



Research Article

DOI : 10.36728/afp.v22i2.2885

BEAUVERIA BASSIANA; INSECT PATHOGEN AND BIOPESTICIDE PRODUCER AS AN EFFECTIVE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ALTERNATIVE FOR BIOLOGICAL CONTROL

Tri Eko Wahjono¹⁾ Yeni Yuliani¹⁾ Hadiyanto^{*2)}

¹⁾ Direktorat Pengelola Koleksi Ilmiah (BRIN)

²⁾ Universitas Diponegoro Semarang

* Email: trie005@brin.go.id

ABSTRACT

Beauveria bassiana is one of the insect pathogens that can be used as a biological control agent. The interaction between *Beauveria bassiana* and other natural enemies in biological control can affect the effectiveness of pest control as a biopesticide. 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 kill the target insects. The use of chemical pesticides, which has been one of the farmers' choices in pest control, has negative impacts on the environment, human health, and pest resistance therefore, *B. bassiana* as an alternative, biological pest control and biological control are increasingly considered as environmentally friendly and sustainable control methods, so that biological control can become an important alternative to reduce the use of chemical pesticides. Facing this problem, alternative methods including the use of entomopathogenic fungi as biopesticide could be a sound measure to preserve the environment, biodiversity and ensure good quality of crops.

KEYWORD

Key words: *Beauveria bassiana*, biological control, biopesticide, chemical pesticides

INFORMATION

Received : 7 November 2023

Revised : 12 Desember 2023

Accepted : 10 Januari 2024

Volume: 24

Number: 1

Year: 2024

Copyright © 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

1. PENDAHULUAN

Kebanyakan produk pertanian rusak disebabkan oleh hama tanaman, sehingga mereka membuat agensia hayati yang paling penting (Heydari dan Mohammad 2010). Hama serangga dapat menyebabkan kerusakan secara keseluruhan sekitar 42% (Oerke dan Dehne 2004). Berbagai penyakit disebabkan oleh hama-hama ini yang umumnya dikendalikan oleh pestisida kimia (Cook 1993). Namun, penggunaan berulang pestisida kimia untuk

pengendalian hama serangga telah menimbulkan berbagai efek berbahaya pada lingkungan, hewan, manusia, dan organisme non-target selama bertahun-tahun (Mahr et al. 2001 dalam [S.S. Sandhu et al. 2017](#)). Selama beberapa dekade terakhir, pestisida kimia sintetis telah banyak digunakan untuk pengendalian hama. Namun, efek mereka pada organisme non-target, residu pada tanaman, resistensi hama, dan kekhawatiran atas dampak lingkungan dari hasil pertanian memberikan penanganan khusus untuk mencari bentuk pengendalian hama alternatif yang berbasis biologi ([Kulu et al. 2015](#)). Meskipun insektisida kimia telah sangat efektif melawan hama pertanian dan artropoda yang penting secara medis, seringkali memiliki masalah resistensi insektisida dan kerusakan lingkungan ([Naqqash et al., 2016](#)). Serangkaian studi mengkonfirmasi efek negatif lain dari penggunaan bahan kimia termasuk pengurangan biodiversitas, resistensi hama, peningkatan populasi hama, serta adanya residu senyawa berbahaya ([Ondiaka et al., 2008](#)). Bioinsektisida yang terbuat dari jamur entomopatogen, seperti *Beauveria bassiana*, terbukti efektif dalam mengendalikan berbagai spesies serangga hama. Fungi *B. bassiana* adalah salah satu jamur entomopatogen yang dikenal karena efektivitasnya sebagai pengendali hama tanaman ([Anggarawati et al., 2017](#)). Koloni jamur ini pada media in vitro akan berwarna putih tepung. Koloni-koloni akan berubah menjadi warna kekuningan atau kemerahan setelah menua ([Effendy et al., 2010](#)). Oleh karena itu, penggunaan pengendalian hayati menjadi alternatif penting, terutama agensia hayati yang dapat diterapkan dengan alat-alat aplikasi insektisida yang sama (penyemprotan dan pengemburan), seperti virus, bakteri, dan jamur entomopatogen. Jamur *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin dikenal sebagai jamur entomopatogen yang sangat virulen (EPF) yang memiliki sebaran inang serangga yang sangat luas, terutama hama pertanian ([Tanada dan Kaya 1993](#)). Tinjauan tulisan ini menggambarkan urgensi menemukan metode pengendalian hama alternatif yang berbasis hayati karena kekhawatiran tentang residu pestisida, resistensi hama, dan kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh pestisida kimia sintetis. *B. bassiana* sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengendalikan berbagai hama serangga dan dikenal karena virulensinya dan kemampuannya untuk menargetkan berbagai serangga hama pertanian.

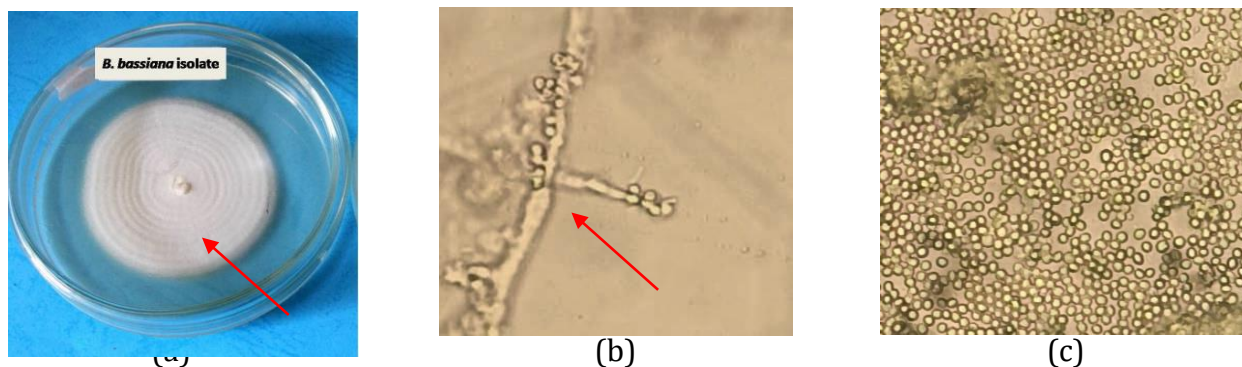
2. SEJARAH *BEAUVERIA BASSIANA* (BALS.-CRIV.) VUILL

Asal-usul pengendalian hama oleh mikroba bermula pada awal abad kesembilan belas, ketika ilmuwan Italia, Agostino Bassi, menghabiskan lebih dari 30 tahun mempelajari penyakit muscardine putih pada ulat sutra (*Bombyx mori* L.). Dia mengidentifikasi *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv). Vuill., untuk menghormatinya jasanya namanya dicantumkan sebagai penyebab penyakit itu. Penemuannya tidak hanya membentuk dasar untuk pengendalian hama dengan mikroba, tetapi juga secara signifikan mempengaruhi karya Louis Pasteur, Robert Koch, dan para perintis mikrobiologi lainnya (Ainsworth, 1956; Porter, 1973 dalam [Van Driesche & Bellows, 1996](#)). Bassi sendiri mengakui potensi untuk menggunakan organisme seperti *B. bassiana* untuk mengendalikan hama serangga (Bassi, 1836; di kutip dalam [Van Driesche & Bellows, 1996](#)).

3. KARAKTERISASI MORFOLOGIS *B. BASSIANA*

Beauveria bassiana adalah salah satu jamur entomopatogen yang termasuk dalam divisi Ascomycota, kelas Sordariomycetes, ordo Hypocreales, dan famili Clavicipitaceae. *B. bassiana* bersifat toksik bagi semua tahap serangga dari ordo Homoptera, Hemiptera, Coleoptera, Lepidoptera, Orthoptera, Isoptera, Diptera, dan Hymenoptera. Karakterisasi morfologis isolat *B. bassiana* telah menunjukkan bahwa warna koloninya putih dan teksturnya halus seperti bedak, dan identik ketika pertumbuhan koloni lebih lanjut, spora aseksual *B. bassiana* adalah konidia berwarna putih hingga kekuningan yang dibawa oleh filamen transparan dan septal

yang zigzag panjang. Diameter hifa bervariasi antara 2,5 μm dan 25 μm (Sabbahi 2008; Li et al. 2001 dalam Dannon et al. 2020) (Gambar 1). Konidia tersebut berbentuk bulat hingga oval, bersel tunggal, hyaline, dengan ukuran konidia berkisar antara 2 hingga 3 μm , terbentuk di ujung setiap konidiophore. Hifa *B. bassiana* memiliki ukuran 1,5-2,1 μm , hyaline, septat, dan bercabang. Miselium terdiri dari benang-benang putih halus, tetapi saat matang, warnanya berubah menjadi kuning pucat (Kumar et al. 2016). *B. bassiana* dapat tumbuh optimal dalam rentang suhu 15-30°C. Namun, untuk isolat virulen *B. bassiana* dengan penambahan minyak, umumnya lebih toleran terhadap suhu di atas 32°C (Ugine 2011; Oliveira et al. 2018).



Gambar 1. Karakteristik morfologi *B. bassiana* isolation. A) Morfologi koloni *B. bassiana*; B) Konidiaspora C) Konidia (Foto Pribadi)

4. METABOLIT SEKUNDER DARI JAMUR ENTOMOPATOGEN SEBAGAI AGENSIA INSEKTISIDA POTENSIAL

Metabolit sekunder adalah senyawa organik yang tidak berperan langsung dalam pertumbuhan dan metabolisme organisme (Andersson 2012 dalam S.S. Sandhu et al. 2017). Jamur entomopatogen telah diteliti sebagai sumber berbagai metabolit sekunder yang memiliki bioaktivitas besar terhadap berbagai hama serangga. Berbagai metabolit toksik telah dideskripsikan yang menunjukkan sifat insektisida terhadap hama serangga (Khan et al. 2012). Destruksins (A&B) yang dihasilkan oleh beauvercins, beauverolides, destruxins (dtx), bassianolides, bassianin, dan oosporein yang dihasilkan oleh *B. bassiana* merupakan contoh-contoh metabolit insektisida dari jamur entomopatogen (Kodaira 1961). Beberapa enzim penting adalah kitinase, protease, dan lipase. Produksi enzim-enzim ini telah dilaporkan pada jamur entomopatogen seperti *B. bassiana*, *Nomuraea rileyi*, dan *M. anisopliae* (Ali et al. 2011).

5. AKTIVITAS ANTIMIKROBA DARI PIGMEN YANG DIHASILKAN OLEH *B. BASSIANA*

B. bassiana dianggap sebagai agensia pengendalian Hayati (APH) untuk mengendalikan hama utama tanaman yang mempengaruhi secara ekonomi di seluruh dunia (misalnya, kopi, kapas, dll.) (Strasser et al., 2000). *B. bassiana* menghasilkan beberapa metabolit sekunder dengan sifat antibiotik, antijamur, dan bahkan insektisida yang luar biasa terhadap beberapa penyakit pada hama serangga (Sahab, 2012). Bassiacridin, bassianolide, beauvericin, bassianin, tenellin, oosporein, antara lain, telah menunjukkan aktivitas antimikroba dan antijamur in vitro, dan beberapa telah dihubungkan dengan spesifisitas dan virulensi karena beberapa dapat menekan reaksi ketahanan tubuh dari inangnya, yaitu imunomodulator (Butt et al., 2016) (Gambar 2). Menurut Fan et al. 2017 dalam Ávila-Hernández et al. 2020, oosporein memiliki peran penting sebagai senyawa antibakteri pada akhir proses infeksi *B. bassiana* dengan mengurangi mikrobiota inang dan membantu jamur menyelesaikan siklus infeksi.

5.1. Oosporein: Pigmen dengan Sifat Benzoquinone

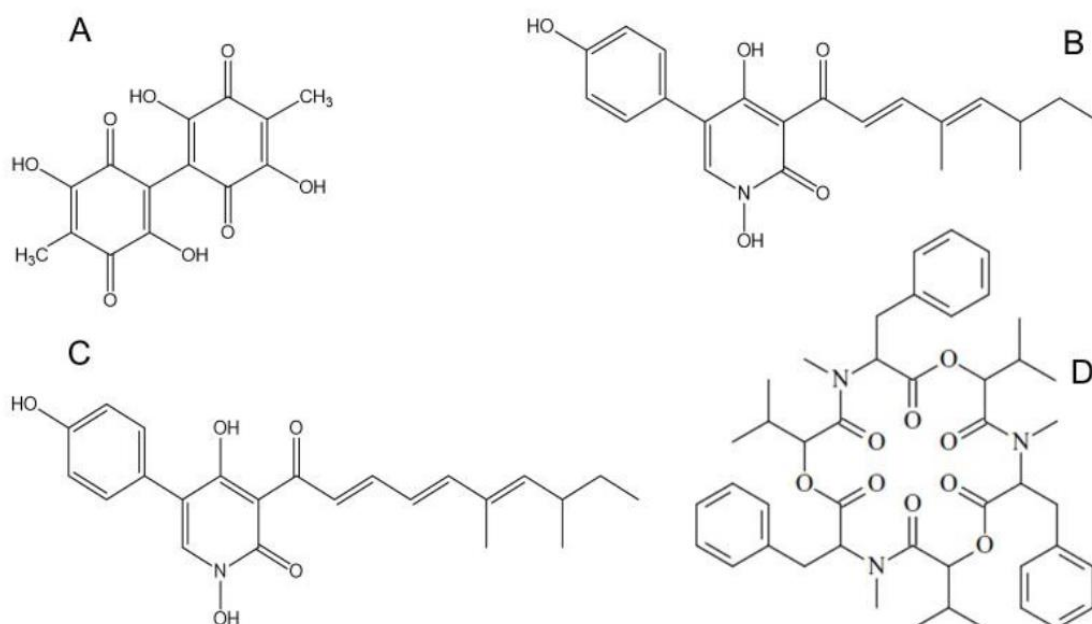
Saat menginfeksi pada inang, *B. bassiana* dimulai secara bertahap mulai melepaskan pigmen merah ke dalam hemokol yang kemudian menyebabkan serangga sakit karena aktivitas biologisnya sebagai mediator patogenesis (Mosqueira et al., 2015; Liu et al., 2017). Oosporein adalah molekul yang berasal dari 2,5-dihidroksibenzoquinon simetris C2, ditemukan dalam beberapa jamur tanah, biasanya pada beberapa spesies *Beauveria* (Luo et al., 2015) seperti *B. brongniartii*, *B. bassiana*, dan *B. caledonica* (Zimmermann, 2007; Mc Namara et al., 2019), selain beberapa jamur yang dianggap sebagai agen pengendalian hayati (Love et al., 2009).

5.2. Tenellin dan Bassianin: Pigmen yang berasal dari 2-pyridone

Tenellin dan bassianin adalah pigmen 1,4-dihidroksi-2-piridin berwarna kuning yang diisolasi dari beberapa spesies *Beauveria*. Mereka terbentuk dari turunan rantai poliketida (pentaketida dalam kasus tenellin dan heksaketida untuk bassianin), dengan bagian amida dari tirosin (Molnár et al., 2010). Pigmen-pigmen ini diproduksi oleh *B. bassiana* dan *B. tenella* (Patočka, 2016). Pigmen kuning tenellin dapat diisolasi dari miselium *Beauveria* spp. dan memiliki rumus empiris C₂₁H₂₃N₅O₅ (Jirakkakul et al., 2015).

5.3. Beauvericin: Siklodepsipeptida

Beauvericin adalah siklodepsipeptida trimetrik yang terdiri dari residu metilfenilalanil dan hidrosivaleril. Memiliki berat molekul 783,9 g/mol. Dianggap sebagai mikotoksin dengan aktivitas antara lain seperti antibiotik, insektisida, penghambat apoptosis, agensia antijamur, agensia antineoplastik, Molekul ini dianggap sebagai ionofor dengan kemampuan untuk mengangkut ion-ion kecil melintasi membran lipid (Mallebrera et al., 2018). Toksisitas utama yang dihasilkan oleh beauvericin disebabkan oleh aktivitas ionofornya. Beauvericin dapat membentuk saluran selektif kation dalam sel-sel mamalia dan membran sintesis (Kouri et al., 2003). Mempunyai efek langsung pada konsentrasi ion intraseluler.



Gambar 2. Rumus bangun A) oosporein; B) tenellin, C) bassianin and D) beauvericin, produced by *Beauveria* spp. (Source Ávila-Hernández et al.2020).

6. BEAUVERIA BASSIANA, SEJENIS JAMUR ENDOFIT

Jamur endofit adalah sejenis jamur yang dapat hidup pada jaringan tumbuhan tanpa menyebabkan kerusakan selain mendapatkan manfaat, baik nutrisi untuk pertumbuhan maupun kekebalan terhadap patogen serta dapat hidup di jaringan dalam dan luar tumbuhan (akar, kulit batang, batang, dan daun) (Hu & Bidochka, 2020). *B. bassiana* adalah endofit pada lebih dari 20 tanaman, termasuk *Zea mays*, *Solanum lycopersicum*, dan *Phaseolus vulgaris* (McKinnon et al., 2017). Keberadaan *B. bassiana* terdapat pada daun, batang, dan akar serta jaringan daun bagian dalam, xilem, pembukaan stomata, parenkim, dan jaringan vaskular (Vega, 2018).

7. B. BASSIANA SEBAGAI PENGENDALIAN SECARA BIOLOGIS

Istilah jamur patogen serangga merujuk pada jamur yang menyebabkan gejala penyakit pada serangga inang. Domain ini mencakup jangkauan jamur yang dapat membunuh secara cepat hingga mutlak sebagai parasit yang menyebabkan gejala penyakit pada inang dan mendapatkan manfaat dari inang tanpa mengurangi masa hidup inang. Dari 700 spesies fungi, sekitar 90 genus adalah entomopatogen (Khachatourians and Sohail 2008). *B. bassiana*, pertama kali diisolasi dari bangkai ulat sutera oleh Agostino Bassi pada abad ke-19, dapat menginfeksi lebih dari 200 spesies serangga dalam enam ordo dan 15 famili (Nakahara et al., 2009). Ia berkembang biak dengan cepat, menghasilkan berbagai racun yang menyebabkan penyakit ketika menginfeksi (Chelico and Khachatourians, 2008; Naqqash et al., 2016 dalam Wang et al. 2021). *B. bassiana* adalah salah satu fungi entomopatogen yang paling banyak diteliti dan diterapkan dalam bidang pengendalian hama, dengan lebih dari 360 spesies. Ia memiliki keunggulan toksisitas tinggi, aplikasi yang luas, dan tidak mencemari lingkungan (Mascarin and Jaronski, 2016; Liu et al., 2021; Tomson et al., 2021 dalam Wang et al. 2021). Dalam kelompok *Beauveria*, sekitar 25 spesies telah dijelaskan, sebagian besar berasal dari Asia sebagai pusat asal spesies ini (Xiao et al. 2012). *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill (Ascomycota, Hypocreales) adalah mikroorganisme skala luas yang mampu membunuh serangga, dapat bertahan sebagai saprofit di tanah, dan membentuk suatu ikatan saling menguntungkan dengan tanaman sebagai endofit (Ownley et al. 2008., Jaber et al. 2014). *B. bassiana* memiliki penyebaran skala luas dan dapat menginfeksi sekitar 700 spesies serangga (de Faria et al. 2007). Sejak penemuan dan pengaruhnya pada ulat sutera oleh Vuillemin, M.P. 1912 dalam Stefany Solano et al. 2023, *Beauveria* telah digunakan dalam pengendalian hayati berbagai hama pertanian (McGuire et al. 2020, Jaber et al. 2018).

8. CARA KERJA B. BASSIANA TERHADAP SERANGGA

Proses infeksi *B. bassiana* pada serangga inang terjadi melalui empat tahap: inokulasi, perkecambahan, penetrasi, penyebaran, dan kolonisasi (Dannon et al. 2020). Tahap inokulasi melibatkan kontak antara organ infeksius dan integumen serangga inang. Organ infeksius dari jamur *B. bassiana* adalah konidia, jadi selama aplikasi di lapangan, suspensi konidia harus kontak dengan tubuh serangga, terutama lapisan integumen. Selanjutnya, konidia melekat pada integumen serangga, dan untuk proses ini, zat perekat diperlukan untuk memastikan konidia melekat pada integumen sebagai organ infeksius. Tahap kedua adalah perkecambahan. Konidia membentuk tabung kecambah, memerlukan kelembaban tinggi di atas 90%. Tahap ketiga adalah penetrasi. Pada titik ini, jamur membentuk blastospora di ujung appresorium atau haustorium, siap untuk menembus lapisan kutikula serangga, yang mengarah pada pembentukan hifa primer di dalam tubuh serangga (Ortiz-Urquiza dan Keyhani 2016; Saranraj dan Jayaprakash 2017 yang dikutip dalam Marida et al., 2021). Tahap berikutnya

adalah penyebaran, di mana blastospora menghasilkan berbagai jenis toksin, termasuk beauvericin, beaverolide, bassianin, bassianolide, bassiacridin, tenelin, dan cyclosporin, yang beredar dalam darah serangga (hemolimfa), mengakibatkan peningkatan pH darah serangga dan gangguan pada sistem saraf, menyebabkan serangga menjadi lesu dengan penurunan nafsu makan, akhirnya menyebabkan kematian (Altinok et al. 2019) (Gambar 3).



(a)



(b)



(c)

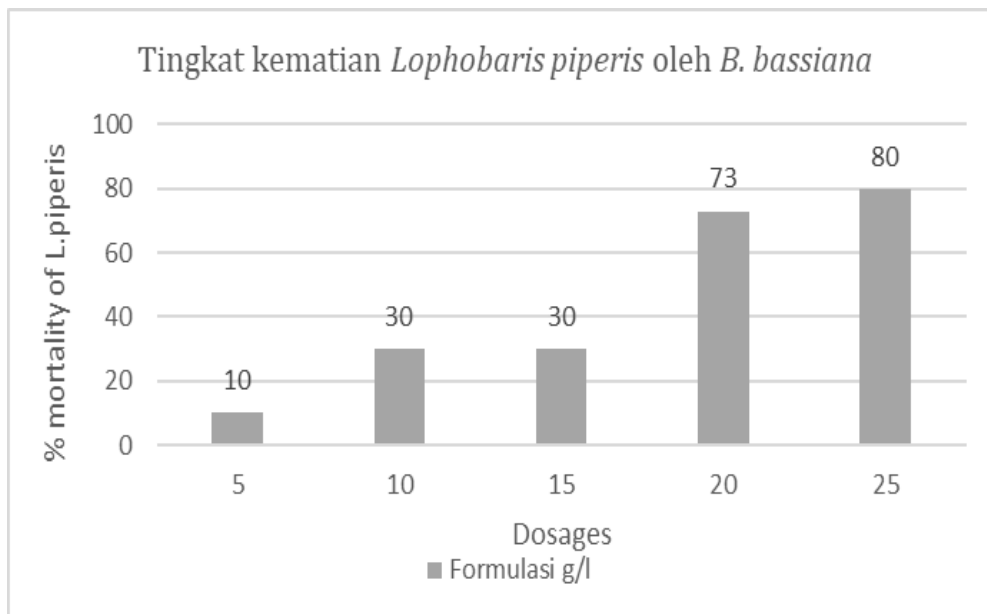
Gambar 3. Serangga-serangga hama yang terinfeksi oleh *B. bassiana* : (A) *Lophobaris piperis*, (B) *Helopeltis antonii*, dan (C) *Nilaparvata lugens* (wereng coklat)

9. POTENSI JAMUR ENTOMOPATOGEN UNTUK PENGENDALIAN HAYATI

Jamur entomopatogen *B. bassiana* adalah salah satu agensia paling efektif dalam pengendalian secara biologi yang banyak dideskripsikan dalam literatur. Jamur ini ditemukan di semua jenis tanah (Jamal 2008; Lambert 2010 dalam Dannon et al. 2020). Jamur patogen serangga (JPS) memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan dalam pengendalian dengan menggunakan mikro organisme. Keunggulan penggunaan jamur sebagai insektisida adalah bahwa mereka memiliki selektivitas tinggi terhadap inang dalam beberapa kasus pengendalian hama: JPS dapat digunakan dalam pengendalian serangga berbahaya tanpa mempengaruhi populasi parasitoid dan serangga berguna. Mereka tidak memiliki pengaruh negatif pada mamalia dan oleh karena itu, mengurangi kerusakan yang diakibatkan oleh aplikasi insektisida seperti polusi lingkungan. JPS dapat digunakan untuk mengurangi masalah seperti resistensi insektisida, menyediakan pengendalian jangka panjang, dikembangkan dengan penelitian bioteknologi, dan tetap berada di lingkungan untuk waktu yang lama setelah aplikasi (Lengai et al., 2020; Fenibo et al., 2021 dalam Güner et al., 2023). Kelemahannya, ada beberapa kekurangan penggunaan jamur sebagai insektisida. Mereka memerlukan waktu yang lebih lama untuk membunuh serangga dibandingkan insektisida kimia (kadang-kadang 10-15 hari). JPS lebih selektif daripada insektisida kimia yang berarti bahwa mereka mungkin tidak efektif membunuh semua hama. Memerlukan biaya produksi yang cukup tinggi dan memerlukan penyimpanan dengan kondisi dingin dibandingkan dengan insektisida kimia. Keefektifan dan ketahanan jamur terhadap populasi hama dapat bervariasi tergantung pada serangga inang yang memerlukan penelitian jangka panjang dan penelitian untuk mengoptimalkan teknik aplikasi yang khusus terhadap serangga. Selain itu, JPS dapat menimbulkan risiko potensial bagi manusia yang memiliki sistem kekebalan tubuh rendah karena beberapa fungi mengeluarkan berbagai toksin untuk membunuh serangga target dan efek toksin ini pada organisme lain belum sepenuhnya diketahui (Lengai et al., 2020; Fenibo et al., 2021 dalam Güner et al., 2023).

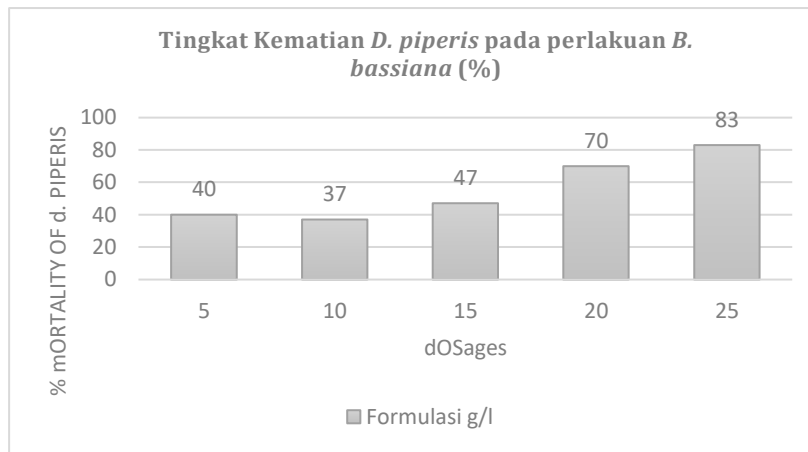
10. HASIL UJI KEEFEKTIFAN *B. BASSIANA* TERHADAP *DASYNUS PIPERIS* DAN *LOPHOBARIS PIPERIS* DI LABORATORIUM DAN LAPANGAN

Penentuan konsentrasi formula *B. bassiana* pada *L. piperis* dan *D. piperis* dewasa dilakukan di laboratorium. Uji pendahuluan menunjukkan bahwa pengaruh dari *B. bassiana* terhadap *L. piperis* terlihat 5 minggu setelah aplikasi, dengan dosis 25 g adalah paling efektif (Wiratno et al. 2020). (Gambar 4 dan 5).



Gambar 4. Tingkat kematian *L. piperis* pada perlakuan dengan *B. bassiana* (%)
(Sumber : Wiratno et al. 2020)

Berdasarkan hasil uji pendahuluan, dosis untuk dilapangan dari formula *B. bassiana* ditetapkan menjadi 20 gr/l. Hasil uji menunjukkan bahwa tingkat kematian pada *L. piperis* dan *D. piperis* setelah aplikasi jamur sangat rendah, berbeda dengan hasil yang diperoleh dalam uji pendahuluan di laboratorium. Tingkat kematian pada *L. piperis* dan *D. piperis* pada minggu ke-4 pengamatan adalah 20 dan 33.3%, secara berturut-turut. Tingkat kematian rendah pada serangga uji mungkin disebabkan oleh perlakuan yang dilakukan selama musim kemarau, sehingga spora *B. bassiana* tidak bertahan lama dan mati karena terpapar sinar matahari. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil maksimal, aplikasi formula ini sebaiknya dilakukan beberapa kali dengan tenggang waktu 1 atau 2 bulan (Wiratno et al. 2020). Perlu dilakukan perlakuan berkelanjutan diharapkan dalam jangka panjang untuk dapat menekan populasi dan serangan hama pada tanaman lada hitam. Lingkungan memiliki pengaruh besar terhadap keefektifan *B. bassiana*, sebagian besar konidia dapat terurai dengan cepat di lingkungan dan hanya sebagian kecil yang berhasil menginfeksi inang baru (Meyling dan Eilenberg. 2007).



Gambar 5. Tingkat kematian *D. piperis* pada perlakuan dengan *B. bassiana* (%)
(source: Wiratno et al. 2020)

Efektivitas *B. bassiana* sangat bergantung pada faktor-faktor abiotik lingkungan, termasuk kelembaban, suhu, curah hujan, dan radiasi ultraviolet (UV) (Jaronski 2010; Fernandes et al. 2015; McCoy et al. 2002) untuk pertumbuhan dan penyimpanan inokulum. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Teng (1962) dalam Dannon et.al. (2020) mengenai biologi *B. bassiana*, suhu yang mendukung pertumbuhan miselium berkisar antara 13 °C dan 36 °C. Perkembangan miselium berhenti pada suhu 8 °C dan 40 °C. Suhu optimal untuk perkecambahan spora dan pertumbuhan miselium adalah 24 °C, yang, dengan uji laboratorium menurut *Dendrolimus punctatus* Walker (1855) dalam Dannon et.al. (2020), juga mendukung proses infeksi. Batas suhu secara umum untuk pertumbuhan adalah antara 34 °C dan 36 °C. Suhu yang lebih tinggi dapat secara signifikan mengurangi efisiensi produksi jamur (Noma dan Strickler 1999; Ugine 2011 dalam Dannon et.al. (2020).

11. KOMPATIBILITAS *B. BASSIANA* DENGAN PESTISIDA KIMIA

Efektivitas agensia pengendalian mikroba dapat ditingkatkan dengan menggabungkannya dengan pestisida dosis rendah (Islam dan Omar 2012). Ketika interaksi menjadi sinergis, kombinasi tersebut akan meningkatkan efektivitas agensia pengendalian secara biologi untuk mengurangi pengaruh samping pestisida. Namun, mencapai interaksi sinergis tidak selalu mudah sehingga dalam kasus *B. bassiana*, mungkin terjadi pengaruh antagonis. Beberapa pestisida juga dapat memengaruhi kelangsungan hidup *B. bassiana* bergantung pada strainnya. Sebagai contoh, lufenuron bahkan dalam dosis rendah ditemukan tidak kompatibel dengan *B. bassiana* (strain MTCC-984) (Purwar dan Sachan 2005). Kendala lain terkait dengan waktu dan sinkronisasi aplikasi *B. bassiana* dengan beberapa pestisida kimia. Herbisida dan zat pengatur pertumbuhan tanaman telah digunakan secara luas dalam sebagian besar agrosistem, dan kompatibilitasnya dengan jamur patogen seringkali belum berdiri sendiri (Sabbahi 2008). Namun, pestisida dengan berbahan aktif glufosinate ammonium tidak kompatibel dengan *B. bassiana* yang diterapkan untuk mengendalikan kumbang kentang (Todorova et al. 1998).

12. KOMPATIBILITAS APLIKASI *B. BASSIANA* DENGAN PESTISIDA BOTANI

Kompatibilitas aplikasi *B. bassiana* dengan beberapa pestisida botani dapat dilihat dari waktu kematian yang lebih singkat pada *Riptortus linearis* dan tingkat kematian yang lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi terpisah. Hal ini disebabkan oleh pestisida botani yang mengandung minyak, yang dapat berfungsi sebagai racun atau menghalangi spirakel di bagian perut serangga (Odibo dan Ojianwuna 2020; Okweche et al. 2021 dalam Marida et al. 2021). Menurut Al-Mazra'awi et al. (2007), efektivitas jamur *B. bassiana* akan meningkat ketika dikombinasikan dengan pestisida botani dari biji nimba karena pestisida botani ini mengandung senyawa minyak yang dapat meningkatkan perkecambahan konidia.

13. KOMPATIBILITAS *B. BASSIANA* DENGAN PREDATOR

Menurut laporan Zaki (2011), aplikasi *B. bassiana* pada dosis rendah tidak memiliki dampak negatif pada kelangsungan hidup predator *Coccinella undecimpunctata*. Namun, pada dosis tinggi (8 g/l), hal itu memengaruhi kelangsungan hidup predator dewasa. Huang et al. (2012) juga menjelaskan bahwa mortalitas predator dari kelompok Coccinellidae mencapai 28,2% akibat aplikasi *B. bassiana* dengan kepadatan konidia 10^9 /ml. Selain itu, Jarrold et al. (2007) dan Zhang et al. (2012) menyatakan bahwa lapisan lilin tebal dan lipid memiliki dampak negatif pada perkecambahan konidia *B. bassiana*, mencegah mereka menembus integumen serangga.

14. PRODUKSI MASSAL JAMUR UNTUK KOMERSIALISASI

Penggunaan komersial jamur entomopatogenik untuk pengendalian dengan mikroba terhadap hama serangga memerlukan pemahaman akan aspek fisiologis pertumbuhan, aktivitas metabolik, dasar genetik dari virulensi, dan spesifitas terhadap inang. Beberapa teknik untuk produksi massal jamur entomopatogenik tersedia, sebagian besar dirancang untuk menghasilkan konidia yang infeksiif; konidia tersebut diambil dan diformulasikan untuk penyimpanan dan penggunaan lapangan (S.S. Sandhu et al. 2017). Kesulitan terkait dengan formulasi biopestisida berbasis *B. bassiana* termasuk dalam menemukan bahan-bahan yang dapat digabungkan, untuk mendapatkan tidak hanya viabilitas konidia tetapi juga stabilitas mereka (misalnya, toleransi terhadap pengeringan, perlindungan UV, masa simpan, dll.) dan keefektifannya (Dannon et al. 2020). *B. bassiana*, sebagai biopestisida, dapat diproduksi menggunakan media cair maupun padat. Ketika dipropagasi dalam media cair (diphase liquid), menghasilkan miselium dan blastospora, sementara pada media padat menghasilkan konidia. Produksi konidia umumnya digunakan untuk merumuskan agen dalam media bubuk atau granul, formulasi dengan larutan minyak, atau media lainnya (Wiratno et al. 2020). Formulasi granul dapat diperoleh baik dengan melapisi spora yang sudah dipanen sebelumnya (Leland dan Behle 2005; Sabbahi 2008) atau dengan pertumbuhan dan sporulasi jamur pada permukaan pembawa nutrisi granular. Virulensi tinggi dan efisiensi epizootik jamur entomopatogenik terhadap hama serangga (Agarwal et al. 1990), tingkat sporulasi tinggi, dan kemampuan beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan membuat jamur menjadi organisme yang lebih bermanfaat untuk produksi biopestisida (Sharififard et al. 2011; Mwamburi et al. 2010; Lecouna et al. 2005; Kaufman et al. 2005 dalam S.S. Sandhu et al. 2017).



(a)



(b)

Gambar 6. Produksi massal jamur *B. bassiana* dalam bentuk granul (A) dan media cair (B).

Beberapa jamur yang dikembangkan untuk pengendalian hama serangga ditampilkan dalam Tabel 1. Pasar biopestisida masih dalam tahap awal perkembangannya karena tingkat penjualan biopestisida dibandingkan dengan pestisida kimia hanya sebesar 0,25% (van Lenteren 2000 yang dikutip oleh Caron (2006).

Tabel 1. Perkembangan Mikoinsektisida yang dimenggunakan beberapa jamur entomopatogenik

Fungus	Product	Target	Producer
<i>Beauveria bassiana</i>	Conidia	Coffee berry borer	Live System Technology, Colombia
<i>Beauveria bassiana</i>	Ostrinil	Corn borer	Natural Plant Protection (NPP), France
<i>Beauveria bassiana</i>	Corn Guard	European corn borer	Mycotech, USA
<i>Beauveria bassiana</i>	Mycotrol GH	Grasshoppers, Locusts	Mycotech, USA
<i>Beauveria bassiana</i>	Mycotrol WP and BotaniGard	Whitefly, Aphids, Thrips	Mycotech, USA
<i>Beauveria bassiana</i>	Naturalis-L	Cotton pests including bollworms	Troybiosciences, USA
<i>Beauveria bassiana</i>	Naturalis	White flies, Thrips, white grubs	Troybiosciences, US
<i>Beauveria bassiana</i>	Proecol	Army worm	Probioagro, Venezuela
<i>Beauveria bassiana</i>	Boverin	Colorado beetle	Former USSR
<i>Beauveria bassiana</i>	Bio-power	Mite, coffee green bug	Stanes
<i>Beauveria bassiana</i>	Racer BB	Aphids spittle bug, sugarcane	SOM phytopharma
<i>Beauveria bassiana</i>	Trichobass- L Trichobass- P	Aphids spittle bug, sugarcane	AMC Chemical/Trichodex
<i>Beauveria brongniartii</i>	Engerlingspilz	Cockchafer (s)	Andermatt, Switzerland
<i>Beauveria brongniartii</i>	Schweizer beauveria	Cockchafer (s)	Eric Schweizer, Switzerland

Sumber : S.S. Sandhu et al. 2017

15. KESIMPULAN

Penggunaan *B. bassiana* sebagai biopestisida memiliki sejumlah manfaat signifikan, seperti efektivitas tinggi dalam mengendalikan hama tanaman, keamanan bagi manusia dan hewan peliharaan, serta sifat ramah lingkungan. Meskipun terdapat beberapa kekurangan, seperti efektivitas yang kurang optimal dalam pengendalian hama dan daya tahan yang lebih rendah dibandingkan dengan pestisida kimia, *B. bassiana* memiliki potensi untuk pengembangan teknologi produksi biopestisida yang lebih efektif dan terjangkau. Meskipun ada persepsi bahwa pestisida kimia lebih efektif dan adanya persaingan dari produsen pestisida kimia dalam skala besar, *B. bassiana* tetap memiliki harapan untuk pengembangan lebih lanjut. Selain itu, perubahan iklim dan kondisi lingkungan yang tidak stabil juga dapat memengaruhi produksi dan kualitas biopestisida yang berasal dari *B. bassiana*. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan efektivitas dan daya tahan biopestisida *B. bassiana*, serta meningkatkan kesadaran pasar dan penerimaan produk pertanian yang ramah lingkungan, yang bebas dari residu pestisida kimia.

16. REKOMENDASI

Potensi *B. bassiana* sebagai salah satu biopestisida sangat besar, oleh karena itu disarankan, antara lain:

1. Meningkatkan efektivitas dan daya tahan biopestisida *B. bassiana* melalui penelitian dan pengembangan teknologi produksi yang ditingkatkan.
2. Memperkuat wawasan dan kesadaran tentang keunggulan dan keamanan penggunaan biopestisida, terutama bagi mereka yang masih menganggap pestisida kimia lebih efektif.
3. Meningkatkan dukungan pemerintah dan industri pertanian untuk penggunaan metode pengendalian hayati alternatif dengan mengenalkan kebijakan yang mempromosikan penggunaan biopestisida.
4. Berkolaborasi dengan petani dan produsen biopestisida lainnya untuk meningkatkan distribusi dan memperluas pasar.
5. Memperhatikan kondisi lingkungan dan perubahan iklim yang dapat memengaruhi produksi dan kualitas biopestisida, sehingga memerlukan pemantauan dan adaptasi terhadap kondisi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal GP, Rajak RC, Sandhu SS, Khan AK. 1990. *Beauveria bassiana*: a potential pathogen of *Atteva fabriciella*, the insect of mahaneem. *J Trop For* 6:172-174.
- 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.
- Ali S, Zhen H, Wang Q, Shun XR. 2011. Production and regulation of extracellular proteases from the Entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Cordycipitaceae; Hypocreales) in the presence of diamondback Moth cuticle. *Pak J Zool* 43:1203-1213.
- Altinok HH, Altinok MA, Koca AS. 2019. Modes of action of entomopathogenic fungi. *Current*

Trends in Natural Sciences 8(16):117-124.

- Anggarawati, S. H., T. Santoso, and R. Anwar. 2017. Penggunaan Cendawan Entomopatogen *Beauveria Bassiana* (Balsamo) Vuillemin Dan *Lecanicillium Lecanii* (Zimm) Zare & Gams Untuk Mengendalikan *Helopeltis Antonii* Sign (Hemiptera: Miridae) . Jurnal Silviculture Tropika 8(3): 197–202.
- Butt T. M., Coates C. J., Dubovskiy I. M. & Ratcliffe N. A. 2016. Entomopathogenic fungi: new insights into host-pathogen interactions. *Advances in Genetics*. 94: 307- 364. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2016.01.006>.
- Cook RJ (1993) Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. *Annu Rev Phytopathol* 31:53–80.
- Caron J. Research and development of biopesticides and natural pesticides with low toxicity for non-target organisms and environment friendly. 2006. Final report entomology section, PARDE project # 3333.52.02.01. Quebec: Ministry of Sustainable Development, Environment and Parks (MDDEP).
- Dannon H. Fabrice, Dannon A. Elie, Douro -Kpindou O. Kobi, Zinsou A. Valerien Houndete A. Thomas, Toffa-Mehinto Joëlle, Elegbede I. A. T. Maurille 1, Tolou B. Denis and Tamo Manuele. 2020. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton insect pest management. *Journal of Cotton Research* (2020) 3:24 <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>. pp.1-21.
- de Faria, M.R.; Wraight, S.P. Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A Comprehensive List with Worldwide Coverage and International Classification of Formulation Types. *Biol. Control* 2007, 43, 237–256.
- Effendy, T.A., R. Septiadi, A. Salim, and A. Mazid. 2010. Jamur Entomopatogen Asal Tanah Lebak di Sumatera Selatan dan Potensinya Sebagai Agensia Hayati Walang Sangit (*Leptocorisa Oratorius* (F.)). *J. HPT Tropika* 10(2): 154–161. doi: 10.23960/j.hptt.210154-161.
- Fan Y., Liu X., Keyhani N. O., Tang G., Pei Y., Zhang W. & Tong S. 2017. Regulatory cascade and biological activity of *Beauveria bassiana* oosporein that limits bacterial growth after host death. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114: 9. <https://doi.org/www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1616543114>.
- Fernandes EKK, Rangel DEN, Braga GUL, et al. 2015. Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: a review on screening of strains and their formulation. *Curr Genet*;61(3):427–40.
- Heydari A, Mohammad P (2010) A review on biology control of fungal plant pathogen using microbial antagonists. *J Biol Sci* 10:273–290.
- Hu S. & Bidochka M. 2020. Root colonization by endophytic insect-pathogenic fungi. *Journal of Applied Microbiology*. <https://doi.org/10.1111/jam.14503>.
- Huang Z, Ali S, Ren S, Wu J, Zhang Y. 2012. Influence of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* on *Pryncaria congener* (Billberg) (Coleoptera: Coccinellidae) under laboratory condition. *Pakistan Journal of Zoology* 44(1): 209-216.
- IP Kulu, AL Abadi, A Afandhi, N Aidawati, “Morphological and Molecular Identification of *Beauveria bassiana* as Entomopathogen Agent from Central Kalimantan Peatland,

- Indonesia", *International Journal of ChemTech Research*, vol. 8, pp. 2079-2084, 2015.
- Jaber, L.R.; Ownley, B.H. 2018. Can We Use Entomopathogenic Fungi as Endophytes for Dual Biological Control of Insect Pests and Plant Pathogens?. *Biol. Control*, 116, 36–45.
- 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.
- 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.
- Islam MT, Omar DB. Combined effect of *Beauveria bassiana* with neem on virulence of insect in case of two application approaches. 2012. *J Anim Plant Sci.*;22(1):77–82
- José Guadalupe Ávila-Hernández, María Luisa Carrillo-Inungaray, Reynaldo De la Cruz-Quiroz, Jorge Enrique Wong-Paz, Diana Beatriz Muñiz-Márquez, Roberto Parra, Cristóbal N. Aguilar, Pedro Aguilar-Zárate. 2020. *Beauveria bassiana* secondary metabolites: a review inside their production systems, biosynthesis, and bioactivities. *Mexican Journal of Biotechnology* 2020, 5(4):1-33. pp.1-33. Journal homepage:www.mexjbiotechnol.com ISSN:2448-6590.
- Jaronski ST. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. 2010. *Biocontrol.*;55:159–85.
- Jirakkakul J., Cheevadhanarak S., Punya J., Chutrakul C., Senachak J., Buajarern T., Tanticharoen M. & Amnuaykanjanasin A. 2015. Tenellin acts as an iron chelator to prevent iron-generated reactive oxygen species toxicity in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *FEMS Microbiology Letters*. 362(2): 1-8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnu032>.
- Kulu, I. P., A. L. Abadi, A. Afandhi and Nooraidawati. 2015. Morphological and Molecular Identification of *Bauveria bassiana* as Entomopathogen Agent from Central Kalimantan Peatland, Indonesia. *International Journal of ChemTech Research* 8(4): 2079– 2084.
- 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.
- Khachatourians GG, Sohail SQ. 2008. Entomopathogenic fungi. In: Brakhage AA, Zipfel PF (eds) *Biochemistry and molecular biology, human and animal relationships*. Springer, Berlin/Heidelberg.
- Khan S, Lihua G, Yushanjiang M, Mahmut M, Dewen Q. 2012. Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. *Mol Plant Breed* 3:63–79.
- Kodaira Y (1961) Biochemical studies on the muscardine fungi in the silkworms. *J Fac Text Sci Technol Sinshu Univ Seric* 5:1–68.
- Kouri, K., Lemmens, M., & Lemmens-Gruber, R. 2003. Beauvericin-induced channels in ventricular myocytes and liposomes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*. 1609(2): 203-210.
- Liu H., Xie L., Wang J., Guo Q., Yang S., Liang P., Wang C., Lin M., Xu Y. & Zhang L. 2017. The stress-responsive and host-oriented role of nonribosomal peptide synthetases in an entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*.

27(3): 439-449.

- Leland JE, Behle RW. Coating *Beauveria bassiana* with lignin for protection from solar radiation and effects on pathogenicity to *Lygus lineolaris*. 2005. *Biocontr Sci Technol*;15:309–20.
- Love B. E., Bonner-Stewart J. & Forrest L. A. 2009. An efficient synthesis of oosporein. *Tetrahedron Letters*. 50(35): 5050-5052. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2009.06.103>.
- Luo Z., Li Y., Mousa J., Bruner S., Zhang Y., Pei Y. & Keyhani N. O. 2015. *Bbmsn2* acts as a pH-dependent negative regulator of secondary metabolite production in the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Environmental Microbiology*. 17(4): 1189-1202. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12542>.
- McCoy C, Quintela ED, Faria M. Environmental persistence of entomopathogenic fungi. In: Baur ME, Fuxa JR, editors. *Factors affecting the survival of entomopathogens*. Baton Rouge: Louisiana State University Agricultural Center, Southern Cooperative Series, Bulletin; 2002.
- Meyling N V and Eilenberg J 2007 *Biological Control* 43 145–55.
- McKinnon A. C., Saari S., Diez M. M. E., Meyling N. V., Raad M. & Glare T. R. 2017. *Beauveria bassiana* as an endophyte: a critical review on associated methodology and biocontrol potential. *BioControl*. 62(1): 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10526-016-9769-5>.
- Mosqueira J. G., Roldán-Rodríguez J. E., Saravia-Cueva V. del P. & CollantesSilva L. 2015. Efecto biocida de diferentes concentraciones de *Metarhizium anisopliae* CCB-LE302 y *Beauveria bassiana* CCB-LE265 sobre larvas III de *Aedes aegypti*. *UCV-SCIENTIA*. 6(1): 33–41.
- McGuire, A.V.; Northfield, T.D. Tropical Occurrence and Agricultural Importance of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. 2020. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020, 4, 6.
- Marida Santi Yudha Ika Bayu, Yusmani Prayogo, Sri Wahyuni Indiati. 2021. *Beauveria Bassiana*: Biopestisida Ramah Lingkungan dan Efektif untuk Mengendalikan Hama dan Penyakit Tanaman. *Buletin Palawija* Vol. 19. No.1, Mei 2021. hal.41-63.
- Mc Namara L., Dolan S. K., Walsh J. M., Stephens J. C., Glare T. R., Kavanagh K. & Griffin C. T. 2019. Oosporein, an abundant metabolite in *Beauveria caledonica*, with a feedback induction mechanism and a role in insect virulence. *Fungal Biology*, 123(8): 601-610. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2019.01.004>.
- Meyling, N.V., & Eilenberg, J. (2007). Ecology of the Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in Temperate Agroecosystems: Potential for conservation *Biological Control*. *Biological Control*, 43, 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.07.007>.
- Molnár I., Gibson D. M. & Krasnoff S. B. 2010. Secondary metabolites from entomopathogenic Hypocrealean fungi. *Natural Product Reports*. 27(9): 1241- 1275.
- Mallebrera, B., Prosperini, A., Font, G., & Ruiz, M. J. 2018. In vitro mechanisms of Beauvericin toxicity: A review. *Food and Chemical Toxicology*. 111, 537-545.
- Naqqash, M. N., Gökçe, A., Bakhsh, A., and Salim, M. (2016). Insecticide resistance and its molecular basis in urban insect pests. *Parasitol. Res.* 115, 1363–1373. doi: 10.1007/s00436-015-4898-9.
- Nakahara, Y., Shimura, S., Ueno, C., Kanamori, Y., Mita, K., Kiuchi, M., et al. (2009). Purification and characterization of silkworm hemocytes by flow cytometry. *Dev. Comp. Immunol.* 33,

439–448. doi: 10.1016/j.dci.2008.09.005.

- Oerke EC, Dehne HW. 2004. Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot* 23:275–285.
- 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 effects on fecundity and egg viability. *Ann Appl Biol* 153: 41-48.
- 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.
- 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.
- Pinar GÜNER, Tülin AŞKUN, Aylin ER. 2023. Entomopathogenic Fungi and their Potential Role in the Sustainable Biological Control of Storage Pests. *Commagen Journal Biology* 7(1), 90-97. DOI: 10.31594/commagene.1284354.
- Patocka J. 2016. Bioactive metabolites of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*. *Military Medical Science Letters*. 85(2): 80-88. DOI: 10.31482/mmsl.2016.015.
- Purwar JP, Sachan GC. Compatibility of entomogenous fungus, *Beauveria bassiana* with commonly used insecticides. 2005. *Pestology*;29(7):25–31.
- Strasser H., Vey A. & Butt T. M. 2000. Are there any risks in using entomopathogenic fungi for pest control, with particular reference to the bioactive metabolites of *Metarhizium*, *Tolypocladium* and *Beauveria* species? *Biocontrol Science and Technology*. 10(6): 717-735. <https://doi.org/10.1080/09583150020011690>.
- Sabbahi R. 2008. Use of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in a strategy of phytosanitary management of the main insect pests in strawberry plantations. Quebec, Canada: University of Quebec.
- Sahab A. F. 2012. Antimicrobial efficacy of secondary metabolites of *Beauveria bassiana* against selected bacteria and phytopathogenic fungi. *Journal of Applied Sciences Research*. 8(3): 1441-1444.
- Sardul Singh Sandhu, Harshita Shukla, Ravindra Prasad Aharwal, Suneel Kumar, and Shyamji Shukla. 2017. Efficacy of Entomopathogenic Fungi as Green Pesticides: Current and Future Prospects. December 2017. DOI:10.1007/978-981-10-6241-4_17 In book: *Microorganisms for Green Revolution* (pp.327-349).
- Tanada Y, Kaya HK (1993) *Insect pathology*. Academic Press, London, pp 319–385.
- Todorova SI, Coderre D, Duchesne RM, et al. Compatibility of *Beauveria bassiana* with selected fungicides and herbicide. 1998. *Environ Entomol.*; 27(2):427–33.
- 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.
- Van Driesche RG & Bellows TS (1996). *Biological Control*. Chapman & Hall.
- Vega F. E. 2018. The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: a

- review. *Mycologia*. 110(1): 4-30. <https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578>.
- Wiratno, P Maris, M P Sari, and T E Wahyono. 2020. Toksisitas jamur entomopatogen, *Beauveria bassiana*, dan pestisida berbasis minyak cengkeh untuk hama utama lada hitam. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 418 (2020) (1st International Conference on Sustainable Plantation (1st ICSP 2019)).
- Wang, H., Zhang, C., Cheng, P., Wang, Y., Liu, H., Wang, H., et al. (2021). Differences in the intestinal microbiota between insecticide-resistant and -sensitive *Aedes albopictus* based on full-length 16S rRNA sequencing. *Microbiol. Open* 10:e1177.
- Xiao, G., Ying, S. H., Zheng, P., Wang, Z. L., Zhang, S., Xie, X. Q., et al. (2012). Genomic perspectives on the evolution of fungal entomopathogenicity in *Beauveria bassiana*. *Sci. Rep.* 2:483. doi: 10.1038/srep00483.
- Zimmermann G. 2007. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*. 17(6): 553-596. <https://doi.org/10.1080/09583150701309006>.
- Zaki FN. 2011. Side effect of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the predators *Coccinella undecimpunctata*. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 44(19):1887-1893.
- 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.