

***Beauveria Bassiana*: Biopestisida Ramah Lingkungan dan Efektif untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Tanaman**

Beauveria bassiana: The Eco-friendly and Effective Biopesticide to Control Pest and Plant Diseases

Marida Santi Yudha Ika Bayu, Yusmani Prayogo, Sri Wahyuni Indiaty

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi

Jalan Raya Kendalpayak Km 8 Malang 65162

*E-mail: yusmani.prayogo@yahoo.com

NASKAH DITERIMA 25 AGUSTUS 2020 ; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 24 MEI 2021

ABSTRAK

Beauveria bassiana merupakan salah satu jenis cendawan entomopatogen yang termasuk dalam divisi Ascomycota, kelas Sordariomycetes, ordo Hypocreales dan famili Clavicipitaceae. *B. bassiana* dapat membunuh seluruh stadia serangga pada berbagai jenis hama tanaman dari ordo Homoptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Isoptera, Diptera, dan Hymenoptera. Efikasi *B. bassiana* dipengaruhi oleh berbagai jenis enzim yang dihasilkan yaitu: kitinase, protease, amilase, dan lipase yang berfungsi sebagai pendegradasi lapisan integumen serangga. Efikasi cendawan juga dipengaruhi oleh produksi toksin yang terdiri dari *beauvericin*, *bassianin*, *bassiacridin*, *beauvericin*, *bassianolide*, *cyclosporine*, *oosporein*, dan *tenellin* yang dapat mengganggu sistem syaraf dan membunuh serangga sasaran. Keunggulan *B. bassiana* bersifat ovisidal yang dapat menggagalkan penetasan telur selain membunuh stadia nimfa/larva maupun imago, sehingga dapat menekan perkembangan populasi dan menghambat terjadinya peledakan hama. Kelebihan lain *B. Bassiana*, yaitu bersifat endofit yang dapat menghambat perkembangan patogen tular tanah maupun penyakit karat daun (*Phakospsora pachyrhizi*), embun tepung (*Microsphaera diffusa*), dan embun bulu (*Peronospora mansyurica*). Cendawan *B. Bassiana* juga bersifat ramah lingkungan sehingga aman terhadap kelangsungan hidup musuh alami dan hewan ternak serta tidak mencemari sumber air maupun lingkungan. Aplikasi *B. bassiana* dapat menekan terjadinya resistensi maupun resurgensi. Waktu aplikasi *B. bassiana* dianjurkan pada sore hari dengan frekuensi aplikasi tiga kali. Cendawan *B. bassiana* prospektif untuk digunakan sebagai biopestisida dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman, ramah lingkungan, serta dapat digunakan sebagai alternatif pengganti pestisida sintetik.

Kata kunci: *Beauveria bassiana*, Biopestisida, efikasi, teknologi pengendalian

ABSTRACT

Beauveria bassiana is one of the entomopathogenic fungi belonging to the Ascomycota division, Sordariomycetes class, Hypocreales order, and Clavicipitaceae family. *B. bassiana* is toxic to all stages of insect from the ordo of Homoptera, Hemiptera,

Coleoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Isoptera, Diptera, and Hymenoptera. The efficacy of *B. bassiana* was influenced by the enzymes produced (chitinase, protease, amylase, and lypase) that play an important role in degrading insect integument layer. The efficacy of these fungi was also influenced by the toxin produced (*beauvericin*, *bassianin*, *bassiacridin*, *beauvericin*, *bassianolide*, *cyclosporine*, *oosporein*, and *tenellin*) which may interfere the nervous system and ~~toxic in~~ kill the target insects. This entomopathogenic fungus can thwart the eggs hatching as well as kill the nymphs/larvae and adult insects. Consequently, the population growth can be suppressed and the pest explosion can be inhibited. *B. bassiana* is endophytic thus it can suppress the development of soil-borne disease and rust (*Phakopsora pachyrhizi*), powdery mildew (*Microsphaera diffusa*), and downy mildew (*Prenonospora mansyurica*). *B. bassiana* is also environmentally friendly, therefore it is safe for the survival of natural enemies, livestock, and does not pollute the water and environment. The application of *B. bassiana* can suppress the occurrence of pest resistance and resurgence. *B. bassiana* was recommended to be applied in the afternoon with the frequency of three times a week. *B. bassiana* is prospective to be used as a biopesticide for controlling pests and plant diseases and can be used as an alternative to synthetic pesticides.

Keywords: Biopesticide, *Beauveria bassiana*, control technology, efficacy

PENDAHULUAN

Salah satu program dari Nawa Cita Presiden Republik Indonesia adalah mensukseskan swasembada pangan khususnya komoditas utama yaitu padi, jagung dan kedelai. Swasembada pangan dapat dicapai melalui ekstensifikasi dengan perluasan areal tanam maupun intensifikasi dengan peningkatan indeks pertanaman (IP). Peningkatan IP 300 menjadi IP 400 secara langsung menyebabkan penggunaan lahan semakin intensif sehingga tidak menyisakan waktu jeda, dan sepanjang tahun satu macam komoditas. Kondisi demikian dapat memicu terjadinya ekosistem monokultur yang berakibat meningkatnya perkembangan populasi spesies hama

tertentu dan memicu terjadinya peledakan (*outbreak*) karena keanekaragaman hayati semakin terbatas. Dalam upaya penyelamatan hasil dari peningkatan indeks pertanaman umumnya dilakukan aplikasi pestisida sintetik yang berlebihan. Kegiatan ini bertujuan untuk melindungi tanaman dari serangan hama maupun penyakit, namun tidak disadari hal tersebut dapat memicu terjadinya resistensi dan resurgensi. Resistensi terjadi karena sebagian besar serangga hama yang mampu bertahan akan membentuk kekebalan yang semakin meningkat, selanjutnya generasi serangga yang dihasilkan semakin tahan terhadap insektisida sintetik. Sementara itu, resurgensi terjadi akibat seluruh populasi musuh alami, umumnya predator generalis dari Ordo Coleoptera, Famili Coccinellidae dan parasitoid telur dari Ordo Hymenoptera, Famili Trichogrammatidae mati terbunuh, serangga berguna umumnya lebih rentan terhadap pestisida sintetik sehingga populasi hama berkembang lebih leluasa (Tsujt *et al.* 2011; Wang *et al.* 2012& 2013; Skouras *et al.* 2019).

Salah satu teknologi pengendalian hama dan penyakit yang dapat menekan terjadinya resistensi dan resurgensi adalah pengendalian hayati dengan memanfaatkan musuh alami. *Beauveria bassiana* merupakan salah satu jenis cendawan entomopatogen yang banyak dikembangkan sebagai agens hayati untuk mengendalikan berbagai jenis hama dan penyakit (Parsa *et al.* 2013; Hajjar *et al.* 2015; Dal Bello *et al.* 2018; Bayu dan Prayogo 2018; Ramakuwela *et al.* 2020). Keberhasilan pengendalian hayati menggunakan *B. bassiana* karena agens hayati tersebut mampu membunuh seluruh stadia serangga hingga 96% dan memiliki kisaran inang yang cukup luas meliputi Ordo Homoptera, Hemiptera, Ortoptera, Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, Isoptera, dan Hymenoptera serta tidak menyebabkan resistensi pada serangga sasaran (Gao *et al.* 2012; Prayogo 2013; Mascarin dan Jaronski 2016). Selain itu, *B. bassiana* juga menghasilkan metabolit sekunder yang efektif menekan intensitas penyakit yang disebabkan oleh patogen tular tanah hingga 99% (Soesanto *et al.* 2021).

Salah satu faktor yang mempengaruhi efikasi *B. bassiana* yaitu virulensi cendawan akibat terjadinya keragaman antarisolat (Ortiz *et al.* 2016; Prabhukarthikeyan *et al.* 2017; Dhar *et al.* 2019; Boston *et al.* 2020). Sementara itu, keragaman antarisolat berpengaruh langsung terhadap produksi jenis enzim dan toksin yang dihasilkan sebagai senjata utama dalam membunuh serangga dan patogen sasaran (Khan *et al.* 2016; Saleem dan Ibrahim 2019; da Silva *et al.* 2020; Sayed *et al.* 2021).

Serangkaian kegiatan telah dilakukan untuk mendapatkan isolat cendawan *B. bassiana* yang memiliki virulensi tinggi melalui eksplorasi, isolasi, dan uji efikasi (Prayogo dan Tantawizal 2016). Setelah mendapatkan isolat cendawan yang virulen dilakukan uji formulasi sederhana salah satunya dalam bentuk tepung untuk memudahkan pengguna pada waktu aplikasi di lapangan. Campuran formulasi menggunakan tepung dari ubikayu atau ubijalar. Virulensi konidia *B. bassiana* dalam formulasi tepung mampu bertahan 20-22 bulan dalam penyimpanan. Pengembangan teknologi pengendalian hama menggunakan agens hayati berbahan aktif dari konidia cendawan *B. bassiana* telah dipromosikan di beberapa kegiatan gelar teknologi untuk mengendalikan hama penyakit utama kedelai yang dikemas dalam kegiatan “Budidaya Kedelai Non Pestisida Kimia (Budenopi) dan penggerek umbi ubijalar (*Cylas formicarius*) dengan luasan masing-masing hingga 50 hektar (Prayogo 2017; Prayogo dan Bayu 2019). Hasil gelar teknologi mengindikasikan bahwa pengembangan biopestisida *B. bassiana* dengan menerapkan anjuran aplikasi sebanyak enam kali dengan dosis 2 g/l ternyata dapat menekan perkembangan populasi hama kepik coklat *Riptortus linearis*, kutu kebul *Bemisia tabaci*, dan ulat grayak *Spodoptera litura* dibandingkan dengan efikasi insektisida deltametrin.

Aktivitas biopestisida *B. bassiana* dilaporkan juga dapat menekan perkembangan penyakit *grey mold* yang menginfeksi lebih dari 200 jenis tanaman, terutama pada tomat dan cabai yang menyebabkan busuk daun dan buah (Wang dan Xu 2012; Barra-Bucarei *et al.* 2019). Selain itu, *B. bassiana* juga mampu menghambat perkembangan penyakit layu yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus oryzae*, *Chysoaporium tropicum*, *Alternaria tenuissima*, maupun *Myrethecium roridum* (Parine *et al.* 2010; El Kichaoui *et al.* 2017). Selanjutnya, Kumar *et al.* (2008) dan Soesanto *et al.* (2020) menyatakan bahwa cendawan *B. bassiana* dapat menekan perkembangan penyakit yang disebabkan oleh virus pada cabai. Bahkan, metabolit sekunder dari *B. bassiana* dapat menghambat penyakit benih dan tular tanah yang disebabkan oleh *Verticillium dahliae*, dan *Phytophthora megasperma*, dan *Fusarium oxysporum* f.sp. *capsici* (Brownbridge *et al.* 2012; Lozano-Tovar *et al.* 2013 & 2017; Soesanto *et al.* 2021).

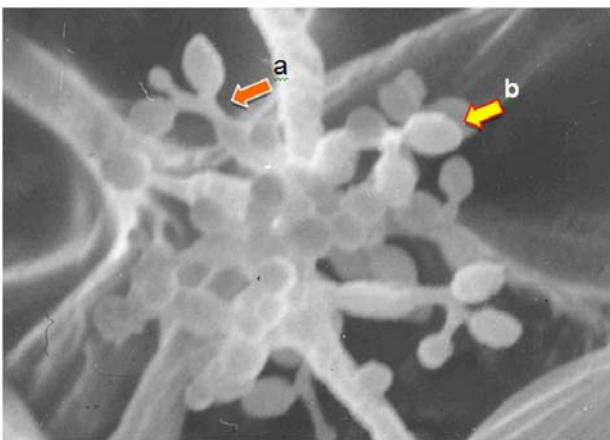
Makalah ini memaparkan efikasi dan keunggulan *B. bassiana* sebagai calon biopestisida yang ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis hama dan penyakit tanaman.

BIOEKOLOGI

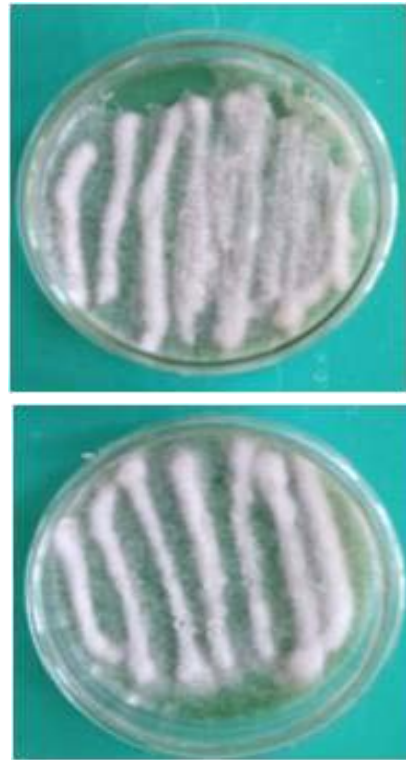
Cendawan Entomopatogen *B. bassiana*

Beauveria bassiana termasuk dalam divisi Ascomycota, kelas Sordariomycetes, ordo Hypocreales, dan famili Clavicipitaceae. Ciri khas *B. bassiana* adalah karakter konidiofor yang berbentuk zig-zag sebagai pendukung terbentuknya konidia (Gambar 1). Konidia berbentuk bulat hingga oval, bersel satu, hialin, ukuran konidia berkisar 2-3 μ m yang terbentuk pada setiap pucuk konidiofor. Hifa *B. bassiana* berukuran 1,5-2,1 μ m, hialin, bersekat, dan bercabang. Miselium berupa benang-benang halus berwarna putih namun dengan perkembangan umur maka warna berubah menjadi kuning pucat (Kumar *et al.* 2016). Koloni cendawan *B. bassiana* berwarna putih pada media *potato dextrose agar* (PDA) (Gambar 2), selanjutnya koloni berubah warna menjadi kuning keruh dengan bertambahnya umur. Diameter koloni *B. bassiana* pada media PDA yang berumur 21 hari setelah inokulasi (HSI) mencapai 8-9 cm. Pada umur tersebut koloni cendawan sudah tumbuh optimal pada media padat dan memproduksi konidia sebagai organ infeksi. Namun cendawan *B. bassiana* memproduksi konidia optimal pada media cair hanya membutuhkan waktu 14 hari (Latifian *et al.* 2013; Mascarin *et al.* 2015).

B. bassiana dapat tumbuh dengan optimal pada kisaran temperatur 15-30 °C, namun bagi isolat *B. bassiana* yang virulen dengan penambahan minyak umumnya lebih toleran terhadap temperatur di atas 32 °C (Ugine 2011; Oliveira *et al.* 2018). Cendawan *B. bassiana* dapat ditemukan di seluruh dunia karena bersifat kosmopolit dan merupakan cendawan entomopatogen yang memiliki jenis inang terbanyak di antara cendawan entomopatogen lain (Singh *et al.* 2015; Mahankuda dan Bhatt 2019). Cendawan entomopatogen *B. bassiana* bersifat parasit dalam



Gambar 1. Struktur konidiofor (a) dan konidia *B. bassiana* (b) asal isolat dari serangga *C. formicarius*. (Sumber: Arooni-Hesari *et al.* 2015).



Gambar 2. Pertumbuhan koloni *B. bassiana* pada media PDA di dalam cawan Petri pada umur 21 HSI. (Sumber: Koleksi pribadi).

membunuh inangnya, akan tetapi dapat berkembang secara saprofit pada media alami atau di alam jika tidak menemukan inang yang sesuai.

B. bassiana sebagai biopestisida dapat diproduksi menggunakan media cair maupun padat. Pada kebanyakan menggunakan media cair (*diphasic liquid*) yang diperoleh berupa miselia dan blastospora, sementara kebanyakan pada media padat akan diperoleh konidia. Produksi konidia umumnya digunakan sebagai bahan formulasi dalam bentuk tepung atau butiran (*granule*), formulasi dengan larutan minyak atau dalam bentuk lainnya. *B. bassiana* berkembang biak secara aseksual dengan membentuk konidia udara pada permukaan media padat melalui perbanyakannya hifa, kemudian terbentuk pialid dan konidia. Konidia udara (*aerial conidial*) umumnya paling banyak digunakan sebagai agens pengendalian hayati sebab lebih toleran terhadap berbagai faktor dan lebih tahan lama (Gouli *et al.* 2014). Konidia udara mengandung lapisan tertentu yang menghasilkan sifat hidrofobik. Sementara blastospora yang diproduksi dalam media cair bersifat hidrofilik sehingga mudah berkecambah dan banyak yang kurang efektif jika diaplikasikan di lapangan (Chinnadurai dan Ganesh 2013; Holder dan Kayhani 2015; Mascarin dan Jaronski 2016).

Produksi *B. bassiana* dalam media cair dengan pH 6,0 sangat virulen karena dapat membunuh serangga sasaran (*S. litura*) hingga mencapai 92% (Lohse *et al.* 2014; Ayudya *et al.* 2019). Selanjutnya, Pham *et al.* (2018) melaporkan bahwa pH optimum untuk produksi masal cendawan *B. bassiana* berkisar 5,2. Namun menurut Mishra dan Malik (2013), *B. bassiana* yang diproduksi pada media tumbuh mengandung glukose pada pH 7,0 dinilai paling optimum karena mampu membunuh serangga dewasa *Musca domestica* 100%, larva 75%, dan pupa 96%.

Produksi konidia *B. bassiana* pada tubuh serangga maupun di media alami berkembang pesat sehingga dengan kumpulan konidia cepat menyebar di alam. *B. bassiana* mudah ditumbuhkan dan dikembangkan menggunakan media alami, baik yang kaya nutrisi maupun bahan sederhana (Vats *et al.* 2015). Oleh karena itu, *B. bassiana* banyak dikembangkan sebagai agens hayati untuk pengendalian berbagai jenis hama bagi oleh para petani maupun kelompok tani karena tidak memerlukan peralatan yang mahal (Zafar *et al.* 2016). Perbanyak cendawan *B. bassiana* menggunakan media alami, contohnya dari beras jagung, sekam, serbuk gergaji atau bahan lainnya yang umumnya dapat dipanen dan diaplikasikan setelah berumur minimal 14 hari di dalam media biakan (Xie *et al.* 2012; Latifian *et al.* 2013).

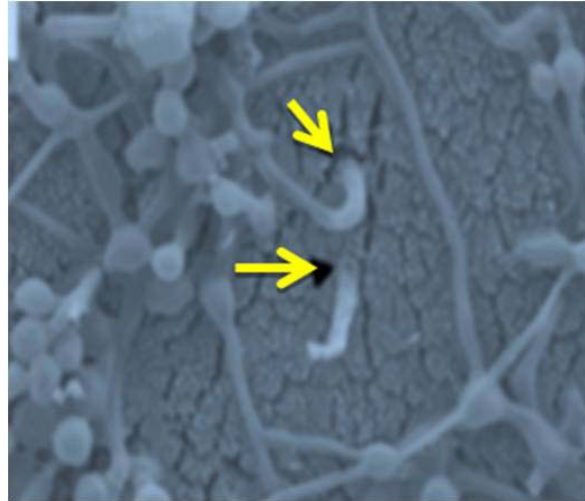
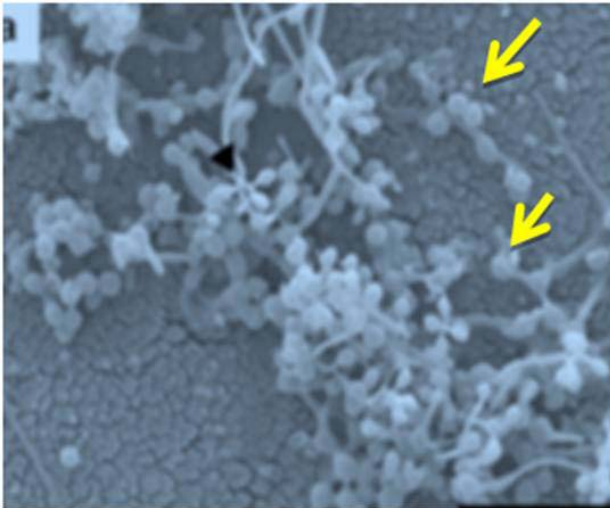
MEKANISME INFEKSI (Mode of action) *B. bassiana* pada serangga

Proses infeksi *B. bassiana* pada serangga inang terjadi melalui empat tahapan yaitu: inokulasi, germinasi, penetrasi, diseminasi, dan kolonisasi (Dannon *et al.* 2020). Tahap inokulasi adalah proses kontak antara organ infeksi dengan integumen serangga inang. Organ infeksi cendawan *B. bassiana* adalah konidia sehingga pada waktu aplikasi di lapangan, suspensi konidia yang diaplikasikan harus kontak dengan organ tubuh serangga khususnya lapisan integumen. Selanjutnya, konidia menempel pada integumen serangga, pada proses tersebut diperlukan bahan perekat agar konidia sebagai organ infeksi melekat pada integumen. Bahan perekat dapat berfungsi untuk meningkatkan proses penempelan konidia karena faktor eksternal dari pengaruh lingkungan yang kurang mendukung, seperti angin, dan air hujan yang dapat menggagalkan proses inokulasi (Sabbour 2002; Gul *et al.* 2014; Swathi *et al.* 2018; Acheampong *et al.* 2020). Sedangkan, bahan pelindung berupa asam humat 10% dapat mempertahankan persistensi konidia *B. bassiana* di atas 87% setelah terpapar

dengan sinar UV selama tujuh hari dan pelindung dari minyak wijen dapat mempertahankan konidia sebesar 73% (Kaiser *et al.* 2019). Kondisi tersebut disebabkan sinar UV merupakan faktor pembatas keberhasilan pengendalian hayati menggunakan konidia *B. bassiana* (Hemalatha *et al.* 2017; Wang *et al.* 2020).

Tahap kedua adalah germinasi. Konidia membentuk tabung kecambah (*germ tube*) sehingga memerlukan kelembaban yang cukup tinggi hingga di atas 90%. Beberapa senyawa seperti protein, karbon, asam amino, dan fenol yang terdapat pada lapisan integumen diperlukan konidia sebagai stimulan untuk membentuk kecambah (Meena *et al.* 2015). Konidia yang berkecambah berkembang membentuk apresorium dan menghasilkan enzim protease, kitinase, dan lipase yang berfungsi sebagai pendegradasi lapisan integumen. Menurut Svedese *et al.* (2013) bahwa enzim protease Pr1 dan Pr2 akan terbentuk melimpah pada rentang waktu sekitar 24 jam setelah proses inokulasi. Namun, beberapa peneliti lain menyebutkan bahwa enzim pendegradasi lapisan integumen dari cendawan entomopatogen terbentuk berkisar 8-10 jam setelah aplikasi (Liu *et al.* 2010). Rentang waktu yang dibutuhkan konidia untuk berkecambah dan memproduksi enzim sangat tergantung pada faktor internal yang ditentukan isolat dan nutrisi media tumbuh pada waktu perbanyak, sedangkan faktor eksternal terdiri dari temperatur, kelembaban, stadia serangga inang maupun pengaruh pestisida sintetik seperti indoxacarb, profenophos, dan methyl-demonton berdampak negative terhadap pertumbuhan *B. bassiana* (Amuntha *et al.* 2010; Mwanburi *et al.* 2015; Celar dan Kos 2016; Wari *et al.* 2020).

Tahap ketiga yaitu proses penetrasi. Pada saat tersebut cendawan membentuk blastospora pada ujung apresorium atau haustorium (Gambar 3) dan siap untuk menembus lapisan kutikula serangga yang selanjutnya terbentuk hifa primer di dalam tubuh serangga (Ortiz-Urquiza dan Keyhani 2016; Saranraj dan Jayaprakash 2017). Tahap selanjutnya adalah diseminasi, blastospora memproduksi berbagai jenis toksin antara lain: *beauvericin*, *beaverolide*, *bassianin*, *bassianolide*, *bassiacridin*, *tenelin*, dan *cyclosporin* yang beredar di dalam darah serangga (*hemolymph*) sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan pH darah serangga dan terganggunya sistem syaraf yang membuat serangga enggan bergerak maupun nafsu makan turun dan diakhiri dengan kematian (Altinok *et al.* 2019). Cendawan membentuk hifa sekunder yang digunakan untuk menyerang seluruh jaringan di dalam tubuh serangga. Kematian serangga umumnya terjadi



Gambar 3. Kumpulan konidia *B. bassiana* berkecambah membentuk haustorium (a) dan penetrasi tabung kecambah pada permukaan integumen serangga kepik coklat (*Riptortus linearis*) (b). (Sumber: Arooni-Hesari *et al.* 2015).

sebelum hifa sekunder menyebar ke seluruh jaringan tubuh atau kurang lebih tiga sampai dengan empat hari setelah aplikasi.

Periode waktu yang dibutuhkan cendawan entomopatogen untuk kematian serangga tergantung dari virulensi isolat, faktor serangga yang terdiri umur/stadia maupun proses ganti kulit (*moulting*), dan faktor lingkungan seperti temperatur, kelembaban, dan angin (Chandrasekharan dan Nataraju 2011). Temperatur dan kelembaban merupakan dua faktor yang cukup berperan dalam menentukan keberhasilan cendawan mengkolonisasi tubuh serangga inang. Temperatur yang terlalu tinggi (di atas 35 °C) berdampak negatif terhadap proses pertumbuhan dan kolonisasi cendawan (Dhar *et al.* 2016; Herlinda *et al.* 2018; Alali *et al.* 2019). Sementara itu, angin diperlukan untuk menyebarkan kumpulan konidia yang sudah terbentuk pada permukaan tubuh serangga yang sudah mati ke serangga inang lain.

Tahap terakhir adalah kolonisasi. Miselium cendawan mulai mengkolonisasi seluruh jaringan di dalam tubuh inang dan berakhir dengan pembentukan organ reproduksi yaitu konidia. Kolonisasi miselia cendawan dimulai pada saat sumber makanan (*haemolymph*) di dalam tubuh serangga telah habis diabsorpsi dan digunakan oleh cendawan, pada waktu tersebut miselium cendawan menembus ke luar integumen serangga. Miselium berkembang cepat dengan mengkolonisasi seluruh permukaan tubuh serangga selanjutnya permukaan tubuh serangga dipenuhi dengan miselia berwarna putih sehingga serangga berbentuk seperti mumi (*mummification*) (Gambar 4). Kolonisasi miselia *B. bassiana* pada permukaan tubuh serangga tersebut terdiri dari kumpulan miselium dan konidia



Gambar 4. Kolonisasi miselium cendawan *B. bassiana* berwarna putih pada tubuh larva *S. litura* berbentuk seperti mumi. (Sumber: Nirupama 2014).

cendawan. Kumpulan konidia pada permukaan tubuh serangga tersebut berfungsi sebagai inokulum potensial untuk infeksi ke serangga inang lain.

JENIS SERANGGA INANG *B. BASSIANA*

B. bassiana merupakan salah satu jenis cendawan entomopatogen yang memiliki kisaran inang (spektrum) cukup luas dari berbagai jenis hama tanaman pangan, hortikultura maupun hama tanaman perkebunan yang termasuk dalam ordo Coleoptera, Homoptera, Hemiptera, Lepidoptera, Isoptera, Diptera, Orthoptera, Hymenoptera, Odonata, dan Thysanoptera. Moorthi *et al.* (2015) melaporkan bahwa cendawan *B. bassiana* sangat toksik dalam membunuh ulat grayak *Spodoptera litura* yang merupakan salah satu jenis serangga dari Ordo Lepidoptera.

Menurut laporan Zafar *et al.* (2016) bahwa *B. bassiana* efektif membunuh kutu kebul (*Bemisia tabaci*) (Homoptera: Aleyrodidae), baik stadia telur, nimfa, maupun imago. Sementara itu, Popoola *et al.* (2015) menyatakan bahwa *B. bassiana* juga efektif membunuh penggerek biji jagung *Prostephanus truncates* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). Selain itu, *B. bassiana* juga toksik terhadap hama aphid yang sangat merugikan berbagai jenis tanaman (Shrestha *et al.* 2015; Cheong *et al.* 2020). *B. bassiana* juga efektif membunuh hama rayap *Captotermes gastroi* (Isoptera: Rhinotermitidae) yang merusak tanaman perkebunan maupun perangkat rumah tangga (Ramdhania *et al.* 2016).

TOKSIN DAN SENYAWA METABOLIT *B. Bassiana*

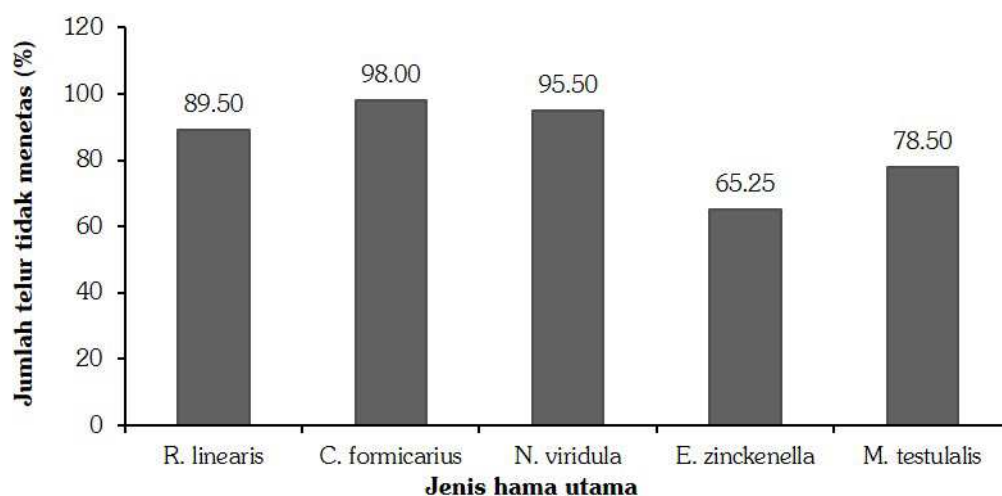
Toksin merupakan zat beracun yang diproduksi di dalam sel atau organisme hidup dalam bentuk molekul, peptida, maupun protein yang dapat merusak atau menyebabkan kerusakan jaringan bahkan kematian organisme lain. *B. bassiana* menghasilkan toksin yang umum berupa enzim protease yaitu Pr1 dan Pr2 yang dapat berfungsi sebagai pendegradasi kutikula serangga (Fan *et al.* 2010; Cito *et al.* 2016; Daniel *et al.* 2017; Maistrou *et al.* 2018). Sementara itu, berbagai senyawa metabolit yang dihasilkan cendawan *B. bassiana* antara lain; *beauvericin*, *bassianin*, *bassiacridin*, *bassianolide*, *cyclosporine*, dan *tenellin* yang sangat toksik dalam merusak sistem syaraf, menggagalkan proses ganti kulit (*moulting*) sehingga bentuk serangga menjadi tidak normal, bahkan dapat mengakibatkan kematian serangga inang (Behie *et al.* 2015; Vikhe *et al.* 2016; Jaber dan Ownley 2018).

Masing-masing jenis senyawa metabolit mempunyai peran dan toksisitas yang berbeda terhadap serangga inang. *Oosporein* dari *B. bassiana* dilaporkan dapat menghambat proses peletakan telur maupun menggagalkan penetasan telur berbagai jenis serangga hama yang termasuk Ordo Lepidoptera dari Famili Pyralidae (Klieber dan Reineke 2016; Mc Namara *et al.* 2019). Selanjutnya, Al Khoury *et al.* (2019) menyatakan bahwa *beauvericin* sangat toksik membunuh tungau *Tetranychus urticae*. Senyawa *bassianolide* juga mampu membunuh larva ulat grayak (*S. litura*) (Lepidoptera; Noctuidae) hingga mencapai 100% (Petlamul dan Prasertsan 2012). Sementara itu, senyawa *bassiacridin* dilaporkan cukup toksik membunuh serangga *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) (Keswani *et al.* 2013).

EFIKASI *B. BASSIANA*

Cendawan *B. bassiana* bersifat ovisidal

Salah satu efikasi *B. bassiana* adalah mampu membunuh fase telur atau menggagalkan penetasan telur serangga hama. Kemampuan *B. bassiana* dalam menggagalkan penetasan telur serangga hama terlihat dari jumlah telur beberapa jenis hama utama pada tanaman pangan yang tidak menetas setelah terinfeksi konidia cendawan tersebut. *B. bassiana* mampu menggagalkan penetasan telur kepik coklat *Riptortus linearis* hingga mencapai 89%, hama penggerek ubijalar *Cylas formicarius* mencapai 98%, kepik hijau *Nezara viridula* hingga 95%, telur penggerek polong kacang hijau *Maruca testulalis* sebanyak 78%, telur penggerek polong kedelai *Etiella zinckenell* sebesar 65% (Gambar 5).



Gambar 5. Kemampuan sifat ovisidal *B. bassiana* pada beberapa jenis telur hama utama tanaman pangan (Sumber: Koleksi pribadi).

Kemampuan *B. bassiana* dalam menggagalkan penetasan telur serangga sangat dipengaruhi oleh karakter peletakan telur dari masing-masing jenis serangga. Telur *N. viridula* yang umumnya diletakkan imago betina secara bergerombol atau berkelompok maupun yang terpapar di atas permukaan daun berpeluang besar dapat terinfeksi cendawan *B. bassiana*. Namun bagi telur serangga yang diletakkan imago secara terpisah maka peluang terinfeksi cendawan lebih rendah sehingga telur yang tidak menetas juga lebih sedikit atau terbatas.

Mulock dan Chandler (2001) melaporkan bahwa *oosporein* yang merupakan metabolit sekunder dari konidia *B. bassiana*, bersifat toksik dalam menggagalkan penetasan telur hama Coleoptera mencapai 75%. Shi *et al.* (2005) juga melaporkan bahwa *oosporein* yang diproduksi oleh *B. bassiana* mampu menggagalkan penetasan telur tungau merah *Tetranychus urticae* (Acari; Tetranychidae) hingga mencapai 95%. Kondisi ini disebabkan seluruh material penyusun struktur embrio telur telah mengalami kerusakan akibat terdegradasi oleh toksin *B. bassiana* (Mishra *et al.* 2013a).

B. bassiana juga mampu menggagalkan penetasan telur ulat grayak meskipun hanya 15%, yang lebih rendah jika dibandingkan dengan telur hama lain. Fenomena ini terjadi karena karakter kelompok telur ulat grayak yang terbungkus oleh selaput benang-benang halus yang cukup rapat. Hal ini menjadi faktor utama penghalang konidia *B. bassiana* dalam melakukan kontak dengan kelompok telur (Rabari *et al.* 2015). Oleh karena itu, aplikasi berulang kali sangat dianjurkan untuk meningkatkan efikasi *B. bassiana* dalam mengendalikan stadium telur serangga yang terbungkus oleh pelindung.

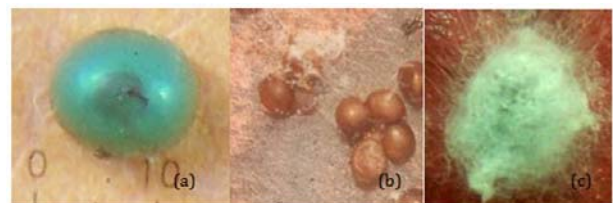
Konidia *B. bassiana* maupun cendawan entomopatogen yang lain pada waktu menginfeksi telur serangga melalui serangkaian mekanisme sebagai berikut: suspensi konidia menempel permukaan kulit telur (*chorion*) kemudian penetrasi dapat berlangsung melalui lubang alami telur (*mycrophyle*) atau penetrasi melalui korion menggunakan enzim yang dihasilkan yaitu protease, amilase, dan kitinase (Wang *et al.* 2005; Prayogo 2009). Dos Santos dan Gregorio (2003) menyatakan bahwa telur serangga terdiri dari tiga lapisan yaitu: 1) eksokorion yang mengandung karbohidrat, 2) endokorion tersusun dari protein, dan 3) lapisan kristalin paling dalam mengandung protein. Konidia berkembang membentuk miselium ke dalam struktur telur kemudian mengabsorpsi seluruh isi telur yang terdiri dari lemak maupun protein. Selanjutnya miselium berkembang memenuhi isi telur, pada waktu tersebut telur sudah dalam kondisi rusak dan tidak menetas. Setelah

sumber makanan di dalam telur dihabiskan oleh cendawan, kemudian miselium menembus kulit telur dan mengkolonisasi seluruh permukaan korion (Gambar 6 dan 7). Telur kepik coklat *R. linearis* dan telur hama penggerek ubijalar *C. formicarius* yang baru diletakkan imago betina lebih rentan terhadap infeksi cendawan akan tetapi telur yang berumur lima hari lebih toleran sehingga nimfa yang akan terbentuk juga banyak (Prayogo 2009; Artanti 2012). Namun menurut Del Prado *et al.* (2008) telur kutu kapuk kelapa *Aleurodicus cocois* (Curtis) (Homoptera: Aleyrodidae) yang berumur tujuh hari lebih rentan dibandingkan telur berumur satu atau dua hari terhadap infeksi cendawan entomopatogen *Lecanicillium lecanii*. Fenomena tersebut terjadi karena korion telur yang berumur tujuh hari sudah mengalami retak akan menetas sehingga memudahkan konidia dalam proses penetrasi dan menginfeksi isi telur.

Cendawan *B. bassiana* bersifat nimfasidal/larvisidal

A. Efikasi *B. bassiana* terhadap stadia nimfa kepik hijau

Terdapat dua jenis perkembangbiakan serangga, yaitu 1) holometabola yang memiliki siklus hidup dari telur, larva, pupa, dan imago, 2) hemimetabola yaitu dimulai dari telur, nimfa dan imago. Kepik hijau (*N. viridula*) termasuk salah satu jenis hama pengisap polong kedelai dan aneka kacang lain yang berkembangbiak secara tidak sempurna (hemimetabola). Hama ini ditemukan di pertanaman pada fase menjelang berbunga. Pada waktu tersebut



Gambar 6. Telur kepik coklat yang baru diletakkan imago(a), telur kepik coklat terinfeksi cendawan *B. bassiana* dan gagal menetas (b&c). (Sumber: koleksi pribadi).



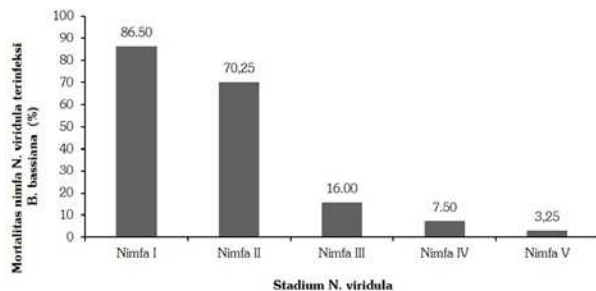
Gambar 7. Telur kepik hijau *N. viridula* gagal menetas akibat infeksi dan terkolonisasi cendawan *B. bassiana*. (Sumber: Prayogo 2013).

imago meletakkan telur pada organ tanaman di sekitar terbentuknya calon polong. Telur kepik hijau yang diletakkan imago akan menetas setelah enam hari, telur yang menetas kemudian berkembang membentuk stadia nimfa I-V yang berlangsung selama 20-24 hari (Prayogo 2013). *B. bassiana* mampu menginfeksi seluruh stadia nimfa *N. viridula*. Hasil aplikasi suspensi konidia *B. bassiana* yang dilakukan (Prayogo 2013) di rumah kaca, menunjukkan bahwa efikasi tertinggi adalah membunuh telur kemudian nimfa I dan II *N. viridula* (Gambar 8).

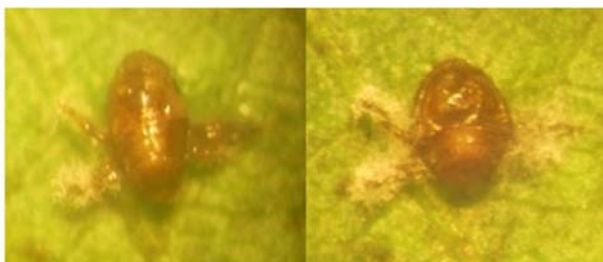
Nimfa kepik hijau yang sudah terinfeksi cendawan *B. bassiana* dari fase telur sebagian besar tidak dapat melangsungkan hidupnya atau mati. Miselium cendawan *B. bassiana* umumnya menginfeksi organ tubuh, mulai dari bagian tungkai atau bagian artikulasi lainnya seperti pada antena dan alat mulut yang ditandai dengan warna putih yang berupa miselium cendawan (Gambar 9). Nimfa *N. viridula* yang terinfeksi *B. bassiana* tidak berhasil melangsungkan siklus hidupnya karena nimfa gagal ganti kulit (*moulting*) (Ortiz-Urquiza dan Keyhani 2013).

B. Efikasi *B. bassiana* terhadap stadia nimfa kepik coklat *Riptortus linearis*

Kepik coklat (*R. linearis*) merupakan salah satu jenis hama pengisap polong kedelai selain kepik hijau (*N. viridula*) dan kepik hijau pucat (*P. hybneri*), jenis



Gambar 8. Efikasi *B. bassiana* dalam membunuh berbagai stadium nimfa kepik hijau (*N. viridula*). (Sumber: Prayogo 2013).



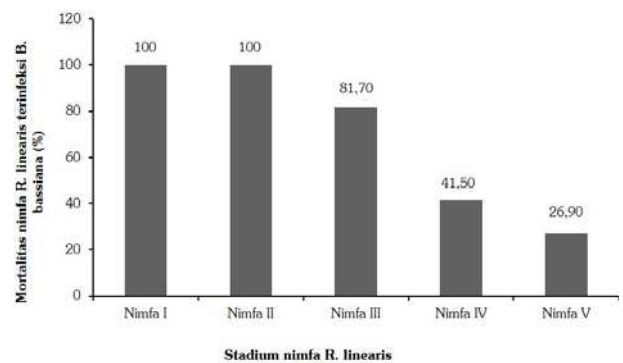
Gambar 9. Tungkai nimfa I kepik hijau *N. viridula* yang terinfeksi dan terkolonisasi miselium *B. bassiana*. (Sumber: Prayogo 2013).

yang mempunyai perkembangbiakan tidak sempurna (hemimetabola). Hama ini tergolong paling dominan populasinya di berbagai sentra produksi kedelai di Indonesia (Arifin dan Tengkan 2008; Mawan dan Amalia 2011). Perkembangan populasi kepik coklat didukung oleh tersedianya sumber makanan di lapangan secara terus menerus sepanjang siklus hidupnya karena serangga ini memiliki inang yang cukup luas termasuk gulma. Teknologi pengendalian yang diandalkan oleh petani yaitu secara konvensional menggunakan pestisida sintetik deltametrin dengan dosis dan frekuensi aplikasi yang tidak mengikuti anjuran. Namun populasi hama tersebut di lapangan terus meningkat dan semakin sulit untuk dikendalikan karena sudah mengalami resisten terhadap beberapa jenis pestisida sintetik.

B. bassiana dapat membunuh seluruh stadia serangga kepik coklat dengan mortalitas yang bervariasi. Mortalitas kepik coklat dipengaruhi oleh stadium serangga; nimfa muda lebih rentan terhadap infeksi cendawan dibandingkan dengan nimfa lebih tua yang terlihat pada mortalitas imago hanya sebesar 50%. Sementara itu, nimfa I dan II sangat rentan terhadap infeksi cendawan *B. bassiana* karena mortalitas mencapai 100% (Gambar 10).

C. Efikasi *B. bassiana* terhadap stadia kutu kebul *Bemissia tabaci*

Kutu kebul (*B. tabaci*) merupakan hama cukup penting pada berbagai jenis tanaman pangan maupun hortikultura. Serangga ini selain merusak tanaman dengan cara mengisap cairan tanaman juga sebagai vektor virus sehingga keberadaan serangga tersebut perlu mendapat perhatian lebih. Siklus hidup serangga berlangsung hanya 30-32 hari, dan pada kondisi cuaca panas maka siklus hidup serangga semakin pendek hanya berlangsung 15-20 hari. Seekor serangga betina mampu menghasilkan telur 94 ekor sehingga perkembangan populasinya sangat

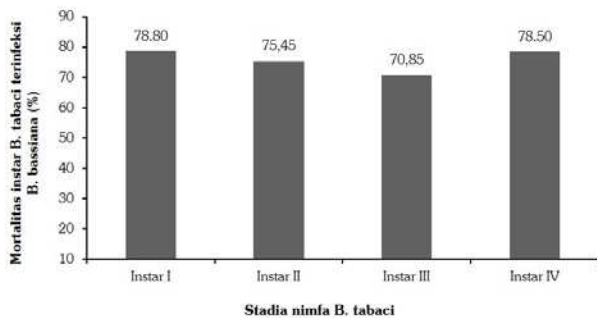


Gambar 10. Efikasi *B. bassiana* terhadap berbagai stadium kepik coklat (*R. linearis*). (Sumber: Prayogo dan Tantawizal 2016).

pesat (Guo *et al.* 2012; Hidayat *et al.* 2017). *B. tabaci* yang ada di Indonesia diduga sudah mengalami perubahan biotipe akibat cekaman seleksi lingkungan sehingga menjadi lebih toleran terhadap senyawa insektisida sintetik yang beredar. *B. bassiana* merupakan salah satu agens hayati yang dapat membunuh seluruh stadia serangga *B. tabaci* (Zafar *et al.* 2016)

Hasil aplikasi cendawan *B. bassiana* di rumah kaca dapat membunuh berbagai stadia nimfa *B. tabaci* mulai instar I, II, III, dan IV masing-masing 78,80%, 75,45%, 70,85% dan 78,50% (Gambar 11). Rata-rata mortalitas serangga *B. tabaci* di atas 70% sehingga tergolong cukup tinggi, hal ini disebabkan karena serangga belum membentuk sayap dan pergerakannya sangat terbatas. Dengan demikian, suspensi konidia *B. bassiana* yang diaplikasikan berpeluang besar berhasil menempel dan terjadi proses inokulasi pada tubuh serangga. Ditinjau dari habitat serangga *B. tabaci* yang berada pada permukaan bawah daun maka ujung *nozzle* dari *sprayer* pada waktu aplikasi suspensi konidia *B. bassiana* dianjurkan dapat menjangkau posisi serangga *B. tabaci*.

Hasil efikasi cendawan *B. bassiana* pada stadia nimfa kutu kebul pada tanaman kedelai lebih rendah dari hasil penelitian yang dilakukan Jahel *et al.* (2017) yang mencapai mortalitas 94% pada tanaman tomat. Perbedaan persentase mortalitas serangga disebabkan oleh virulensi cendawan akibat dari pengaruh keragaman genetik isolat *B. bassiana* yang diaplikasikan (Petlamul dan Prasertsan 2012). Oleh karena itu, untuk meningkatkan efikasi pengendalian *B. tabaci* dianjurkan untuk melakukan aplikasi secara berulang sebanyak tiga kali karena struktur populasi serangga umumnya beragam terdiri dari telur, nimfa maupun imago (Wari *et al.* 2020; Ghongade & Sangha 2021).



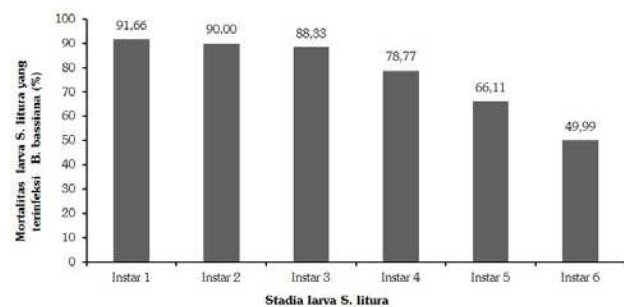
Gambar 11. Efikasi *B. bassiana* dalam membunuh berbagai stadia kutu kebul (*B. tabaci*). (Sumber: Koleksi pribadi).

D. Efikasi *B. bassiana* terhadap stadia larva ulat grayak *Spodoptera litura*

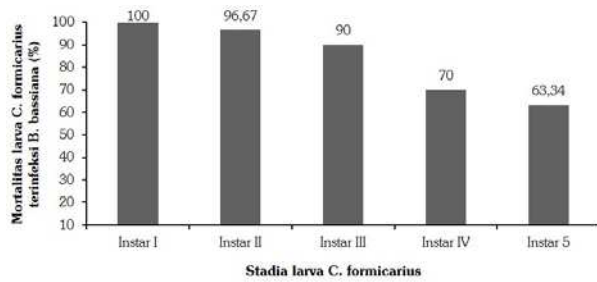
Spodoptera litura atau ulat grayak merupakan serangga yang bersifat polifag sehingga mempunyai banyak tanaman inang mulai dari tanaman pangan, hortikultura maupun perkebunan. Setiap ekor serangga betina mampu menghasilkan telur antara 500-1400 butir sehingga perkembangan populasi ulat grayak di lapangan cukup pesat. Hasil uji efikasi *B. bassiana* terhadap berbagai stadia instar ulat grayak di laboratorium mengindikasikan bahwa instar muda lebih rentan terhadap infeksi cendawan dibandingkan instar lebih tua (Gambar 12). Sementara itu, instar yang lebih tua hanya mampu menyebabkan mortalitas di bawah 50%. Kondisi ini disebabkan serangga pada instar VI sudah menjelang bentuk pupa sehingga memiliki lapisan lilin yang sangat tebal pada seluruh permukaan integumen sehingga konidia sulit melakukan penetrasi dan infeksi (Agrawal dan Simon 2017).

E. Efikasi *B. bassiana* terhadap berbagai stadia larva penggerek ubijalar *Cylas formicarius*

Kumbang penggerek umbi *C. formicarius* merupakan salah satu hama penting pada tanaman ubijalar yang dapat menyebabkan kerugian hasil mencapai 100%. Besarnya kerugian hasil umbi akibat serangan *C. formicarius* karena umbi yang sudah tergerek oleh larva tidak layak untuk dikonsumsi manusia. Stevenson *et al.* (2009) menginformasikan bahwa *C. formicarius* sudah toleran terhadap beberapa jenis insektisida sintetik seperti spinosad dan malathion. Oleh karena itu, beberapa peneliti menganjurkan untuk mencari alternatif teknologi pengendalian yang tidak menyebabkan resistensi dan ramah lingkungan (Leng dan Reddy 2012). Hasil penelitian Ondiaka *et al.* (2008) menunjukkan bahwa aplikasi *B. bassiana* sangat toksik untuk membunuh kumbang *C. formicarius* jika dibandingkan insektisida sintetik.



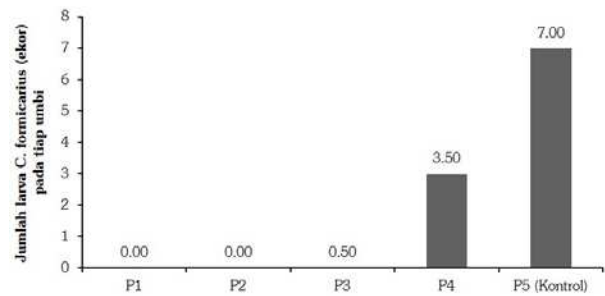
Gambar 12. Mortalitas berbagai stadia larva *S. litura* yang terinfeksi *B. bassiana* (Sumber: Koleksi pribadi).



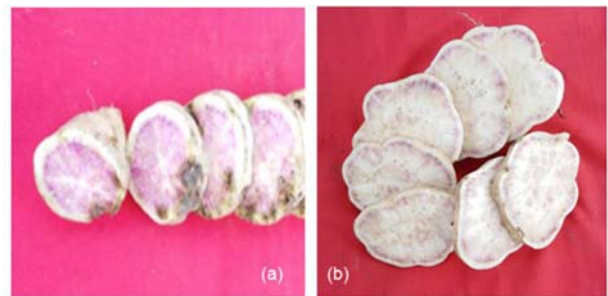
Gambar 13. Mortalitas stadia larva *C. formicarius* yang terinfeksi *B. bassiana* (Sumber: Artanti 2012).

Hasil penelitian Artanti (2012) mengindikasikan bahwa efikasi *B. bassiana* menyebabkan mortalitas larva *C. formicarius* hingga mencapai 100% (Gambar 13). Stadia larva instar I dan II terlihat sangat rentan yaitu masing-masing 96 dan 100% mortalitas dibandingkan dengan stadia instar IV maupun V. Efikasi cendawan *B. bassiana* tersebut terkait dengan produksi enzim protease dan kitinase yang dihasilkan *B. bassiana* lebih toksik dalam mendegradasi lapisan integumen larva yang baru terbentuk (Dhawan dan Joshi 2017; Mancillas-Paredes *et al.* 2019).

Hasil aplikasi *B. bassiana* di lahan endemik penggerek ubijalar di Kalimantan Selatan, mengindikasikan bahwa dengan metode perendaman stek ubijalar ke dalam suspensi konidia *B. bassiana* selama dua jam sebelum tanam dilanjutkan dengan 4-5 kali aplikasi penyemprotan pada pangkal batang dengan frekuensi aplikasi tiap minggu ternyata tidak ditemukan larva pada umbi (Prayogo dan Bayu 2019). Sementara itu, dengan aplikasi insektisida sintetis masih ditemukan tiga ekor larva *C. formicarius* yang hidup pada setiap umbi (Gambar 14). Kajian sebelumnya mengindikasikan bahwa seekor larva mampu menggerek umbi hingga keadaan umbi tidak layak dikonsumsi (Bayu dan Prayogo 2016; Prayogo dan Bayu 2019). Pengendalian hama penggerek umbi menggunakan insektisida kimia hanya mampu membunuh stadia imago dan tidak mampu membunuh stadia larva yang berada di dalam umbi yang ada di dalam tanah sehingga umbi masih mengalami gerakan (Gambar 15). Sedangkan larva-larva *C. formicarius* yang berhasil ditemukan pada tiap pangkal batang ubijalar dengan aplikasi *B. bassiana*, setelah tanaman dipanen larva tersebut diinkubasi di dalam cawan petri terlihat pada seluruh tubuh serangga terkolonisasi oleh miselium *B. bassiana* yang berwarna putih (Gambar 16).



Gambar 14. Jumlah larva *C. formicarius* tiap umbi dengan berbagai cara aplikasi *B. bassiana* di lahan Pasang Surut (Kalimantan Selatan). Keterangan: P1 (stek direndam + aplikasi *B. bassiana* umur 8, 9, 10, 11, 12 MST), P2 (stek direndam + aplikasi *B. bassiana* umur 4, 6, 8, 10, 12 MST), P3 (stek direndam + aplikasi *B. bassiana* umur 5, 7, 9, 11MST), P4 (aplikasi insektisida sintetis), dan P5 (tanpa pengendalian). (Sumber: Prayogo dan Bayu 2019).



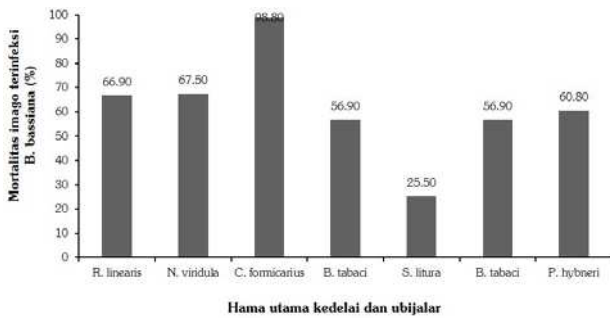
Gambar 15. Keragaan ubijalar yang tergerek *C. formicarius* setelah diaplikasi a) insektisida sintetis b) cendawan *B. bassiana*. (Sumber: Prayogo dan Bayu 2019).

Cendawan *B. bassiana* toksik terhadap stadia imago

Imago merupakan stadia serangga dewasa yang terjadi pada tahap akhir perkembangbiakan seluruh serangga. Pada stadia tersebut sebagian besar serangga memiliki sayap yang akan digunakan untuk melakukan pergerakan dari satu tempat ke tempat lain. Oleh karena itu, bagi serangga yang mempunyai karakter mobilitas tinggi, dapat mempengaruhi tingkat keberhasilan proses inokulasi suspensi konidia yang diaplikasikan. Cendawan *B. bassiana* dilaporkan juga mampu membunuh atau toksik terhadap stadia imago berbagai jenis serangga hama pada berbagai jenis tanaman. Hasil uji efikasi konidia *B. bassiana* yang dilakukan di rumah kaca pada beberapa jenis hama utama kedelai dan ubijalar dengan mortalitas sangat bervariasi, terlihat mortalitas tertinggi pada imago *C. formicarius* hingga mencapai 98% (Gambar 17). Variasi mortalitas serangga uji diduga karena pengaruh faktor perilaku



Gambar 16. Larva *C. formicarius* yang ditemukan pada pangkal batang ubijalar dan terkolonisasi miselium *B. bassiana* pada hari ke empat (a) dan hari ke tujuh setelah diinkubasi (b). (Sumber: Prayogo dan Bayu 2019).



Gambar 17. Mortalitas stadia imago hama utama kedelai dan ubijalar yang terinfeksi *B. bassiana* (Sumber: Koleksi pribadi).

serangga selain faktor utama yaitu enzim protease dan kitinase yang cukup berperan (Kaur dan Padmaja 2009; Boyle dan Cutler 2012; Dhawan dan Joshi 2017; Cheong *et al.* 2020). Meskipun imago *C. formicarius* juga mempunyai sayap akan tetapi pergerakannya relatif lambat jika dibandingkan dengan serangga lain sehingga suspensi konidia *B. bassiana* yang diaplikasikan berhasil melakukan inokulasi dan infeksi pada tubuh serangga. Sementara itu, efikasi *B. bassiana* pada imago *S. litura* jauh lebih rendah yaitu hanya 25% jika dibandingkan dengan mortalitas serangga lainnya. Menurut Agrawal dan Simon (2017) bahwa stadia larva instar akhir *S. litura* yang mendekati terbentuk imago sangat toleran terhadap infeksi *B. bassiana* jika dibandingkan serangga muda karena terkait tebalnya struktur kutikula.

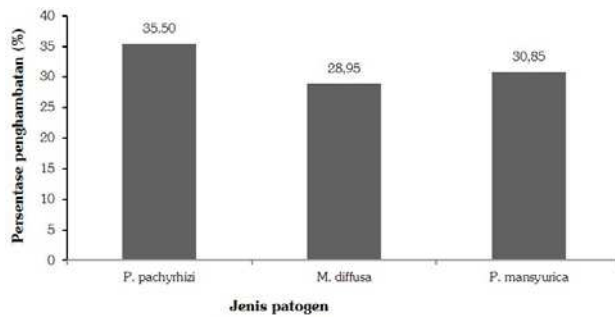
CENDAWAN *B. BASSIANA* BERSIFAT ENDOFIT

Cendawan *B. bassiana* selain sebagai agens pengendalian hama juga bersifat endofit yang hidup di dalam jaringan sehingga dapat melindungi tanaman dari berbagai jenis penyakit penting (Bonnie *et al.* 2010; Castillo-Lopez dan Sword 2015; Ortiz *et al.* 2016; Greenfield *et al.* 2016; Prabhukarthikeyan *et al.* 2017; Jaber dan Ownley 2018;

Mwanburi 2021). Berbagai jenis penyakit tanaman yang dapat dihambat perkembangannya oleh cendawan *B. bassiana* yaitu penyakit tular tanah (*soil born disease*) antara lain: *Botrytis cinerea*, *Verticillium dahliae*, *Phytophthora megasperma*, dan beberapa penyakit tular tanah lainnya pada berbagai jenis tanaman pangan, perkebunan maupun hortikultura (Akello *et al.* 2007; Ownley *et al.* 2008; Powell *et al.* 2009; Tefera dan Vidal 2009; Punja *et al.* 2016; Lozano-Tovar *et al.* 2017; Saragih *et al.* 2019; Barra-Bucarei *et al.* 2020). Soetanto *et al.* (2020) melaporkan bawa aplikasi senyawa metabolit sekunder dari cendawan *Metarhizium anisopliae*, *B. bassiana*, dan *Lecanicillium lecanii* dapat menekan masa inkubasi dan intensitas penyakit virus pada cabai di atas 77% selain mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, maupun jumlah pucuk.

Mekanisme *B. bassiana* sebagai cendawan endofit secara langsung dapat terjadi melalui kompetisi, parasit, maupun antibiotik dengan menghasilkan senyawa metabolit sekunder, enzim, maupun senyawa volatil dan mekanisme secara tidak langsung seperti induksi resistensi untuk menghambat pertumbuhan penyebab penyakit tanaman (Ownley *et al.* 2010; Castillo-Lopez dan Sword 2015; Ortiz *et al.* 2016; Greenfield *et al.* 2016). Beberapa peneliti lain juga melaporkan bahwa cendawan endofit *B. bassiana* mampu meningkatkan ketahanan tanaman akibat kolonisasi pada daerah perakaran yang terinfeksi patogen penyebab *damping off* oleh cendawan *Botrytis cinerea*, *Verticillium dahliae*, *Phytophthora megasperma*, *Rhizoctonia solani*, dan *Pythium myriotylum* (Punja *et al.* 2016; Lozano-Tovar *et al.* 2017; Bamisile *et al.* 2018; Saragih *et al.* 2019; Barra-Bucarei *et al.* 2020). *B. bassiana* juga dapat menekan perkembangan penyakit *downy mildew* (*Plasmopora viticola*), kondisi ini terlihat dari karakter fakultatif yang menyebabkan parasitasi pada struktur *downy mildew* (Jaber dan Salem 2014; Jaber 2015; Rondot dan Reineke 2019). Hasil yang diperoleh tanaman inang dari interaksi dengan *B. bassiana* yaitu kelimpahan sumber karbon yang berfungsi dalam meningkatkan ketahanan inang dari infeksi patogen. Oleh karena itu, sifat endofit *B. bassiana* lebih banyak digunakan sebagai agens pengendalian hayati jika dibandingkan cendawan lainnya (Prabhukarthikeyan *et al.* 2017; Jaber dan Ownley 2018; Mwanburi 2021).

Hasil uji aplikasi pendahuluan suspensi konidia *B. bassiana* yang dilakukan Prayogo (2011) menunjukkan bahwa cendawan tersebut mampu menekan sebesar 35% perkembangan penyakit karat daun kedelai yang disebabkan *Phakopsora pachyrhizi*, *downy mildew* (*Perenospora mansyurica*)



Gambar 18. Persentase penghambatan perkembangan penyakit oleh cendawan endofit *B. bassiana* terhadap tiga jenis penyakit obligat pada daun kedelai (Sumber: Prayogo 2011).

sebesar 31%, dan *powdery mildew* (*Microspora diffusa*) sebesar 29% jika dibandingkan kontrol (Gambar 18). Menurut Jaber dan Vidal (2010), senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan *B. bassiana* dapat mengakibatkan lisis bagi spora-spora penyakit obligat dan selanjutnya spora tidak dapat berkecambah, akhirnya perkembangan penyakit menjadi terhambat.

KOMPATIBILITAS *B. BASSIANA* DENGAN PENGENDALIAN HAMA LAIN

Kompatibilitas *B. bassiana* dengan pestisida nabati

Kombinasi berbagai teknologi pengendalian bertujuan untuk meningkatkan efisiensi efikasi pengendalian dengan rentang waktu singkat menekan kerugian. Cendawan *B. bassiana* sebagai biopestisida dapat dikombinasikan dengan beberapa jenis pestisida nabati seperti: serbuk biji mimba (SBM) *Azadirachta indica*, serbuk daun srikaya (SDS) *Annona squamosa*, serbuk biji jarak (SBJ) *Jathropa curcas*, dan serbuk daun Aglaia (SDA) *Aglaia odorata*.

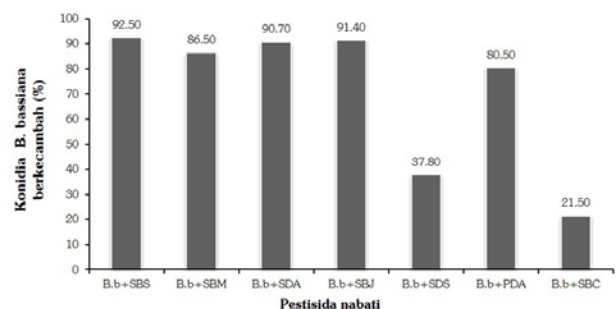
Kompatibilitas aplikasi *B. bassiana* dengan beberapa pestisida nabati dapat dilihat dari waktu kematian *R. linearis* yang lebih pendek dan mortalitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi secara terpisah. Kejadian ini disebabkan pestisida nabati mengandung minyak sehingga dapat berfungsi sebagai racun atau memblokir lubang spirakel yang terdapat di sepanjang abdomen serangga (Odibo dan Ojianwuna 2020; Okweche et al. 2021). Namun, pestisida nabati daun sirih *Piper betle* dan minyak dari bunga cengkeh *Syzygium aromaticum* (SBC) dapat merusak konidia cendawan *B. bassiana* (Prayogo, belum dipublikasikan). Kondisi ini disebabkan banyak dinding konidia *B. bassiana* yang mengalami lisis akibat minyak atsiri dan eugenol sehingga konidia *B. bassiana* yang mampu berkecambah sangat rendah masing-masing 37%

dan 21%. Sementara itu, kompatibilitas cendawan *B. bassiana* dengan pestisida nabati yang diambil dari bijinya maka jumlah konidia *B. bassiana* yang dapat berkecambah lebih tinggi di atas kontrol (PDA) dengan rerata sebesar 85% (Gambar 19). Al-Mazra'awi et al. (2007) menyatakan bahwa efikasi cendawan *B. bassiana* akan meningkat jika dikombinasikan dengan pestisida nabati biji mimba karena pestisida nabati tersebut mengandung senyawa minyak yang dapat meningkatkan perkecambahan konidia.

Safavi et al. (2007) menginformasikan bahwa cendawan entomopatogen *Paecilomyces fumosoroseus* dan *B. bassiana* yang diproduksi pada media yang memiliki kandungan C/N rasio 10:1 akan berproliferasi optimal dan menghasilkan enzim protease (Pr1) cukup tinggi sehingga cendawan tersebut sangat virulen. Mishra dan Malik (2013) juga melaporkan bahwa C/N rasio merupakan syarat utama dalam perbanyakan cendawan entomopatogen agar agens hayati tersebut dapat tumbuh dan memproduksi konidia dalam jumlah yang banyak serta memiliki virulensi tinggi. Beberapa peneliti melaporkan bahwa tingkat sporulasi dan virulensi cendawan entomopatogen sebagai agens hayati juga dipengaruhi oleh karakter isolat, selain jenis media perbanyakan yang digunakan (Seema et al. 2013; Kumar et al. 2016).

Kompatibilitas *B. bassiana* dengan predator

Dalam suatu komunitas terdapat berbagai jenis organisme, baik serangga hama maupun kompleks musuh alami termasuk predator, parasitoid, dan patogen serangga. Terjadinya peledakan hama maupun penyakit akibat keberadaan musuh alami



Gambar 19. Konidia *B. bassiana* yang berkecambah pada media tumbuh mengandung pestisida nabati. Keterangan: SBS (serbuk biji srikaya), SDA (serbuk daun *Aglaia odorata*), SBM (serbuk biji mimba), SBJ (serbuk biji jarak), SDS (serbuk daun srikaya), dan PDA (*potato dextrose agar*). (Sumber: Koleksi pribadi).

(serangga berguna) tidak dapat berperan secara maksimal. Hasil aplikasi cendawan *B. bassiana* dengan kepadatan konidia 10^7 /ml dengan penyemprotan hingga enam kali masih ditemukan populasi predator *Coccinella* sp., *Oxyopes* sp., dan *Paederus* sp. satu hingga dua ekor (Bayu dan Prayogo 2018) (Tabel 1). Sementara itu, penyemprotan menggunakan insektisida sintetik sebanyak enam kali dapat membunuh seluruh populasi predator kecuali *Paederus* sp. Predator *Paederus* sp. memiliki perilaku yang sangat cepat sehingga peluang menghindari infeksi *B. bassiana* yang diaplikasikan sangat rendah. Selain itu, diduga seluruh tubuh predator memiliki lapisan lilin yang cukup tebal sehingga menghalangi proses inokulasi maupun penetrasi konidia pada integumen predator (Jarrold *et al.* 2007; Ormond *et al.* 2011; Ortiz-Urquiza dan Keyhani 2013; Sun *et al.* 2018).

Zaki (2011) melaporkan bahwa aplikasi cendawan *B. bassiana* dengan dosis rendah tidak berdampak negatif terhadap kelangsungan hidup predator *Coccinella undecimpunctata*, namun pada dosis tinggi (8 g/l) mempengaruhi kelangsungan hidup imago predator tersebut. Huang *et al.* (2012) juga menjelaskan bahwa mortalitas predator dari kelompok Coccinellidae mencapai 28,2% oleh aplikasi *B. bassiana* dengan kepadatan konidia 10^9 /ml. Selanjutnya, Jarrold *et al.* (2007) dan Zhang *et al.* (2012) menyatakan bahwa lapisan lilin dan lipid yang cukup tebal berdampak negatif pada perkecambahan konidia *B. bassiana* sehingga konidia tidak mampu penetrasi ke lapisan integumen serangga. Namun aplikasi *B. bassiana* kurang kompatibel dengan pelepasan parasitoid *Encarsia formosa* jika dilakukan pada waktu yang bersamaan, karena tingkat parasitasi pada nimfa *Trialeorodes vaporariorum* lebih rendah (Oreste *et al.* 2016). Silva *et al.* (2014) menganjurkan waktu aplikasi *B. bassiana* untuk pengendalian *Myzus persicae* baru

Tabel 1. Dampak aplikasi cendawan *B. bassiana* terhadap kelangsungan hidup predator generalis di lahan pertanian kacang hijau

Jumlah aplikasi <i>B. bassiana</i>	Populasi predator		
	<i>Coccinella</i> sp.	<i>Oxyopes</i> sp.	<i>Paederus</i> sp.
P1 (6x aplikasi)	2,50	1,50	1,50
P2 (5x aplikasi)	3,25	1,50	0,00
P3 (4x aplikasi)	2,75	0,00	4,25
P4 (3x aplikasi)	0,00	2,25	3,25
P5 (2x aplikasi)	2,50	1,25	5,50
P6 (6x aplikasi insektisida kimia)	0,00	0,00	1,25
Tanpa aplikasi	5,50	3,50	7,25

Sumber: Bayu dan Prayogo (2018).

dilakukan setelah 48 jam pelepasan parasitoid *Diaretilla rapae* (Hymenoptera: Braconidae).

Meskipun penggunaan *B. bassiana* dalam pengendalian hama menunjukkan beberapa kelebihan, aplikasi *B. bassiana* dalam skala luas masih terbatas. Keterbatasan tersebut disebabkan oleh kurang konsisten kinerja dari *B. bassiana* karena faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik terdiri dari sumber isolat cendawan (strain) yang digunakan (Qazzaz *et al.* 2015), umur biakan cendawan (Mishra *et al.* 2013b), jenis media alami yang digunakan sebagai perbanyakan (Bena-Molaei *et al.* 2011; Castrejon-Antonio *et al.* 2017), jenis serangga yang dikendalikan (Boyle dan Cutler 2012), stadia serangga, dan waktu aplikasi (White *et al.* 2021). Hasil penelitian Petlamul dan Prasertsan (2012) menunjukkan bahwa *B. bassiana* strain BNBCRC menyebabkan kematian hingga 80% pada larva *S. litura*, sedangkan *B. bassiana* strain B14532 hanya mampu menyebabkan kematian larva sebesar 60%. Li *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa virulensi sembilan isolat *B. bassiana* dalam mengendalikan imago *Nilaparvata lugens* berbeda signifikan antarisolat. Perbedaan efikasi tersebut terjadi karena keragaman karakter genetik dari masing-masing isolat maupun jenis serangga hama yang diuji (Lee *et al.* 2018; Zhang *et al.* 2020)

Perbedaan strain/isolat cendawan juga menunjukkan perbedaan tingkat produksi konidia dan perkecambahan konidia yang berpengaruh pada efektivitasnya. Aplikasi cendawan entomopatogen yang tepat dan efektif terutama di lapangan adalah sore hari, untuk menghindari sinar UV dan mempertahankan kelembaban. Faktor abiotik yang mempengaruhi efektifitas *B. bassiana* antara lain suhu, kelembaban, radiasi UV, dan tipe habitat. Faktor abiotik tersebut secara signifikan dapat mengurangi viabilitas konidia, kecepatan perkecambahan, laju pertumbuhan hifa, dan produksi konidia (Ahmad *et al.* 2016; Immediato *et al.* 2017). Rodrigues *et al.* (2016) dan Kaiser *et al.* (2019) melaporkan bahwa radiasi sinar UV dapat merusak konidia dan menurunkan efikasi *B. bassiana* yang diaplikasikan di lapang. Selain itu, Mishra *et al.* (2015) melaporkan bahwa *B. bassiana* membutuhkan suhu 30 °C dan kelembaban 75-100% untuk dapat menginfeksi imago dan larva *Musca domestica*, di luar rentang suhu dan kelembaban tersebut, tingkat infeksi *B. bassiana* rendah.

Berbagai kelemahan *B. bassiana* dapat diatasi melalui: 1) penggunaan isolat cendawan yang virulen, 2) perbanyakan cendawan pada media alami secara terus menerus lebih dari lima kali menyebabkan penurunan efikasi sehingga harus

direinokulasikan (*passing culture*) ke serangga inang (Kassa *et al.* 2008; Lopez-Perez *et al.* 2014), 3) perbanyak menggunakan media alami yang ditambah senyawa kitin (Guerrero *et al.* 2008; Rohman *et al.* 2017; Saputro *et al.* 2019; Abdullah dan Sukar 2021), 4) sebelum aplikasi perlu ditambah bahan perekat dan perata karena konidia bersifat hidrofobik (Falchi *et al.* 2014; Mascarin dan Jaronski 2016), dan 5) aplikasi suspensi konidia harus mengenai serangga sasaran terutama serangga yang berada di permukaan bawah daun atau yang bersembunyi (Stafford dan Allan 2010; Zafar *et al.* 2016; Pelizza *et al.* 2019).

CARA APLIKASI *B. BASSIANA*

Organ infeksi dari *B. bassiana* yang digunakan adalah konidia selain senyawa metabolit sekunder sehingga organ tersebut yang harus diaplikasikan ke serangga sasaran dan ke patogen tanaman. Formulasi sederhana *B. bassiana* umumnya dalam bentuk tepung maupun cair yang di dalam formulasi tersebut sudah mengandung konidia. Jika formulasi dalam bentuk tepung, pada setiap 2-3 g tepung yang dilarutkan ke dalam tiap liter air maka dalam konsentrasi tersebut mengandung konidia *B. bassiana* kurang lebih 10^6 /ml. Efikasi pengendalian menggunakan biopestisida cendawan entomopatogen ditentukan oleh kerapatan konidia yang terkandung pada tiap ml air, oleh karena itu kerapatan konidia harus optimal sehingga mampu menyebabkan infeksi pada inang yang selanjutnya menyebabkan *epizootic* (Oliveira *et al.* 2015)

Kerapatan konidia *B. bassiana* untuk pengendalian hama tungau *Tetranychus urticae* (Araci: Tetranychidae) 1×10^8 /ml sebanyak 2 kali aplikasi dapat menurunkan tingkat kerusakan daun hingga 94% (Ullah dan Lim 2015). Sementara itu, kerapatan konidia *B. bassiana* yang digunakan untuk pengendalian ulat grayak *S. litura* (Lepidoptera: Noctuidae) diperlukan $3,06 \times 10^8$ /g (Indriyanti *et al.* 2017). Namun demikian, semakin tinggi stadia instar serangga juga semakin toleran sehingga disarankan untuk meningkatkan kerapatan konidia (Agrawal dan Simon 2017).

Waktu aplikasi cendawan entomopatogen untuk pengendalian hama yang berada di atas permukaan tanah atau pada bagian tanaman dianjurkan pada sore hari setelah pukul 15.00 WIB agar terhindar dari sinar UV yang dapat merusak konidia sehingga efikasi menjadi rendah. Suspensi konidia *B. bassiana* yang akan diaplikasikan harus ditambah bahan perekat untuk menghindari faktor lingkungan yang kurang mendukung seperti angin maupun air hujan.

Oleh karena itu, Inglis *et al.* (1997), Stafford dan Allan (2010) sangat menganjurkan penambahan minyak nabati ke dalam suspensi konidia untuk meningkatkan efikasi pengendalian. Menurut Mishra *et al.* (2013a) dan Kaiser *et al.* (2020) minyak nabati selain dapat merekatkan konidia pada integumen serangga juga dapat meningkatkan kelembaban sehingga konidia cepat berkecambah.

Untuk pengendalian hama pengisap polong, maka ujung *nozzle* harus diarahkan pada letak keberadaan serangga agar suspensi konidia *B. bassiana* yang diaplikasikan dapat kontak dengan serangga inang. Sedangkan cara pengendalian hama penggerek ubijalar suspensi konidia *B. bassiana* sebaiknya diaplikasikan pada pangkal batang dimana terbentuk umbi atau aplikasi di permukaan tanah karena biasanya imago meletakkan telurnya pada lokasi tersebut (Swiergiel *et al.* 2016). Oleh karena itu, pemahaman tentang perilaku serangga sangat diperlukan agar pengendalian hama menggunakan agens hayati khususnya cendawan entomopatogen lebih efektif dan efisien.

Cara aplikasi *B. bassiana* untuk pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan melalui perlakuan benih (*seed treatment*), aplikasi di tanah maupun aplikasi pada permukaan tanaman (Jaber 2015; Jaber dan Enkerli 2016). El Kichaoui *et al.* (2017) melaporkan bahwa penyakit layu yang disebabkan oleh cendawan *Fusarium* dapat dikendalikan menggunakan *B. bassiana* melalui benih yang akan ditanam atau di daerah perakaran tanaman cabai. Selanjutnya, Rondot dan Reineke (2019) menyatakan bahwa penyakit *downy mildew* pada tanaman anggur dapat dikendalikan dengan aplikasi *B. bassiana* yang disemprotkan pada bagian daun yang terinfeksi. Sedangkan Barra-Bucarei *et al.* (2020) melaporkan bahwa aplikasi *B. bassiana* dapat dilakukan melalui perlakuan benih (*seed treatment*) atau di daerah perakaran, batang maupun di daun untuk melindungi serangan penyakit busuk buah *Botrytis cinerea* pada tanaman tomat dan cabai. Kondisi tersebut disebabkan mekanisme dari cendawan *B. bassiana* selain menghasilkan senyawa antibiosis berupa stilbenes dan saponin juga menghasilkan senyawa metabolit *oosporein* maupun *beauvericin* selain melakukan kompetisi maupun hiperparasit sehingga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan hama maupun stress akibat faktor lingkungan (Rondot dan Reineke 2017; Jaber dan Ownley 2018; Rondot dan Reineke 2018; Viret *et al.* 2018). Bahkan Jaber dan Salem (2014) mengindikasikan bahwa aplikasi cendawan endofit *B. bassiana* dapat memperbaiki ketahanan tanaman labu yang terinfeksi virus mosaik (*Yellow Mosaic Virus*).

KESIMPULAN

Beauveria bassiana merupakan cendawan entomopatogen yang mampu membunuh berbagai jenis dan stadia serangga termasuk telur, nimfa/larva maupun imago. Efikasi *B. bassiana* dipengaruhi oleh produksi enzim dan toksin yang berfungsi mempengaruhi sistem kerja syaraf dan membunuh serangga inang. Salah satu keunggulan cendawan *B. bassiana* adalah bersifat ovisidal sehingga mampu menggagalkan penetasan telur serangga. Cendawan *B. bassiana* juga bersifat endofit sehingga mampu menekan perkembangan penyakit tular tanah (*soil borne disease*), penyakit layu *Fusarium*, maupun penyakit *downy mildew* pada tanaman pangan maupun hortikultura. *B. bassiana* merupakan biopestisida yang ramah lingkungan karena tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kelangsungan hidup serangga berguna, khususnya predator maupun parasitoid pada stadia tertentu. Biopestisida *B. bassiana* mempunyai peluang yang cukup besar dapat digunakan sebagai agens hayati untuk pengendalian hama maupun berbagai jenis penyakit tanaman, dan sebagai alternatif pengganti pestisida sintetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah RRH, Sukar HA. 2021. Enhancing the efficacy of the biopesticide *Beauveria bassiana* by adding chitosan to its secondary metabolites. *International Journal of Entomology Research* 6(1):30-35.
- Acheampong MA, Hill MP, Moore SD, Coombes CA. 2020. UV sensitivity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates under investigation as potential biological control agents in South African citrus orchards. *Fungal Biology* 124(5):304-31.
- Agrawal S, Simon S. 2017. Efficacy of *Beauveria bassiana* on different larval instars of tobacco caterpillar (*Spodoptera litura* Fab.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6(8):1992-1996.
- Ahmad MA, Ghazal I, Rajab LH. 2016. Laboratory Evaluation of the effect of temperature and several media on the radial growth, conidia production and germination of the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) vuil. *SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science* 3(6): 35-41.
- Amuntha M, Banu JG, Surulivelu T, Gopalakrishnan N. 2010. Effect of commonly used insecticides on the growth of white muscardine fungus, *Beauveria bassiana* under laboratory conditions. *Journal of Biopesticides* 3(1);143-146.
- Akello J, Dubois T, Gold CS, Coyne D, Nakavuma J, Paparu P. 2007. *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin as an endophyte in tissue culture banana (*Musa* spp.). *Journal of Invertebrate Pathology* 96(1):34-42.
- Alali S, Mereghetti V, Faoro F, Bocchi S, Azmeh FA, Montagna M. 2019. Thermotolerant isolates of *Beauveria bassiana* as potential control agent of insect pest in subtropical climates. *Plos One*.
- Al Khoury C, Guillot J, Nemer N. 2019. Lethal activity of beauvericin, a *Beauveria bassiana* mycotoxin, against the two spotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Entomology* 143(9): 974-983.
- Al-Mazra'awi MS, Al-Abbadi AM, Shatnawi MA, Ateyyat M. 2009. Effect of application method on the interaction between *Beauveria bassiana* and neem tree extract when combined for *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) control. *Journal of Food, Agriculture, & Environment* 7(2):869-873.
- Altinok HH, Altinok MA, Koca AS. 2019. Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current Trends in Natural Sciences* 8(16):117-124.
- Arifin M, Tengkan W. 2008. Tingkat kerusakan ekonomi hama kepik coklat pada kedelai. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 27(1):47-54.
- Arooni-Hesari M, Talaei-Hassanlou R, Sabahi Q. 2015. Simultaneous use of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and *Diatomaceous earth* against the larvae of Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Advances in Bioscience and Biotechnology* 6(8):501-507.
- Arrubla MPF, Cardenas RM, Posada FFJ. 2010. Effect of environmental moisture on the germination of *Beauveria bassiana* spores and their pathogenicity against the coffee berry borer. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica* 13(1):67-76.
- Ayudya DY, Herlinda S, Suwandi. 2019. Insecticidal activity of culture filtrates from liquid medium of *Beauveria bassiana* isolates from South Sumatra (Indonesia) wetland soil against larvae of *Spodoptera litura*. *Biodiversitas* 20(8):2101-2109.
- Azadi N, Shirzad A, Mohammadi H. 2016. A study of some biocontrol mechanisms of *Beauveria bassiana* against *Rhizoctonia* disease on tomato. *Acta Biologica Szegediensis* 60(2): 119-127.
- Bamisile BS, Dash CK, Akutse KS, Keppan R, Afolabi OG, Hussain M,....., Wang L. 2018. Prospects of endophytic fungal entomopathogens as biocontrol and plant growth promoting agents: An insight on how artificial inoculation methods affect endophytic colonization of host plants. *Microbiological Research* 217:34-50.

- Bayu MSYI, Prayogo Y. 2016. Pengendalian hama penggerek ubi jalar *Cylas formicarius* (Fabricius) (Coleoptera: Curculionidae) menggunakan cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Jurnal Entomologi Indonesia* 13(1):40-48.
- Baretto CC, Staats CC, Schrank A, Vainstein MH. 2004. Distribution of chitinases in the entomopathogen *Metharizium anisopliae* and effect of N-acetylglucosamine in protein secretion. *Current Microbiology* 48(2):102-107.
- Barra-Bucarei L, Iglesias AF, Gonzales MG, Aguayo GS, Carrasco-Fernandez J, Castro JF, Campos JO. 2020. Antifungal activity of *Beauveria bassiana* endophyte against *Botrytis cinerea* in two *Solanaceae* crops. *Microorganisms* 8(1):65
- Bayu MSYI, Prayogo Y. 2018. Field efficacy of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo.) to the management of mungbean insect pests. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 102(2018): 012032.
- Behie SW, Jones SJ, Bidochka MJ. 2015. Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi *Metarhizium* and *Beauveria*. *Fungal Ecology* 13(2015):112-119.
- Bena-Molaei P, Talaei-Hassanloui R, Askary H. 2011. Effect of culture substrates on virulence of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Cordycipitaceae) conidia against the browntail moth, *Euproctis chrysorrhoea* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Biocontrol Science and Technology* 21(5-6):619-624.
- Boston W, Leemon D, Cunningham JP. 2020. Virulence screen of *Beauveria bassiana* isolates for *Australian carpophilus* (Coleoptera: Nitidulidae) beetle biocontrol. *Agronomy* 10(2020):1-10.
- Boyle D, Cutler GC. 2012. Effects of insect activity, soil, and cuticular factors on virulence of *Beauveria bassiana* toward *Blissus leucopterus hirtus*. *Journal of Pest Science* 85(4):505-512.
- Brownbridge M, Reay SD, Nelson TL, Glare TR. 2012. Persistence of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an endophyte following inoculation of radiate pine seed and seedlings. *Biological Control* 61(3):194-200.
- Candrasekharan K, Nataraju B. 2011. *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) infection during ecdysis of silkworm *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). *Munis Entomol Zoo* 6(2011):312-316.
- Castrejon-Antonio JE, Nunez-Mejia G, Iracheta MM, Gomez-Flores R, Tamayo-Mejia F, Ocampo-Hernandez JA, Tamez-Guerra P. 2017. *Beauveria bassiana* blastospores produced in selective medium reduce survival time of *Epilachna varivestis* Mulsant larvae. *Southwestern Entomologist* 42(1):203-220.
- Celar FA, Kos K. 2016. Effects of selected herbicides and fungicides on growth, sporulation and conidial germination of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science* 72(11):2110-2117.
- Cheong PC, Glare TR, Rostas M, Haines S, Brookes JJ, Ford S. 2020. Lack of involvement of chitinase in direct toxicity of *Beauveria bassiana* cultures to the aphid *Myzus persicae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 169(2020):107276.
- Chinnadurai S, Ganesh P. 2013. Optimization process for blastospore production of *Beauveria bassiana* isolates in poly ethylene glycol (peg) supplemented medium. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 2(11):114-122.
- Cito A, Barzanti GP, Strangi A, Francardi V, Zanfini A, Dreassi E. 2016. Cuticle-degrading proteases and toxins as virulence markers of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Journal of Basic Microbiology* 56(9):941-948.
- Daniel JF, Silva AA, Nakagawa DH, Medeiro LSD, Carvalho MG, Tavares LJ, Abreu LM, Radrigues-Filho E. 2017. Larvicidal activity of *Beauveria bassiana* extracts against *Aedes aegypti* and identification of beauvericins. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 28(6):1003-1013.
- Dannon HF, Dannon AE, Douro-Kpindou OK, Zinsou AV, Houndete AT, Toffa-Mehinto J, Elegbede IATM, Olou BD, Tamo M. 2020. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research* 3(1):1-21.
- Dal Bello GM, Fuse CB, Pedrini N, Padin SB. 2018. Insecticidal efficacy of *Beauveria bassiana*, diatomaceous earth and fenitrothion against *Rhyzopertha dominica* and *Tribolium castaneum* on stored wheat. *International Journal of Pest Management* 64(3):279-286.
- Del-Prado EN, Iannacone J, Gomez H. 2008. Effect of two entomopathogenic fungi in controlling *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(1):21-30.
- Dhar S, Jindal V, Gupta VK. 2016. Optimization of growth conditions and medium composition for improved conidiation of newly isolated *Beauveria bassiana* strains. *Indian J Exp Biol.* 54:634-643.
- Dhar S, Jindal V, Jariyal M, Gupta VK. 2019. Molecular characterization of new isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and their efficacy against the tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29(8):1-9.
- Dhawan M, Joshi N. 2017. Enzymatic comparison and mortality of *Beauveria bassiana* against cabbage caterpillar *Pieris brassicae* LINN. *Brazilian Journal of Microbiology* 48(3):522-529.

- Dias BA, Neves PMOJ, Furlaneto-Maia L, Furlaneto MC. 2008. Cuticle-degrading proteases produced by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in the presence of coffee berry borer cuticle. *Brazilian Journal of Microbiology* 39(2):301-306.
- Dos Santos DC, Gregorio EA. 2003. Deposition of the eggshell layers in the sugar cane borer (Lepidoptera: Pyralidae): Ultrastructural aspects. *Acta Microscopica* 12(1):37-42.
- El Kichaoui A, Elnabris K, Shafie A, Fayyad N, Arafa M, El Hindi M. 2017. Development of *Beauveria bassiana* based bio-fungicide against *Fusarium* wilt pathogens for *Capsicum annum*, a promising approach toward vital biocontrol industry in Gaza strip. *IUG Journal of Natural Studies* 25(2):183-190.
- Falchi G, Marche MG, Mura ML, Ruiu L. 2014. Hydrophobins from aerial conidia of *Beauveria bassiana* interfere with *Ceratitidis capitata* oviposition behavior. *Biological Control* 81(2015):37-43.
- Fan Y, Pei X, Guo S, Zhang Y, Luo Z, Liao X, Pei Y. 2010. Increased virulence using engineered protease-chitin binding domain hybrid expressed in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Microbial pathogenesis* 49(6):376-380.
- Gao Y, Reitz SR, Wang J, Tamez-Querra P, Wang E, Xu Y, Lei Z. 2012. Potential use of the *Beauveria bassiana* against the western flower thrips *Franckliniella occidentalis* without reducing the effectiveness of its natural predator *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae). *Biocontrol Science and Technology* 22(7):803-812.
- Ghongade DS, Sangha KS. 2021. Efficacy of biopesticides against the whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), on parthenocarpic cucumber grown under protected environment in India. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31(19):1-11.
- Gouli V, Gouli S, Kim JS. 2014. Production of *Beauveria bassiana* air conidia by means of optimization of biphasic system technology. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 57(4):571-577.
- Greenfield M, Gómez-Jiménez MI, Ortiz V, Vega FE, Kramer M, Parsa S. 2016. *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control* 95(2016):40-48.
- Gul HT, Saeed S, Khan FZA. 2014. Entomopathogenic fungi as effective insect pest management tactic: A review. *Applied Sciences and Business Economics* 1(1): 10-18.
- Guo JY, Cong L, Zhou ZS, Wan FH. 2012. Multi-generation life tables of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae) under high-temperature stress. *Environmental Entomology* 41(6):1672-1679.
- Hajjar MJ, Ajlan AM, Al Ahmad MH. 2015. New Approach of *Beauveria bassiana* to control the red palm weevil (Coleoptera: Curculionidae) by trapping technique. *Journal of Economic Entomology* 108(2):425-432.
- Hemalatha S, Ramaraju K, Jeyarani S. 2017. Influence of ultraviolet light protectants on the persistence of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal of Biopesticides* 10(2):130-134.
- Hidayat P, Kurniawan HA, Afifah L, Triwidodo H. 2017. Siklus hidup dan statistik demografi kutu kebul *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Biotipe B dan Non_B pada tanaman cabai (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Entomologi Indonesia* 14(3):143-151.
- Huang Z, Ali S, Ren S, Wu J, Zhang Y. 2012. Influence of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* on *Pryncocaria congener* (Billberg) (Coleoptera: Coccinellidae) under laboratory condition. *Pakistan Journal of Zoology* 44(1): 209-216.
- Indriyanti DR, Mahmuda S, Slamet M. 2017. Effect of *Beauveria bassiana* doses on *Spodoptera litura* mortality. *International Journal of Scientific and Technology Research* 6 (9): 206-210.
- Immediato D, Figueredo LA, Iatta R, Camarda A, de Luna RLN, Giangaspero A, Brandao-Filho SP, Otranto D, Cafarchia C. 2016. Essential oils and *Beauveria bassiana* against *Dermanyssus gallinae* (Acari: Dermanyssidae): Towards new natural acaricides. *Veterinary Parasitology* 15(229):159-165.
- Immediato D, Iatta R, Camarda A, Giangaspero A, Capelli G, Figueredo LA, Otranto D, Cafarchia C. 2017. Storage of *Beauveria bassiana* conidia suspension: A study exploring the potential effects on conidial viability and virulence against *Dermanyssus gallinae* De Geer, 1778 Acari: Dermanyssidae. *Annals of Biological Sciences* 5(2): 69-76.
- Jaber LR, Vidal S. 2010. Fungal endophyte negative effects on herbivory are enhanced on intact plants and maintained in a subsequent generation. *Ecological Entomology* 35(1): 25-36.
- Jaber LR, Salem NM. 2014. Endophytic colonization of squash by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) for managing Zucchini yellow mosaic virus in cucurbits. *Biocontrol Science and Technology* 24(10):1096-1109.
- Jaber LR. 2015. Grapevine leaf tissue colonization by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* s.l. and its effect against downy mildew. *BioControl* 60(2015):103-112.
- Jaber LR, Enkerli L. 2016. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Biological Control* 103(2016):187-195.

- Jaber LR, Ownley BH. 2018. Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens? *Biological Control* 116(2018):36-45.
- Jahel MK, Halawa SM, Hafez AA, Abd El-Zahar TR. 2017. Comparative efficacy of different insecticides against whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato plants. *Middle East Journal of Applied Sciences* 7(4):786-793.
- Jarrold SL, Moore D, Potter U, Charnley AK. 2007. The contribution of surface waxes to pre-penetration growth of an entomopathogenic fungus on host cuticle. *Mycological Research* 111(2): 240-249.
- Herlinda S, Riskie L, Suwandi, Susilawati, Lakitan B, Verawaty M, Hasbi. 2018. Effects of high temperature and ultraviolet-C irradiance on conidial viability and density of *Beauveria Bassiana* and *Metarhizium anisopliae* Isolated from soils of lowland ecosystems in Indonesia. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry* 13(6):209-216.
- Holder DJ, Kayhani NO. 2015. Adhesion of the entomopathogenic fungus *Beauveria* (Cordyceps) *bassiana* to substrata. *Applied and Environmental Microbiology* 71(9):5260 -5266.
- Inglis GD, Duke GM, Kanagaratnam P, Johnson DL, Goettel MS. 1997. Persistence of *Beauveria bassiana* in soil following application of conidia through crop canopies. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 171(1997):253-263.
- Kaiser D, Bacher S, Mène-Saffrané L, Grabenweger G. 2019. Efficiency of natural substances to protect *Beauveria bassiana* conidia from UV radiation. *Pest Management Science* 75(2): 556-563.
- Kaiser D, Handschin S, Rohr RP, Bacher S, Grabenweger G. 2020. Co-formulation of *Beauveria bassiana* with natural substances to control pollen beetles – Synergy between fungal spores and colza oil. *Biological Control* 140(2020):1-6.
- Kaur G , Padmaja V. 2009. Relationships among activities of extracellular enzyme production and virulence against *Helicoverpa armigera* in *Beauveria bassiana*. *Journal of Basic Microbiology* 49(3):264-274.
- Kassa A, Brownbridge M, Parker BL, Skinner M, Gouli V, Gouli S, Guo M, Lee F Hata T. 2015. Whey for mass production on *Beauveria bassiana* and *Metharizium anisopliae*. *Mycological Research* 112 (5): 583-591.
- Keswani C, Singh SP, Singh HB. 2013. *Beauveria bassiana*: status, mode of action, applications and safety issues. *Biotech Today* 3(1): 16-19.
- Khan S, Nadir S, Lihua G, Xu J, Holmes KA, Dewen Q. 2016. Identification and characterization of an insect toxin protein, Bb 70p, from the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* using *Galleria mellonella* as a model system. *Journal of Invertebrate Pathology* 133(2016):87-94.
- Klieber J, Reineke A. 2016. The entomopathogen *Beauveria bassiana* has epiphytic and endophytic activity against the tomato leaf miner *Tuta absoluta*. *Journal of Applied Entomology* 140(8):580-589.
- Kumar AM, Ganesha G, Reddy KN, Ramachandra YL. 2008. Integrated disease management fo the control of powdery mildew *Leveillula taurica* (Lev.) (Arn) in bell pepper. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology* 2(2):107-112.
- Kumar CMS, Jacob TK, Devasahayam S, Silva SD, Nandeesh PG. 2016. Characterization and virulence of *Beauveria bassiana* associated with auger beetle (*Sinoxylon anale*) infesting allspice (*Pimenta dioica*). *Journal of Invertebrate Pathology* 139(2016):67-73.
- Kumar V, Singh GP, Babu AM, Ahsan MM, Datta RK. 2016. Germination, penetration, and invasion of *Beauveria bassiana* on silkworm *Bombyx mori* causing white muscardine. *Italian Journal of Zoology* 6(1):66:39-43.
- Latifian M, Rad B, Amani M, Rahkhodaei E. 2013. Mass production of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) by using agricultural products based on liquid-solid diphasic method for date palm pest control. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5(19):2337-2341.
- Lee SJ, Lee MR, Kim JS. 2018. Genomic analysis of the insect-killing fungus *Beauveria bassiana* JEF-007 as a biopesticide. *ScientificReports* 8(1):1-12.
- Leng PH, Reddy GVP. 2012. Bioactivity of selected eco-friendly pesticides against *Cylas formicarius* (Coleoptera: Brentidae). *Florida Entomologist* 95(4):1040-1047.
- Li M, Li S, Xu A, Lin H, Chen D, Wang H. 2014. Selection of *Beauveria* isolates pathogenic to adults of *Nilaparvata lugens*. *Journal of Insect Science* 14(32):1-12.
- Liu Z, Lei Z, Hua B, Wang H, Lin TX. 2010. Germination behavior of *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) nymphs. *Journal of Entomological Science* 45(4):322-334.
- Lopez DC, Sword GA. 2015. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control* 89:53–60
- Lopez-Perez M, Rodriquez-Gomez D, Loera O. 2014. Production of conidia of *Beauveria bassiana* in solid-state culture: current status and future perspectives. *Critical Reviews in Biotechnology* 35(3):334-341.
- Lohse R, Jakobs-Schonwand D, Patel AV. 2014. Screening of liquid media and fermentation of an endophytic *Beauveria bassiana* strain in a bioreactor. *AMB Express* 4(47):1-11.

- Lozano-Tovar MD, Ortiz-Urquiza A, Garrido-Jurado L, Trapero-Casas A, Quesada-Moraga E. 2013. Assessment of entomopathogenic fungi and their extracts against a soil-dwelling pest and soil-borne pathogens of olive. *Biological Control* 67(3):409-420.
- Lozano-Tovar MD, Garrido-Jurado I, Quesada-Moraga E, Raya-Ortega MC, Trapero-Casas A. 2017. *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana* release secondary metabolites with antagonistic activity against *Verticillium dahliae* and *Phytophthora megasperma* olive pathogens. *Crop Protection* 100(2017):86-195.
- Mahankuda B, Bhatt B. 2019. Potentialities entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biocontrol agent: A Review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 7(5):870-874.
- Maistrout S, Paris V, Jensen AB, Rolff J, Meyling NV, Zanchi C. 2018. A constitutively expressed antifungal peptide protects *Tenebrio molitor* during a natural infection by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Immunology* 86(2018):26-33.
- Mancillas-Paredes JM, Henandez-Sanchez H, Jaramillo-Flores ME, Garcia-Gutierrez C. 2019. Proteases and chitinases induced in *Beauveria bassiana* during infection by *Zabrotes subfasciatus*. *Southwestern Entomologist* 44(1):125-137.
- Mascarin GM, Jackson MA, Kobori NN, Behle RW, Junior IB. 2015. Liquid culture fermentation for rapid production of desiccation tolerant blastospores of *Beauveria bassiana* and *Isaria fumosorosea* strains. *Journal of Invertebrate Pathology* 127(2015):11-20.
- Mascarin GM, Jaronski ST. 2016. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 32(11):1-26.
- Mawan A, Amalia H. 2011. Statistika demografi *Riptortus linearis* F. (Hemiptera: Alydidae) pada kacang panjang (*Vigna signensis* L.). *Jurnal Entomologi Indonesia* 8(1):8-16.
- Meena M, Prasad V, Zehra A, Gupta VK, Upadhyay RS. 2015. Manitol metabolism during pathogenic fungal-host interactions under stressed conditions. *Frontiers in Microbiology* 6(2015):1-12.
- Mishra I, Mishra BK, Mandal SMA. 2012. Ovicidal and larvicidal effect of some new insecticides and biopesticides on *Chrysoperla carnea* (Stephens). *Journal of Plant Protection and Environmental* 9(2):46-53.
- Mishra S, Malik A. 2013. Nutritional optimization of native *Beauveria bassiana* isolate (HQ917687) pathogenic to housefly *Musca domestica* L. *Journal Parasitic Disease* 37(2):199-207.
- Mishra S, Kumar P, Malik A. 2013a. Preparation, characterization, and insecticidal activity evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* against *Musca domestica*. *Parasitology Research* 112(10): 3485-3495.
- Mishra S, Kumar P, Malik A. 2013b. Effect of process parameters on the enzyme activity of a novel *Beauveria bassiana* isolate. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 2(9):49-56.
- Mishra S, Kumar P, Malik A. 2015. Effect of temperature and humidity on pathogenicity of native *Beauveria bassiana* isolate against *Musca domestica* L. *Journal of Parasitic Diseases* 39(4): 697-704.
- Moorthi PV, Balasubramanian C, Selvarani S, Radha A. 2015. Efficacy of sub-lethal concentration of entomopathogenic fungi on the feeding and reproduction of *Spodoptera litura*. *SpringerPlus* 4(681):1-12.
- Mulock BS, Chandler LD. 2001. Effect of *Beauveria bassiana* on the fecundity of western corn rootworm *Diabrotica virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biological Control* 22(1):16-21.
- Mwanburi LA, Laing MD, Miller RM. 2015. Effects of surfactants and temperature on germination and vegetative growth of *Beauveria bassiana*. *Brazilian Journal of Microbiology* 46(1):67-74.
- Mwanburi LA. 2021. Endophytic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, confer control of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in two tomato varieties. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 31(7):1-6.
- Namara LMc, Dolan SK, Walsh JMD, Griffin C, Stephens J, Glare T, Kavangh K. 2019. Oosporein an abundant metabolite in *Beauveria calendonica* with a feedback induction mechanism and a role in insect virulence. *Fungal Biology* 123(8):601-610.
- Nirupama R. 2014. Fungal disease of white muscardine in silkworm *Bombyx mori* L. *Entomology Zoology* 9(2):870-875.
- Nunez-Gaona O, Saucedo-Castaneda G, Alatorre-Rosas R, Loera O. 2018. Effect of moisture content and inoculum on the growth and conidia production by *Beauveria bassiana* on wheat bran. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 53(4):771-777.
- Odibo EO, Ojianwuna CC. 2020. Potentials of plant oil extracts (*Azadirachta indica* and *Ocimum suave*) in single and mixed forms against adult house fly (*Musca domestica*). *African Entomology* 38(1):44-54.
- Oliveira DGP, Pauli M, Mascarin GM, Delalibera I. 2015. A protocol for determination of conidial viability of the fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* from commercial products. *Journal of Microbiological Methods* 119(2015):44-52.

- Oliveira DGP, Lopes RB, Rezende JM, Delalibera I Jr. 2018. Increased tolerance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* conidia to high temperature provided by oil-based formulations. *Journal of Invertebrate Pathology* 151(2018):151-157.
- Okweche SI, Hilili PM, Ekoja EE. 2021. Termiticidal activity of oil from *Jatropha curcas* L. and *Azadirachta indica* A. Juss against *Coptotermes sjostedti* Holmgren (Isoptera: Rhinotermitidae). *Bulletin of National Research Centre* 45(1):1-8.
- Ondiaka S, Maniania NK, Nyamasyo GHN, Nderitu JH. 2008. Virulence of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to sweet potato weevil *Cylas puncticollis* and effect on fecundity and egg viability. *Annals of Applied Biology* 153(1):41-48.
- Oreste M, Bubici G, Polisenio M, Tarasco E. 2016. Effect of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* on the *Trialeurodes vaporariorum*-*Encarsia formosa* system. *Journal of Pest Science* 89(2016):153-160.
- Ormond EL, Thomas APM, Pell JK, Freeman SN, Roy HE. 2011. Avoidance of a generalist entomopathogenic fungus by the ladybird, *Coccinella septempunctata*. *FEMS Microbiology Ecology* 77(2):229-237.
- Ortiz-Urquiza A, Keyhani NO. 2013. Action on the surface: Entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects* 4(3):357-374.
- Ortiz-Urquiza A, Keyhani NO. 2016. Molecular genetics of *Beauveria bassiana* infection of insects. *Advances in Genetics* 94(2016):165-249.
- Ortiz SAM, Ruiz JG, López-Guillén G, López LC, Mora JV. 2016. Evaluation of the pathogenicity of isolates of *Beauveria bassiana* against *Rhyssomatus nigerrimus*. *Southwestern Entomologist* 41(1):41-50.
- Ownley BH, Griffin MR, Klingeman WE, Gwinn KD, Moulton JK, Pereira RM. 2008. *Beauveria bassiana*: endophytic colonization and plant disease control. *Journal of Invertebrate Pathology* 98(3):267-270.
- Ownley BH, Gwinn KD, Vega FE. 2010. Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: ecology and evolution. *BioControl* 55(1):113-128.
- Palma-Guerrero J, Jansson HB, Salinas J, Lopez-Llorca LV. 2008. Effect of chitosan on hyphal growth and spore germination of plant pathogenic and biocontrol fungi. *Journal of Applied Microbiology* 104(2):541-553.
- Paul NC, Deng JX, Sang HK, Choi YP, Yu SH. 2012. Distribution and antifungal activity of endophytic fungi in different growth stages of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in Korea. *Plant Pathology Journal* 28(1):10-19.
- Parine NR, Kumar D, Khan PAA, Bobbarala V. 2010. Antifungal efficacy of secondary metabolites from entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. *Journal of Pharmacy Research* 3(4):855-856.
- Parsa S, Ortiz V, Vega FE. 2013. Establishing fungal entomopathogens as endophytes: Towards endophytic biological control. *Journal of Visualized Experiments*. E50360:1-5.
- Pelizza SA, Marriotini Y, Russo LM, Vianna FM, Scorsetti AC, Lange CE. 2019. Application of *Beauveria bassiana* using different baits for the control of grasshopper pest *Dichroplus maculipennis* under field cage conditions. *Journal of King Saud University Science* 31(4):1511-1515.
- Petlamul W, Prasertsan P. 2012. Evaluation of strains of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against *Spodoptera litura* on the basis of their virulence, germination rate, conidia, production, radial growth and enzyme activity. *Mycobiology* 40(2):111-116.
- Pham TA, Kim JJ, Mm SG, Kim K. 2018. Production of lastospore of entomopathogenic *Beauveria bassiana* in a submerged batch culture. *Mycobiology* 37(3):218-224.
- Popoola AO, Osipitan AA, Afolabi CG, Oke OA. 2015. Biological control of larger grain borer *Proatephanus truncates* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae) with entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae). *International Journal of Entomology and Nematology* 2(1):2-8.
- Powell WA, Klingeman WE, Ownley BH, Gwinn KD. 2009. Evidence of endophytic *Beauveria bassiana* in seed-treated tomato plants acting as a systemic entomopathogen to larval *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomological Science* 44(4):391-396.
- Prabhukarthikeyan SR, Umapathy K, Sornakili A, Thiruvengadam R. 2017. Analysis of genetic diversity among different isolates of *Beauveria bassiana* by RAPD-PCR. *J Biol Control* 31(1):18-24.
- Prayogo Y. 2009. Kajian cendawan entomopatogen *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) (Viegas) Zare Gams untuk menekan perkembangan telur hama penghisap polong kedelai *Riptortus linearis* (F.) (Hemiptera: Alydidae). [Dissertation]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Prayogo Y. 2013. Patogenesis cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) pada berbagai stadia kepik hijau (*Nezara viridula* L.). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 13(1):75-86.
- Prayogo Y, Tantawizal. 2016. Efikasi biopestisida *Beauveria bassiana* pada kepik coklat. *Hlm: 284-295*. Dalam: Rahmianna AA, Sholihin, et al. (eds).

- Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Tahun 2015. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi.
- Prayogo Y. 2017. Perbandingan metode aplikasi jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* untuk pengendalian *Cylas formicarius* (Coleoptera: Curculionidae). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 17(1):84-95.
- Prayogo Y, Bayu MSYI. 2019. Efficacy of biopesticide BeBas against sweet potato weevils (*Cylas formicarius* Fab.) in tidal land. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 23(1):6-15.
- Prayogo Y, Bayu MSYI, Indiaty SW. 2020. Impact of biopesticide inundation on the diversity of soybean pests and diseases. The 11th International Conference on Global Resource Conservation p.13 [in press].
- Punja ZK, Rodriguez G, Tirajoh A. 2016. Effects of *Bacillus subtilis* strain QST 713 and storage temperatures on post-harvest disease development on greenhouse tomatoes. *Crop Prot* 84:98-104.
- Qazzaz FO, Al-Masri MI, Barakat RM. 2015. Effectiveness of *Beauveria bassiana* native isolates in the biological control of the Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*). *Advances in Entomology* 3(2):44-55.
- Rabari PH, Dodia DA, Patel PS, Patel RK, Davada AY. 2015. Ovicidal and larvicidal toxicity of various insecticides against *Spodoptera litura* Fabricius on cabbage. *Agres-An International e Journal* 4(3):282-289.
- Ramdhania D, Haneda NF, Achmad. 2016. Effectiveness of *Beauveria bassiana* against *Coptotermes curvignathus*. *Jurnal Silvikultur Tropika* 7(3):19-21.
- Ramakuwela T, Hatting J, Bock C, Vega FE, Welld L, Mbata GN, David Shapiro-Ilan D. 2020. Establishment of *Beauveria bassiana* as a fungal endophyte in pecan (*Carya illinoensis*) seedlings and its virulence against pecan insect pests. *Biological Control* 140(2020):1-8.
- Rodrigues IMW, Forim MR, da Silva MFGF, Fernandes JB, Filho AB. 2016. Effect of ultraviolet radiation on fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, pure and encapsulated, and bio-insecticide action on *Diatraea saccharalis*. *Advances in Entomology* 4: 151-162.
- Rohman FL, Saputro TB, Prayogo Y. 2017. Pengaruh penambahan senyawa berbasis kitin terhadap pertumbuhan cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana*. *Jurnal Sains dan Seni ITS* 6 (2): 13-16.
- Rondot Y, Reineke A. 2017. Association of *Beauveria bassiana* with grapevine plants deters adult black vine weevils *Otiorhynchus sulcatus*. *Biocontrol Science and Technology* 27(7):811-820.
- Rondot Y, Reineke A. 2018. Endophytic *Beauveria bassiana* in grapevine *Vitis vinifera* (L.) reduces infestation with piercing-sucking insects. *Biological Control* 116(2016):82-89.
- Rondot Y, Reineke A. 2019. Endophytic *Beauveria bassiana* activates expression of defence genes in grapevine and prevents infections by grapevine downy mildew *Plasmopara viticola*. *Plant Pathology* (2019) 68(9):1719–1731.
- Sabbour MM. 2002. The role of chemical additives in enhancing the efficacy of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(11): 1155-1159.
- Safavi SA, Shah FA, Pakdel AK, Rasouljan GR, Bandani AR, Butt TM. 2007. Effect of nutrition on growth virulence of entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *FEMS Microbiology Letters* 270(1):116-123.
- Saleem AR, Ibrahim RA. 2019. Assessment of the virulence and proteolytic activity of three native entomopathogenic fungi against the larvae of *Oryctes agamemnon* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 29(21):1-8.
- Saputro TB, Prayogo Y, Rohman FL, Alami NH. 2019. The virulence improvement of *Beauveria bassiana* in infecting *Cylas formicarius* modulated by various chitin based compounds. *Biodiversitas* 20(9):2486-2493.
- Saragih M, Trizelia, Nurbailis, Yusniwati. 2019. Uji potensi cendawan endofit *Beauveria bassiana* terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.). Hlm. 151-159. Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Pertanian dan Pedesaan, Pekanbaru, Tahun 2018. Universitas Andalas.
- Saranraj P, Jayaprakash A. 2017. Agrobeneficial entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*: A review. *Indo-Asian Journal of Multidisciplinary Research* 3(2):1051-1087.
- Sayed S, Elarnaouty SA, Alotaibi S, Salah M. 2021. Pathogenicity and side effect of indigenous *Beauveria bassiana* on *Coccinella undecimpunctata* and *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Insect* 12(42):1-11.
- Seema Y, Neeraj T, Krishan K. 2013. Mass production of entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* using rice as a substrate by diphasic liquid-solid fermentation technique. *International Journal of Advanced Biological Research* 3(3):331-335.
- Shoukat RF, Zafar J, Shakee M, Zhang Y, Freed S, Xu X, Jin F. 2020. Assessment of lethal, sublethal, and transgenerational effects of *Beauveria bassiana* on the demography of *Aedes albopictus* (Culicidae: Diptera). *Insects* 11(178):1-17.

- Shi WB, Jiang Y, Feng MG. 2005. Compatibility of ten acaricides with *Beauveria bassiana* and enhancement of fungal infection to *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) eggs by sublethal application rates of pyridaben. *Applied Entomology and Zoology* 40(4):659-666.
- Shrestha G, Enkegaard A, Steenberg T. 2015. Laboratory and semi-field evaluation of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) against the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control* 85(2015): 37-45.
- da Silva AFC, Moreira SMdaCdeO, Cunha RdoSdaS, Moreiras DA, Teodoro A, da Nascimento AHC, Junior WSE. 2020. Effect of isolates of *Beauveria bassiana* pathogenic to leafhopper cacao *Horiola picta* (Hemiptera: Mamebracidae). *Amazonian Journal of Plant Research* 4(1):456-461.
- Silva RJ, Alencar JRDC, Silva KP, Cividanes FJ, Duarte RT, Agostini LT, Polanczyk RA. 2014. Interactions between the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) and the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 107(3):933-938.
- Singh HB, Keswani C, Ray S, Yadav SK, Singh SP, Singh S. 2015. *Beauveria bassiana*: Biocontrol beyond Lepidopteran pests. In: Sree KS, Varma A (eds). *Biocontrol of Lepidopteran Pests*, Soil Biology 43.. Springer International Publishing Switzerland.
- Soesanto L, Prastyani N, Utami DS, Manan A. 2020. Application of raw secondary metabolites from four entomopathogenic fungi against chilli disease caused by viruses. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 20(2):100-107.
- Soesanto L, Sari LY, Mugiastuti E, Manan A. 2021. Cross application of entomopathogenic fungi raw secondary metabolites for controlling fusarium wilt of chili seedlings. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 21(2):82-90.
- Skouras PJ, Stathas GJ, Demopoulos V, Louloudakis G, Margaritopoulos JT. 2019. The effect of five insecticides on the predators *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia variegata*. *Phytoparasitica* 47(2):197-205.
- Stafford KC, Allan SA. 2014. Field applications of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* F52 (Hypocreales: Clavicipitaceae) for the control of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology* 6(1):1107-1115.
- Stevenson PC, Muyinza H, Hall DR, Porter EA, Farman DI, Talwana H, Mwanga RO. 2009. Chemical basis for resistance in sweetpotato *Ipomoea batatas* to the sweetpotato weevil *Cylas puncticollis*. *Pure and Applied Chemistry* 81(1): 141-151.
- Stafford KC, Allan SA. 2010. Field applications of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* F52 (Hypocreales: Clavicipitaceae) for the control of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology* 47(6):1107-1115.
- Sun T, Wang XQ, Zhao ZL, Yu SH, Yang P, Chen CM. 2018. A lethal fungus infects the Chinese white wax scale insect and causes dramatic changes in the host microbiota. *Scientific Reports* 8(1):1-8.
- Svedese VM, Tiago PV, Bezerra JDP, Paiva LM, Lima EADLA, Porto ALF. 2013. Pathogenicity of *Beauveria bassiana* and production of cuticle-degrading enzymes in the presence of *Diatraea saccharalis* cuticle. *African Journal of Biotechnology* 12(46):6491-6497.
- Storm C, Scoates F, Nunn A, Potin O, Dillon A. 2016. Improving efficacy of *Beauveria bassiana* against stored grain beetles with a synergistic co-formulant. *Insects* 7(42):1-14
- Sugahara VH, Varea GdS. 2014. Immobilization of *Beauveria bassiana* lipase on silica gel by physical adsorption. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 57(6):842-850.
- Swathi P, Visalakshy PG, Das SB. 2018. In vitro evaluation for compatibility of additives with *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 28(13):1-5.
- Swiergiel W, Meyling NV, Porcel M, Ramert B. 2016. Soil application of *Beauveria bassiana* GHA against apple sawfly *Hoplocampa testudinea* (Hymenoptera: Tenthredinidae): Field mortality and fungal persistence. *Insect Science* 23(6):854-868.
- Thomas KC, Khachatourians GG, Ingledew WM. 1987. Production and properties of *Beauveria bassiana* conidia cultivated in submerged culture. *Canadian Journal of Microbiology* 33(1):12-20.
- Tefera T, Vidal S. 2009. Effect of inoculation method and plant growth medium on endophytic colonization of sorghum by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *BioControl* 54(5):663-669.
- Thangavel B, Palaniappan K, Pillai KM, Madhaiyan R. 2013. Pathogenicity, ovicidal action and median lethal concentrations (LC50) of entomopathogenic fungi against exotic spiraling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell. *Journal of Pathogens* 2013:1-7.
- Tsuji N, Chittenden AR, Ogawa T, Takada T, Zhang YX, Saito Y. 2011. The possibility of sustainable pest management by introducing biodiversity simulations of pest mite outbreak and regulation. *Sustain Science* 6:97-107.
- Ugine TA. 2011. The effect of temperature and exposure to *Beauveria bassiana* on tarnished plant bug *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae) population

- dynamics, and the broader implications of treating insects with entomopathogenic fungi over a range of temperatures. *Biological Control* 59(3):373-383.
- Ullah MS, Lim UT. 2015. Laboratory bioassay of *Beauveria bassiana* against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on leaf discs and potted bean plants. *Exp. Appl. Acarol.* 65: 307–318.
- Vats S, Singh RK, Singh B. Mass Production of *Beauveria bassiana* (NCIM No.1300) fungal Spores on Cereal Grains and Agro-Industrial Residues. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2015; 6(1):58-60.
- Vikhe AG, Dale NS, Umbarkar RB, Labade GB, Savant AR, Walunj AA. 2016. In Vitro and In Vivo Induction, and Characterization of Toxins Isolated from *Beauveria bassiana*. *Int. J. Pure App. Biosci.* 4(3): 97-103.
- Viret O, Spring JL, Gindro K. 2018. Stilbenes: Biomarkers of grapevine resistance to fungal diseases. *OENO One* 52(3):235-241.
- Wang L, Huang J, You M, Guan X, Liu B. 2005. Effects of toxins from two strains of *Verticillium lecanii* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) on bioattributes of a predatory ladybeetle *Delphastus catatlinae* (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal Applied Entomology* 129(1):32-38.
- Wang DS, He YR, Guo XL, Luo YL. 2012. Acute Toxicities and Sublethal Effects of Some Conventional Insecticides on *Trichogramma chilonis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal of Economic Entomology* 4(1):1157-1163.
- Wang Q, Xu L. 2012. Beauvericin, a bioactive compound produced by fungi: A short review. *Molecules* 17:2367-2377.
- Wang Y, Chen L, An X, Jiang J, Wang Q, Cai L, Zhao X. 2013. Susceptibility to selected insecticides and risk assessment in the insect egg parasitoid *Trichogramma confusum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Journal Economic Entomology* 106(1):142-149.
- Wang DY, Mou YN, Tong SM, Ying SH, Feng MG. 2020. Photoprotective Role of Photolyase-Interacting RAD23 and Its Pleiotropic Effect on the Insect-Pathogenic Fungus *Beauveria bassiana*. *Applied and Environment Microbiology* 86(11):1-16.
- Wari D, Okada R, Takagi M, Yaguchi M, Kashima T, Ogawara T. 2020. Augmentation and compatibility of *Beauveria bassiana* with pesticides against different growth stages of *Bemisia tabaci* (Gennadius): an in vitro and field approach. *Pest Management Science* 76(9):3226-3252.
- White RL, Geden CJ, Kaufman PE. 2021. Exposure Timing and Method Affect *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) Efficacy Against House Fly (Diptera: Muscidae) Larvae. *Journal of Medical Entomology* 58(1):372-378.
- Xie L, Chen HM, Yang JB. 2012. Conidia Production by *Beauveria bassiana* on Rice in Solid-State Fermentation Using Tray Bioreactor. *Advanced Materials Research* 610-613:3478-3482.
- Yuan Y, Huang W, Chen K, Ling E. 2020. *Beauveria bassiana* ribotoxin inhibits insect immunity responses to facilitate infection via host translational blockage. *Developmental & Comparative Immunology* 106: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0145305X19306123> [diakses 6 April 2021].
- Zafar J, Freed S, Khan BA, Farooq M. Effectiveness of *Beauveria bassiana* against cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Aleyrodidae: Homoptera) on different host plants. *Pakistan Journal of Zoology.* 2016; 48(1):91-99.
- Zaki FN. 2011. Side effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the predators *Coccinella undecempunctata*. *Archievs of Phytopathology and Plant Protection* 44(19):1887-1893.
- Zafar J, Freed S, Khan BA, Farooq M. 2016. Effectiveness of *Beauveria bassiana* against cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Aleyrodidae: Homoptera) on different host plants. *Pakistan J. Zool.* 48(1): 91-99.
- Zhang S, Widemann E, Keyhani NO. 2012. CYP52X1, Representing New Cytochrome P450 Subfamily, Displays Fatty Acid Hydroxylase Activity and Contributes to Virulence and Growth on Insect Cuticular Substrates in entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Journal Biological Chemistry* 13(287)16:13477-13486.
- Zhang Z, Lu Y, Xu W, Sui L, Du Q, Wang Y, Zhao Y, Li Q. 2020. Influence of genetic diversity of seventeen *Beauveria bassiana* isolates from different hosts on virulence by comparative genomics. *BMC Genomics* 21(1).doi: 10.1186/s12864-020-06791-9 [diakses 7 April 2021].