

Status Teknologi dan Prospek *Beauveria bassiana* Untuk Pengendalian Serangga Hama Tanaman Perkebunan Yang Ramah Lingkungan

DECIYANTO SOETOPO DAN IGAA INDRAYANI
Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat
Indonesian Tobacco and Fibre Crops Research Institute
Jl. Raya Karangploso, Kotak Pos 199, Malang-Jawa Timur

ABSTRAK

Pengendalian hama dengan insektisida kimia telah menimbulkan banyak masalah lingkungan, terutama rendahnya kepekaan serangga terhadap insektisida kimia, munculnya hama sekunder yang lebih berbahaya, tercemarnya tanah dan air, dan bahaya keracunan pada manusia yang melakukan kontak langsung dengan insektisida kimia. Salah satu alternatif pengendalian yang cukup potensial adalah penggunaan patogen serangga, khususnya cendawan *B. bassiana*. Mekanisme infeksi yang secara kontak melalui kutikula dan tidak perlu tertelan oleh serangga menyebabkan *B. bassiana* menjadi kandidat utama untuk digunakan sebagai agen pengendalian berbagai spesies serangga hama, baik yang hidup pada kanopi tanaman maupun yang di dalam tanah. Rata-rata patogenisitasnya terhadap hama sasaran cukup tinggi, sehingga pemanfaatannya dalam pengendalian serangga hama perkebunan, seperti kapas, kelapa sawit, lada, kelapa dan teh memiliki prospek sangat baik. Untuk pengendalian ulat penggerek buah kapas, *Helicoverpa armigera* telah ditemukan dua strain isolat, yaitu Bb4a dan BbEd10 yang efektif membunuh 80-87,5% ulat *H. armigera* hasil uji di laboratorium, dengan masing-masing LT₅₀ mencapai 8,96-9,62 hari dan 19,69-22,27 hari dibanding strain *B. bassiana* yang lain (19-48 hari). *B. bassiana* juga efektif untuk pengendalian serangga hama kelapa sawit (*Darna catenata*), penggerek batang lada (*Lophobaris piperis*), dan ulat pemakan tanaman teh (*Ectropis bhurmitra*). Konidia *B. bassiana* dapat diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada kanopi tanaman, ditaburkan pada permukaan tanah, atau dicampur dengan tanah atau kompos. Temperatur dan kelembaban adalah faktor abiotik yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan konidia *B. bassiana*, tetapi cahaya melalui panjang gelombang sinar ultraviolet juga berpotensi merusak konidia sehingga aplikasi pada pagi (< pk. 08.00) atau sore hari (> pk. 15.00) dapat menghindari kerusakan. *B. bassiana* aman bagi serangga bukan sasaran, terutama serangga berguna dan musuh alami. Temperatur dan kelembaban yang lebih stabil pada

ekosistem tanaman perkebunan akan sangat mendukung peran *B. bassiana* dalam pengendalian hama utama tanaman perkebunan sehingga prospek pengembangannya sangat baik.

Kata kunci: *Beauveria bassiana*, status teknologi, prospek, hama perkebunan.

ABSTRACT

Status, technology and prospect of ecofriendly entomopathogenic fungus *B. bassiana* against insect pests of estate crops

Chemical insecticides for pests control are causing environmental problems, such as reducing susceptibility of insect pests to a number of chemical insecticides, outbreaks of secondary pest, air and soil pollution, and human poisoned due to directly contact with the pesticides. Insect pathogen, a pest control bioagent, can be used as an alternative component control for reducing of chemical insecticide usage. The entomopathogenic fungi, *B. bassiana* (Bals.) Vuill. is currently being developed as a potential of alternative bioinsecticide. Mode of action of the fungi is initially started by adhesion and penetrating of the spore through insect cuticle, and its mycelium then develop inside the insect body prior the insect death. Its conidia will grow soon after the insect die. High pathogenicity will show when *B. bassiana* expose to appropriate target pests. Several Indonesian strains and isolates of *B. bassiana* have been proven to be pathogenic against several major insect pests of cotton, oil palm, pepper, coconut and tea. Two *B. bassiana* isolates, viz. Bb4a and BbEd10 were found to be effective against cotton bollworm, *H. armigera* with the average percentage of mortality by 80-87.5% based on laboratory study. Both the LT₅₀ and LT₉₀ of the two isolates were 8.96-9.62 days and 19.69-22.27 days, respectively and these LT were shorter than that of other isolate, Fb4 (19-48 days). *B. bassiana* was also effective for control of the oil palm larvae (*D. catenata*), pepper stem borer (*L. piperis*), and tea leaf caterpillar (*E. bhurmitra*). *B.*

bassiana can be applied by spraying method over the plant canopy, applied as soil treatment, or by mixing the conidia with compost. Temperature and humidity are the abiotic factors that able to influence the growth of conidia. *B. bassiana* spore is less active or even inactive when directly exposed to ultraviolet, therefore spraying conidia in the early morning (< 08.00 a.m) or in the evening (> 15.00 p.m) may avoid the reduction of conidia activity. *B. bassiana* is also safe to non-target insect including beneficial insect and natural enemies. Temperature and humidity are more stabil within estate plantation ecosystem and both will support the fungus epizootic development. Therefore using *B. bassiana* seems to hold great promise in controlling the major insect pests of estate crops.

Key words: *Beauveria bassiana*, status of technology, prospect, insect pest, estate crops.

PENDAHULUAN

Subsektor perkebunan merupakan penghasil komoditas ekspor yang menjadi salah satu sumber devisa penting bagi negara. Adanya gangguan dari organisme pengganggu tanaman (OPT) seringkali menjadi faktor penghalang produktivitas. Gangguan biasanya dimulai sejak tanaman di lapang hingga di penyimpanan. Salah satu OPT yang potensial menurunkan produktivitas adalah serangga hama.

Pengendalian serangga hama dengan insektisida kimia banyak menimbulkan masalah, antara lain: meningkatnya resistensi hama terhadap insektisida kimia, terjadinya ledakan populasi serangga hama sekunder, meningkatnya risiko keracunan pada manusia dan hewan ternak, terkontaminasinya air tanah, menurunnya biodiversitas, dan bahaya-bahaya lain yang berkaitan dengan lingkungan. Timbulnya masalah-masalah tersebut menjadi stimulan yang meningkatkan minat terhadap upaya pengendalian hama secara terpadu (PHT). Pertanian berkelanjutan pada abad 21 akan lebih mengedepankan upaya alternatif pengelolaan serangga hama yang ramah lingkungan dan meminimalkan kontak antara manusia dengan insektisida kimia. Patogen serangga (entomopatogen) yang berpeluang untuk mengisi kebutuhan akan alternatif pengendalian hama masih membutuhkan beberapa perbaikan, termasuk perbaikan potensi, produksi dan

formulasi, pemahaman yang tepat terhadap kemampuannya berintegrasi dengan sistem/ ekosistem, dan kesesuaiannya dengan lingkungan dan komponen PHT lainnya, serta dapat diterima oleh petani atau pengguna. Salah satu entomopatogen yang berpotensi dikembangkan sebagai alternatif pengendalian hama adalah cendawan.

Lebih dari 700 spesies cendawan entomopatogen dilaporkan telah diisolasi dari berbagai spesies serangga hama, tetapi baru 10 spesies di antaranya yang berhasil dikembangkan untuk pengendalian hama (Hajek dan St. Leger, 1994). Kisaran sifat-sifat biologinya yang luas mulai dari sebagai parasit sejati hingga parasit patogen yang dapat hidup secara saprofit tanpa inang serangga menyebabkan beberapa spesies cendawan ini sangat patogenik terhadap serangga hama.

Salah satu cendawan entomopatogen yang sangat potensial dalam pengendalian beberapa spesies serangga hama adalah *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. Cendawan ini dilaporkan sebagai agensi hayati yang sangat efektif mengendalikan sejumlah spesies serangga hama termasuk rayap, kutu putih, dan beberapa jenis kumbang (Gillespie, 1988). Sebagai patogen serangga, *B. bassiana* dapat diisolasi secara alami dari pertanaman maupun dari tanah. Epizootiknya di alam sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim, terutama membutuhkan lingkungan yang lembab dan hangat. Di beberapa negara, cendawan ini telah digunakan sebagai agensi hayati pengendalian sejumlah serangga hama mulai dari tanaman pangan, hias, buah-buahan, sayuran, kacang-kacangan, hortikultura, perkebunan, kehutanan hingga tanaman gurun pasir (Vandenberg, 1996; Cagán dan Švercel, 2001; Kouassi *et al.* 2003; Tafoya *et al.*, 2004; Bextine dan Thorvilson, 2004; Sabbahi, 2006).

Di Indonesia, hasil-hasil penelitian *B. bassiana* juga telah banyak dipublikasikan, terutama dari tanaman pangan untuk mengendalikan serangga hama kedelai (*Riptortus linearis* dan *Spodoptera litura*), walang sangit pada padi (*Leptocoriza acuta*) (Prayogo, 2006), *Plutella xylostella* pada sayur-sayuran (Hardiyanti, 2006), hama bubuk buah kopi *Helopeltis antoni*, dan penggerek buah kakao

Hypothenemus hampei (Sudarmadji dan Prayogo, dalam Prayogo, 2006).

Saat ini produk bioinsektisida berbahan aktif *B. bassiana* telah tersedia secara komersial di Indonesia. Meskipun demikian, tampaknya pemanfaatannya di lapang khususnya untuk tanaman perkebunan belum optimal. Padahal, lingkungan mikro tanaman perkebunan sangat ideal bagi perkembangan epizootik cendawan-cendawan entomopatogen, termasuk *B. bassiana*. Keberlangsungan epizootik cendawan sangat dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban lingkungan, dan kriteria ini dapat ditemukan pada tanaman-tanaman perkebunan yang banyak diusahakan di Indonesia. Disamping itu, pemanfaatan cendawan ini dan patogen serangga secara umum dalam pengendalian hama berpotensi memberi keuntungan ekologis jangka panjang terhadap keseimbangan hayati maupun keberlanjutan sistem pertanian. Saat ini Balai Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat (Balittas) di Malang telah mengkoleksi kurang lebih 12 isolat *B. bassiana*, dua di antaranya sangat efektif menyebabkan kematian pada hama penggerek buah kapas, *Helicoverpa armigera*.

Tinjauan ini menginformasikan status, teknologi, dan prospek pemanfaatan *B. bassiana* untuk pengendalian serangga hama tanaman perkebunan.

CENDAWAN ENTOMOPATOGEN

B. bassiana

Menurut klasifikasinya, *B. bassiana* termasuk klas Hypomycetes, ordo Hypocreales dari famili

Clavicipitaceae (Hughes, 1971). Cendawan entomopatogen penyebab penyakit pada serangga ini pertama kali ditemukan oleh Agostino Bassi di Beaune, Perancis. (Steinhaus, 1975) yang kemudian mengujinya pada ulat sutera (*Bombyx mori*). Penelitian tersebut bukan saja sebagai penemuan penyakit pertama pada serangga, tetapi juga yang pertama untuk binatang. Sebagai penghormatan kepada Agostino Bassi, cendawan ini kemudian diberi nama *Beauveria bassiana*.

Cendawan *B. bassiana* juga dikenal sebagai penyakit *white muscardine* karena miselia dan konidia (spora) yang dihasilkan berwarna putih (Gambar 1), bentuknya oval, dan tumbuh secara zig zag pada konidiopornya. Cendawan ini memiliki kisaran inang serangga yang sangat luas, meliputi ordo Lepidoptera, Coleoptera, dan Hemiptera. Selain itu, infeksiya juga sering ditemukan pada serangga-serangga Diptera maupun Hymenoptera (McCoy *et al.*, 1988). Serangga inang utama *B. bassiana* yang dilaporkan oleh Plate (1976) antara lain: kutu pengisap (aphid), kutu putih (*whitefly*), belalang, hama pengisap, lalat, kumbang, ulat, thrips, tungau, dan beberapa spesies uret. Sedangkan habitat tanamannya mulai tanaman kedelai, sayur-sayuran, kapas, jeruk, buah-buahan, tanaman hias, hingga tanaman-tanaman hutan. Mekanisme infeksi dimulai dari melekatnya konidia pada kutikula serangga, kemudian berkecambah dan tumbuh di dalam tubuh inangnya. Hunt *et al.* (1984) menyatakan bahwa perkecambahan konidia cendawan baik pada integumen serangga maupun pada media buatan



Gambar 1. Konidia putih pada berbagai stadium larva *Helicoverpa armigera* (kiri) dan miselia putih pada larva *H. armigera* (kanan)

Tabel 1. Strain isolat *B. bassiana* dan serangga asalnya

Isolat	Serangga asal	Tanaman inang
1. BbEd2	Imago Alydidae	Padi
2. BbEd3	Imago Cerambycidae	-
3. BbEd5	Imago Scolytidae	-
4. BbEd6	Imago Scolytidae	-
5. BbEd7	Imago Tingidae	Lada
6. BbEd8	Imago Coreidae	Lada
7. BbEd9	Imago Curculionidae	Lada
8. BbEd10	Imago Thrips	-
9. Bb4a	Imago Scolytidae	Kopi
10. Bb3a	Imago Scolytidae	-
11. Fb4*	Imago <i>Leptocoriza oratorinus</i>	Padi
12. Bb1*	Imago <i>Nilaparvata lugens</i>	Padi

Sumber: Deciyanto *et al.* (2007); * Asal Philippines; -- = tidak ada data

umumnya membutuhkan nutrisi tertentu, seperti glukosa, glukosamin, khitin, tepung, dan nitrogen, terutama untuk pertumbuhan hifa (Thomas *et al.*, 1987). Beberapa strain isolat *B. bassiana* yang dikoleksi saat ini (Tabel 1) adalah berasal dari berbagai spesies serangga hama yang merupakan inang spesifiknya. Semua isolat telah diuji di laboratorium pada ulat *H. armigera* dan ternyata dua diantaranya menunjukkan virulensi tinggi.

B. bassiana memproduksi toksin yang disebut beauvericin (Kučera dan Samšínáková, 1968). Antibiotik ini dapat menyebabkan gangguan pada fungsi hemolimfa dan nukleus serangga, sehingga mengakibatkan pembengkakan yang disertai pengerasan pada serangga yang terinfeksi. Selain secara kontak, *B. bassiana* juga dapat menginfeksi serangga melalui inokulasi atau kontaminasi pakan. Broome *et al.* (1976) menyatakan bahwa 37% dari konidia *B. bassiana* yang dicampurkan ke dalam pakan semut api, *Solenopsis richteri*, berkecambah di dalam saluran pencernaan inangnya dalam waktu 72 jam, sedangkan hifanya mampu menembus dinding usus antara 60-72 jam. Di dalam tubuh inangnya cendawan ini dengan cepat memperbanyak diri hingga seluruh jaringan serangga terinfeksi. Serangga yang telah terinfeksi *B. bassiana* biasanya akan berhenti makan, sehingga menjadi lemah, dan kematiannya bisa lebih cepat. Serangga yang mati tidak selalu disertai gejala pertumbuhan spora. Contohnya, aphid yang terinfeksi *B. bassiana* hanya mengalami pembengkakan tanpa terjadi perubahan warna.

Demikian pula tempayak lalat yang terinfeksi *B. bassiana* sering ditemukan secara berkelompok pada ujung-ujung rerumpunan (Plate, 1976).

Kematian serangga biasanya disebabkan oleh kerusakan jaringan secara menyeluruh, dan atau karena toksin yang diproduksi oleh cendawan. Menurut Cheung dan Gula (1982), penyakit white muscardine yang menyerang saluran pencernaan *Heliothis zea* mengakibatkan gangguan nutrisi hingga kematian. Serangga yang terbunuh tubuhnya akan berwarna putih karena ditumbuhi konidia *B. bassiana*. Jumlah konidia yang dapat dihasilkan oleh satu serangga ditentukan oleh besar kecilnya ukuran serangga tersebut. Setiap serangga terinfeksi *B. bassiana* akan efektif menjadi sumber infeksi bagi serangga sehat di sekitarnya.

Seperti cendawan lain, pertumbuhan *B. bassiana* juga sangat ditentukan oleh kelembapan lingkungan. Namun demikian, cendawan ini juga memiliki fase resisten yang dapat mempertahankan kemampuannya menginfeksi inang pada kondisi kering. Keberadaan epizootiknya di alam menyebabkan *B. bassiana* secara cepat menginfeksi populasi serangga hingga menyebabkan kematian. Selain itu, kemampuan penetrasinya yang tinggi pada tubuh serangga menyebabkan cendawan ini juga dengan mudah menginfeksi serangga hama pengisap, seperti aphid (*Aphis* sp.) dan kutu putih *Bemisia* spp. yang tidak mudah terinfeksi oleh bakteri maupun virus.

Faktor lingkungan, terutama kelembapan dan temperatur serta sedikit cahaya sangat

penting perannya dalam proses infeksi dan sporulasi cendawan entomopatogen (Roberts dan Campbell, 1977; McCoy *et al.*, 1988). Temperatur optimum untuk perkembangan, patogenisitas, dan kelulusan hidup cendawan umumnya antara 20-30°C (McCoy *et al.*, 1988). Untuk perkecambahan konidia dan sporulasi pada permukaan tubuh serangga dibutuhkan kelembaban sangat tinggi (> 90% RH), terutama kelembaban di lingkungan mikro sekitar konidia sangat penting perannya dalam proses perkecambahan dan produksi konidia (Millstein *et al.*, 1983; Nordin *et al.*, 1983). Tetapi sebaliknya untuk melepaskan konidia *B. bassiana* dari konidifor hanya dibutuhkan kelembaban sekitar 50% (Gottwald dan Tedders, 1982).

Meskipun pengaruh cahaya terhadap infeksi cendawan belum diketahui secara jelas, tetapi intensitas sinar ultraviolet tertentu dapat merusak konidia cendawan (Callaghan, 1969). Fuxa (1987) menyatakan bahwa intensitas cahaya matahari dengan rata-rata panjang gelombang antara 290-400 nm cukup efektif menurunkan persistensi deposit konidia pada pertanaman. Sementara Ignoffo *et al.* (1977) mengemukakan bahwa waktu paruh (*half-life*) sebagian besar spora cendawan yang terekspos cahaya buatan dengan panjang gelombang mendekati panjang gelombang sinar matahari (290-400 nm) hanya sekitar 1-4 jam, tetapi kenyataannya di lapang waktu paruh dapat mencapai lebih dari 4 jam.

STATUS TEKNOLOGI

Efektivitas

Umumnya cendawan entomopatogen membutuhkan lingkungan yang lembab untuk dapat menginfeksi serangga, oleh karena itu epizootiknya di alam biasanya terbentuk pada saat kondisi lingkungan lembab atau basah. Keefektifan *B. bassiana* menginfeksi serangga hama tergantung pada spesies atau strain cendawan, dan kepekaan stadia serangga pada tingkat kelembaban lingkungan, struktur tanah (untuk serangga dalam tanah), dan temperatur yang tepat. Selain itu, harus terjadi kontak antara spora *B. bassiana* yang diterbangkan angin atau terbawa air dengan serangga inang agar terjadi

infeksi. Plate (1976) juga menyatakan bahwa epizootik cendawan yang terbentuk secara alami efektif mengendalikan populasi aphid, tempayak lalat yang menyerang perakaran tanaman, belalang, dan thrip, disamping juga potensial sebagai faktor mortalitas utama aphid yang menyerang kentang dan tanaman inang lainnya.

Konidia merupakan unit *B. bassiana* yang paling infeksiif dan stabil untuk aplikasi di lapang dibandingkan dengan hifa maupun blastosporanya (Soper dan Ward, 1981; Feng *et al.*, 1994). Konidia yang diaplikasikan dapat berupa suspensi (tidak diformulasi), formulasi butiran, dan bentuk pellet, dan ketiganya memperlihatkan hasil pengendalian yang cukup nyata. Stimac *et al.* (1993) menyatakan bahwa aplikasi konidia *B. bassiana* dengan cara sprinkle dan disemprotkan pada permukaan tanah sangat efektif menyebabkan mortalitas hama sasaran. Mortalitas hama semut api, *Solenopsis invicta*, yang dikendalikan dengan *B. bassiana* tertinggi mulai 3-8 hari setelah perlakuan. Sedangkan enkapsulasi (pellet) konidia *B. bassiana* dengan menggunakan kalsium alginat juga efektif meningkatkan mortalitas *S. invicta* (White, 1995), karena enkapsulasi menyebabkan konidia lebih stabil di dalam tanah.

Banyak hasil-hasil penelitian membuktikan bahwa sinar ultraviolet merupakan faktor abiotik yang paling menghambat aktivitas konidia di lapang, karena mempersingkat persistensinya pada permukaan daun (Daoust dan Pereira, 1986; Ignoffo, 1992; Leland dan Behle, 2004). Tipe-tipe kanopi tanaman juga berpengaruh terhadap deposit konidia pada daun karena berkaitan dengan paparan sinar ultraviolet. Tanaman dengan tipe kanopi rimbun lebih menaungi konidia dibanding dengan yang bertipe terbuka. Inglis *et al.* (1993) melaporkan bahwa inaktivasi konidia relatif lebih lambat pada daun-daun bagian bawah tanaman karena konidia tidak terkena cahaya matahari secara langsung. Untuk mempertahankan efektivitas *B. bassiana* dan untuk meningkatkan hasil pengendalian di lapang menurut Prayogo (2006) adalah dengan melakukan aplikasi pada sore hari dan mempertinggi frekuensi aplikasi. Temperatur dan kelembapan tidak mempengaruhi infeksiifitas *B. bassiana* (Wright *et al.*, 2000), tetapi

curah hujan sangat potensial mengurangi jumlah konidia dari permukaan daun akibat hanyut terbawa air hujan (Ferron *et al.*, 1991).

Kontak antara konidia dan inang serangga di lapang biasanya terjadi secara intensif melalui deposit konidia pada permukaan daun dibanding dengan cara aplikasi langsung pada integumen. Dalam mekanisme infeksi, cendawan memiliki beberapa kelebihan dibanding patogen lain, seperti virus atau bakteri, yaitu kemampuannya menginfeksi selain melalui kutikula (Tanada dan Kaya, 1993) juga melalui lobang-lobang sistem pernafasan (Clark *et al.*, 1968), saluran pencernaan (Miranpuri dan Khachatourians, 1991), dan lobang mulut (Siebeneicher *et al.*, 1992). Namun demikian, prospek cendawan *B. bassiana* sebagai kandidat agensi hayati sangat ditentukan oleh kemampuan menyeleksi isolat-isolat yang memiliki tingkat adaptasi tinggi terhadap karakter morfologi tanaman dan gangguan faktor-faktor abiotik.

Keamanan Hayati

Beberapa senyawa metabolit sekunder diproduksi oleh *B. bassiana*, seperti beauvericin, bassianin, bassiacridin, bassianolide, beauverolides, tenellin, dan oosporein (Strasser *et al.*, 2000; Vey *et al.*, 2001; Quesada-Moraga dan Vey, 2004). Senyawa metabolit sekunder ini dapat dihasilkan oleh *B. bassiana* pada epizootik di alam (tanah) maupun pada epizootik buatan (di laboratorium). Meskipun demikian, hingga saat ini belum ada laporan tentang tercemarnya rantai makanan oleh senyawa metabolit sekunder, atau terakumulasi di alam sebagai limbah epizootik *B. bassiana* (Vey *et al.*, 2001). Penggunaan *B. bassiana* dalam pengendalian hama telah diuji secara luas di berbagai negara. Hasil uji toksikologi terhadap salah satu produk *B. bassiana*, *Botanigard*, menunjukkan bahwa produk tersebut tidak menimbulkan dampak negatif yang berhubungan dengan patogenisitas dan toksisitasnya, sehingga produk tersebut digunakan secara aman selama lebih dari 10 tahun di Amerika Serikat dan juga di beberapa negara lain (US EPA, 2006).

Cendawan *B. bassiana* memiliki kisaran inang sangat luas, sehingga kurang selektif terhadap

inang sasaran. Hal ini memungkinkan *B. bassiana* dapat menginfeksi serangga bukan sasaran atau serangga berguna. Namun, Plate (1976) mengungkapkan bahwa tingkat kepekaan serangga bukan sasaran terhadap infeksi *B. bassiana* sangat ditentukan oleh virulensi dan patogenisitas cendawan, serta spesies serangga inang. Selain itu, perbedaan fisiologis dan ekologis inang juga mempengaruhi infeksi *B. bassiana*. Misalnya, serangga bukan sasaran yang mudah terinfeksi *B. bassiana* di laboratorium tidak akan serta merta terinfeksi pada kondisi lapang. Ludwig dan Oetting (2001) menegaskan bahwa beberapa serangga musuh alami yang peka terhadap infeksi *B. bassiana* di laboratorium ternyata mengalami infeksi sangat rendah pada uji di rumah kaca. Disamping itu, hasil uji ekotoksikologi terhadap produk *Botanigard* menunjukkan bahwa risiko secara ekologis yang diperlihatkan oleh serangga bukan sasaran yang diperlakukan dengan formulasi *B. bassiana* sangat rendah (US EPA, 2006).

Dihubungkan dengan keamanan secara hayati, cendawan entomopatogen dikelompokkan menjadi cendawan dengan kisaran inang spesifik dan yang kisaran inangnya luas (MacLeod, 1963). Cendawan yang memiliki kisaran inang spesifik umumnya menjadi parasit sejati (*obligat*) dan bersifat sangat virulen terhadap inang. Sebaliknya yang kisaran inangnya luas sebagian besar merupakan patogen fakultatif, bersifat saprofit, dan cenderung kurang patogenik (Goettel *et al.*, 1990), dan biasanya virulensinya tinggi hanya pada spesies inang dari mana cendawan tersebut pertama kali diisolasi. Contoh, *B. bassiana* yang diisolasi dari ulat *H. armigera* akan lebih patogenik pada inangnya tersebut dibanding dengan inang-inangnya yang lain. Selain itu, cendawan yang kisaran inangnya lebih luas justru menjadi lebih spesifik menginfeksi inang jika di lapang. Hal ini dapat terjadi kemungkinan karena dipengaruhi oleh interaksi antara faktor abiotik dan biotik di lapang, sehingga serangga yang mudah terinfeksi di laboratorium belum tentu mudah juga terinfeksi di lapang. Oleh karena itu, kemungkinan terinfeksi serangga bukan sasaran oleh *B. bassiana* di lapang sangat kecil. Dengan demikian, aplikasi *B. bassiana* di

lapang cenderung aman bagi musuh alami atau serangga berguna lainnya.

Infeksi *B. bassiana* pada manusia sangat jarang terjadi. Meskipun demikian, dilaporkan ada dua kasus infeksi *B. bassiana* yang menyebabkan mikosis pada manusia (Henke *et al.*, 2002; Tucker *et al.*, 2004). Namun infeksi tersebut terjadi pada kondisi kesehatan manusia yang sangat buruk akibat penyakit leukimia akut. Namun selama lebih dari 100 tahun penggunaannya dalam pengendalian secara biologi, belum pernah dilaporkan adanya strain *B. bassiana* yang menyebabkan penyakit serius pada manusia (Ishibashi *et al.*, 1987; Begley dan Waggoner, 1992). *B. bassiana* bukan termasuk parasit pada manusia maupun invertebrata, tetapi terjadinya kontak terbuka secara terus menerus dengan manusia dapat menimbulkan masalah alergi kulit, terutama pada manusia yang memiliki kasus tersebut (Cakrawala, 2004).

Pengujian *Botanigard* terhadap mamalia, burung, dan ikan juga tidak menunjukkan pengaruh negatif terhadap perkembangan hewan-hewan tersebut (US EPA, 2006). Demikian pula pengujian terhadap sejumlah reptil maupun vertebrata yang membuktikan bahwa *B. bassiana* tidak menginfeksi keduanya (Georg *et al.*, 1962; Fromtling *et al.*, 1979; Gonzalez *et al.*, 1995).

Teknologi perbanyakan

Sebagian besar cendawan entomopatogen memiliki siklus biologi dua fase, yaitu fase vegetatif dan generatif dengan menggunakan miselium sebagai unit pertumbuhan. Tipe spora atau konidianya terdiri atas tipe aseksual (*anamorpha*) dan tipe seksual (*teleomorpha*) yang keduanya berperan penting dalam siklus hidupnya, terutama pada saat kondisi lingkungan kurang mendukung maupun saat keterbatasan inang yang sesuai. Oleh karena fungsi utamanya adalah menginfeksi inang, maka konidia merupakan propagul cendawan yang paling memungkinkan untuk diproduksi. Konidia cendawan Deuteromycetes umumnya sudah dapat diperbanyak pada media padat atau media cair melalui proses fermentasi. Tetapi, perbanyakan *B. bassiana* sebagian besar dilakukan

pada media padat, seperti beras, gandum, atau jagung (Nelson dan Glare, 1996; Junianto dan Sulistyowati, 2002).

Langkah awal pengembangan suatu mycopestisida atau pestisida berbahan aktif cendawan entomopatogen adalah mengkoleksi isolat kemudian menguji potensinya untuk mendapatkan isolat yang paling virulen terhadap hama sasaran. Pada tahap awal pengembangan, dibutuhkan inokulum cendawan dalam jumlah yang cukup untuk pengujian di laboratorium dan lapang. Untuk kebutuhan bioesai, perbanyakan isolat *B. bassiana* cukup dilakukan pada media agar di dalam tabung reaksi (slant). Sedangkan perbanyakan secara massal untuk komersial dapat dilakukan apabila telah terseleksi isolat-isolat yang paling virulen terhadap hama sasaran.

Perbanyakan *B. bassiana* dalam skala kecil dan untuk masa penyimpanan berdurasi singkat (< 1 tahun) cukup dilakukan dengan menggunakan media Sabouroud Dextrose Agar (SDA). Media ini dapat menjaga viabilitas konidia *B. bassiana* hingga 6 minggu sebelum digunakan sebagai sumber inokulum dalam perbanyakan massal. Untuk mempertahankan virulensi, pemurnian pada media buatan sebaiknya cukup dilakukan empat kali (Wright *et al.*, 2001), selanjutnya dilakukan pemurnian dengan serangga inang (*insect passage*) (Brownbridge *et al.*, 2001).

Perbedaan genus atau bahkan spesies cendawan menyebabkan perbedaan kebutuhan nutrisi, pH, kandungan air dalam media, temperatur optimal untuk pertumbuhan, pembentukan konidia, cahaya, aerasi, dan periode inkubasi (Johnpulle, 1938; Barlett dan Jaronski, 1988; Latgé dan Moletta, 1988; Kleespies dan Zimmermann, 1992). Semua parameter tersebut harus dipertimbangkan dan dioptimalkan dalam perbanyakan *B. bassiana*, karena target tidak hanya pada efisiensi produksi, tetapi juga konidia yang dihasilkan harus berkualitas tinggi (Lewis dan Papavizas, 1983; Harman *et al.*, 1991; Vimala Devi, 1994).

Cukup banyak tersedia bahan untuk media alami perbanyakan *B. bassiana*, antara lain: beras, gandum, kedelai, jagung, padi-padian, sorghum, kentang, roti, dan kacang-kacangan. Bahan mana

yang akan digunakan tergantung pada beberapa faktor, termasuk kemudahan memperoleh bahan tersebut, biaya, dan strain isolat yang akan diperbanyak. Dalam perbanyakan *B. bassiana* dengan bahan-bahan alami, untuk menghasilkan konidia dalam jumlah maksimal diperlukan media dengan partikel yang permukaannya lebih luas. Bahan media yang cenderung menggumpal akan memiliki luas permukaan yang sempit, sehingga produksi konidia juga sedikit. Media yang ideal adalah media yang tidak hanya mempunyai partikel dengan permukaan luas, tetapi juga yang dapat mempertahankan keutuhan partikel selama proses produksi (Maheva *et al.*, 1984; Bradley *et al.*, 1992).

Tiga jenis bahan media alami yang telah dicoba dalam perbanyakan *B. bassiana* skala besar di New Zealand adalah beras, gandum, dan barley. Hasilnya, beras merupakan media paling sesuai bagi perkembangan *B. bassiana* dengan produktivitas konidia tertinggi mencapai $4,38 \times 10^9$ konidia/g beras (Nelson dan Glare, 1996). Penggunaan berbagai jenis sereal, selain beras, sebagai media perbanyakan *B. bassiana* perlu dipertimbangkan mengingat kandungan nutrisinya yang sangat bervariasi (Jenkins *et al.*, 1998). Perbedaan kandungan nutrisi ini sangat mempengaruhi produksi konidia, terutama per kelompok produksi (*batch*). Oleh karena itu, pemilihan bahan media perbanyakan harus dilakukan secara tepat, terutama memilih bahan yang memiliki kemampuan produksi konidia secara konsisten dalam kelompok-kelompok produksi. Hasil penelitian lain juga membuktikan bahwa beras putih merupakan bahan media perbanyakan *B. bassiana* yang tepat karena produksi konidia yang tinggi (Alves dan Pereira, 1989; Mendonca, 1992; Ibrahim dan Low, 1993; Milner *et al.*, 1993). Hal tersebut menunjukkan bahwa kombinasi faktor-faktor produkai sangat kompatibel, termasuk keseimbangan nutrisi dalam bahan media, biaya produksi, kemudahan memperoleh bahan, karakter fisik bahan, seperti ukuran, bentuk, dan keutuhan bahan baik sebelum maupun setelah pengkolonisasi konidia.

Dalam perbanyakan, temperatur inkubasi dan cahaya sangat menentukan produktivitas konidia. Temperatur optimal setiap cendawan

bervariasi tidak saja antar spesies, tetapi juga antar isolat (Thomas dan Jenkins, 1997; Alasoadura, 1963). Temperatur optimal untuk perkecambahan konidia adalah 25-30°C, dengan temperatur minimum 10°C dan maksimum 32°C. Sedangkan pH optimal untuk pertumbuhan adalah 5,7-5,9, tapi idealnya pH 7-8 (Goral dan Lappa, 1972). Beberapa cendawan membutuhkan cahaya untuk proses sporulasi, sedangkan cendawan lainnya tidak terpengaruh oleh cahaya. Tetapi ada pula cendawan yang sporulasinya terhambat pada tingkat intensitas cahaya tertentu (Vouk dan Klas, 1931). Penelitian terdahulu membuktikan bahwa *B. bassiana* yang diproduksi di lingkungan tanpa cahaya (gelap) konidianya cenderung berukuran lebih besar dan lebih virulen dibanding yang diproduksi pada tempat terang (Humphreys *et al.*, 1989; Williams, 1959). Hal ini penting sebagai bahan pertimbangan dalam memilih kemasan yang sesuai apabila biakan cendawan harus dibawa ke luar areal perbanyakan. Selain itu yang lebih penting dalam perbanyakan *B. bassiana* untuk skala komersial adalah kesesuaian produk dengan teknik formulasi dan aplikasinya.

Umumnya produk *B. bassiana* diformulasi dalam bentuk bubuk (*powder*) dan merupakan formulasi paling efektif memicu kontak dengan hama sasaran (Stimac *et al.*, 1993). Formulasi *B. bassiana* berupa pellet hasil enkapsulasi miselium selain efektif untuk meningkatkan mortalitas hama juga untuk mengurangi kompetisi dengan mikroba lain, sehingga meningkatkan daya hidup *B. bassiana* (White, 1995). Beberapa bahan pembawa (*carrier*) telah diteliti untuk kesesuaian formulasi *B. bassiana*, antara lain tepung tapioka, tepung beras, dan tepung maizena yang dikombinasikan dengan temperatur penyimpanan yang ideal (Sri-Sukanto dan Yuliantoro, 2006). Tepung tapioka pada temperatur penyimpanan 5°C efektif mempertahankan viabilitas konidia *B. bassiana* hingga sekurang-kurangnya 2 bulan masa penyimpanan.

PENGEMBANGAN PEMANFAATAN *B. bassiana*

Cendawan *B. bassiana* telah dimanfaatkan secara luas di seluruh dunia untuk

mengendalikan berbagai spesies serangga hama. Meskipun pada awalnya dimanfaatkan untuk pengendalian serangga hama dalam tanah, tetapi patogenisitasnya juga cukup tinggi pada serangga hama permukaan tanaman. Perkembangan pemanfaatannya semakin luas pada berbagai komoditas dan ekosistem, mulai dari tanaman hias, pangan, hortikultura, perkebunan, hingga tanaman gurun pasir. Demikian pula serangga hama sasaran meliputi lebih dari 100 spesies dari beberapa ordo termasuk Coleoptera, Diptera, Homoptera, Hymenoptera, dan Lepidoptera.

Di Cina penggunaan *B. bassiana* telah dirintis sejak tahun 1960 untuk mengendalikan berbagai serangga hama (Feng *et al.*, 1994), sedangkan di Rusia digunakan untuk mengendalikan kumbang Colorado pada kentang (Ferron *et al.*, 1991). Di Amerika Utara *B. bassiana* sangat efektif mengendalikan hama penggerek batang jagung, *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Feng *et al.*, 1985), terutama setelah Wagner dan Lewis (2000) melakukan penyuntikan konidia pada batang jagung yang menginduksi terjadinya pengkolonisasian *B. bassiana* pada semua bagian tanaman jagung, sehingga cendawan ini persisten dan efektif mengendalikan larva *O. nubilalis* instar 1 hingga mencapai 100% sepanjang musim tanam. Hingga 4 minggu setelah perlakuan, *B. bassiana* masih efektif menyebabkan kematian 100% pada kumbang akar *Sitona lepidus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae) yang merusak tanaman pakan ternak (*lucerne*) di New Zealand (Willoughby *et al.*, 1998).

Di Kanada, Todorova *et al.* (2003) membuktikan bahwa isolat-isolat *B. bassiana* sangat efektif membunuh hama penggulung daun *Choristoneura rosaceana* Harris (Lepidoptera: Tortricidae). Kematian pada larva dan pupa mencapai lebih dari 85% pada dosis 10^7 konidia/ml hingga 60 hari setelah perlakuan. Selain itu, pengaruh perlakuan juga menyebabkan gangguan pertumbuhan pada larva, dan menurunkan persentase terjadinya imago jantan. Di Columbia, pemanfaatan *B. bassiana* dalam pengendalian kepik *Rhodnius pallescens* yang merupakan vektor suatu penyakit pada manusia cukup berhasil, dengan

menyebabkan kematian pada semua instar nimfa dan imagonya (Gutierrez *et al.*, 2003).

Serangan hama semut api merah, *Solenopsis invicta* Buren, pada beberapa komoditas penting di Amerika Serikat, seperti: okra, jagung, kedelai, kentang, dan kacang-kacangan cukup menimbulkan kerugian secara ekonomis (Adams, 1986). Terbatasnya musuh alami menyebabkan populasinya semakin tinggi dan kerusakan tanaman semakin meningkat. Menurunnya serangan terjadi setelah hama ini dikendalikan dengan *B. bassiana* yang konidianya diselimuti (*coated*) dengan minyak kacang sebagai atraktan. Aplikasi *B. bassiana* sebelumnya berupa butiran (*pellet*) tanpa minyak kacang kurang efektif menurunkan populasi hama ini karena semut terlebih dahulu memindahkan pellet sebelum terjadi infeksi oleh konidia (Bextine *et al.*, 2002). Spesies semut api lain, yaitu semut api hitam, *Solenopsis richteri* Forel juga diketahui peka terhadap infeksi *B. bassiana* karena dapat mengakibatkan kematian larva maupun imago hingga 90% (Broome, 1974).

B. bassiana juga digunakan dalam pengendalian hama kutu (*Russian Wheat Aphid*), *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) pada tanaman gandum. Hama ini sangat potensial menyebabkan kehilangan hasil gandum hingga lebih dari 20% pada tahun 1993 (Anonimus, 1994). Feng dan Johnson (1990) melaporkan bahwa *D. Noxia* sangat peka terhadap infeksi *B. bassiana*, sehingga pengendaliannya secara intensif meningkatkan kembali produktivitas gandum. Pengembangan *B. bassiana* di Brasil juga cukup intensif, terutama dimanfaatkan untuk pengendalian ulat pemakan daun kapas, *Alabama argillacea* (Filho *et al.*, 2002). Menurut Vilas Boas *et al.* (1983), dalam Filho *et al.* (2002), infeksi *B. bassiana* dapat membunuh 60% larva *Castnia licus* (Drury). Selain itu, Alves (1998) dalam Filho *et al.* (2002) menyatakan bahwa *Cydia pomonella* (L.), *O. nubilalis* (Huebner), *Diatraea saccharalis* (F.), dan *Plutella xylostella* juga sangat peka terhadap *B. bassiana*. Serangan hama kumbang *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) pada tanaman kaktus juga dapat dikendalikan dengan *B. bassiana* dan efektif membunuh hama sasaran 82% (Tafoya *et al.*, 2004).

Di Indonesia, perkembangan penggunaan *B. bassiana* dalam pengendalian hama juga cukup pesat. Penelitian uji potensi dan efektivitas baik di laboratorium maupun lapang juga telah dilakukan, termasuk informasi yang telah dipublikasikan juga banyak tersedia. Efektivitas *B. bassiana* telah diuji terhadap hama kelapa *Brontispa longissima* (Hosang, 1995). Populasi hama bubuk buah kopi, *Hypothenemus hampei*, dan penggerek buah kakao, *Helopeltis* spp. sangat efektif dikendalikan hanya dengan tiga kali aplikasi 2,5 kg biakan padat *B. bassiana* dapat menekan serangan hingga 87% dan menurunkan populasi 76% (Wiryodiputra dan Atmawinata, 1996). Potensi *B. bassiana* dalam pengendalian dua spesies rayap, *Nasutitermes* dan *Coptotermes curvignathus* yang menyerang tanaman murbei di Sulawesi Selatan juga cukup tinggi. Kematian hama ini mencapai 100% pada dosis $1,4 \times 10^5$ konidia/ml (Saranga, 1997).

Pada kapas, hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa terdapat dua isolat *B. bassiana* yang cukup efektif menyebabkan mortalitas pada ulat penggerek buah *Helicoverpa armigera*, yaitu isolat Bb4a dan BbEd10 yang masing-masing diisolasi dari imago Scolytidae pada kopi dan imago sejenis thrips dan diperbanyak pada *H. armigera* (Deciyanto *et al.*, 2007). LC_{50} dan LC_{90} Bb4a pada 16 hari setelah perlakuan lebih rendah ($5,22 \times 10^6$ dan $6,10 \times 10^9$ konidia/ml) dibanding LC_{50} dan LC_{90} isolat BbEd10 ($3,93 \times 10^7$ (Tabel 1). Demikian pula waktu yang dibutuhkan untuk membunuh ulat (*lethal time*) pada Bb4a dan BbEd10 rata-rata lebih singkat dengan persentase mortalitas lebih tinggi dibanding isolat lain (Tabel 2). Pada dosis

konidia tertinggi 1×10^9 per ml LT_{50} dan LT_{90} isolat Bb4a mencapai 9,62-19,69 hari, isolat BbEd10 8,96-22,27 hari, sedangkan isolat Fb4 mencapai 19,02-48,62 hari. Persentase mortalitas *H. armigera* pada Bb4a dan BbEd10 mencapai 80-87,5% pada dosis tertinggi dan 45% pada isolat Fb4.

Selain itu, *B. bassiana* juga efektif mengendalikan hama penggerek batang lada, *Lophobaris piperis* Mars. Suprpto dan Suroso (1999) menyatakan bahwa infeksi *B. bassiana* menurunkan fekunditas dan kelulusan hidup *L. piperis*. Widayat dan Rayati (1993a) melaporkan bahwa penyemprotan 1,2-4 kali konidia *B. bassiana* efektif menurunkan serangan ulat jengkal *Ectropis bhurmitra* yang banyak menyerang perkebunan teh. Hasil penelitian yang lain menunjukkan bahwa aplikasi *B. bassiana* melalui media jagung dapat membunuh 70-100% ulat jengkal *E. bhurmitra* (Widayat dan Rayati, 1993b). *B. bassiana* juga dimanfaatkan untuk mengendalikan serangan ulat pemakan tajuk tanaman kelapa sawit, *Darna catenata* di Sulawesi Selatan dengan mortalitas ulat rata-rata 46-93% (Saranga dan Daud, 1993).

PROSPEK PENGEMBANGAN DAN TANTANGAN

Perkembangan penelitian pengendalian hama dengan *B. bassiana* di Indonesia cukup pesat, terutama pada tahun 1990-2000 yang lalu. Berbagai hasil uji potensi baik di laboratorium maupun lapang terhadap berbagai spesies serangga hama telah banyak dipublikasikan. Namun demikian, hingga kini implementasinya

Tabel 2. Konsentrasi lethal beberapa isolat *B. bassiana* pada ulat penggerek buah kapas *H. armigera*

Isolat	HSP	LC_{50}	LC_{90}
Bb4a	16	$5,22 \times 10^6$	$6,10 \times 10^9$
	12	$3,08 \times 10^8$	$3,13 \times 10^{12}$
	8	$3,94 \times 10^9$	$4,35 \times 10^{12}$
BbEd10	16	$3,93 \times 10^7$	$1,59 \times 10^{10}$
	12	$2,09 \times 10^8$	$6,80 \times 10^{10}$
	8	$3,19 \times 10^9$	$2,83 \times 10^{11}$
Fb4	16	$3,26 \times 10^9$	$1,01 \times 10^{13}$
	12	$5,43 \times 10^0$	$5,34 \times 10^{13}$
	8	-	-

Sumber: Deciyanto *et al.* (2007)

Tabel 3. *Lethal-time (LT) B. bassiana* pada ulat penggerek buah kapas *H. armigera*

Isolat	Dosis (konidia/ml)	LT ₅₀ (hari)	LT ₉₀ (hari)	Mortalitas ulat (%)
Bb4a	1x10 ⁹	9,62 ab	19,69	87,5 a
	1x10 ⁸	12,23 abc	25,92	72,5 c
	1x10 ⁷	16,74 cde	47,13	50,0 d
	1x10 ⁶	19,24 ef	49,46	40,0 de
	1x10 ⁵	23,28 efgh	51,71	30,0 f
	1x10 ⁴	34,94 j	105,14	20,0 g
BbEd10	1x10 ⁹	8,96 a	22,27	80,0 b
	1x10 ⁸	13,59 bcd	24,86	62,5 bc
	1x10 ⁷	20,47 efg	38,54	35,0 ef
	1x10 ⁶	24,02 gh	48,18	25,0 f
	1x10 ⁵	-	-	20,0 gh
	1x10 ⁴	-	-	12,5 i
Fb4	1x10 ⁹	19,02 def	48,62	45,0 d
	1x10 ⁸	24,99 h	57,24	30,0 f
	1x10 ⁷	27,31 hi	64,26	25,0 f
	1x10 ⁶	30,01 i	57,63	12,5 hi
	1x10 ⁵	-	-	10,0 i
	1x10 ⁴	-	-	7,5 k
Kontrol	-	-	-	5,0 k

Sumber: Deciyanto *et al.* (2007)

di lapang belum sebanyak publikasinya, padahal target serangga hama yang perlu dikendalikan cukup banyak, terutama serangga hama tanaman perkebunan. Disamping itu, kondisi iklim di Indonesia, khususnya di berbagai areal perkebunan dengan curah hujan yang cukup per tahunnya sebenarnya sangat potensial mendukung inisiasi dan perkembangan epizootik cendawan entomopatogen, khususnya *B. bassiana*. Hal tersebut berkaitan dengan tingkat kelembapan tinggi dan temperatur rendah yang cenderung konsisten sepanjang tahun merupakan lingkungan ideal bagi cendawan entomopatogen.

Dukungan ekosistem dan faktor abiotik (kelembapan dan temperatur) yang ideal merupakan modal awal upaya pengembangan *B. bassiana*. Selain itu, *B. bassiana* sangat sesuai dikembangkan untuk daerah-daerah perkebunan dibanding dengan di daerah-daerah dengan sistem rotasi tanaman yang intensif. Disamping faktor lingkungan, pengetahuan yang berkaitan dengan *B. bassiana* sebagai agen hayati, termasuk faktor-faktor teknis seperti: mekanisme infeksi, kemampuan membunuh, durasi mematikan hama sasaran, dan teknik produksi dan penyimpanan juga perlu dipahami. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Prayogo (2006), bahwa kendala pemanfaatan *B. bassiana* sebagai faktor mortalitas hama secara hayati antara lain:

kurangnya pengetahuan petani tentang hama yang akan dikendalikan dan manfaat pengendalian, rendahnya pemahaman terhadap produk-produk hayati, dan kurang intensifnya sosialisasi produk kepada petani. Oleh karena itu, beberapa upaya yang perlu dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan *B. bassiana* dalam pengendalian serangga hama antara lain: (1) mendapatkan strain yang tepat, (2) meningkatkan virulensi dan kecepatan membunuh, (3) mempertinggi kesesuaiannya dengan kondisi lingkungan, (4) meningkatkan efisiensi produksi, (5) menyempurnakan formulasi agar mudah diaplikasikan, (6) meningkatkan persistensi dan masa infektifnya, (7) memahami secara benar interaksinya dengan lingkungan dan komponen PHT yang lain, (8) mempertimbangkan manfaat yang ditawarkan, khususnya yang berkaitan dengan issue lingkungan, dan (9) dapat diterima oleh petani atau pengguna lainnya.

Beauveria secara alami merupakan jamur yang hidup di dalam tanah dan sudah banyak diteliti potensinya dalam pengendalian serangga tanah atau serangga yang sebagian hidupnya ada di dalam tanah. Beberapa komoditas yang banyak mengalami serangan serangga dalam tanah antara lain komoditas sayuran, sereal, palawija, dan perkebunan. Serangga tanah

tersebut dapat dikategorikan sebagai uret, kumbang, jengkerik, dan ulat kupu/ngengat. Beberapa contoh hasil penelitian, seperti Bustillo *et al.* (1999) melaporkan bahwa suspensi *B. bassiana* dalam minyak dan air pada dosis 1×10^9 konidia/pohon yang diaplikasikan di bawah pohon kopi lebih efektif mengendalikan hama penggerek buah kopi, *H. hampei* dibanding menggunakan *Metarhizium anisopliae*. Sedangkan Beron dan Diaz (2005) menyatakan bahwa *B. bassiana* (Bb 53) memiliki virulensi paling tinggi di antara 14 isolat yang diuji (5 isolat *M. anisopliae*, 7 isolat *B. bassiana*, 2 isolat *Paecilomyces lilacinus*) yang diperlakukan terhadap uret putih *Cyclocephala signaticollis* Burmeister (Coleoptera: Scarabidae) dengan mengakibatkan 70% kematian instar 3 pada 40 hari setelah perlakuan dengan dosis 1×10^8 konidia/ml. Aplikasi *B. bassiana* ke dalam tanah dapat dilakukan dengan memperhatikan persyaratan hidupnya, antara lain dengan menaburkan atau menyemprotkan di atas permukaan tanah, dan mencampur dengan media tanah atau kompos. Selain itu, ada pula anjuran untuk mengaplikasikan *B. bassiana* baik secara tunggal maupun kombinasi dengan komponen pengendalian yang lain, terutama untuk mengendalikan uret yang sering menyerang akar tanaman dan akhir-akhir ini menjadi masalah di kebun penelitian Sukamulya, Sukabumi. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa *B. bassiana* berpotensi mengendalikan ulat pemakan daun kelapa, *Darna catenata* yang sering menyerang tajuk tanaman kelapa sawit di Sulawesi hingga merusak titik tumbuh (Kalshoven, 1981; Daud *et al.*, 1993).

Pada kapas, selain prospektif dikembangkan untuk pengendalian hama penggerek buah kapas, *B. bassiana* juga berpotensi menekan serangan hama pengisap daun *Bemisia tabaci* (Hodlle, 1999, dalam Prayogo, 2006). Selain itu, Vicentini *et al.* (2001) mengungkapkan hasil penelitian di laboratorium bahwa *B. bassiana* efektif membunuh nimfa *B. tabaci* hingga hari ke 14 setelah perlakuan dengan kisaran persentase mortalitas nimfa 6,1-92,3%. Meskipun *B. tabaci* bukan sebagai hama utama kapas, tetapi ledakan populasinya di beberapa lokasi pengembangan kapas di Jawa Timur cukup mengkhawatirkan. Sebab tindakan pengendalian yang seringkali

dilakukan pada saat serangan hama ini muncul hanya dengan mengandalkan insektisida kimia, sehingga hal ini sangat dikhawatirkan dapat memicu terjadinya resurgensi, yaitu munculnya serangan hama sekunder lainnya yang lebih berbahaya. Oleh karena itu, pengembangan teknologi pengendalian serangga hama alternatif dengan patogen serangga, khususnya *B. bassiana* untuk tanaman perkebunan memiliki prospek yang sangat baik.

Prospek pengembangan agensi hayati ini pada komoditas ekspor, terutama kelapa sawit, lada, dan teh cukup baik karena didukung oleh iklim mikro pertanaman yang sangat sesuai bagi perkembangan epizootik *B. bassiana* yang membutuhkan temperatur rendah dan kelembaban tinggi. Selain itu, kemungkinan biaya pengendalian dengan bioinsektisida ini akan cenderung lebih murah dibanding dengan insektisida kimia. Ketersediaan teknologi produksi dan strain isolat yang virulen dan potensial akan mendukung program pengembangannya pada masa mendatang sehingga memudahkan implementasinya.

KESIMPULAN

Perkembangan pemanfaatan cendawan entomopatogen *B. bassiana* cukup pesat, karena cendawan ini dapat mengendalikan berbagai spesies serangga hama, baik yang hidup pada kanopi tanaman maupun di dalam tanah. Pemanfaatan *B. bassiana* untuk komoditas perkebunan, seperti kapas, kelapa sawit, lada, kelapa dan teh cukup prospektif karena efektivitasnya yang cukup tinggi terhadap serangga hama utama. Dua strain isolat *B. bassiana* yang berpotensi dikembangkan untuk pengendalian *H. armigera* pada kapas adalah isolat Bb4a dan BbEd10 yang menyebabkan mortalitas ulat *H. armigera* 80-87,5% pada hari ke-16 setelah perlakuan. LT_{50} kedua isolat berkisar 8,96-9,62 hari dan LT_{90} selama 19,69-22,27 dibanding isolat pembanding Fb4 (19-48 hari). Efektivitas yang tinggi juga dicapai *B. bassiana* pada pengendalian hama kelapa sawit (*D. catenata*), penggerek batang lada (*L. piperis*), dan ulat pemakan tanaman teh (*E. bhurmitra*). Aplikasi yang efektif adalah dengan cara

penyemprotan pada kanopi tanaman agar terjadi kontak dengan hama sasaran, atau ditaburkan/disemprotkan pada permukaan tanah, atau dicampur dengan tanah atau kompos. Konidia *B. bassiana* mudah diinaktifkan oleh sinar ultraviolet, sehingga pencegahannya dapat dilakukan dengan melakukan aplikasi pada pagi (< pkl. 08.00) atau sore hari (> pkl. 15.00). *B. bassiana* aman bagi serangga bukan sasaran, terutama serangga berguna dan musuh alami. *B. bassiana* aman bagi serangga bukan sasaran, terutama serangga berguna dan musuh alami. Temperatur dan kelembapan yang lebih stabil pada ekosistem tanaman perkebunan akan sangat mendukung peran *B. bassiana* dalam pengendalian hama utama tanaman perkebunan sehingga prospek pengembangannya sangat baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, C.T. 1986. Agricultural and medical impact of the imported fire ants *In*: C.S. Lofgren and R.K. Vander Meer (eds.), Fire ants and leaf-cutting ants: biology and management. Westview, Boulder, CO. 48-57.
- Alasoadura, S.O. 1963. Fruiting in *Sphaerobolus* with special reference to light. *Annals of Botany* 27: 123-145.
- Alves, S.B. and R.M. Pereira. 1989. Production of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok and *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in plastic trays. *Ecossistema* 14: 188-192.
- Barlett, M.C. and S.T. Jaronski. 1988. Mass production of entomogenous fungi for biological control of insects. *In*: Burge, M.N. (ed) Fungi in biological control systems. Manchester, UK, Manchester University Press, pp. 61-85.
- Begley, C.G. and P. Waggoner. 1992. Soft contact lens contamination by *Beauveria bassiana*. *International Contact Lens Clinic* 19: 247-251.
- Beron, C.M. and B. M. Diaz. 2005. Pathogenicity of hypophenemus fungi against *Cyclocephala signaticollis*. *Bio Control* 50(1): 143-150.
- Bextine, B.R. and H.G. Thorvilson. 2002. Field applications of bait-formulated *Beauveria bassiana* alginate pellets for biological control of the red imported ant (Hymenoptera: Formicidae). *Environ. Entomol.* 31(4): 746-752.
- Bextine, B.R. and H.G. Thorvilson. 2004. Novel *Beauveria bassiana* delivery system for biological control of the red imported fire ant. *Southwestern Entomologist* 29(1): 47-53.
- Bradley, C.A., W.E. Black, R. Kearns and P. Wood. 1992. Role of production technology in mycoinsecticide development. *In*: Leatham, G.F. (ed) *Frontiers in industrial mycology*. London, Chapman and Hall, pp. 160-173.
- Broome, J.R. 1974. Microbial control of the imported fire ant, *Solenopsis richteri* (Forel) (Hymenoptera: Formicidae). M.S. Thesis, Mississippi State University, Starkville, MS.
- Broome, J.R., P.P. Sikorowski, and B.R. Norment. 1976. A mechanism of pathogenicity of *Beauveria bassiana* on larvae of the imported fire ant, *Solenopsis richteri*. *J. Invertebrate Pathology* 28: 87-91.
- Brownbridge, M., S. Costa, and S.T. Jaronski. 2001. Effects of in vitro passage *Beauveria bassiana* on virulence to *Bemisia argentifolii*. *J. Invertebrate Pathology* 77: 280-283.
- Bustillo, A.E., M.G. Bernal, P. Benavides, and B. Chaves. 1999. Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera, Scolytidae) population emerging from fallen coffee berries. *Florida Entomologist* 82(4): 491-499.
- Cagáň, Ľ. and M. Švercel. 2001. The influence of ultraviolet light on pathogenicity of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin to the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* HBN. (Lepidoptera: Crambidae). *J. Central European Agriculture* 2(3-4): 227-234.
- Cakrawala. 2004. Jamur: Insektisida biologis yang ramah lingkungan. 15 April 2004. 4 hlm.

- Callaghan, A.A. 1969. Light and spore discharge in Entomophthorales. Trans. Br. Mycol. Soc. 53 (1): 87-97.
- Cheung, P.Y.K. and E.A. Grula. 1982. *In vivo* events associated with entomopathology of *Beauveria bassiana* for the corn earworm (*Heliothis zea*). J. Invertebrate Pathology 39: 303-313.
- Clark, T.B., W.R. Kellen, T. Fukuda, and J.E. Lindegren. 1968. Field and laboratory studies of the pathogenicity of the fungus *Beauveria bassiana* to the three genera of mosquitoes. J. Invertebrate Pathology 11: 1-7.
- Daoust, R.A. and R.M. Pereira. 1986. Stability of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on beetle-attracting tubers and cowpea foliage in Brazil. Environmental Entomology 15: 1237-1243.
- Daud, I.D., A. Papulung, dan Mery. 1993. Efektivitas lima konsentrasi suspensi spora *Beauveria bassiana* Vuill. terhadap mortalitas tiga instar larva *Darna catenata* Snellen (Lepidoptera: Limacodidae). Prosiding Simposium Patologi Serangga I, Yogyakarta 12-13 Oktober 1993. Hlm.125-134.
- Deciyanto, S., S.G. Reyes, and D.R. Santiago. 2007. Laboratory assay of *Beauveria bassiana* against *Helicoverpa armigera*. Proceedings on The 1st International Conference of Crop Security 2005 at Brawijaya University, Malang, September 20th – 22nd, 2005, p.46-55.
- Feng, Z., R.I. Carruthers, D.W. Roberts, and D.S. Robson. 1985. Age-specific dose-mortality effects of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on the european corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). J. Invertebrate Pathology 46: 259-264.
- Feng, M.G. and J.B. Johnson. 1990. Relative virulence of six isolates of *Beauveria bassiana* on *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae). Environ. Entomol. 19: 1534-1542.
- Feng, M.G., T.J. Poprawski, and G.G. Khachatourians. 1994. Production, formulation, and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. Biocont. Sci. Tech. 4: 3-34.
- Ferron, P., J. Fargues, and G. Riba. 1991. Fungi as microbial insecticides against pests, p. 665-705. In: DK Arora, L. Ajello, K.G. Mukerji (eds), Handbook of Applied Mycology, vol 2, Humans, Animals, and Insects, Marcel Dekker Inc., New York.
- Filho, E.C., E.J. Marques, and R. Barros. 2002. Selection of *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) and *Beauveria bassiana* (Bals.) isolates to control *Alabama argillacea* (Huebner) caterpillars. Scientia Agricola 59(3): 457-462.
- Fromtling, R., J. Jensen, B. Robinson and G. Bulmer. 1979. Fatal mycotic pulmonary disease of captive American alligators. Veterinary Pathology 16: 428-431.
- Fuxa, J.R. 1987. Ecological considerations for the use of entomopathogens in IPM. Annu. Rev. Entomol. 32: 225-251.
- Georg, L.K., W.M. Williamson, E.B. Tilden, and R.E. Getty. 1962. Mycotic pulmonary disease of captive giant tortoise due to *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus*. Sabouraudia 2: 80-86.
- Gillespie, A.T. 1988. Use of fungi to control pests of agricultural importance, p. 37-60. In M. N. Burge (ed.), Fungi in biological control systems. Manchester University Press, Manchester, England.
- Goettel, M.S., T.J. Poprawski, J.D. Vandenberg, Z. Li, and D.W. Roberts. 1990. Safety to nontarget invertebrates of fungal biocontrol agents. In: Laird, M., L.A. Lacey, E.W. Davidson (eds), Safety of Microbial Insecticides. CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 209-232.
- Gonzalez, C.J., S.J. Espejo, and A.M. Barcena. 1995. Mycotic pulmonary disease by *Beauveria bassiana* in a captive tortoise. Mycoses 38: 167-169.
- Goral, W.M. and N.V. Lappa. 1972. The effect of medium pH on growth and virulence of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Mikrobial Zh. 34(4): 454-457.

- Gottwald, T.R. and W.L. Tedders. 1982. Studies on the conidia release by the entomogenous fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) from adult pecan weevil (Coleoptera: Curculionidae) cadavers. *Environ. Entomol.* 11: 1274-1279.
- Gutierrez, F.P., Y.S. Osorio, C.O. Jaime, and S.U. Soto. 2003. Susceptibility of *Rhodnius pallescens* (Hemiptera: Reduviidae) of fifth instar nymph to the action of *Beauveria* spp. *Entomotropica* 18(3): 163-168.
- Hajek, A. E. And R.J. St. Leger. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of entomology* 39: 293-322.
- Hardiyanti, D.W. 2006. Kajian penyebaran miselium jamur *Beauveria bassiana* dan kerusakan terhadap epitel saluarn pencernaan makanan larva *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Undergraduate Theses dari JBPTITBBI, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati – Institute Teknologi Bandung (Abstrak).
- Harman, G.E., X. Jin, T.E. Stasz, G. Peruzzotti, A.C. Leopold, and A.G. Taylor. 1991. Production of conidial biomass of *Trichoderma harzianum* for biological control. *Biological Control* 1: 23-28.
- Henke, M.O., G.S. De Hoog, U. Gross, G. Zimmermann, D. Kraemer, and M. Weig. 2002. Human deep tissue infection with an entomopathogenic *Beauveria* species. *J. Clinical Microbiology* 40: 2698-2702.
- Hosang, M.L.A. 1995. Patogenitas cendawan *Beauveria bassiana* (Bals.)Vuill terhadap *Brontispa longissima* Gestro (Coleoptera: Hispididae). MS Thesis (Unpublished). Bogor Agricultural University (IPB), 66 pp.
- Hughes, S.J. 1971. Phycomycetes, Basidiomycetes, and Ascomycetes as Fungi Imperfecti. In: *Taxonomy of Fungi Imperfecti* (B. Kendrick, ed.), pp. 7-36. University of Toronto Press, Toronto.
- Humphreys, A.M., P. Matewele, and A.P.J. Trinci. 1989. Effects of water activity on morphology, growth, and blastospore production of *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, and *Paecilomyces farinosus* in batch and fed-batch culture. *Mycological Research* 92: 257-264.
- Hunt, D.W.A., J.H. Borden, J.E. Rahe, and H.S. Whitney. 1984. Nutrient-mediated germination of *Beauveria bassiana* conidia on the integument of the bark beetle *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *J. Invertebrate Pathology* 44: 304-314.
- Ibrahim, Y.B. and W. Low. 1993. Potential of mass production and field efficacy of isolates of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* against *Plutella xylostella*. *International Journal of Pest Management* 39: 288-292.
- Ignoffo, C.M., D.L. Hostetter, P.P. Sikorowski, G. Sutter, and W.M. Brooks. 1977. Inactivation of representative species of entomopathogenic viruses, a bacterium, fungus, and protozoan by an ultraviolet light source. *Environ. Entomol.* 6: 411-415.
- Ignoffo, C.M. 1992. Environmental factors affecting persistence of entomopathogens. *Florida Entomologist* 75: 516-523.
- Inglis, G.D., M.S. Goettel, and D.L. Johnson. 1993. Persistence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on phylloplanes of crested wheatgrass and alfalfa. *Biological Control* 3: 258-270.
- Ishibashi, Y., H.E. Kaufman, M. Ichinoe, and S. Kagawa. 1987. The pathogenicity of *Beauveria bassiana* in the rabbit cornea. *Mykosen* 30: 115-126.
- Jenkins, N.E., G. Hevievo, J. Langewald, A. J. Cherry, and C.J. Lomer. 1998. Development of mass production technology for aerial conidia for use as mycopesticides. *Biocontrol News and Information* 19(1): 21N-32N.
- Johnpulle, A.L. 1938. Temperatures lethal to the green muscardine fungus, *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorok. *Tropical Agriculturalist* 90: 80-83.

- Junianto, Y.D. dan E. Sulistyowati. 2002. Formulasi agen hayati *Beauveria bassiana* dan uji lapangan pengendalian peng-gerek buah kopi, *Hypothenemus hampei*. Pelita Perkebunan 18(3):129-138.
- Kalshoven, L.G. E. 1981. The Pests of Crops in Indonesia. P.T. Ichtiar Baru – Van Hoeve Jakarta. 701pp.
- Kleespies, R.G. and G. Zimmermann. 1992. Production of blastospores by three strains of *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorok in submerged culture. Biocontrol Science and Technology 2: 127-135.
- Kouassi, M., D. Coderre, and S.I. Todorova. 2003. Effect of plant type on the persistance of *Beauveria bassiana*. Biocontrol Science and Technology 13(4): 415-427.
- Kučera, M. and A. Samšínáková. 1968. Toxins of the entomophagous fungus *Beauveria bassiana*. J. Invertebrate Pathology 12: 316-320.
- Latgé, J.P. and R. Moletta. 1988. Biotechnology. In: Samson, R.A., H. Evans, J.P. Latgé, (eds.) Atlas of entomopathogenic fungi. Berlin: Springer-Verlag, pp. 152-164.
- Leland, J. and R. Behle. 2004. Formulation of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* with resistance to UV degradation for control of tarnished plant bug, *Lygus lineolaris*. National Cotton Council Beltwide Cotton Conference. Abstract.
- Lewis, J.A. and G.C. Papavizas. 1983. Production of chlamydospore and conidia by *Trichoderma* spp. in liquid and solid growth media. Soil Biology and Biochemistry 15: 351-357.
- Ludwig, S.W. and R.D. Oetting. 2001. Susceptibility of natural enemies to infection by *Beauveria bassiana* and impact of insecticides on *Ipheseius degenerans* (Acari: Phytoseiidae). J. Agric. Urban Entomology 18(3): 169-178.
- Maheva, E., G. Djelveh, C. Larroche, and J.B. Gros. 1984. Sporulation of *Penicillium roqueforti* in solid substrate fermentation. Biotechnology Letters 6: 97-102.
- MacLeod, D.M. 1963. Entomophthorales infections. In: Steinhaus, E.A (ed), Insect Pathology: An Advanced Treatise. Academic Press, NY, pp. 189-231.
- McCoy, C.W., R.A. Samson, and D.G. Boucias. 1988. Entomogenous Fungi. In: CRC Handbook of Natural Pesticides. Microbial Insecticides, Part A. Entomogenous Protozoa and Fungi (C.M. Ignoffo, ed.). Vol. 5, pp. 151-236. CRC Press, Boca raton, Florida.
- Mendonca, A.F. 1992. Mass production, appli-cation and formulation of *Metarhizium anisopliae* for control of sugarcane froghopper, *Mahanarva posticata* in Brasil. In Lomer, C.J: Prior, C. (eds) Biological control of locusts and grasshoppers. Wallingford, UK: CAB International, pp. 239-244.
- Milner, R.J., D.J. Rogers, C.M. McRae, R.J. Huppertz, and H. Brier. 1993. Preliminary evaluation of the use of *Metarhizium anisopliae* as a mycopesticide for control of peanut scarabs. In: Pest control in sustainable agriculture. Melbourne, Australia CSIRO, pp. 253-255.
- Millstein, J.A., G.C. Brown, and G.L. Nordin. 1983. Microclimatic moisture and conidial production in *Erynia* sp. (Entomophthorales: Entomophthoraceae): In vivo moisture balance and conidiation phenology. Environ. Entomol. 12: 1339-1343.
- Miranpuri, G.S. and G.G. Khachatourians. 1991. Infection sites of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in the larvae of the mosquito *Aedes aegypti*. Entomologia Experimentalist et Applicata 59: 19-27.
- Nelson, T.L. and T.R. Glare. 1996. Large scale production of new zealand strains of *Beauveria* and *Metarhizium*. Proceedings 49th N.Z. Plant Protection Conf., p. 257-261.
- Nordin, G.L., G.C. Brown, and J.A. Millstein. 1983. Epizootic phenology of *Erynia* disease of the alfalfa weevil, *Hypera postica* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae), in central Kentucky. Environ. Entomol 12: 1350-1355.

- Plate, J. 1976. Fungi. Biological Control: A guide to natural enemies in North America. Cornell University. 4pp.
- Prayogo, Y. 2006. Upaya mempertahankan keefektifan cendawan entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman pangan. *Jurnal Libang Pertanian* 25(2): 47-54.
- Quesada-Moraga, E. and A. Vey. 2004. Bassiacridin, a protein toxic for locusts secreted by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Mycological Research* 108: 441-452.
- Roberts, D.W. and A.S. Campbell. 1977. Stability of entomopathogenic fungi. *Misc. Publ. Entomol. Soc., Am.* 10 (3): 19-76.
- Sabbahi, R. 2006. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* L. in strawberry field. Annual meeting of Entomological Society of America., 1p (*Abstract*).
- Saranga, A.P. dan I.D. Daud. 1993. Prospek pemanfaatan patogen serangga untuk pengendalian serangga hama di Sulawesi Selatan. Prosiding Simposium Patologi Serangga I, Yogyakarta 12-13 Oktober 1993. 9hal.
- Saranga, A.P. 1997. Uji pemanfaatan jamur *Beauveria bassiana* Vuill. (Hypomycetes: Moniliales) pada dua spesies rayap (Isoptera). Prosiding Makalah Pendukung Seminar Nasional Pengendalian Hayati, Yogyakarta 25-26 November 1996. 4hal.
- Siebeneicher, S.R., S.B. Vinson, and C.M. Kenerley. 1992. Infection of the red imported fire ant by *Beauveria bassiana* through various routes of exposure. *J. Invertebrate pathology* 59: 280-285.
- Soper, R.S. and M.G. Ward. 1981. Production, formulation, and application of fungi for insect control. In: Pp. 161-180, Biological Control in Crop Production, BARC Symposium No. 5. G.C. Papavizas (ed) Allanhead, Osmum, Totowa.
- Sri-Sukanto dan K. Yulianto. 2006. Pengaruh suhu penyimpanan terhadap viabilitas *Beauveria bassiana* (bals.) Vuill. dalam beberapa pembawa. *Pelita Perkebunan*, 22(1): 40-56.
- Steinhaus, E.A. 1975. Disease in a Minor Chord. Ohio State University Press, Columbus, Ohio.
- Stimac, J.I., R.M. Pereira, S.B. Alves, and L.A. Wood. 1993. Mortality in laboratory colonies of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) treated with *Beauveria bassiana* (Deuteromycetes). *J. Econ. Entomol* 86: 1083-1087.
- Strasser, H. A. Vey, and T. Butt. 2000. Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular reference to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium*, and *Beauveria* species? *Biocontrol Science and Technology* 10:717-735.
- Suprpto dan Suroso. 1999. Pengaruh konsentrasi cendawan *Beauveria bassiana* Vuill. terhadap aspek biologi penggerek batang lada (*Lophobaris piperis* Mars.) (Curculionidae: Coleoptera). Prosiding Seminar Nasional Peranan Entomologi dalam Pengendalian Hama yang Ramah Lingkungan dan Ekonomis, 16 Pebruari 1999 di Bogor. 8hal.
- Tafoya, F., M. Zuniga-Delgadillo, R. Alatorre, J. Cibrian-Tovar, and D. Stanley. 2004. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) against cactus weevil, *Metamasius spinolae* (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. *Florida Entomologist* 87(4): 533-536.
- Tanada, Y. and H.K. Kaya. 1993. Insect Pathology. Academic Press, San Diego, CA.
- Thomas, K.C., G.G. Khachatourians, and W.M. Ingledew. 1987. Production and properties of *Beauveria bassiana* conidia cultivated in submerged culture. *Can. J. Microbial.* 33: 12-20.
- Thomas, M.B. and N.E. Jenkins. 1997. Effects of temperature on growth af *Metarhizium flavoviridae* and virulence to the variegated grasshopper *Zonocerus variegatus*. *Mycological Research* 101: 1469-1474.

- Todorava, S.I., D. Coderre, C. Vincent, and J.C. Cote. 2003. Effects of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the oblique banded leafroller. Agriculture and Agri-Food Canada. 1 p (Abstract).
- Tucker, D., C. Beresford, L. Sigler and K. Rogers. 2004. Disseminated *Beauveria bassiana* infection in a patient with acute lymphoblastic leukemia. J. Clinical Microbiology 42: 5412-5414.
- US EPA. 2006. *Beauveria bassiana* strain GH4 (128924) Technical Document. RE. http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/ingredients/tech_docs/tech_128924.htm
- Vandenberg, J.D. 1996. Standardized bioassay and screening of *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroseus* against the russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). J. Econ. Entomol. 89(6): 1418-1423.
- Vey, A., R.E. Hoagland, and T.M. Butt. 2001. Toxic metabolites of fungal biocontrol agents. Fungi as Biocontrol Agents. Progress, Problems and Potential (Butt T.M, C. Jackson, and N. Magan, eds), pp. 311-346. CABI Publishing, Oxford, UK.
- Vicentini, S., M. Faria, and M.R.V. de Oliveira. 2001. Screening of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) isolates against of *Bemisia tabaci* (Genn.) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) with description of a new bioassay method. Neotropical Entomology 30(1): 97-103.
- Vimala Devi, P.S. 1994. Conidia production of the entomopathogenic fungus *Nomuraea rileyi* and its evaluation for control of *Spodoptera litura* (Fab) on *Ricinus communis*. J. Invertebrate Pathology 63: 145-150.
- Vouk, V. and Z. Klas. 1931. Conditions influencing the growth of the insecticidal fungus *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sor. Internatioanl Corn Borer Investigations 4: 24-45.
- Wagner, B.L. and L.C. Lewis. 2000. Colonization of corn, *Zea mays*, by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Applied and Environmental Microbiology 66(8): 3468-3473.
- White, H.E. 1995. Alginate pellet formulation of *Beauveria bassiana* pathogenic to the red imported fire ant. M.S. Thesis, Texas tech University, Lubbock, TX.
- Widayat, W. dan D.J. Rayati. 1993a. Pengaruh frekuensi penyemprotan jamur entomopatogenik terhadap ulat jengkal (*Ectropis bhurmitra*) di perkebunan teh. Prosiding Simposium Patologi Serangga I, Yogyakarta 12-13 Oktober 1993. 13hal.
- Widayat, W. dan D.J. Rayati. 1993b. Hasil penelitian jamur entomopatogenik lokal dan prospek penggunaannya sebagai insektisida hayati. Prosiding Simposium Patologi Serangga I, Yogyakarta 12-13 Oktober 1993. 9 hlm.
- Williams, C.N. 1959. Spore size in relation to culture conditions. Transactions of the British Mycological Society 42: 213-222.
- Willoughby, B.E., T.R. Glare, F.J. Kettlewell and T.L. Nelson. 1998. *Beauveria bassiana* as a potential biocontrol agent against the clover root weevil, *Sitona lepidus*. Proc. 51st N.Z. Plant Protection Conf. p. 9-15.
- Wiriyodiputra, S. dan O. Atmawinata. 1996. Pengelolaan hama berwawasan lingkungan dalam menunjang ekspor komoditas perkebunan: Kajian pada tanaman kopi dan kakao. Prosiding Edisi Khusus "Peranan Pengelolaan Hama dalam Era Perdagangan Tahun 2000". Majalah Ilmiah Pembangunan 5(9): 35-47.
- Wright, S.P., R.I. Carruthers, S.T. Jaronski, C.A. Bradley, C.J. Garza, and S. Galaini-Wright. 2000. Evaluation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Paecilomyces fumosoroscens* for microbial control of the silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii* 17: 203-217.
- Wright, S.P., M.A. Jackson, and S.L. Kock. 2001. Production, stabilization and formulation of fungal biocontrol agents. In: Fungi as Biocontrol Progress, Problems, and Potential (Butt, T.M., C.W. Jackson, and N. Magan, eds.). CABI Publishing, pp. 253-288.