

Entomopathogenic Fungi Efficacy Test *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill on *Spodoptera exigua* (Hubner) Larvae Mortality in Scallion Plants

Uji Efektifitas Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill Terhadap Mortalitas Larva *Spodoptera exigua* (Hubner) Pada Tanaman Bawang Daun

Putra P. Manurung^{1*}, Dantje Tarore², Frangky J. Paat³, Jackson F. Watung⁴

¹Entomology Study Program, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University, Jl. Kampus Bahu, Manado 95115, Indonesia
putramanurung2001@gmail.com

^{2,4} Entomology Study Program, Postgraduate Program, Sam Ratulangi University, Jl. Bahu Campus, Manado 95115, Indonesia

³Department of Agrotechnology, Bioengineering, Faculty of Agriculture, Sam Ratulangi University-Manado, 95115, Indonesia

*Corresponding author:
aksavgurning064@gmail.com

Manuscript received: 23 Oct. 2025
Revision accepted: 14 Dec. 2025

Abstract. *Spodoptera exigua*, a member of the Lepidoptera order and the Noctuidae family, has the ability to rapidly attack leek plants (*Allium fistulosum* L.). The goal of this study was to use *B. bassiana* on *A. fistulosum* to determine the death rate of *S. exigua* larvae. A completely randomized design (CRD) was used, with four treatments: P0 (control), P1 (conidia concentration 10⁶/ml), P2 (conidia concentration 10⁷/ml), and P3 (conidia concentration 10⁸/ml). Repeat four times. Each replication consisted of ten larvae. A total of 160 *S. exigua* larvae were required. The observation findings showed that each concentration had a different LT₅₀ value. Based on the LT₅₀ data, treatment with a concentration of 10⁸/ml effectively suppressed 50% of the larvae within 4 days. Significant temporal differences were detected for each conidia concentration. On the fourth day after application, a high mortality rate was observed in treatment P3 (conidia concentration of 10⁸/ml), indicating a consistent daily larval mortality rate. The attack intensity reached 30% in just four days with a conidia concentration of 10⁸/ml (P3), followed by P2 (10⁷/ml) and P1 (10⁶/ml). The mortality rate of *S. exigua* larvae increases linearly with conidia concentration.

Keywords: *Spodoptera exigua*, *Beauveria bassiana*, *Allium fistulosum* L.

Abstrak. *Spodoptera exigua* tergolong ordo Lepidoptera, famili Noctuidae. *S. exigua* dapat menyerang tanaman bawang daun (*Allium fistulosum* L.) dengan cepat dalam waktu yang singkat. Tujuan penelitian ini adalah aplikasi *B. bassiana* pada *A. fistulosum* untuk mendapatkan tingkat mortalitas larva *S. exigua*. Completely randomized design (RAL) 4 perlakuan, terdiri atas: P0 (kontrol), P1 (konsentrasi konidia 10⁶/ml), P2 (konsentrasi konidia 10⁷/ml), dan P3 (konsentrasi konidia 10⁸/ml). Ulangan empat kali. Sampel disetiap ulangan terdiri atas 10 larva. Total larva yang diperlukan yaitu sebanyak 160 larva *S. exigua*. Hasil pengamatan mengindikasikan bahwa setiap konsentrasi memiliki nilai LT₅₀ yang bervariasi. Dari data LT₅₀ yang diperoleh, perlakuan dengan konsentrasi 10⁸/ml sangat cepat mengendalikan 50 persen larva dalam waktu 4 hari. Perbedaan waktu signifikan disetiap konsentrasi konidia yang diterapkan. Pada hari keempat setelah aplikasi, tingkat mortalitas yang signifikan terjadi pada perlakuan P3 (konsentrasi konidia 10⁸/ml), menunjukkan tingkat mortalitas larva yang stabil setiap harinya. Intensitas serangan mencapai 30% hanya dalam empat hari dengan penggunaan konsentrasi konidia 10⁸/ml (P3), selanjutnya P2 (konidia 10⁷/ml), dan P1 (konidia 10⁶/ml). Semakin tinggi konsentrasi konidia linier terhadap mortalitas level larva *S. exigua*.

Kata kunci: *Spodoptera exigua*, *Beauveria bassiana*, *Allium fistulosum* L.

PENDAHULUAN

Bawang daun (*A. fistulosum* L.), adalah tanaman yang termasuk dalam genus *Allium* (Lanzotti *et al.* 2014). Zafar *et al.* (2024) mengeksplorasi virulensi jamur entomopatogenik, *Beauveria bassiana*, terhadap *S. exigua* menyatakan bahwa *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera:

Noctuidae) adalah hama serangga polifagus yang sangat mudah menyebar dan merusak tanaman secara parah. Ketergantungan yang berlebihan pada insektisida sintesis menyebabkan polusi ekologis dan perkembangan resistensi, mendorong para ilmuwan untuk menyelidiki biopestisida ramah lingkungan.

Zafar *et al.* (2024) mengeksplorasi virulensi jamur entomopatogenik, *Beauveria bassiana*, terhadap *S. exigua*, yang menghasilkan mortalitas larva sebesar 88%. Dengan menggunakan tabel kehidupan dua jenis kelamin berdasarkan usia dan tahap perkembangan, kami mengevaluasi efek letal dan subletal *B. bassiana* pada parameter demografis *S. exigua*, termasuk kelangsungan hidup, perkembangan, dan reproduksi. Konsentrasi subletal (LC20) dan letal (LC50) *B. bassiana* berdampak pada generasi induk (F0), dengan efek ini selanjutnya memengaruhi parameter demografis generasi filial pertama (F1). Keturunan F1 yang terinfeksi menunjukkan penurunan laju peningkatan intrinsik (r), waktu generasi rata-rata (T), dan laju reproduksi bersih (R_0). Durasi perkembangan larva bervariasi secara signifikan antara kelompok kontrol (10,98 hari) dan kelompok yang diberi perlakuan (LC20: 10,42; LC50: 9,37 hari). Serangga dewasa pada kelompok yang diberi perlakuan memiliki masa hidup yang jauh lebih pendek (M: 8,22; F: 7,32 hari) dibandingkan dengan kelompok kontrol (M: 10,00; F: 8,22 hari). Penurunan kesuburan diamati pada kelompok yang terinfeksi *B. bassiana* (LC20: 313,45; LC50: 223,92 telur/betina) dibandingkan dengan kelompok kontrol (359,55 telur/betina). Analisis biokimia mengungkapkan peningkatan kadar enzim detoksifikasi (esterase, glutathione S-transferase, dan asetilkolinesterase) pada generasi F0 setelah infeksi *B. bassiana*. Namun, aktivitas enzimatis tetap tidak signifikan pada generasi F1 kemungkinan karena kurangnya paparan jamur secara langsung. Menyoroti efek jangka panjang *B. bassiana* pada parameter biologis dan dinamika populasi *S. exigua*, menekankan penggunaannya dalam program pengelolaan ramah lingkungan.

Park *et al.* (2023) efektivitas penggunaan pesawat tanpa awak otonom

dan analisis citra untuk melakukan survei udara berbiaya rendah terhadap kerusakan kedelai yang disebabkan oleh wabah *S. exigua*, yang dapat menjadi dasar pengambilan keputusan untuk pengelolaan *S. exigua*. Rosas *et al.* (2021) melakukan pengendalian alternatif melalui riset 16 minyak atsiri komersial diuji menggunakan tiga rute paparan untuk menentukan efek toksik letal dan subletalnya dalam siklus perkembangan serangga *S. exigua*. Minyak atsiri dalam bioassay fase uap secara signifikan toksik terhadap larva *S. exigua*, dengan nilai LC_{50} berkisar antara 2,23 hingga 32,16 mg/ml. Minyak atsiri yang membunuh kurang dari 50% larva melalui bioassay pemberian makan dipilih untuk menilai efek subletal pada setiap tahap perkembangan. Paparan minyak mint, kayu manis, cengkeh, geranium, dan serai menurunkan berat rata-rata larva sebesar 11 hingga 43%. Minyak jeruk nipis, peppermint, dan jeruk mandarin menyebabkan peningkatan berat rata-rata larva sebesar 20 hingga 37%. Berat rata-rata pupa tidak terpengaruh. Berdasarkan ukuran populasi, jumlah telur yang diletakkan dengan minyak mint atau jeruk mandarin melebihi yang diharapkan, meskipun peletakan telur dengan perlakuan lain lebih rendah daripada kontrol, dan peletakan telur paling sedikit terjadi dengan minyak cengkeh. Dalam kebanyakan kasus, sekitar 90% telur menetas, kecuali untuk cengkeh dengan 40%, dan 76% serta 72% menetas dengan minyak geranium dan serai, masing-masing. Minyak esensial menyebabkan efek subletal hingga letal dan efektif terhadap *S. exigua*.

He *et al.* (2020) melakukan riset terhadap karakter molekuler dan fungsi kitinase dan domain pengikat kitin (CBD) dianalisis pada larva *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Hasil risetnya menyatakan bahwa Kitinase serangga memainkan peran penting dalam pergantian kulit dan metamorfosis serangga. Virus *Heliothis virescens*

ascovirus 3h (HvAV-3h) dapat memperpanjang durasi total tahap larva pada larva inangnya. Deteksi yang dilakukan terhadap aktivitas kitinase pada seluruh tubuh larva yang tidak terinfeksi dan yang terinfeksi HvAV-3h serta empat jaringan larva yang berbeda, hasilnya menunjukkan bahwa aktivitas kitinase larva menurun secara signifikan pada 48 jam pasca infeksi (hpi) dan bahwa aktivitas kitinase pada jaringan lemak dan kutikula larva yang terinfeksi HvAV-3h menurun secara nyata pada 144 dan 168 hpi. transkripsi dan ekspresi domain pengikat kitin *S. exigua* (SeCBD) tidak dapat dideteksi pada larva yang terinfeksi HvAV-3h. Analisis *in vitro* SeCHIT7N, SeCHIT11, dan SeCBD menunjukkan bahwa SeCHIT7N dan SeCHIT11 merupakan kitinase tipikal. Sebaliknya, tidak ada aktivitas kitinase yang terdeteksi pada SeCBD. Namun, SeCBD dapat secara signifikan meningkatkan aktivitas SeCHIT7N dan SeCHIT11.

Tingkat transkripsi kitinase 7 *S. exigua* (SeCHIT7) mengalami penurunan pada waktu pengambilan sampel 6, 9, 12, 48, 72, dan 96 jam pasca infeksi (hpi) , kitinase 11 *S. exigua* (SeCHIT11) mengalami penurunan pada 3–96 hpi , sedangkan kedua kitinase *S. exigua* (SeCHITs) mengalami peningkatan pada 120–168 hpi . Deteksi transkripsi SeCHIT7 dan SeCHIT11 yang lebih spesifik pada jaringan menunjukkan bahwa SeCHIT7 mengalami penurunan pada 144 dan 168 hpi di jaringan lemak dan kutikula. SeCHIT11 mengalami penurunan pada 168 hpi di jaringan lemak, usus tengah, dan kutikula. He *et al.* (2020) menyimpulkan bahwa HvAV-3h tidak hanya mengganggu transkripsi dan ekspresi SeCHIT tetapi juga memengaruhi transkripsi dan ekspresi normal SeCBD dan, dengan demikian, memengaruhi aktivitas kitinase larva inang. Hasil ini akan membantu memberikan dasar untuk studi lebih lanjut tentang patogenesis HvAV-3h.

Hafeez *et al.* (2019) menyelidiki bagaimana resistensi terhadap deltamethrin berhubungan dengan aktivitas enzim pada larva *S. exigua* yang telah diberi perlakuan gossypol. Hasil penelitiannya bahwa dalam interaksi tanaman-serangga, fitotoksin seperti gossypol, berperan defensif bagi tanaman dengan mengganggu jalur metabolisme, biokimia, dan fisiologis pada serangga herbivora. Dalam kondisi yang sama, populasi yang diseleksi Delta-SEL menunjukkan peningkatan resistensi 69,76 kali lipat bersamaan dengan tingkat aktivitas enzim pertahanan xenobiotik yang sesuai. Demikian pula, fekunditas populasi Delta-SEL bersama dengan umur panjang jantan dan betina ditemukan secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan populasi Gos -SEL dan kelompok strain rentan laboratorium (SS-Strain). Selain itu, aktivitas sitokrom P450 pada *S. exigua* meningkat secara signifikan ketika serangga diberi makan diet yang telah diberi perlakuan awal deltamethrin dan gossypol dibandingkan dengan hanya diberi makan deltamethrin saja. Kapasitas reproduksi *S. exigua* berkurang secara signifikan pada populasi Delta-SEL dan Gos -SEL dibandingkan dengan kelompok kontrol (SS-Strain).

Jalur enzim detoksifikasi untuk ekspresi gen *S. exigua* dan perannya dalam respons terhadap insektisida dan metabolit sekunder tanaman Peningkatan enzim detoksifikasi utama sitokrom P450 monooxygenase dan esterase mungkin memiliki peran penting dalam menginduksi toleransi terhadap deltamethrin pada populasi *S. exigua* yang diberi makan gossypol (Hafeez *et al.* 2019). Hasil riset yang dilakukan oleh Lai *et al.* (2011) menggunakan klorantraniliprole terhadap *S. exigua* (Hübner) dievaluasi dalam kondisi laboratorium dengan paparan oral larva neonates, menemukan bahwa Nilai LC50 72 jam insektisida ini terhadap *S. exigua* ditemukan sebesar 12,747 µg l-1. Mortalitas larva progresif sebesar 24,32% untuk

perlakuan LC30 dan 42,61% untuk perlakuan LC50 diamati dari hari ke-4 hingga ke-6 setelah paparan, yang mengakibatkan penurunan tingkat pupasi pada kelompok paparan. Efek subletal dari bahan kimia ini ditunjukkan oleh perpanjangan periode larva, peningkatan berat pupa, dan penurunan tingkat penetasan telur. Klorantraniliprole pada tingkat LC30 dan LC50 secara signifikan menunda perkembangan larva; durasi perkembangan larva yang bertahan hidup diperpanjang masing-masing sebesar 22,5% dan 28,6% dibandingkan dengan kelompok kontrol. Perlakuan LC30 meningkatkan berat rata-rata pupa dan menginduksi produksi pupa yang lebih berat (>150 mg). Tingkat penetasan telur pada kelompok LC50 secara signifikan lebih rendah daripada pada kelompok kontrol dan LC30. Tidak ada perbedaan signifikan dalam durasi pupa, tingkat kemunculan, rasio jenis kelamin, jumlah telur per betina, dan umur panjang dewasa yang diamati di antara perlakuan. Klorantraniliprole memiliki aktivitas luar biasa terhadap *S. exigua* menurut bioassay konsentrasi respons di laboratorium, dan toksisitas terutama disebabkan oleh kematian langsung (Lai *et al.* 2011) Riset terhadap *S. exigua* dilakukan oleh Su *et al.* (2021) terhadap tingkat perkawinan *S. exigua* harian dan total tingkat perkawinan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi kadmium. Jumlah telur pada perlakuan kadmium rendah lebih tinggi daripada kontrol, tetapi perbedaannya tidak signifikan; jumlah telur pada perlakuan kadmium tinggi lebih rendah daripada kontrol dan perlakuan kadmium rendah.

Hasil riset Su *et al.* (2021) menunjukkan bahwa paparan kadmium dapat mengganggu ritme pacaran pada betina dan memiliki pengaruh negatif pada perilaku kopulasi, dan stres kadmium tinggi dapat mengurangi kesuburan. Oleh karena itu, peningkatan populasi serangga akan terpengaruh oleh polusi logam berat. Riset

ini memberikan referensi ilmiah untuk penilaian risiko lingkungan dari polusi logam berat. Studi *S. exigua* diselidiki oleh Jia *et al.* (2009) dengan mengembangkan strategi manajemen resistensi yang lebih baik, populasi yang dikumpulkan dari lapangan diseleksi dengan tebufenozida di laboratorium. Setelah diseleksi dengan tebufenozida selama 61 generasi, *S. exigua* mengembangkan resistensi 92 kali lipat terhadap bahan kimia tersebut. Derajat dominansi untuk keturunan silang resiprokal adalah -0,2698 dan -0,2785. Galur resisten memiliki kebugaran relatif 0,71, dengan tingkat kelangsungan hidup larva, berat pupa, pupasi, dan peletakan telur per betina yang jauh lebih rendah, serta durasi larva dan pupa yang lebih lama. Resistensi tebufenozida pada *S. exigua* diwariskan secara autosomal, resesif tidak lengkap, dan dikendalikan oleh lebih dari satu gen. Perkembangan resistensi dapat menyebabkan penurunan kebugaran yang signifikan bagi populasi resisten. Oksidase fungsi campuran berperan penting dalam resistensi tebufenozida pada *S. exigua*.

Resistensi silang dan mekanisme biokimia *S. exigua* (Hübner) terhadap spinosad dipelajari di laboratorium oleh Wang *et al.* (2006). Setelah lima generasi seleksi, resistensi *S. exigua* terhadap spinosad meningkat 345,4 kali lipat dibandingkan dengan strain yang rentan. Tidak ada resistensi silang antara spinosad dan fenvalerat, phoxim, methomyl, abamectin, dan cyfluthrin. Ketika inhibitor, PBO, TPP, DEF, dan DEM digunakan sebagai sinergis pada strain yang rentan dan strain yang resisten, rasio sinergisnya adalah 0,7-, 0,5-, 1,0-, dan 0,6 kali lipat untuk strain yang rentan, dan 9,8-, 1,5-, 2,6-, dan 1,5 kali lipat untuk strain yang resisten, masing-masing. Hasil penelitian Wang *et al.* (2006) menunjukkan bahwa PBO memiliki efek sinergis yang signifikan pada strain resisten. Aktivitas *in vitro* mikrosomal-O-demetilase dan glutathione S-transferase pada strain resisten masing-

masing 5,2 dan 1,0 kali lipat dari strain rentan. Hasil ini mengimplikasikan bahwa mikrosomal-O-demetilase berperan penting dalam memberikan resistensi spinosad pada populasi *S. exigua*. Hipotesis ditunjang dari hasil-hasil penelitian diatas, maka dibuat rencana riset tentang hubungan antara *S. exigua*, *B. bassiana* pada *A. fistulosum*.

METODOLOGI

Completely randomized design (RAL) 4 perlakuan, terdiri atas: P0 (control), P1 (konsentrasi konidia 10^6 /ml), P2 (konsentrasi konidia 10^7 /ml), dan P3 (konsentrasi konidia 10^8 /ml). Ulangan empat kali. Sampel disetiap ulangan terdiri atas 10 larvae. Total larvae yang diperlukan yaitu sebanyak 160 larva *S. exigua*. Komposisi perlakuan terdiri dari:

P0 (control)
 P1 (Konsentrasi conidia 106/ml)
 P2 (Konsentrasi conidia 107/ml)
 P3 (Konsentrasi conidia 108/ml)

Analisis Data

Uji Kerapatan Conidia

Pengukuran kerapatan konidia dilakukan dengan menggunakan haemocytometer neubauer improve di bawah mikroskop. Caranya adalah dengan mengambil 0,2 ml satu suspensi konidia dari perlakuan perbanyakan isolat, yang kemudian ditetaskan pada haemocytometer. Kerapatan konidia dihitung dengan mikroskop perbesaran 40x dan dihitung menggunakan rumus:

$$S = X / (L \times t \times d) \times 10^3$$

S = Kerapatan konidia (ml)

X = Rataan jumlah konidia pada kotak a, b, c, d, e

L = Kotak hitung dengan ukuran luas 0,04 mm²

t = Kotak hitung dengan kedalaman 0,1 mm

d = Pengenceran

103 = Suspensi dengan volume hitung (1 ml = 10³ mm³)

Variabel Pengamatan

Selama penelitian, variable yang diteliti, meliputi; identifikasi Jamur *B. bassiana*.

1. Infeksi *B. bassiana* terhadap *S. exigua*.
2. Mortalitas larva dalam (%) mengikuti formulasi;

$$\text{Mortality} = \frac{\text{Jumlah larva yang mati}}{\text{Total larva uji}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

3. *Lethal Concentration* 50 (LC₅₀), *Lethal Time* 50 (LT₅₀) jamur *B. bassiana* terhadap *S. exigua*.

Analisis Data Penelitian

Analisis sidik ragam (ANOVA) digunakan setelah pengolahan data dari *Software microsoft excel* untuk tabulasi data larva mati (mortality). Uji LSD (Beda Nyata Terkecil) jika terdapat perbedaan nyata 5 (%). *Lethal Time* (LT₅₀) dan *Lethal Concentration* (LC₅₀) diuji berdasarkan tabulasi data mortality *S. exigua* serta tabulasi data konsentrasi jamur *B. bassiana* dengan menggunakan aplikasi *IBM SPSS STATISTICS*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hari pertama saat perlakuan suspensi konsentrasi konidia yang telah dibuat yakni konsentrasi konidia 10^6 /ml, konsentrasi konidia 10^7 /ml, dan konsentrasi konidia 10^8 /ml semuanya belum menunjukkan gejala kematian dan tidak berbeda nyata dalam aktivitas makan dari larva *S. exigua*. Pada hari ketiga dan hari keempat saat pengamatan dan diaplikasi pada larva *S. exigua* menunjukkan gejala infeksi dan tanda-tanda awal kematian larva. Pada tiga perlakuan yang telah dibuat dan diuji, yang paling cepat menginfeksi dan meningkatnya mortalitas yaitu pada perlakuan konsentrasi konidia 108/ml dengan angka mortalitas 90%. Hasil data persentase mortalitas *S. exigua* yang dianalisis menunjukkan bahwa suspensi kerapatan konidia dari perlakuan (P1/conidia 106/ml), (P2/conidia 107/ml), dan (P3/conidia 108/ml) signifikan terhadap

mortalitas *S. exigua* sehingga menyebabkan mortalitas mencapai 90%.)

Tabel 1. Mortality Larva *S. exigua*

Pengamatan Jam Ke-	Mortalitas Larva <i>S. exigua</i> (%)			
	P0	P1	P2	P3
24	0	8	10	20
48	10	20	40	60
72	10	40	60	80
96	20	60	80	100

Berdasarkan penelitian yang dilakukan morfologi isolat secara makroskopis menunjukkan bahwa kultur jamur memiliki miselium ada media PDA dan konidia berwarna putih seperti tepung identifikasi jamur *B. bassiana* dilakukan dengan mengamati pertumbuhan isolat (PDA) *Potato Dextrose Agar*. Ricinine, alkaloid utama yang dipisahkan dari ekstrak kasar etil asetat, menunjukkan toksisitas pada larva instar sekunder dengan metode penyemprotan dengan LC₅₀ sebesar 3.215 ppm sedangkan nilai LC₅₀ untuk ekstrak kasar etil asetat adalah 8.644 ppm. Dengan demikian, ekstrak kasar etil asetat dari daun *Jatropha gossypifolia* yang menua mungkin mengandung ricinine sebagai bahan aktif dan dapat digunakan sebagai pilihan alternatif untuk penggunaan minimal insektisida kimia untuk *Spodoptera exigua* (Bullangpoti *et al.* 2011). Secara makroskopis dan mikroskopis, yang menunjukkan permukaan koloni berwarna putih dan halus. Hasil pengamatan jamur *B. bassiana* yang diaplikasi pada *S. exigua* menggunakan konsentrasi konidia 10⁶/ml, konsentrasi konidia 10⁷/ml, dan konsentrasi konidia 10⁸/ml.

Terlihat gejala awal kematian beberapa larva uji sehari setelah diaplikasi seperti perubahan warna tubuh larva yang sebelumnya berwarna hijau berubah warna menjadi hitam, menurunnya aktivitas makan, dan pergerakan tubuh melambat. Jamur *B. bassiana* menginfeksi larva *S. exigua* dengan cara menembus kutikula dan menginfeksi jaringan tubuh sehingga

menyebabkan kematian pada larva *S. exigua*. Haron *et al.* (2025) menunjukkan hasil panen tertinggi diperoleh dengan menambahkan *B. bassiana* ke tanah. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan peran bermanfaat *B. bassiana* dalam induksi ketahanan sistemik yang dirangsang oleh kandungan tanin pada tanaman tomat yang diuji terhadap serangan kutu putih.

Perlakuan *Beauveria bassiana* mencatat nilai kandungan asam askorbat tertinggi, yang meningkat secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan pemupukan dan meningkat secara tidak signifikan dibandingkan dengan kontrol. Erler *et al.* (2015) melaporkan hasil riset bahwa produk *B. bassiana* lebih efektif daripada kedua formulasi produk *M. anisopliae*, menyebabkan kematian hingga 79,8% dan 71,6% pada larva muda dan tua, masing-masing. Tingkat kematian tertinggi pada larva muda dan tua yang disebabkan oleh produk *M. anisopliae* adalah 74,1% dan 67,6% untuk formulasi GR, dan 70,2% dan 61,8% untuk formulasi EC, masing-masing. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua jamur tersebut berpotensi digunakan untuk pengendalian *P. fullo* (Erler *et al.* 2015). Jamur entomopatogenik *B. bassiana* berpotensi untuk mengendalikan populasi nimfa. Hasil kami menunjukkan bahwa kondisi inokulum dapat sangat memengaruhi keberhasilan virulensi dan mortalitas (Kirkland *et al.* 2004). Efek sinergis dalam mortalitas larva bahwa larva yang mati oleh perlakuan gabungan dengan

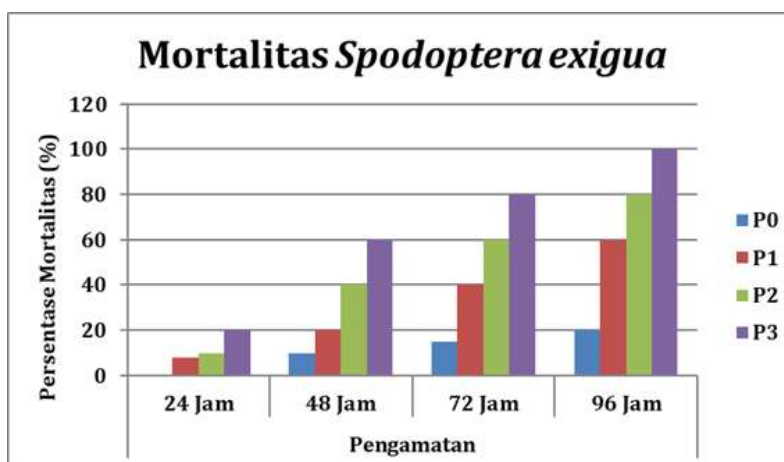
dua patogen hanya dikolonisasi oleh *B. bassiana*. Mekanisme sinergisme di bawah perlakuan gabungan ngengat lilin besar dengan *C. militaris* dan *B. bassiana* (Kryukov *et al.* 2015). *Azadirachta indica* A. Juss dikombinasikan dengan jamur entomopatogenik *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (isolat Bb11) diaplikasikan untuk mengendalikan hama kapas. Efektivitasnya perlu ditingkatkan dengan formulasi yang lebih baik atau dengan menggabungkannya dengan pestisida lain (Togbe *et al.* 2015). Kedua patogen *B. bassiana* dan *B. thuringiensis* mempengaruhi perkembangan serangga dengan peningkatan mortalitas pada setiap tahap siklus serangga *Condylorrhiza vestigialis* Guen. (Lepidoptera: Crambidae), mencapai tingkat pengendalian yang memuaskan (Pogetto *et al.* 2015). Beberapa sifat jamur yang penting untuk patogenitas serangga juga terlibat dalam pengendalian hayati fitopatogen. *B. bassiana* dapat mengkolonisasi secara endofitik berbagai spesies tanaman, baik monokotil maupun dikotil. *B. bassiana* juga menginduksi resistensi sistemik ketika bibit kapas yang dikolonisasi secara endofitik diuji dengan patogen tanaman bakteri pada dedaunan (Ownley *et al.* 2010). Teknik-teknik uji kompatibilitas antara jamur entomopatogenik *Beauveria bassiana* ini harus mencerminkan paparan realistis jamur terhadap formulasi kimia dalam kondisi lapangan (Da Silva *et al.* 2005). Hasil riset Tarore *et al.* (2025) pada konsentrasi *B. bassiana* (10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%) terhadap mortalitas *N. rufipes* dan penurunan berat kopra pada berbagai ukuran populasi hama mulai dari 8 hingga 24 ekor dewasa. Hasil yang didapatkan bahwa tingkat mortalitas dari 14,67% ($\pm 2,31\%$) pada konsentrasi 10% hingga 69,33% ($\pm 3,79\%$) pada 30%, dengan LC50 sebesar 23,611% ($\pm 1,12\%$), sementara penurunan berat kopra meningkat dari 1,33 g ($\pm 0,15$ g) dengan 8 ekor serangga dewasa menjadi 6,87 g

($\pm 0,42$ g) dengan 21 ekor serangga dewasa, yang sangat berkorelasi dengan kepadatan hama. Temuan ini menunjukkan bahwa *B. bassiana* secara efektif mengurangi populasi *N. rufipes*, dengan konsentrasi yang lebih tinggi meningkatkan pengendalian, dan LC50 yang diidentifikasi memberikan ambang batas aplikasi praktis, yang menggarisbawahi pengaruh ukuran populasi hama terhadap penurunan berat kopra. Hasil penelitian Paat, F. J. (2012) terhadap bioekologi dan morfologi larva *C. pavonana* menggunakan insektisida botanis *B. asiatica* menunjukkan bahwa mortalitas tertinggi dihasilkan pada perlakuan konsentrasi ekstrak *B. asiatica* 1,75 gr/500 ml air/1,0 ml agristik twin 29, berturut-turut 1,50 gr/500 ml air/1,0 ml agristik twin 29, konsentrasi 1,25 gr/500 ml air/1,0 ml agristik twin 29, konsentrasi 1,00 gr/500 ml air/1,0 ml agristik twin 29, dan terendah pada konsentrasi 0,75 gr/500 ml air/1,0 ml agristik twin 29. Komponen aktif biopestisida dalam biji bitung (*B. asiatica* L. Kurz) terdapat komponen metabolit sekunder yang memiliki efek letal terhadap larva *C. pavonana*, yaitu: Oktasiloksana, heksadekametil, heksasiloksan, heptasiloksan tetradecamethyl (Paat, F. J 2024). Senyawa fenilpropanoid diisolasi dari ekstrak kasar etil asetat *A. galanga* yang memiliki [1'S]-1'-acetoxychavicol acetate sebagai senyawa dengan toksisitas tertinggi (LD50 sebesar 1,93 $\mu\text{g/larva}$). [1'S]-1'-acetoxychavicol acetate juga menunjukkan penghambatan aktivitas karboksil esterase. Dengan demikian, ekstrak etil asetat dari *A. galanga* memiliki [1'S]-1'-acetoxychavicol acetate sebagai bahan aktif untuk mengendalikan hama ini, yang dapat digunakan sebagai alternatif penggunaan insektisida ramah lingkungan untuk mengendalikan *S. exigua* (Yooboon dkk. 2020). Baronet *et al.* (2023) melaporkan hasil riset bahwa Strain yang diuji menunjukkan aktivitas insektisida terhadap dua serangga hama penting secara ekonomi, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera:

Tortricidae) dan *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). Namun, strain BG12 dan BG15 secara signifikan lebih aktif daripada BG11 terhadap kedua hama tersebut. Strain BG12 dan BG15 dapat dianggap sebagai kandidat untuk produksi bioinsektisida aktif lepidoptera baru dengan potensi tinggi untuk meningkatkan strategi pengendalian hayati yang ada.

Hasil penelitian Hendra *et al.* (2023) terhadap kemampuan *B. bassiana* dalam mengendalikan hama, menyimpulkan bahwa semua isolat *B. bassiana* berhasil beradaptasi sebagai endofit di dalam tanaman padi, mengkolonisasi semua bagian jaringan, dengan daun menunjukkan kolonisasi jamur tertinggi sebesar 58%. Perendaman benih dengan *B. bassiana* mengurangi penetasan telur sebesar 23,88% dan meningkatkan mortalitas nimfa sebesar 40%. Hasil percobaan Bayindir *et al.* (2024) pada hari kelima percobaan, tingkat kematian sebesar 92% tercatat untuk isolat ET 10 dari *B. bassiana* dan 84% untuk isolat Bb 18. Pada penghitungan hari ketujuh, tingkat kematian 100% ditentukan untuk kedua isolat *B. bassiana*. Hasil percobaan menyimpulkan bahwa *B. bassiana* memiliki potensi efek dalam pengendalian hayati hama produk simpanan.

Hassan *et al.* (2019) dalam hasil risetnya bahwa tiga hari setelah perlakuan, tingkat kematian (100%) diperoleh ketika instar larva pertama dan kedua diberi perlakuan dengan *B. bassiana* ES (isolat tanah) dibandingkan dengan 83,67% dan 72,60%, masing-masing ketika diberi perlakuan dengan isolat endofit. Persentase malformasi sebesar 17,67% terjadi pada serangga dewasa yang muncul dari pupa yang diberi perlakuan. Persentase kematian tertinggi di bawah kondisi lapangan adalah 28,67% dan 22,33% untuk larva dan serangga dewasa. Souza *et al.* (2023) bahwa hasil yang diperoleh menjanjikan untuk penggunaan *B. bassiana* sebagai agen pengendalian hayati terhadap hama utama tanaman kastanye. Permukaan pot disemprot dengan dua konsentrasi konidia/mL 5×10^7 (T1) dan 1×10^8 (T2). Tidak ada perbedaan signifikan dalam mortalitas antara modalitas T1 dan T2, namun, mortalitasnya secara signifikan lebih tinggi daripada kontrol. Dalam hal mortalitas total (larva mati dan terinfeksi), tidak ditemukan perbedaan signifikan untuk *C. elephas*. Dalam kasus *C. splendana*, modalitas T2 memperoleh hasil yang lebih baik dalam hal mortalitas total.



Gambar 1. Diagram Mortalitas *S. exigua*

Selanjutnya terdapat hubungan antara rerata persentase mortalitas *S. exigua* terhadap konsentrasi konidia jamur *B. bassiana*. Seperti terlihat pada diagram di

hari keempat setelah aplikasi, tingkat mortalitas yang signifikan dari setiap konsentrasi konidia terjadi pada perlakuan perlakuan (P3/konidia 108/ml),

menunjukkan tingkat mortalitas larva yang konsisten disetiap hari pengamatan. Signifikansi diikuti (P2/conidia 107/ml) dan (P1/conidia 106/ml). Berdasarkan data observasi, tingkat konsentrasi konidia yang lebih tinggi dapat dikatakan menjadi penyebab perbedaan mortalitas setiap perlakuan. Zimmermann G. (2007) menyatakan bahwa penggunaan komersial jamur entomopatogenik dan produknya sebagai mikoinsektisida memerlukan registrasi. Banyak produk komersial telah dikembangkan, dan banyak makalah tentang berbagai aspek keamanan biologis, lingkungan, toksikologis, dan lainnya telah diterbitkan selama 30-40 tahun terakhir. Berdasarkan pengetahuan saat ini, disimpulkan bahwa spesies *Beauveria* dianggap aman.

Riset Homayoonzadeh *et al.* (2022) menyatakan bahwa kandungan malondialdehida, pertumbuhan tanaman, dan total hasil panen tidak terpengaruh oleh inokulasi *B. bassiana*. Kutu daun yang memakan tanaman yang diinokulasi *B. bassiana* selama 24 jam memiliki aktivitas enzim detoksifikasi (glutathione-S-transferase, karboksil esterase, dan asetilkolinesterase) yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Aktivitas enzim pencernaan (lipase, α -amilase, α -glukosidase, dan aminopeptidase) berkurang pada kutu daun dari tanaman yang diinokulasi, yang menunjukkan aktivitas superoksida dismutase, askorbat peroksidase, dan fenoloksidase yang lebih tinggi, tetapi aktivitas katalase yang lebih rendah. Selain menyebabkan patogenisitas langsung, inokulasi tanaman dengan *B. bassiana* berdampak negatif pada fisiologi dan kinerja reproduksi *A. gossypii* (Homayoonzadeh *et al.* 2022). Song *et al.* (2025) menyatakan respons perilaku *S. exigua* terhadap Bt dan non- Bt. tanaman jagung, dan memberikan bukti ilmiah untuk mengoptimalkan strategi refugia guna menunda evolusi resistensi. Penelitian Wan

et al. (2015) mengungkapkan bahwa infeksi nukleopoliedrovirus (NPV) terhadap apoptosis hemosit pada larva *Spodoptera exigua* (Hübner) meningkatkan apoptosis hemosit inang yang diinduksi oleh parasitisme pada tahap telur dan larva awal *M. pallidipes* pada larva inang, tetapi menghambat efek yang sama pada tahap telur akhir *M. pallidipes* pada larva inang, dan bahwa parasitisme meningkatkan apoptosis hemosit inang yang diinduksi oleh infeksi NPV pada tahap telur dan larva awal *M. pallidipes* pada larva inang, tetapi menghambat efek yang sama pada tahap telur akhir *M. pallidipes* pada larva inang. Puncak apoptosis hemosit pada larva yang terinfeksi parasit, virus, dan terinfeksi parasit+ terjadi pada 12, 24, dan 48 jam setelah perlakuan, dan masing-masing sebesar $86,7 \pm 1,9\%$, $87,4 \pm 3,6\%$, dan $76,5 \pm 1,6\%$.

Sementara itu, dibandingkan dengan larva yang terinfeksi parasit, apoptosis hemosit pada larva yang terinfeksi parasit dan virus secara bersamaan meningkat sebesar 12,9%, 18,7%, dan 2,8% masing-masing pada 8, 36, dan 48 jam, dan menurun sebesar 39,0% dan 9,1% pada 12 dan 24 jam. Dibandingkan dengan larva yang terinfeksi virus, apoptosis hemosit pada larva yang terinfeksi parasit dan virus secara bersamaan meningkat sebesar 13,4%, 2,4%, dan 15,3% masing-masing pada 8, 36, dan 48 jam, dan menurun sebesar 4,0% dan 29,9% pada 12 dan 24 jam. Parasitisme gabungan dan terpisah serta infeksi SeNPV menginduksi apoptosis hemosit pada larva *S. exigua* (Wan *et al.* 2015). Nilai LT_{50} dan Nilai LC_{50} dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil pengamatan mengindikasikan bahwa setiap konsentrasi memiliki nilai LT_{50} yang bervariasi. Dari data LT_{50} yang diperoleh, perlakuan dengan konsentrasi 10^8 /ml dengan lebih cepat membasmi 50% larva hanya dalam waktu 4 hari

Tabel 2. *Lethal Time 50%* dan *Lethal Concentration 50%*

Hama	Konsentrasi	Nilai LT ₅₀ (%)	Nilai LC ₅₀ (%)
<i>Spodoptera exigua</i>	10⁶/ml	11.7	11,12
	10⁷/ml	8.7	11,12
	10⁸/ml	6.9	11,12

Table 3. Analisis Sidak Ragam (ANOVA)

SK	JK	KT	F-hitung	F-tabel	Notasi
Perlakuan	39.650	6033.333	370.910	3.490	**
Galat	1.287600	57950.000			
Total	3.86375				

Uji Anova terhadap rerata persentase mortalitas *S. exigua* menyatakan bahwa nilai F-hitung > nilai F-tabel yaitu 370.910 > 3.490. Dalam hal ini, penerapan perlakuan konsentrasi konidia 10⁶/ml, 10⁷/ml, dan 10⁸/ml dan kontrol menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat mortalitas larva *S. exigua*. Dengan demikian analisis dilanjutkan menggunakan uji LSD (BNT). Zamora *et al.* (2024) mengevaluasi efektivitas konidia strain *B. bassiana* BBPTG4 dalam mengendalikan nyamuk dewasa *Ae. aegypti* dan deteksinya melalui profil intron pada bangkai nyamuk yang terpapar. Karakteristik morfologi antar strain sangat mirip. Pengujian komprehensif strain ini menunjukkan bahwa BBPT4 menunjukkan aktivitas biologis yang ideal untuk pengendalian *Ae. aegypti*, dengan waktu letal median (TL₅₀) 7,5 hari dibandingkan dengan ~3 hari dan ~10 hari untuk strain BB01 dan BB37, masing-masing. Strain *B. bassiana* menunjukkan kesamaan dalam hal karakteristik morfologi kultur dan mikroskopis serta tingkat virulensi biologisnya, tetapi profil intronnya berbeda. Nyamuk dewasa *Ae. aegypti* yang mati akibat terinfeksi strain BBPTG4, yang menunjukkan amplikon spesifik, memungkinkan untuk mengidentifikasi *B. bassiana* pada tingkat strain di antara nyamuk yang terinfeksi.

Mengenai *B. bassiana* oleh Alexandre *et al.* (2006) bahwa perbedaan sensitivitas antara tahap larva dan dewasa tidak diamati pada suhu ini. Namun, pada suhu 32°C, tahap larva lebih sensitif terhadap isolat CB116 dan UEL50. *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. dan *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) pada larva dan dewasa ulat tepung kecil (*Alphitobius*). diaperinus) (Panzer). Pertumbuhan vegetatif dan produksi konidia dievaluasi pada media kultur. Virulensi dipelajari dengan merendam larva dan serangga dewasa dalam suspensi konidia (1 × 10⁸ konidia/ml). Semua percobaan dilakukan di ruang pertumbuhan (26°C dan 32°C dan fotofase 14 jam). Mortalitas lebih tinggi ketika larva dan dewasa (masing-masing 15,7% dan 66,7%) diobati dengan *B. bassiana* dan dipelihara pada alas kandang unggas baru pada suhu 26°C (P < 0,05). Bakr *et al.* (2024) memperkenalkan beberapa teknik pengeringan dan mempelajari efektivitasnya dalam hal waktu dan tingkat pengeringan, serta dampaknya terhadap jumlah konidia yang dihasilkan dan aktivitas biologisnya. Empat teknik dipelajari, yaitu, kondensasi uap air (dengan pendinginan), desikan (menggunakan NaOH), pengeringan udara pada jaring, dan pengeringan udara pada permukaan padat (kedap air).

Hasil teknik kondensasi uap air dan desikan adalah yang tercepat dan paling

efisien, menghasilkan kadar air terendah, berkisar antara 12 dan 13%. Sedangkan pengeringan pada permukaan padat adalah yang paling lambat dan menghasilkan kadar air tertinggi sebesar 32,98%. Semua sampel yang dikeringkan menghasilkan jumlah konidia yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel segar. Sampel uap air yang mengembun, pengering, dan teknik jaring menghasilkan jumlah konidia yang hampir sama, berkisar antara 74 dan 71% dari hasil sampel segar. Sampel permukaan padat menghasilkan jumlah konidia terendah, yaitu 63,78% dari hasil sampel segar. Uji bioassay pada tungau *Tetranychus* Penelitian pada Acari urticae Koch (Acari: Tetranychidae) menunjukkan bahwa konidia yang dikeringkan melalui teknik uap air kondensasi dan desikan mempertahankan patogenisitasnya yang mirip dengan sampel segar, sedangkan sampel yang dikeringkan di atas jaring dan permukaan padat secara signifikan kehilangan sebagian patogenisitasnya. Kesimpulannya bahwa teknik uap air kondensasi dan desikan adalah yang paling efisien dalam hal waktu yang dibutuhkan, hasil konidia, dan patogenisitas. Pengeringan di atas permukaan padat adalah yang paling tidak efektif dalam hal faktor yang sama. Yagci M. (2022) melakukan riset terhadap efek dari dua

isolat lokal berbeda dari *Beauveria bassiana* (Bals.- Criv .) Vuill , 1912 (Hypocreales: Cordycipitaceae) (Bb-1 dan Bv-1) pada konsentrasi 106, 107, dan 108 CFU ml-1 diselidiki terhadap *Meloidogyne incognita* ras 1 (Kofoid dan White, 1919) dan *Meloidogyne javanica* (Treub , 1885) (Tylenchida : Meloidogynidae) pada tanaman tomat. Enam puluh hari setelah inokulasi nematoda, jumlah kantung telur yang terbentuk di setiap tanaman, tinggi tanaman (cm), berat basah tanaman (g), berat kering tanaman (g), berat basah akar (g), dan berat kering akar (g) ditentukan.

Hasil penelitian bahwa, isolat *Beauveria bassiana* Bb-1 dan Bv-1 secara signifikan mengurangi kemampuan reproduksi nematoda simpul akar. Pada kedua isolat, konsentrasi 108 CFU ml-1 lebih efektif melawan *M. javanica* dan *M. incognita* ras 1 dibandingkan konsentrasi lainnya. Isolat Bb-1 lebih efektif daripada isolat Bv-1 melawan *M. javanica*. Di sisi lain, isolat Bv-1 lebih efektif daripada isolat lainnya melawan *M. incognita* ras 1. Jamur entomopatogenik (Bb-1 dan Bv-1) merupakan strategi biokontrol jangka panjang yang menjanjikan di bidang pertanian untuk melawan nematoda simpul akar.

Tabel 4. BNT terhadap mortalitas *S. exigua* setelah aplikasi *B. bassiana*

Perlakuan	Rataan	±	SE	Notasi
P0 (kontrol)	3.00	±	0.000	A
P1 (konsentrasi konidia 10 ⁶)	4.75	±	1.258	B
P2 (konsentrasi konidia 10 ⁷)	6.25	±	0.957	BC
P3 (konsentrasi konidia 10 ⁸)	7.50	±	1.291	C

Celar *et al.* (2012) melakukan riset terhadap Efek in vitro dari lima herbisida terhadap pertumbuhan miselium jamur entomopatogenik *Beauveria bassiana* (ATCC 74040) dievaluasi masing-masing pada konsentrasi yang berbeda: 100, 75, 50, 25, 12,5, 6,25 dan 0%. Hasil penelitian

menunjukkan efek sampling yang lebih sedikit kompatibel dengan *B. bassiana* di lapangan. Berdasarkan hasil riset Mousavi *et al.* (2020) LT₅₀ terendah diperoleh pada konsentrasi 108 dan 107 konidia ml-1 untuk IRAN 429C (masing-masing 2,9 dan 3,55 hari). Minyak atsiri *M. chamomilla*

memiliki nilai LC50 dan LT50 terendah (19 µl l-1 udara dan 11,4 jam). Hasil menunjukkan bahwa semua isolat bersifat patogen pada kutu, tetapi virulensinya bervariasi pada isolat yang berbeda, sehingga baik jamur entomopatogenik maupun minyak atsiri dapat digunakan sebagai alternatif insektisida kimia dalam program IPM kutu daun.

Faktor-faktor yang memengaruhi penularan horizontal entomopatogen *Beauveria bassiana* pada kumbang kentang Colorado, menurut Long *et al.* (2000) bahwa penurunan kepadatan konidia sebesar 86,1% per bangkai tidak memiliki efek signifikan terhadap mortalitas atau sporulasi prepupa, yang menunjukkan bahwa tingkat degradasi lingkungan pada bangkai tidak secara signifikan mengurangi kemungkinan penularan horizontal. Tingkat mortalitas secara signifikan lebih tinggi ketika prepupa dilepaskan yang berisi bangkai instar ketiga dibandingkan dengan bangkai instar kedua. Tkaczuk *et al.* (2015) bahwa efek penghambatan paling besar pada jamur entomopatogen yang diuji ditunjukkan oleh herbisida chizalofop -P-ethyl. Lambda-cyhalothrin pada dosis lapangan yang direkomendasikan menunjukkan efek toksik minor pada jamur entomopatogen, yang menunjukkan kemungkinan penggunaan insektisida ini secara kompatibel dengan biopestisida berdasarkan spesies yang diuji. Waktu dan konsentrasi mematikan relatif rendah untuk tiga isolat *M. anisopliae* dan tiga isolat *B. bassiana* yang merupakan isolat terbaik di hampir semua tahap kehidupan serangga (Membang, *et al.*, 2020), merupakan implikasi pengelolaan terpadu serta potensi pengembangan komersialisasi biopestisida.

Riset Abarna, *et al.* (2022) terhadap kemanjuran formulasi *Beauveria bassiana* dalam bentuk bubuk terhadap *T. urticae*, fenazaquin 10 EC @ 1,5 ml/l mencatat mortalitas kumulatif maksimum sebesar 80,07 persen, diikuti oleh azadirachtin 3000 ppm @ 2ml/l, yang mencatat mortalitas

kumulatif sebesar 71,06 persen. Formulasi kasar *B. bassiana* mencatat pengurangan TSSM sebesar 58,12 persen dibandingkan kontrol setelah dua kali penyemprotan. Interaksi suhu dan tanaman inang juga memengaruhi perkembangan dan umur panjang serangga dewasa. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini dapat bermanfaat untuk memprediksi jumlah generasi, kemunculan, dinamika populasi di lahan pertanian, dan pengelolaan *S. exigua* (Maharjan *et al.* 2022).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa aplikasi jamur *Beauveria bassiana* kurun waktu empat hari, efektif dalam mengendalikan larva *S. exigua*. Mortalitas tertinggi tercatat pada perlakuan (P3/conidia 108/ml) sebesar 90%, diikuti oleh perlakuan (P2/conidia 107/ml) sebesar 80%, diikuti (P1/conidia 106/ml) sebesar 60%. Disarankan untuk pengujian konsentrasi konidia pada level lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada alm bapak Sariam Manurung dan Ibu Satnauli Sirait yang telah memberikan pendanaan penelitian, serta bapak Dantje Tarore , Frangky J. Paat dan bapak Jackson Watung atas arahan dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexandre, T. M., Alves, L. F. A., Neves, P. M. O. J., & Alves, S. B. (2006). Efeito da temperatura e cama do aviário na virulência de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) para o controle do cascudinho (*Alphitobius diaperinus*) (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Neotropical Entomology*, 35(1), 75–82. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000100011>
- Abarna, V. P., Vishnupriya, R., Sathiah, N., & Sendhilvel, V. (2022). Efficacy of

- talca-based formulation of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (MZ749636) against two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(SI), 232–237.
<https://doi.org/10.31018/jans.v14iSI.3707>
- Bakr, E. M., Hassan, D. M. A., & Haron, E. N. (2024). Evaluation of some techniques for drying conidiated rice culture of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. with a bioassay evaluating their eligibility. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 34(1).
<https://doi.org/10.1186/s41938-024-00805-4>
- Bayındır Erol, A., Erdoğan, O., & Sevinç, M. S. (2024). Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Isolates on Dried Fruit Moth (*Plodia interpunctella* [Lepidoptera: pyralidae]). *Black Sea Journal of Agriculture*, 7(1), 77–81.
<https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1393389>
- Bullangpoti, V., Khumrunsee, N., Pluempanupat, W., Kainoh, Y., & Saganpong, U. (2011). Toxicity of ethyl acetate extract and ricinine from *Jatropha gossypifolia* senescent leaves against *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Pesticide Science*.
<https://doi.org/10.1584/jpestics.G10-93>
- Baranek, J., Pluskota, M., Rusin, M., Konecka, E., Kaznowski, A., & Wiland-Szymańska, J. (2023). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* strains isolated from tropical greenhouses towards *Cydia pomonella* and *Spodoptera exigua* larvae. *BioControl*, 68(1), 39–48.
<https://doi.org/10.1007/s10526-022-10173-3>
- Celar, F. A., & Kos, K. (2012). Compatibility of selected herbicides with entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Acta Agriculturae Slovenica*, 99(1), 57–63.
<https://doi.org/10.2478/v10014-012-0007-2>
- Aminah Sri Nur, Tamrin Abdullah, and Nidaul Fajriani. 2024. Management Technique Against *Spodoptera exigua* (Hübner) in the Different Elevation of Shallot. BIO Web of Conferences 96, 06001.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20249606001>
- Da Silva, R. Z., & Neves, P. M. O. J. (2005). Techniques and parameters used in compatibility tests between *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill and in vitro phytosanitary products. *Pest Management Science*, 61(7), 667–674.
<https://doi.org/10.1002/ps.1035>
- Do Amaral Dal Pogetto, M., & Wilcken, C. (2012). The effect of *beauveria bassiana* on brazilian poplar moth *condylorrhiza vestigialis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Plant Protection Research*, 52(1), 10–14.
<https://doi.org/10.2478/v10045-012-0002-y>
- Erlar, F., & Ates, A. O. (2015). Potential of two entomopathogenic fungi, *beauveria bassiana* and *metarhizium anisopliae* (Coleoptera: Scarabaeidae), as biological control agents against the june beetle. *Journal of Insect Science*, 15(1).
<https://doi.org/10.1093/jisesa/iev029>
- Haron, E. N., Hassan, D. M. A., El-Said, E., Zaid, N. A., Deraz, S. F., & Serour, E. A. (2025). Colonization effect of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. on tomato plant and *Bemisia tabaci*. *Scientific Reports*, 15(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-00562-w>
- Homayoonzadeh, M., Esmaeily, M.,

- Talebi, K., Allahyari, H., Reitz, S., & Michaud, J. P. (2022). Inoculation of cucumber plants with *Beauveria bassiana* enhances resistance to *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and increases aphid susceptibility to pirimicarb. *European Journal of Entomology*, 119, 1–11. <https://doi.org/10.14411/EJE.2022.001>
- Hendra, Y., Trizelia, & Syahrawati, M. (2023). Colonization of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. on rice and its impact on nymph mortality and fecundity of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål). *Jurnal Entomologi Indonesia*, 20(3), 203–212. <https://doi.org/10.5994/jei.20.3.203>
- He, W., Zhao, X., Ge, S., & Wu, K. (2021). Food attractants for field population monitoring of *Spodoptera exigua* (Hübner). *Crop Protection*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105616>
- He, L., Ou-Yang, Y. Y., Li, N., Chen, Y., Liu, S. Q., & Huang, G. H. (2020). Regulation of Chitinase in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) During Infection by *Heliothis virescens* ascovirus 3h (HvAV-3h). *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00166>
- Hassan, F. R., Abdullah, S. K., & Assaf, L. H. (2019). Pathogenicity of the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. endophytic and a soil isolate against the squash beetle, *Epilachna chrysomelina* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-019-0169-x>
- Hafeez, M., Liu, S., Jan, S., Ali, B., Shahid, M., Fernández-Grandon, G. M., ... Wang, M. (2019). Gossypol-induced fitness gain and increased resistance to deltamethrin in beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Pest Management Science*, 75(3), 683–693. <https://doi.org/10.1002/ps.5165>
- Jia, B., Liu, Y., Zhu, Y. C., Liu, X., Gao, C., & Shen, J. (2009). Inheritance, fitness cost and mechanism of resistance to tebufenozide in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science*, 65(9), 996–1002. <https://doi.org/10.1002/ps.1785>
- Kirkland, B. H., Westwood, G. S., & Keyhani, N. O. (2004). Pathogenicity of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to ixodidae tick species *Dermacentor variabilis*, *Rhipicephalus sanguineus*, and *Ixodes scapularis*. *Journal of Medical Entomology*, 41(4), 705–711. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.4.705>
- Kryukov, V. Y., Yaroslavl'tseva, O. N., Surina, E. V., Tyurin, M. V., Dubovskiy, I. M., & Glupov, V. V. (2015). Immune reactions of the greater wax moth, *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera, Pyralidae) larvae under combined treatment of the entomopathogens *Cordyceps militaris* (L.: Fr.) Link and *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. (Ascomycota, Hypocreales). *Entomological Review*, 95(6), 693–698. <https://doi.org/10.1134/S0013873815060020>
- Long, D. W., Groden, E., & Drummond, F. A. (2000). Horizontal transmission of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Agricultural and Forest Entomology*, 2(1), 11–17. <https://doi.org/10.1046/j.1461-9563.2000.00046.x>

- Lanzotti, V., Scala, F., & Bonanomi, G. (2014, November 9). Compounds from *Allium* species with cytotoxic and antimicrobial activity. *Phytochemistry Reviews*. Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/s11101-014-9366-0>
- Lai, T., & Su, J. (2011). Effects of chlorantraniliprole on development and reproduction of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Journal of Pest Science*, 84(3), 381–386. <https://doi.org/10.1007/s10340-011-0366-1>
- Mousavi, M., Ghosta, Y., & Maroofpour, N. (2020). Insecticidal activity and sublethal effects of *Beauveria bassiana* (Bals.- Criv.) Vuill. isolates and essential oils against *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae). *Acta Agriculturae Slovenica*, 115(2), 463–472. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.2.1306>
- Moar, W. J., Pusztai-Carey, M., Van Faassen, H., Bosch, D., Frutos, R., Rang, C., ... Adang, M. J. (1995). Development of *Bacillus thuringiensis* CryIC resistance by *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Applied and Environmental Microbiology*, 61(6), 2086–2092. <https://doi.org/10.1128/aem.61.6.2086-2092.1995>
- Membang, G., Ambang, Z., Mahot, H. C., Kuate, A. F., Fiaboe, K. K. M., & Hanna, R. (2020). *Cosmopolites sordidus* (Germar) susceptibility to indigenous Cameroonian *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) isolates. *Journal of Applied Entomology*, 144(6), 468–480. <https://doi.org/10.1111/jen.12757>
- Maharjan, R., Ahn, J., & Yi, H. (2022). Interactive Effects of Temperature and Plant Host on the Development Parameters of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/insects13080747>
- Ownley, B. H., Gwinn, K. D., & Vega, F. E. (2010). Endophytic fungal entomopathogens with activity against plant pathogens: Ecology and evolution. *BioControl*, 55(1), 113–128. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9241-x>
- Paat F. J. *et al.* 2024. Analysis of biopesticide active compounds in *Barringtonia asiatica* L. Kurz using the GC-MS method. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.1302 012009. DOI 10.1088/1755-1315/1302/1/012009 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1302/1/012009>
- Park, Y. L., Naharki, K., Karimzadeh, R., Seo, B. Y., & Lee, G. S. (2023). Rapid Assessment of Insect Pest Outbreak Using Drones: A Case Study with *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Soybean Fields. *Insects*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/insects14060555>
- Paat, F.J. 2012. Pemanfaatan Ekstrak *Barringtonia asiatica* (L.) Kurz dan Pola Tanam Dalam Penerapan PHT Terhadap *Crociodolomia pavonana* Fabricius Pada Kubis (*Brassica oleraceae* (L.) Var. Capitata. *Disertasi*.
- Roesli, S. H., Kaligis, J. B., & Watung, J. F. (2026). Inventory of Aquatic Insects as Bioindicators of Pollution in Sosongian Watershed, South Minahasa District. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan (Applied Agroecotechnology Journal)*, 6(2), 445–453. <https://doi.org/10.35791/jat.v6i2.64521>
- Rosas-García, N. M., Torres-Ortega, J. A.,

- & Villegas-Mendoza, J. M. (2021). Lethal and Sublethal Effects of Commercial Essential Oils on the Life Cycle of *Spodoptera exigua* (Hübner). *Southwestern Entomologist*, 46(3), 613–623. <https://doi.org/10.3958/059.046.0303>
- Song, C., Yang, X., Kang, G., He, L., Wang, W., Han, X., Xie, Y., & Wu, K. (2025). Selection Behavior of the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) Between Bt Maize and Conventional Maize Plants. *Insects*, 16(10), 1059. <https://doi.org/10.3390/insects16101059>
- Souza, M. E. C. e., Nóbrega, F., & Bento, A. A. (2023). Can *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. Control the Key Fruit Pests of the European Chestnut Tree, under Field Conditions? *Insects*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/insects14040342>
- Su, H., Wu, J., Zhang, Z., Ye, Z., Chen, Y., & Yang, Y. (2021). Effects of cadmium stress at different concentrations on the reproductive behaviors of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). *Ecotoxicology*, 30(3), 402–410. <https://doi.org/10.1007/s10646-021-02365-x>
- Tarore, D., Montong, V. B., Manueke, J., Mokusuli, Y. S., & Mandey, L. C. (2025). Preliminary laboratory evaluation of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. for the control of *Necrobia rufipes* (De Geer) on stored copra. *Bulletin of Insectology*, 78, 35–40. <https://doi.org/10.3897/bull.insectology.155814>
- Tkaczuk, C., Harasimiuk, M., Król, A., & Beres, P. K. (2015). The effect of selected pesticides on the growth of entomopathogenic fungi *Hirsutella nodulosa* and *Beauveria bassiana*. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), 177–183. <https://doi.org/10.12911/22998993/2952>
- Tambelu, M. F., Tarore, D., Rimbing, J., & Paat, F. J. (2024). Development Of Warehouse Pest *Sitophilus zeamais* Motsch. On Corn Seed Varieties Bisi 18, Jh 37, Lamuru, Pertiwi 3 And Batras 1 In The Laboratory. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan (Applied Agroecotechnology Journal)*, 5(1), 230–239. <https://doi.org/10.35791/jat.v5i1.56351>
- Togbé, C. E., Haagsma, R., Zannou, E., Gbèhounou, G., Déguénou, J. M., Vodouhê, S., ... van Huis, A. (2015). Field evaluation of the efficacy of neem oil (*Azadirachta indica* A. Juss) and *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in cotton production. *Journal of Applied Entomology*, 139(3), 217–228. <https://doi.org/10.1111/jen.12174>
- Wanta, N. N., Dumatang, S., Paat, F. J., & Paruntu, M. H. B. (2026). Types And Populations of Pests on Cabbage Plants Which Are Planted Intercropping with Mustard Greens Refugia. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan (Applied Agroecotechnology Journal)*, 6(2), 525–534. <https://doi.org/10.35791/jat.v6i2.52482>
- Wang, W., Mo, J., Cheng, J., Zhuang, P., & Tang, Z. (2006). Selection and characterization of spinosad resistance in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 84(3), 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.07.002>
- Watung, J., Umboh, U., Paat, F.J., Tarore, D., & Dumatang, S. (2026). Percentage of Attacks and Intensity of Damage by Emerald Beetle Pest

- Agrilus sp. (Coleoptera: Buprestidae) on Clove Plantations in Pinolosian District, South Bolaang Mongondow Regency. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan (Applied Agroecotechnology Journal)*, 6(2), 358–370. <https://doi.org/10.35791/jat.v6i2.64520>
- Wan, N. F., Ji, X. Y., Zhang, H., Yang, J. H., & Jiang, J. X. (2015). Nucleopolyhedrovirus infection and/or parasitism by *Microplitis pallidipes* Szepligeti affect hemocyte apoptosis of *Spodoptera exigua* (Hübner) larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 165–170. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.10.004>
- Witjaksono, Trisyono, Y. A., Tanjung, H. R., Azzahra, Z. 2024. Population Dynamic and Pheromone Use for Early Monitoring of *Spodoptera exigua* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) in Indonesia. *Jurnal of Tropical Plant Pests and Diseases*. Vol. 24 No.1.
- Yogananda, T., Ramanagouda, S. H., Venkateshalu, B., Jamunarani, G. S., Rashmi, S. H., Awati, M., & Hadimani, H. P. (2023). Colonization and endophytic effect of *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill. UHSB-END1 against *Myzus persicae* (Sulzer) and *Plutella xylostella* (L.) in cabbage. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00698-9>
- Yooboon, T., Pengsook, A., Poonsri, W., Pluempanupat, W., & Bullangpoti, V. (2020). Toxicity of Phenylpropanoids from *Alpinia galanga* (Zingiberaceae) extracts against *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). *Phytoparasitica*, 48(5), 833–840. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00830-7>
- Yağci, M. (2022). Determination of the efficacy of two local *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill, 1912 (Hypocreales: Cordycipitaceae) isolates (Bb-1 and Bv-1) against root-knot nematodes. *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, 10(1), 37–41. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/10.975>
- Zafar, J., Shoukat, R. F., Zhu, Z., Fu, D., Xu, X., & Jin, F. (2024). Two-Sex Life Table Analysis for Optimizing *Beauveria bassiana* Application against *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Fungi*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/jof10070469>
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/09583150701309006>
- Zamora-Avilés, N., Orozco-Flores, A. A., Cavazos-Vallejo, T., Romo-Sáenz, C. I., Cuevas-García, D. A., Gomez-Flores, R., & Tamez-Guerra, P. (2024). Intra-Phenotypic and -Genotypic Variations of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Strains Infecting *Aedes aegypti* L. Adults. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16). <https://doi.org/10.3390/ijms25168807>