai faktor mortalitas hama secara alami. Selain itu, diperlukan kombinasi dengan teknik pengendalian lainnya, seperti dengan varietas tahan/toleran, teknik budidaya tanaman, dan entomopatogen lain, disertai dengan monitoring.

PENUTUP

Penambahan bahan pelindung, perekat, dan atau pembawa dalam suatu formula cendawan entomopatogen diperlukan untuk mengatasi berbagai kelemahan dan mengurangi pengaruh buruk yang dapat ditemui di lapang. Pemanfaatan bioteknologi dan teknologi nano dapat digunakan agar entomopatogen lebih cepat bekerja. Penyimpanan cendawan entomopatogen dapat dilakukan pada media yang telah dimodifikasi sehingga dapat disimpan dalam jangka waktu lama dan tetap stabil. Aplikasi formula cendawan entomopatogen harus memperhatikan spesies dan bioekologi hama sasaran, konsentrasi, waktu, frekuensi dan cara aplikasi, serta keamanan terhadap hama nontarget.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Ir. Teguh Santoso, DEA (Laboratorium Patologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor) atas masukan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alavo TBC, H Sermann, H Bochow. 2002. Biocontrol of aphid using *Verticillium lecanii* in green house: factor reducing the effectiveness of the entomopathogenic fungus. Arch Phytopathol and Plant Protect. 34(6): 407-424.
- Batta YA. 2003. Production and testing of novel formulations of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes). Crop Protec. 22(2): 415-422.
- Begum M, HD Hocking, D Miskelly. 2009. Inactivation of food spoilage fungi by ultra violet (UV-C). Int J Food Microbiol. 31(1): 74-77.
- Broetto L, WOB da-Silva, AM Bailao, CDA Soares, Vainstein MH, Schrank A. 2010. Glyceralddehyde-3-phosphate dehydrogenase of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* all surface localization and role in host adhesion. FEMS Microbiol Lett. 312(2): 101-109.
- Cliquet S, MA Jackson. 2005. Impact of carbon and nitrogen nutrition on the quality yield and composition of blastospores of the bioinsecticidal fungus *Paecilomyces fumosoroseus*. J of Industrial Microbiol & Biotechnol. 32(5): 204-210.
- Crowe JH, Crowe, JF Carpenter, AS Rudolph, Wistrom CA, Spargo BJ, Anchordoguy TJ. 1988. Interactions of sugars with membranes. Biochem et Biophys Acta. 947: 367-384.
- Deciyanto S, IGAA Indrayani. 2008. Jamur entomopatogen *Beauveria bassiana*: potensi dan prospeknya dalam pengendalian hama tungau. Perspektif. 8(2): 65-73.
- Derakhshan A, RJ Rabindra, B Ramanujam, M Rahimi. 2008. Evaluation of different media and methods of cultivation on the production and viability of entomopathogenic fungi *Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas. Pak J of Biol Sci. 2008: 1-4.
- Farques J, A Ouedraogo, MS Goettel, CJ Lomer. 1997. Effect of temperature, humidity, and inoculation method on susceptibility of *Schistocerca gregaria* to *Metarhizium flavoviridae*. Biocontrol Sci. Technol. 7: 345-356.
- Goulson D, Derwnt, DI Penagos, T William. 2003. Effect of optical brightener included in biopesticide formulations on the growth of crops. Agri Ecosyst Environ. 95: 235-240.

- Gumus A, M Karagoz, D Shapiro-Ilan, S Hazir. 2015. A novel approach to biocontrol: Release of live insect hosts pre-infected with entomopathogenic nematodes. *J Invertebr Pathol.* 130: 56-60. doi: 10.1016/j.jip.2015.07.002.
- Hallsworth JE, N Magan. 1995. Manipulation of intracellular glycerol and erythritol enhances germination of conidia at low water availability. *Microbiol.* 141: 1109-1115.
- Inglis GD, MS Goettel, DL Johnson . 1995. Influence of ultraviolet light protectants on persistence of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Biol Control.* 5: 581-590.
- Jin X, KE Grigas, CA Johnson, P Perry, DW Miller. 1999. Method for storing fungal conidia. US Patent No. 5989898.
- Krueger SR, MG Villani, AS Martins, Roberts DW. 1992. Efficacy of soil applications of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin conidia, and standard and lyophilized mycelial particles against scarab grubs. *J Invert Pathol.* 59: 54-60.
- Lacey LA, SP Arthurs . 2005. New method for testing solar sensitivity of commercial formulations of the granulovirus of codling moth (*Cydia pomonella*, Tortricidae; Lepidoptera). *J Invertebr Pathol.* 90: 85-90.
- Leland JE. 2001. Environmental-stress tolerant formulations of *Metarhizium anisopliae* var *acridum* for control African Desert Locust (*Schistocerca gregaria*). [dissertation]. Virginia: Faculty of Virginia Polytechnic. Juli 2017].
- Moore D, J Langewald, F Obogon. 1997. Effects of rehydration on the conidial viability of *Metarhizium flavoviridae* mycopesticide formulation. *Biocontrol Sci Technol.* 7: 87-94
- North JP, AGS Cuthbertson, KFA Walters. 2006. The efficacy of the two entomopathogenic biocontrol agents against adult *Thrips palmi* (Thysanoptera: Thripidae). *Short Communication. J Invertebr Pathol.* 92: 89-92.
- Prayogo Y, T Santoso, U Kartosuwondo, LI Sudirman. 2011. Peningkatan efikasi cendawan *Lecanicillium lecanii* untuk mengendalikan telur hama kepik coklat pada kedelai. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan.* 30(1): 58-70
- Prayogo Y, T Santoso. 2013. Viabilitas dan infektivitas formulasi cendawan entomopatogen *Lecanicillium lecanii* sebagai bioinsektisida pengendalian telur kepik coklat *Riptortus linearis*. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan.* 32(1): 57-66.
- Prayogo Y, W Tengkan. 2002. Pengaruh media tumbuh terhadap daya berkecambah, sporulasi, dan virulensi *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin isolat Kendalpayak pada larva *Spodoptera litura*. *Jurnal Ilmiah Sainteks IX(4):* 233-241
- Prayogo Y, W Tengkan. 2004. Pengaruh konsentrasi dan frekuensi aplikasi *Metarhizium anisopliae* isolat kendalpayak terhadap tingkat kematian *Spodoptera litura*. *Jurnal Ilmiah Sainteks. XI(3):* 233-243.
- Prayogo Y. 2005. Potensi, kendala, dan upaya mempertahankan keefektifan cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman pangan. *Bul Palawija.* 10: 53-65.
- Prayogo Y. 2006. Upaya mempertahankan keefektifan cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman pangan. *Jurnal Litbang Pertanian.* 25(2): 47-54.
- Prayogo Y. 2009. Kajian Cendawan Entomopatogen *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) (Viegas) Zare & Gams untuk Menekan Perkembangan Telur Hama Pengisap Polong Kedelai *Riptortus linearis* (F.) (Hemiptera: Alydidae) [disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 161 hlm.
- Rahmatzadeh S, J Kara. 2007. Influence of ultraviolet C radiation on some growth parameters of mycorrhizal wheat plants. *Pak J of Biol Sci.* 10(23): 4275-4278.
- Rangel DEN, AJ Anderson, DW Roberts. 2008. Evaluation physical and nutritional stress during mycelial growth as inducers of tolerance to heat and UV B radiation in *Metarhizium anisopliae* conidia. *Mycol Res.* 112(11): 1362-1372.
- Rangel DEN, GUL Braga, AJ Anderson, DW Roberts . 2005. Influence of growth environment on tolerance to UV B radiation, germination speed, and morphology of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* conidia. *J Invertebr Pathol.* 90(1): 55-58.
- Sabbour MM. 2013. Novel determinations of nano-extracted destrucrin from *Metarhizium anisopliae* against *Ephestia cautella* and *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera; Pyralidae) under laboratory and store condition. *IJSR.* 4(10): 1279-1282.
- Samodra H, Y Ibrahim. 2006. Effects of dust formulations of three entomopathogenic fungal isolates against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice grain. *J. Biosains.* 17(1):1-7.
- Su KJ, M Skimer, BL Parker. 2010. Plant oils for improving thermotolerance of *Beauveria bassiana*. *J Microbiol Biotechnol.* 20(9): 1348-1350.
- Tanada Y, HR Kaya. 1993. *Insect Pathology.* Academic Press, California. 631 hlm.
- Thomas MB, NE Jenkins . 1997. Effect of temperature on growth of *Metarhizium flavoviridae* and virulence to the variegated grasshopper *Zonocerus variegates*. *Mycol. Res.* 101: 1469-1474.
- van Nieuwenhuyzen W. 1976. Lechitin production and properties. *J Am Oil Chem Soc.* 53(6): 425-427.
- Vega FE, HR Kaya. 2012. *Insect Pathology.* Second Edition. London: Academic Press. 978 hlm.
- Williams MDC, RN Edmondson, G Gill . 2000. The potential of some adjuvants in promoting infection with *Verticillium lecanii*: laboratory bioassays with *Myzus persicae*. *Ann of App Biol.* 137(3): 337-345.
- Xie M, Zhang YJ, XM Zhai, JJ Zhao, DL Peng, G Wu. 2015. Expression of a scorpion toxin gene BmKit enhances the virulence of *Lecanicillium lecanii* against aphids. *J. Pest Sci.* 88(3): 637-644.
- Xu X, Y Yu, Y Shi. 2010. Evaluation of inert and organic carriers for *Verticillium lecanii* spore production in solid-state fermentation. *Biotechnol Lett.* <http://www.springerlink.com/content/q21397qj7034h54/> [3 Juli 2017].
- Yang MM, ML Li, Ya Zhang, YZ Wang, LJ Qu, QH Wang, JY Ding. 2012. Baculovirus and insect pest control in China. *Afr J Microbiol Res.* 62(2): 214-218.