

Eksplorasi, Identifikasi, dan Bioesai Jamur Entomopatogen terhadap *Spodoptera frugiperda* dari Kabupaten Purbalingga

(Exploration, Identification, and Bioassay of Entomopathogenic Fungus on *Spodoptera frugiperda* from Purbalingga Regency)

Agus Suroto^{1*}, Loekas Soesanto¹, Muhamad Bahrudin²

(Diterima September 2022/Disetujui Agustus 2023)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi dan mengidentifikasi jamur entomopatogen, serta menentukan teknik aplikasi paling efektif untuk mengendalikan *Spodoptera frugiperda* hasil eksplorasi larva *Spodoptera frugiperda* terinfeksi di Kabupaten Purbalingga. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, dari Januari sampai Mei 2022. Sampel dikumpulkan dengan metode *purposive random*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap, terdiri atas dua faktor, yaitu jenis jamur entomopatogen dan teknik aplikasi, dengan 9 kombinasi dan 3 ulangan. Variabel pengamatan meliputi mortalitas, aktivitas makan, pertumbuhan, dan reproduksi larva. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) hasil eksplorasi jamur entomopatogen adalah dari genus *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp. (2) *Metarhizium* sp. tunggal lebih efektif dibanding *Penicillium* sp. dalam mematikan larva *S. frugiperda*. Jamur *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp. menurunkan aktivitas makan, lama periode larva instar tiga, serta jumlah telur masing-masing 24,99 dan 15,99%, 4,71 dan 2,46 %, 9,18 dan 8,04 % terhadap kontrol. (3) Perlakuan tunggal metode perendaman pakan menurunkan mortalitas 55,18% daripada metode lainnya. Penyemprotan tubuh larva menurunkan mortalitas 44,84% dibanding dengan metode lainnya. Metode aplikasi tidak memengaruhi aktivitas makan, pertumbuhan, dan fekunditas larva (4) Perlakuan gabungan *Metarhizium* sp., penyemprotan tubuh larva, dan perendaman pakan memiliki persentase mortalitas mencapai 60%. Perlakuan interaksi jamur *Metarhizium* sp. dan metode aplikasi menurunkan daya pakan 16%. Penurunan periode larva instar tiga menjadi pupa dan jumlah telur terbesar pada perlakuan kombinasi *Metarhizium* sp. dan penyemprotan tubuh larva masing-masing 6,34% dan 11,20% dibandingkan dengan kontrol.

Kata Kunci: bioesai, jamur entomopatogen, *Spodoptera frugiperda*, Purbalingga

ABSTRACT

The goals of this study were to explore and identify entomopathogenic fungi, as well as determine the most effective application techniques to control *S. frugiperda* from exploration of infected *Spodoptera frugiperda* larvae in Purbalingga Regency. The research was carried out at the Plant Protection Laboratory, Faculty of Agriculture, Jenderal Soedirman University, from January to May 2022. Samples were collected by *purposive random method*. The study used a Complete Randomized Design, consisting of two factors, namely the type of entomopathogenic fungus and the application technique, with 9 combinations and 3 replications. Observed variables include mortality, feeding activity, growth, and reproduction of larvae. The results showed that (1) the results of exploration of entomopathogenic fungi were from the genus *Metarhizium* sp. and *Penicillium* sp. (2) single treatment of *Metarhizium* sp. is more effective than *Penicillium* sp. in killing *S. frugiperda* larvae. Fungi *Metarhizium* sp. and *Penicillium* sp. decreased feeding activity, length of three-instar larval period, and number of eggs, respectively 24.99 and 15.99%, 4.71 and 2.46%, 9.18 and 8.04% against controls. (3) single treatment of feed soaking method decreased mortality by 55.18% than other methods. Spraying the larval body decreased mortality by 44.84% compared to other methods. The method of application did not affect the feeding, growth and fecundity activity of larvae. (4) The combined treatment of *Metarhizium* sp., spraying the larval body, and soaking feed had a mortality percentage of 60%. Interaction treatment of the fungus *Metarhizium* sp. and the method of application lowered the feed power by 16%. The decrease in the period of three instar larvae to pupae and the largest number of eggs in the combination treatment of *Metarhizium* sp. and spraying of larval bodies was 6.34% and 11.20% respectively compared to controls.

Keywords: bioassay, entomopathogenic fungi, *Spodoptera frugiperda*, Purbalingga

PENDAHULUAN

Spodoptera frugiperda (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) merupakan jenis hama baru yang bersifat

polifagus (Subiono 2020), yang pertama kali diketahui menyebar ke Indonesia pada Maret 2019 di Sumatra Barat, Banten, dan Jawa Barat (Sartiami *et al.* 2020), kemudian menyebar ke pulau lain, termasuk Pulau Jawa, di tahun yang sama (Asfiya *et al.* 2020). Kehilangan hasil yang nyata dapat terjadi apabila *S. frugiperda* tidak ditangani dengan baik (Nonci *et al.* 2019; Herlinda *et al.* 2021). Di samping efek ekonomi akibat turunnya produktivitas tanaman hasil panen,

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno No 61, Purwokerto 53123

² Mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno No 61, Purwokerto 53123

* Penulis Korespondensi: Email: agussuroto@unsoed.ac.id

invasi *S. frugiperda* juga dapat memengaruhi keanekaragaman hayati alami (Rizali *et al.* 2021), khususnya hama yang secara alami mendiami habitat tersebut maupun jenis komunitas serangga lainnya (Sokame *et al.* 2021).

Di berbagai daerah di Indonesia, tingkat serangan *S. frugiperda* telah dilaporkan. Dari Pulau Jawa, Megasari & Khoiri (2021) melaporkan bahwa tingkat serangan *S. frugiperda* pada lahan tanaman jagung di Kabupaten Tuban Jawa Timur berkisar antara 58 dan 100%. Di Provinsi Jawa Tengah, khususnya Kabupaten Banyumas, laporan tentang intensitas serangan hama ini pada pertanaman jagung telah dilaporkan oleh Suroto *et al.* (2021). Berdasarkan penelitian, tingkat kerusakan hama ini beragam, dari kategori sedang hingga berat, antara 34,5% dan 70%. Di Pulau Sulawesi, Arfan *et al.* (2020) mendokumentasikan rata-rata tingkat serangan hama ini pada pertanaman jagung di beberapa lokasi di Kabupaten Sigi adalah 65,24%. Dalam laporan lain, Girsang *et al.* (2022) melaporkan tingkat serangan hama tersebut di beberapa lokasi pertanaman jagung di Pulau Ambon antara 7,42% dan 40,94%. Dari wilayah Pulau Sumatra, tingkat intensitas serangan hama ini pada lahan pertanaman jagung di Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman, dikategorikan dalam kerusakan sedang (Ningsih *et al.* 2022). Azlami (2023) mengidentifikasi tingkat serangan hama ini pada pertanaman jagung di Pekanbaru, Riau, sekitar 12,97–28,88%, yang tergolong rendah.

Atas risiko penurunan produktivitas pertanian sekaligus pengaruh pada biodiversitas di lahan pertanian, serangan hama ini harus dikendalikan dengan metode pengendalian yang aman bagi lingkungan agro-ekosistem. Metode yang dapat digunakan dalam mendukung konsep ini adalah pengendalian hayati, yang merupakan salah satu strategi dalam Program Pengendalian Hama Terpadu (Indiati & Marwoto 2017). Hal ini disebabkan karena resiko kerusakan lingkungan yang muncul akibat aplikasi agen kimia sintetik sebagai pengendali hama (Dannon *et al.* 2020).

Ada banyak agen pengendali hayati yang dapat dimanfaatkan untuk menurunkan serangan populasi hama tertentu. Kelompok pengendali hayati tersebut dapat dikategorikan menjadi golongan predator, parasitoid, nematoda, bakteri, virus, dan jamur (Holmes *et al.* 2016; Khan & Pervez 2018). Jamur, yang merupakan salah satu agen pengendali hayati, dapat digunakan sebagai agen untuk mengendalikan hama yang menyerang suatu lahan pertanian sehingga dikelompokkan dalam golongan entomopatogen (Joshi *et al.* 2019). Jamur entomopatogen yang digunakan sebagai biopestisida dapat digunakan untuk mempertahankan keseimbangan agroekosistem lingkungan, memelihara keanekaragaman hayati, dan menjamin mutu produk pertanian (Dannon *et al.* 2020). Contoh aplikasi entomopatogen untuk mengendalikan hama *S. frugiperda* digunakan oleh Ngangambe *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa pengendalian hayati

dengan jamur *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* merupakan cara yang lebih aman daripada insektisida sintetik.

Berhubung setiap jamur entomopatogen memiliki spesifik inang dan spesifik lokasi (Erawati & Irma 2016), penelitian terkait eksplorasi dan potensi jamur entomopatogen indigenus dari lokasi tertentu, khususnya Kabupaten Purbalingga, merupakan suatu hal yang penting. Berdasarkan laporan Dinas Pertanian Kabupaten Purbalingga pada tahun 2019, hama ini telah menyerang 5 lokasi lahan pertanaman jagung, yakni di Desa Purbayasa, Mipiran, Dawuhan, Karanggambas, dan Karangpule, dengan intensitas serangan ringan hingga sedang. Serangan hama baru yang ada ini membutuhkan pencegahan dan penanggulangan di lapangan, agar dampak yang diakibatkan tidak semakin meluas, yang dapat mengarah pada penurunan produktivitas pertanian. Pengendalian hama terpadu memanfaatkan jamur entomopatogen merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan. Namun demikian, sampai saat ini, belum ditemukan jamur entomopatogen yang spesifik terbukti memiliki kemampuan menghambat dan atau membunuh hama *S. frugiperda*, khususnya di Kabupaten Purbalingga. Letak geografis dapat memberikan keragaman yang tinggi dari segi karakter fisiologi dan patogenitasnya (Ginting *et al.* 2008). Lebih lanjut, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan dapat memengaruhi kehidupan jamur (Suryani *et al.* 2020).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi dan mengidentifikasi jamur entomopatogen di Kabupaten Purbalingga dalam rangka pengendalian hama yang spesifik lokasi, dan menentukan teknik aplikasi paling efektif untuk mengendalikan *S. frugiperda* hasil eksplorasi larva *S. frugiperda* terinfeksi di Kabupaten Purbalingga. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi yang penting dalam mendukung strategi pengendalian hama terpadu (PHT) yang spesifik lokasi, agar keamanan lingkungan agro-ekosistem tetap terjaga di masa yang akan datang.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian berlangsung selama 5 bulan, dari bulan Januari–Mei 2022 di Laboratorium Perlindungan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.

Eksplorasi Jamur Entomopatogen

Sampel larva *S. frugiperda* yang terinfeksi jamur dikumpulkan di 5 kecamatan di Kabupaten Purbalingga: Kutasari, Bojongsari, Mrebet, Kemangkon, dan Padamara, menggunakan penyampelan acak bertujuan (*purposive random sampling*). Larva *S. frugiperda* yang terinfeksi jamur entomopatogen diambil kemudian dibawa ke

Laboratorium Perlindungan Tanaman Fakultas Pertanian Unsoed untuk dilakukan isolasi jamur entomopatogen.

Isolasi dan Pemurnian Jamur Entomopatogen

Jamur diisolasi dan dimurnikan dengan menumbuhkan larva terinfeksi dalam medium *Potato Dextrose Agar* (PDA) pada cawan petri pada kondisi steril, mengikuti metode Cappuccino & Sherman (2013). Pemurnian ini dimaksudkan untuk memisahkan koloni endofit untuk dijadikan isolat tersendiri. Jamur murni selanjutnya diperbanyak pada medium PDA dan diinkubasi selama 7 hari.

Identifikasi Jamur Entomopatogen

Jamur entomopatogen diidentifikasi dengan mengamati morfologi jamur secara makroskopis dan mikroskopis, berdasarkan referensi Wartono *et al.* (2016) dan Watanabe (2002).

Uji Bioesai Jamur Entomopatogen terhadap Larva *S. frugiperda*

Suspensi jamur entomopatogen disemprotkan ke tubuh larva instar tiga sebanyak 3 kali, perendaman pakan (30 detik), serta penyemprotan sebanyak tiga kali pada tubuh, dan perendaman pakan larva (30 detik), kemudian dipindahkan ke dalam gelas plastik dan diberi pakan daun jagung segar (7 hari). Parameter pengamatan pada larva ialah aktivitas makan, bobot, mortalitas, pertumbuhan, serta daya reproduksi. Larva yang telah diberi perlakuan diamati dan dicatat mortalitas, aktivitas makan, pertumbuhan larva secara *in vitro*, dan daya reproduksi. Penentuan tingkat mortalitas menggunakan formula Rosmiati *et al.* (2018). Aktivitas makan dihitung berdasarkan metode Setiawan dan Supriyadi (2014). Pertumbuhan larva secara *in vitro* ditentukan berdasarkan referensi dari Utami (2010). Daya reproduksi dihitung menggunakan rumus Noviana *et al.* (2012).

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap yang terdiri atas dua faktor, yaitu jenis perlakuan jamur entomopatogen dan teknik aplikasi jamur entomopatogen. Dua faktor perlakuan pada penelitian ini ialah: (1) Jenis jamur entomopatogen,

yaitu kontrol, isolat jamur AS1 dengan kerapatan 10^6 konidium/mL, dan isolat AS2 dengan kerapatan 10^6 konidium/mL; (2) Teknik aplikasi jamur entomopatogen, yaitu penyemprotan pada tubuh larva, perendaman pakan, dan kombinasi antara penyemprotan ke tubuh larva dan perendaman pakan.

Kedua faktor tersebut kemudian dikombinasikan, menghasilkan 9 kombinasi perlakuan. Setiap perlakuan diulang 3 kali, sehingga didapatkan 27 unit percobaan. Setiap unit percobaan menggunakan 10 larva, sehingga total larva uji adalah 270.

Analisis Data

Menurut Dhawan & Joshi (2017), data dianalisis dengan menggunakan uji F pada taraf kesalahan (α) 5%. Apabila hasil analisis menunjukkan pengaruh nyata, dilakukan uji lanjut dengan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kesalahan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksplorasi Jamur Entomopatogen

Sampel larva *S. frugiperda* yang terinfeksi jamur dikumpulkan di 5 kecamatan di Kabupaten Purbalingga, Provinsi Jawa Tengah. Ada 3 desa yang disurvei di Kecamatan Padamara (Kalitenggar, Karanggambas, dan Dawuhan). Di Kecamatan Kutasari, 1 desa yang disurvei (Kutasari dengan 2 titik lokasi). Ada 2 desa di Kecamatan Bojongsari (Patemon dan Pagedangan, dengan dua titik lokasi). Sementara itu, di Kecamatan Mrebet, ada 2 desa yang disurvei (Bojong dan Mangunegara). Untuk Kecamatan Kemangkon, hanya 1 desa yang disurvei, yaitu Pegandekan. Data lebih rinci tentang lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Larva *S. frugiperda* terinfeksi ditemukan di lapangan, di atas permukaan daun jagung (Gambar 1). Ciri-ciri tubuh terbungkus hifa jamur entomopatogen berwarna putih. Menurut Arsi *et al.* (2020) larva yang terserang hama akan menuju ke bagian atas tanaman, kemudian mati. Lebih lanjut, larva mati tersebut menempel pada daun, kemudian setelah beberapa hari hifa keluar memenuhi tubuh larva serangga dan jamur entomopatogen membentuk konidium.

Tabel 1 Lokasi pengambilan sampel

Kecamatan	Desa	Koordinat pengambilan sampel
Padamara	Kalitenggar	7°22'32"S 109°18'34"E
	Karanggambas	7°21'44"S 109°18'18"E
	Dawuhan	7°21'32"S 109°19'31"E
Kutasari	Kutasari	7°21'27"S 109°19'21"E
		7°20'52.1"S 109°19'05"E
Bojongsari	Patemon	7°21'10"S 109°21'41"E
	Pagedangan	7°19'54.6"S 109°20'43.2"E
Mrebet	Bojong	7°20'03.9"S 109°20'55.8"E
	Mangunegara	7°18'04"S 109°20'14"E
Kemangkon	Pegandekan	7°20'09"S 109°21'30"E
		7°27'48.1"S 109°22'19"E

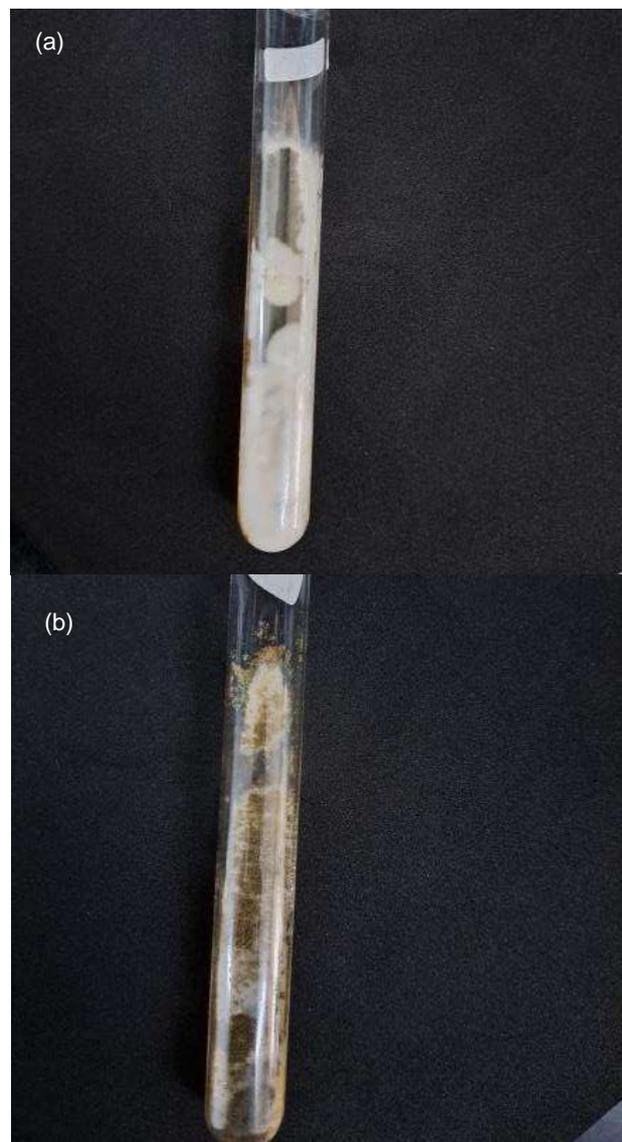
Tabel 2 Lokasi pengambilan sampel

Kecamatan	Desa	Koordinat pengambilan sampel
Padamara	Kalitinggar	7°22'32"S 109°18'34"E
	Karanggambas	7°21'44"S 109°18'18"E
	Dawuhan	7°21'32"S 109°19'31"E
Kutasari	Kutasari	7°21'27"S 109°19'21"E
		7°20'52.1"S 109°19'05"E
Bojongsari	Patemon	7°21'10"S 109°21'41"E
	Pagedangan	7°19'54.6"S 109°20'43.2"E
Mrebet	Bojong	7°20'03.9"S 109°20'55.8"E
	Mangunegara	7°18'04"S 109°20'14"E
Kemangkon	Pegandekan	7°27'48.1"S 109°22'19"E



Gambar 1 Larva terinfeksi jamur entomopatogen (a: miselium jamur; b: daun tanaman jagung)

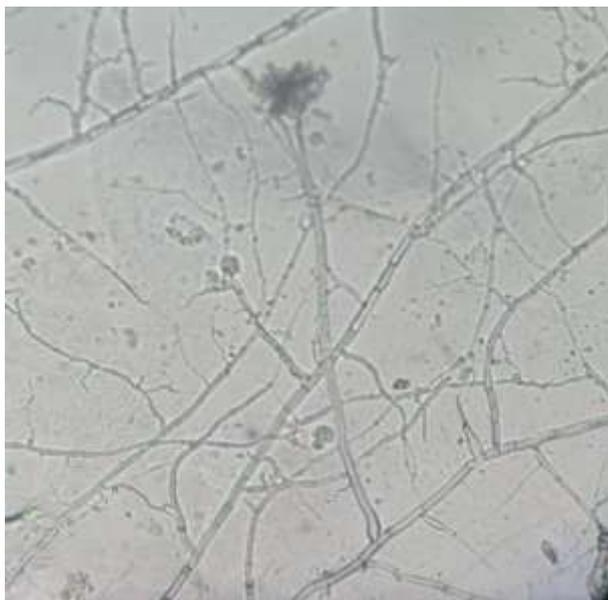
Berdasarkan hasil eksplorasi didapatkan 2 isolat jamur entomopatogen. Isolat pertama (AS1) secara makroskopis memiliki permukaan koloni yang membulat. Pada tahap awal pertumbuhan vegetatif, koloni berwarna putih dan menjadi hijau tua saat tahapan generatif (Gambar 2). Karakter ini cocok dengan tampilan makroskopis jamur *Metarhizium*, yang umum disebut dengan *green muscardine fungus* (Zhang *et al.* 2016). Setiap spesies *Metarhizium* sp. memiliki karakter makroskopis yang berbeda-beda, seperti *M. lepidopterorum* dan *M. rongjiangense* (Chen *et al.* 2019). Morfologi makroskopis jamur ini sejalan dengan temuan Hernandez-Trejo *et al.* (2019), yang mencirikan jamur *Metarhizium* sp. dengan munculnya konidia berantai, berwarna putih pada awal pertumbuhan, dan kemudian berubah menjadi hijau tua. Sementara itu, isolat jamur *Metarhizium* sp. yang ditemukan oleh Herlinda *et al.* (2020) dideskripsikan secara makroskopis dengan koloni yang awalnya berwarna terang, kemudian berkembang menjadi warna putih kekuningan. Hifa berwarna putih membentuk miselia dan lanjut bertumbuh dan menyebar. Semakin lama bertumbuh (5–7 hari), semakin menyebar hifa dan



Gambar 2 Makroskopis jamur AS1 yang diidentifikasi sebagai *Metarhizium* sp. a) Awal pertumbuhan dan b) Pertumbuhan jamur pada hari ke-4.

adanya kemungkinan untuk menghasilkan konidia berwarna hijau tua yang berwujud tepung (bubuk).

Dari segi penampakan mikroskopis, isolat jamur entomopatogen yang diidentifikasi sebagai *Metarhizium* sp. memiliki konidium bulat telur, hifa bersekat dan bercabang (Gambar 3). Karakter

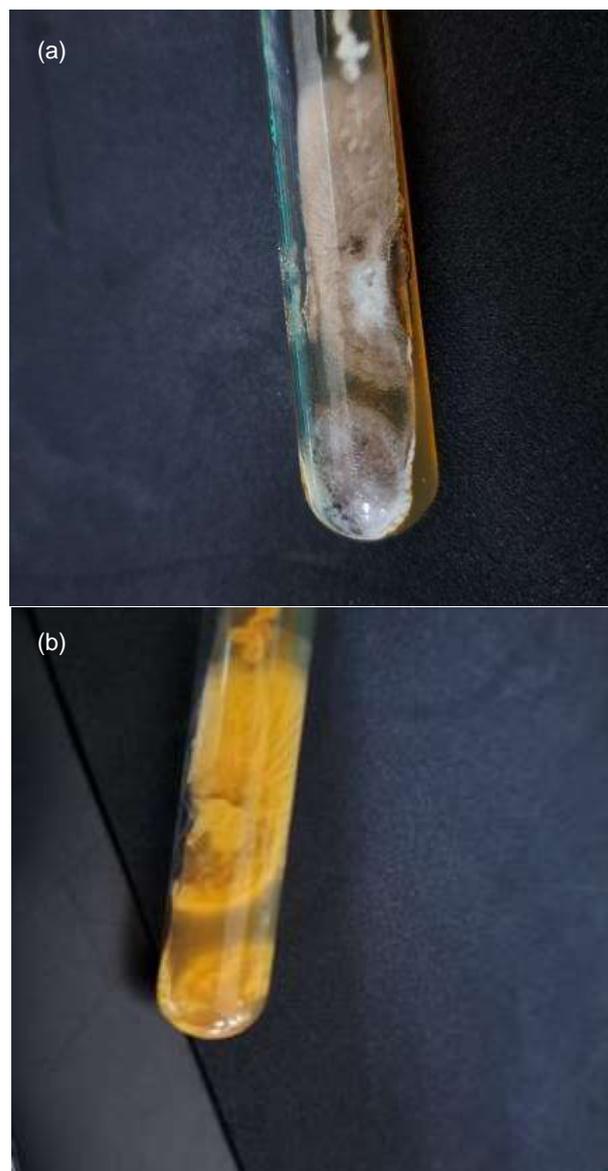


Gambar 3 Kenampakan mikroskopis jamur isolat AS1 pada perbesaran 400 \times (a: konidium bulat telur; b: hifa bercabang).

mikroskopis ini sesuai dengan pernyataan Watanabe (2002) dan Rosmayuningsih *et al.* (2014), yang mendeskripsikan tentang bentuk konidia jamur tersebut. Herlinda *et al.* (2020) dan Rosmayuningsih *et al.* (2014) mendeskripsikan bahwa secara mikroskopis, konidia genus ini berbentuk silinder, tunggal, bersel satu, hialin, panjang 8–10 μm , dengan miselium yang terpisah.

Secara makroskopis, pada medium PDA, permukaan isolat AS2 berwarna putih, setelah beberapa hari berubah menjadi kecokelatan (Gambar 4). Koloni tumbuh dengan tidak beraturan dan bertekstur seperti beludru (*velvet*). Karakter ini mendekati karakter makroskopis jamur *Penicillium* sp. Menurut Tannous *et al.* (2016), warna morfologi koloni jamur tersebut, khususnya *P. expansum* dapat berubah-ubah, yang dipengaruhi oleh suhu inkubasi. Pada suhu 8°C dan 16°C, warna koloni hijau dengan tepian (*margin*) yang berwarna putih dan warna koloni penampang terbalik yang kuning hingga krem dapat diamati. Sementara itu, pada suhu 25°C, jamur tersebut menunjukkan konidia yang berwarna hijau dengan warna koloni pada penampang terbalik (bagian bawah koloni) adalah cokelat kusam.

Ditinjau dari karakter mikroskopis, isolat jamur yang diduga jamur *Penicillium* sp. ini memiliki konidium bulat dan membentuk rantai (Gambar 4). Menurut Arifah *et al.* (2023), *Penicillium* sp. memiliki hifa yang berseptat dan hialin. Konidiofor dengan pembatas yang halus, memiliki ukuran diameter 96,52–300 μm dengan struktur *biverticillate* yang menempel pada septat. Struktur metula ditemukan dalam bentuk melingkar, yang terdiri atas 3–5 struktur yang berbeda, dengan ukuran 12,77–15,09 μm . Fialid berbentuk *ampuliform* dengan ukuran 6,72–9,51 μm . Konidia umumnya menghasilkan rantai-rantai yang panjang, dengan



Gambar 4 Makroskopis jamur isolat AS2. a) Permukaan atas dan b) Bagian bawah.

bentuk globula maupun subglobula (ukuran 1,98–2,64 μm).

Hasil Bioesai Jamur Entomopatogen terhadap *S. frugiperda* pada Berbagai Perlakuan

Pengaruh perlakuan jamur entomopatogen dan metode aplikasi terhadap mortalitas, rata-rata pakan yang dikonsumsi, pertumbuhan larva, dan tingkat fekunditas dapat dilihat pada Tabel 2.

Pengaruh Tunggal Jamur Entomopatogen

Hasil analisis ragam atas persentase mortalitas larva *S. frugiperda* menunjukkan bahwa jamur entomopatogen isolat *Metarhizium* sp. berpengaruh nyata, yaitu terjadi peningkatan persentase mortalitas larva diikuti oleh perlakuan tunggal *Penicillium* sp. dan selanjutnya kontrol (Tabel 2). Sementara itu, pada parameter penurunan aktivitas makan, jumlah konsumsi pakan pada hari ke-1 sampai pra-pupa setelah

Tabel 2 Pengaruh perlakuan jamur entomopatogen pada *S. frugiperda*

Perlakuan	Mortalitas (%)	Rerata konsumsi pakan (g)	Pupa terbentuk (%)	Imago terbentuk (%)	Larva-pupa	Pupa-imago	Fekunditas
Perlakuan jamur							
Kontrol	0 ^c	0,19 ^a	100 ^a	100 ^a	13,37 ^a	8,55 ^a	1812,44 ^a
<i>Metarhizium</i> sp.	37,77 ^a	0,16 ^{ab}	95 ^a	89 ^a	12,74 ^b	8,50 ^a	1646 ^b
<i>Penicillium</i> sp.	26,66 ^b	0,14 ^b	100 ^a	96 ^a	13,04 ^{ab}	8,98 ^a	1666,66 ^b
Perlakuan metode aplikasi							
Penyemprotan ke tubuh larva	14,44 ^b	0,17 ^a	100 ^a	98 ^a	12,98 ^a	8,72 ^a	1723,11 ^a
Perendaman pakan	17,77 ^b	0,16 ^a	98 ^a	94 ^a	13,27 ^a	8,79 ^a	1702,44 ^a
Penyemprotan ke tubuh larva dan perendaman pakan	32,22 ^a	0,16 ^a	97 ^a	93 ^a	12,91 ^a	8,52 ^a	1659,55 ^a
Interaksi jamur × aplikasi							
Kontrol × Penyemprotan ke tubuh larva	0 ^c	0,22 ^a	100 ^a	100 ^a	13,4 ^a	8,8 ^{ab}	1806,33 ^a
Kontrol × perendaman pakan	0 ^c	0,18 ^a	100 ^a	100 ^a	13,7 ^{ab}	8,83 ^{ab}	1813,33 ^a
Kontrol × penyemprotan ke tubuh larva dan perendaman pakan	0 ^c	0,19 ^a	100 ^a	100 ^a	13,03 ^{ab}	8,03 ^b	1817,66 ^a
<i>Metarhizium</i> sp. × penyemprotan ke tubuh larva	23,33 ^b	0,16 ^a	100 ^a	89 ^a	12,55 ^b	8,43 ^{ab}	1604 ^b
<i>Metarhizium</i> sp. × perendaman pakan	30 ^b	0,16 ^a	94 ^a	95 ^a	12,97 ^{ab}	8,29 ^b	1640,66 ^b
<i>Metarhizium</i> sp. × penyemprotan ke tubuh larva dan perendaman pakan	60 ^a	0,16 ^a	93 ^a	83 ^a	12,72 ^b	8,76 ^{ab}	1693,33 ^{ab}
<i>Penicillium</i> sp. × penyemprotan ke tubuh larva	20 ^b	0,14 ^a	100 ^a	90 ^a	13,01 ^{ab}	8,93 ^{ab}	1688,33 ^{ab}
<i>Penicillium</i> sp. × perendaman pakan	23,33 ^b	0,15 ^a	100 ^a	100 ^a	13,14 ^{ab}	9,26 ^a	1653,33 ^b
<i>Penicillium</i> sp. × penyemprotan ke tubuh larva dan perendaman pakan	36,66 ^b	0,14 ^a	100 ^a	100 ^a	12,98 ^{ab}	8,76 ^{ab}	1658,33 ^b

Keterangan: a) Angka yang diikuti oleh huruf pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kesalahan 5%, b) Mortalitas (%) berkaitan dengan parameter laju mortalitas, c) Rerata pakan yang dikonsumsi berkaitan dengan parameter aktivitas makan, d) Persentase pupa yang terbentuk, persentase imago yang terbentuk, larva-pupa, dan pupa-imago berkaitan dengan parameter pertumbuhan larva, dan e) Fekunditas berkaitan dengan tingkat reproduksi.

aplikasi perlakuan, diperoleh hasil yang beragam. Analisis ragam menunjukkan bahwa isolat *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp. dapat menurunkan aktivitas makan larva. Setelah uji lanjut DMRT diketahui bahwa terdapat beda nyata pada kontrol dan aplikasi isolat *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp. Aktivitas makan menurun dibanding kontrol pada perlakuan *Metarhizium* sp. (15,79%) dan *Penicillium* sp. (26,32%). Selanjutnya, ada 4 aspek pertumbuhan larva yang diamati pada perlakuan jamur tunggal, yakni persentase terbentuknya pupa, persentase terbentuknya imago, larva-pupa, dan pupa-imago. Hasil uji lanjut DMRT perlakuan jamur entomopatogen *Metarhizium* sp., *Penicillium* sp., dan kontrol menggambarkan perbedaan nyata pada lama periode

larva instar-tiga sampai menjadi pupa, yaitu dengan menurunnya lama periodenya (4,71%) *Metarhizium* sp terhadap kontrol dan 2,46% *Penicillium* sp. terhadap kontrol. Periode larva instar-tiga tercepat menjadi pupa ialah pada *Metarhizium* sp. dan kontrol yang memperlihatkan periode terlama sampai menjadi pupa. Ditinjau dari segi fekunditas yang menggambarkan tingkat reproduksi serangga, hasil analisis ragam perlakuan jamur nyata memengaruhi fekunditas. Jamur *Metarhizium* sp. dapat menurunkan jumlah telur sebesar 9,18% dibandingkan kontrol, sedangkan jamur *Penicillium* sp. menurunkan jumlah telur hanya 8,04% dibandingkan kontrol.

Kematian serangga merupakan manifestasi dari berbagai gangguan fisiologis makhluk hidup. Gang-

guan fisiologis yang terjadi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti faktor biotik maupun faktor abiotik. Menurut Hamby *et al.* (2016), faktor abiotik dan biotik dapat memengaruhi waktu pertumbuhan dari telur menjadi dewasa, tingkat ketahanan serangga, tingkat umur serangga, dan fekunditas. Apabila faktor biotik maupun abiotik tersebut berada pada level yang mengganggu kondisi fisiologis sel-sel makhluk hidup, khususnya serangga, maka faktor-faktor tersebut dapat menjadi cekaman bagi sel-sel serangga, dalam hal ini kemudian dapat bersifat sebagai patogen.

Interaksi antara jamur entomopatogen *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp. dengan serangga hama larva *S. frugiperda* menunjukkan hubungan yang terjadi antara faktor biotik dan serangga hama. Analisis menunjukkan bahwa salah satu jenis faktor biotik ini dapat berdampak pada peningkatan mortalitas, penurunan aktivitas mengonsumsi pakan, penurunan pertumbuhan menjadi larva instar-tiga, dan penurunan tingkat reproduksi (jumlah telur yang dihasilkan). Menurut Mora *et al.* (2017), jamur *Metarhizium* sp. dikelompokkan ke dalam Ordo Hypocreales, sedangkan jamur *Penicillium* sp. dikategorikan ke dalam Ordo Eurotiales, yang keduanya sama-sama dikategorikan dalam Filum Ascomycota. Lebih jauh, Perumal *et al.* (2023) dan Mora *et al.* (2017) melaporkan mekanisme patogenitas jamur patogen dimulai saat spora melekat pada lapisan kutikula terluar dari tubuh serangga. Saat kondisi menguntungkan, spora konidia akan mengalami germinasi dan berpenetrasi melewati kutikula serangga (Ortiz-Urquiza & Keyhani 2013). Secara bertahap, jamur tersebut akan mensekresikan senyawa kimia beracun ke dalam hemolimfa serangga saat konidia berhasil masuk ke inang serangga, sehingga melumpuhkan sistem kekebalan (imun) tubuh serangga, kemudian pada akhirnya dapat membunuh serangga (Kidanu & Hagos 2020; Perumal *et al.* 2023). Perumal *et al.* (2023) juga menuliskan bahwa jamur entomopatogen dapat menurunkan level sistem kekebalan serangga melalui penurunan aktivitas enzim yang berperan dalam reaksi penghilangan radikal bebas (antioksidan), seperti *catalase* (CAT), *superoxide dismutase* (SOD), dan *acid phosphatase* (ACP), serta *alkaline phosphatase* (ALP).

Aktivitas mengonsumsi pada larva *S. frugiperda* yang menurun akibat infeksi jamur entomopatogen dapat disebabkan oleh proses pengenalan (*recognition*) sinyal pakan yang intensitasnya berkurang, sehingga reseptor sinyal terhadap pakan sebagai stimuli, yang ada di permukaan sel serangga, tidak dapat menerima sinyal yang muncul dengan baik. Menurut Borkakati *et al.* (2019), serangga umumnya dapat mengenali pakan melalui isyarat visual dan senyawa kimia tertentu (*chemoreception*) yang diterima oleh indra penciuman, pengecap, dan peraba. Interaksi antara jamur entomopatogen dan hama *S. frugiperda* diduga memengaruhi sistem pengenalan pakan serangga, sehingga mengakibatkan menurunnya konsumsi pakan. Selanjutnya Zhang *et al.* (2019) menegaskan bahwa serangga dapat

merespons kondisi kelaparan (*starvation*) melalui perubahan tingkah laku dan atau pemeliharaan tingkat metabolisme agar tetap berada dalam level yang rendah, melalui berbagai adaptasi atau pengaturan fisiologis. Lebih jauh lagi, untuk memelihara kondisi gula darah yang homeostasis, trehalosa (salah satu jenis gula) dapat diubah untuk memenuhi kebutuhan energi melalui metabolisme energi dasar. Namun, apabila kondisi kelaparan ini terus berlanjut, maka lipid (khususnya trigliserida) dapat dipecah agar sel tahan terhadap kondisi kelaparan. Cekaman kelaparan secara simultan dapat menginisiasi/mengawali munculnya proses regulasi hormon dan sinyal neural dalam tubuh serangga. Proses ini melibatkan neuron atau *neuropeptide*, gen-gen yang berhubungan dengan sistem kekebalan (imunitas), level autofagi, *heat-shock protein*, dan level hormon juvenil yang dipelihara tetap berada dalam level yang lebih rendah daripada aktivitas metabolik fisiologis.

Apabila kemampuan mengonsumsi pakan berkurang dalam jangka panjang, hal tersebut dapat memengaruhi pertumbuhan dan reproduksi serangga tersebut, khususnya *S. frugiperda*, dan bahkan dapat mengarah ke kematian (Yang *et al.* 2016). Pakan merupakan sumber nutrisi yang penting dan sebagai faktor eksternal yang esensial dalam ketahanan hidup serangga (Zhang *et al.* 2019). Berbagai parameter pertumbuhan serangga juga menunjukkan hasil yang sesuai dengan pernyataan ini, begitu juga dengan tingkat reproduksi yang merupakan manifestasi dari jumlah telur yang dihasilkan (data fekunditas). Penelitian Vivekanandhan *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa jamur entomopatogen dapat menginduksi kematian pada semua tahap pertumbuhan serangga, baik pada kondisi di dalam laboratorium maupun lapangan.

Peningkatan mortalitas pada perlakuan *Metarhizium* sp. juga diduga karena jamur *Metarhizium* sp. memiliki senyawa racun yang dapat menginfeksi larva *S. frugiperda*. Pernyataan tersebut didukung oleh Widiarti *et al.* (2018) bahwa *M. anisopliae* memiliki aktivitas larvisidal karena menghasilkan senyawa destruktin (Dtx). Menurut Dornetshuber-Fleiss *et al.* (2013), Dtx adalah senyawa metabolit sekunder yang dapat dihasilkan oleh jamur entomopatogen *M. anisopliae*. Lebih jauh lagi, Golo *et al.* (2014) melaporkan bahwa senyawa ini menjadi penyebab akut kematian serangga karena dapat mematikan serangga akibat paralisis tetanus, penghambatan sintesis DNA dan RNA, penghambatan sekresi cairan buluh Malpigi, memutus aktivitas H⁺ ATPase, dan penekanan pada respons ketahanan serangga. Di samping itu, penelitian Hwang *et al.* (2016) menunjukkan bahwa dalam genus yang sama, jamur *Penicillium lanosum* (MYC-1813=NRRL 66231) menghasilkan senyawa turunan asam amino berupa *haenamindole* dan *2'-epi-fumiquinazolin D* yang memiliki aktivitas anti-serangga terhadap *S. frugiperda*.

Selanjutnya, penelitian tentang kemampuan jamur entomopatogen *Metarhizium* sp. dan *Penicillium* sp.

dalam mengendalikan ulat grayak *S. frugiperda* telah dilakukan oleh para peneliti. Salbiah & Fronika (2021), yang meneliti di Laboratorium Hama Tumbuhan Universitas Riau, melaporkan bahwa entomopatogen *M. anisopliae* (Metsch) Sorokin lokal dapat mengendalikan hama tersebut dengan menurunkan tingkat mortalitas sampai 82,50%. Peneliti lain, Mullo *et al.* (2022) mendapatkan hasil bahwa untuk mendapatkan tingkat mortalitas larva serangga hama ini hingga 100%, dibutuhkan kerapatan spora jamur entomopatogen *M. rileyi* (Farlow) isolat Tomohon sebanyak 10^9 konidium/mL dalam waktu 7 hari setelah perlakuan. Selain itu, Gustianingtyas *et al.* (2020) menyatakan bahwa filtrat kultur jamur *M. anisopliae* menghasilkan tingkat mortalitas yang tinggi sampai 96% (isolat MKbTp2) dan 85,33% (isolat MPdB). Sementara itu, aplikasi jamur *P. citrinum* CTD-28 dapat meningkatkan level kematian telur 75,3%, dengan level mortalitas neonatal yang tinggi, yaitu 40,7%. Selain itu, kedua isolat tersebut masing-masing dapat menurunkan efikasi pakan 75,0% dan 68,1%. Nguyen *et al.* (2023) juga menemukan bahwa jamur entomopatogen *P. citrinum* P.04 dan P.09 menunjukkan patogenitas tertinggi terhadap *S. frugiperda* dan *Plutella xylostella*, di antara 10 isolat yang diperoleh.

Pengaruh Tunggal Metode Aplikasi

Hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa perlakuan cara aplikasi memberikan perbedaan nyata pada mortalitas larva. Metode aplikasi penyemprotan tubuh larva dan perendaman pakan memberikan persentase tertinggi dibanding perendaman pakan dan penyemprotan tubuh larva (Tabel 2). Perendaman pakan memiliki persentase penurunan mortalitas 55,18% daripada dengan penyemprotan tubuh larva dan perendaman pakan, sedangkan penyemprotan tubuh larva menurunkan mortalitas 44,84% dibanding dengan penyemprotan tubuh larva dan perendaman pakan. Ditinjau dari parameter penurunan aktivitas makan, metode aplikasi tidak memberikan perbedaan nyata. Pada metode aplikasi, rerata pakan yang dikonsumsi tertinggi pada perlakuan semprot pada tubuh larva dan pada metode interaksi antara penyemprotan tubuh dan perendaman pakan memiliki bobot terendah. Perendaman pakan dan interaksi penyemprotan tubuh larva dan perendaman pakan menurunkan angka 5,88% dibandingkan dengan perlakuan semprot pada tubuh larva. Di samping itu, dalam parameter pertumbuhan larva, metode aplikasi tidak memberikan perbedaan nyata pada lama periode larva instar tiga sampai menjadi pupa, persentase terbentuknya pupa, periode pupa menjadi imago, persentase imago terbentuk, tetapi antar-perlakuan memiliki pengaruh walaupun tidak nyata. Selanjutnya untuk parameter tingkat reproduksi, hasil analisis menunjukkan bahwa metode aplikasi tidak berpengaruh nyata pada kontrol, tetapi nilainya lebih rendah daripada kontrol.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi gabungan antara penyemprotan tubuh dan pe-

rendaman pakan memiliki hasil yang berbeda dengan aplikasi tunggal dengan penyemprotan tubuh saja, atau dengan perendaman pakan terhadap tingkat mortalitas. Tingkat mortalitas tertinggi adalah pada perlakuan gabungan antara penyemprotan ke tubuh dan perendaman pakan. Gabungan kedua metode ini memberikan hasil yang maksimal untuk dapat membunuh larva *S. frugiperda*. Hal ini diduga karena meningkatnya potensi spora yang dapat berpenetrasi melalui jaringan kutikula pada permukaan tubuh serangga dan juga meningkatkan kemampuan spora untuk langsung mengalami germinasi di dalam saluran cerna serangga pada metode aplikasi pemberian pakan. Kombinasi dua metode ini dapat dinilai efektif untuk meningkatkan potensi kematian serangga karena serangan diberikan melalui 2 arah, yakni melalui penetrasi jaringan kutikula dan melalui jalan pintas dalam saluran cerna. Hal ini dapat mempercepat tahapan menuju kematian serangga. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara perendaman pakan dan penyemprotan ke tubuh serangga terhadap tingkat mortalitas serangga, tetapi Arsi *et al.* (2020) melaporkan bahwa dengan metode perendaman pada pakan, pakan yang dikonsumsi akan mengantarkan spora jamur dengan lebih cepat menuju ke saluran cerna sehingga lebih mudah diserap oleh sistem digesti serangga hama.

Pengaruh Gabungan Jamur Entomopatogen dan Metode Aplikasi

Hasil uji lanjut DMRT dengan taraf lima menunjukkan bahwa perlakuan interaksi antara jamur dan metode aplikasi juga memberikan perbedaan nyata pada tingkat mortalitas larva. Perlakuan *Metarhizium* sp. × penyemprotan tubuh larva dan perendaman pakan memberikan mortalitas tertinggi (60%) dibanding dengan kontrol. Dalam parameter penurunan aktivitas makan, perlakuan interaksi jamur entomopatogen dan metode aplikasi tidak berbeda nyata dengan kontrol, tetapi pada interaksi jamur dan aplikasi memiliki bobot rata-rata rendah daripada kontrol. Kontrol memiliki rata-rata bobot 19,67 g. Interaksi jamur *Metarhizium* sp. dan metode aplikasi memiliki bobot rata-rata 16%, sementara interaksi jamur *Penicillium* sp. dan metode aplikasi hanya 14,33%. Kemudian, pada parameter pertumbuhan larva, hasil uji lanjut DMRT perlakuan jamur entomopatogen dan metode aplikasi memberikan perbedaan nyata terhadap lama periode larva instar tiga sampai pupa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat berbagai variasi penurunan periode pertumbuhan larva hama pada berbagai kombinasi perlakuan yang digunakan, dari 0,4%–6,34%. Selanjutnya, masih dalam parameter pertumbuhan larva, hasil analisis ragam pada perlakuan interaksi tidak berpengaruh nyata terhadap persentase pupa terbentuk, periode, dan persentase imago terbentuk. Hasil uji lanjut DMRT tidak berpengaruh nyata, tetapi antar perlakuan memiliki pengaruh walaupun tidak nyata. Hasil analisis ragam memberikan pengaruh yang nyata pada periode pupa

menjadi imago. Hal ini diduga jenis kelamin jantan lebih lama dalam menjadi imago dengan rata-rata 9,7 hari, sedangkan pupa menjadi imago betina memiliki rata-rata 8,5 hari. Hal ini selaras dengan pernyataan Zarate *et al.* (2011), pupa jantan memiliki fase lebih lama dengan rata-rata 10,6 hari dan betina lebih cepat dengan rata-rata 9,9 hari pada kontrol, sedangkan pada perlakuan rata-rata pupa jantan 10,8–11,2 hari dan rata-rata pupa betina 9,9–10,8. Ditinjau dari tingkat reproduksi, hasil analisis ragam interaksi antara jamur dan metode aplikasi terhadap fekunditas larva berpengaruh nyata. Persentase perlakuan interaksi dibanding kontrol mampu menurunkan jumlah telur pada berbagai perlakuan dengan persentase yang bervariasi, dari 6,53% hingga 11,20%.

Tingkat mortalitas tertinggi ditunjukkan pada interaksi perlakuan yang terjadi pada aplikasi gabungan kedua metode aplikasi dengan inokulasi jamur entomopatogen *Metarhizium sp.*, yaitu 60%. Hal ini dapat diakibatkan karena kondisi yang saling mendukung dalam germinasi spora. Athifa *et al.* (2018) menyatakan bahwa spesies jamur *M. anisopliae* akan menunjukkan mortalitas tertinggi jika jenis inang dan lokasi penyemprotan jamur cocok atau sesuai. Kondisi ini dapat terjadi karena sifat dari spesies jamur ini spesifik terhadap inang serangga hama dan lokasi aplikasi. Berdasarkan penelitian ini, sifat toksisitas yang ditimbulkan oleh kedua interaksi perlakuan ini dinilai lebih efektif dalam meningkatkan level mortalitas serangga hama *S. frugiperda*. Kemudian, ditinjau dari tingkat reproduksi, interaksi perlakuan yang muncul pada kombinasi aplikasi *Metarhizium sp.* dan penyemprotan tubuh menunjukkan tingkat reproduksi terendah di antara semua interaksi yang ada. Sinergisitas perlakuan antara jamur entomopatogen *Metarhizium sp.* dan metode aplikasi ini memungkinkan terjadinya kerusakan pada sistem reproduksi sehingga dapat menurunkan jumlah telur yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Hasil eksplorasi jamur entomopatogen mendapatkan 2 isolat jamur, yang diidentifikasi berdasarkan karakter mikroskopis dan makroskopis, memiliki karakter mirip dengan jamur *Metarhizium sp.* dan *Penicillium sp.* Uji bioesai kemampuan jamur dalam mengendalikan hama *S. frugiperda* menunjukkan bahwa kombinasi interaksi perlakuan antara aplikasi jamur *Metarhizium sp.* dan metode aplikasi gabungan (penyemprotan tubuh dan perendaman pakan) menghasilkan tingkat mortalitas tertinggi (60%). Penurunan pakan tertinggi ada pada perlakuan tunggal jamur *Penicillium sp.* dan interaksi perlakuan antara *Penicillium sp.* dan metode aplikasi gabungan (hanya 0,14 g untuk kedua perlakuan tersebut). Sementara itu, parameter pertumbuhan larva menunjukkan hasil yang beragam pada setiap tahap pertumbuhan yang diamati saat pemberian berbagai perlakuan. Ditinjau dari

tingkat reproduksi, interaksi perlakuan yang muncul pada kombinasi aplikasi *Metarhizium sp.* dan penyemprotan tubuh menunjukkan tingkat reproduksi terendah di antara semua interaksi yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Jenderal Soedirman atas hibah penelitian yang diberikan melalui skema Riset Dasar BLU Unsoed tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Dinas Pertanian Purbalingga, Jawa Tengah. 2019. Gejala dan Pengendalian Hama Ulat Grayat pada Tanaman Jagung. [internet]. [Diunduh pada 7 Juni 2023]. Tersedia pada: <https://dinpertan.purbalinggakab.go.id/gejala-dan-pengendalian-hama-ulat-grayat-pada-tanaman-jagung/>.
- Arfan, Ifall, Jumardin, Noer H, Sumarni. 2020. Populasi dan tingkat serangan *Spodoptera frugiperda* pada tanaman jagung di Desa Tulo Kabupaten Sigi. *Jurnal Agrotech* 10(2): 66–68. <https://doi.org/10.31970/agrotech.v10i2.54>
- Arifah F, Aini LQ, Muhibudin A. 2023. Molecular and morphological characterization of fungi isolated from nutmeg (*Myristica fragrans*) in North Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 24(1): 441–453. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240151>
- Arsi A, Pujiastuti Y, Kusuma SSH, Gunawan B. 2020. Eksplorasi, isolasi dan identifikasi Jamur entomopatogen yang menginfeksi serangga hama. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropis*. 1(2): 70–76. <https://doi.org/10.19184/jptt.v1i2.18554>
- Asfiya W, Subagyo VNO, Dharmayanthi AB, Fatimah, Rachmatiyah R. 2020. Intensitas serangan *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) pada pertanaman jagung di Kabupaten Garut dan Tasikmalaya, Jawa Barat. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 17(3): 163–167. <https://doi.org/10.5994/jei.17.3.163>
- Athifa S, Anwar S, Kristanto BA. 2018. Pengaruh keragaman jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap mortalitas larva hama *Oryctes rhinoceros* dan *Lepidiotia stigma*. *Jurnal Agro Complex*. 2(2): 120–127. <https://doi.org/10.14710/joac.2.2.120-127>
- Azlami. 2023. Intensitas serangan hama ulat grayak *Frugiperda* (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) pada perkebunan jagung di Pekanbaru. [Skripsi]. Pekanbaru (ID): Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

- Borkakati RN, Venkatesh MR, Saikia DK, Bora SS. 2019. A brief review on food recognition by insects: use of sensory and behavioural mechanisms. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 7(3): 574–579.
- Cappuccino JG, Sherman N. 2013. *Microbiology: A Laboratory Manual 10th Edition*. London (EN): Pearson Education Limited.
- Chen W-H, Han Y-F, Liang J-D, Liang Z-Q. 2019. Morphological and phylogenetic characterization of novel *Metarhizium* species in Guizhou, China. *Phytotaxa*. 419 (2): 189–196. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.419.2.5>
- Dannon HF, Dannon AE, Douro-Kpindou OK, Zinsou AV, Houndete AT, Toffa-Mehinto J, Elegbede ATM, Olou BD, Tamo M. 2020. Toward the efficient use of *Beauveria bassiana* in integrated cotton Insect Pest Management. *Journal of Cotton Research*. 3(24): 1–21. <https://doi.org/10.1186/s42397-020-00061-5>
- Dhawan M, Joshi N. 2017. Enzymatic comparison and mortality of *Beauveria bassiana* against cabbage caterpillar *Pieris brassicae* LINN. *Brazilian Journal of Microbiology*. 48(3): 522–529.
- Dornetshuber-Fleiss R, Heffeter P, Mohr T, Hazemi P, Kryeziu K, Seger C, Berger W, Lemmens-Gruber R. 2013. Destruixins: fungal-derived cyclohexadepsipeptides with multifaceted anticancer and antiangiogenic activities. *Biochem Pharmacol*. 86(3): 361–77. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2013.05.022>
- Erawati DN, Irma W. 2016. Teknologi pengendali hayati *Metarhizium anisopliae* dan *Beauveria bassiana* terhadap hama kumbang kelapa sawit (*Oryctes rhinoceros*). In: *Seminar Nasional Hasil Penelitian*. Jember (ID): Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember.
- Ginting S, Santoso T, Harahap IS. 2008. Patogenesis beberapa isolat cendawan entomopatogen terhadap *Coptotermes curvignathus* Holmgren dan *Schedorhinotermes javanicus* Kemmer. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 2(1): 20–33.
- Girsang ED, Leatemia JA, Uluputty MR. 2022. Keberadaan hama ulat grayak (*Spodoptera frugiperda*) (Lepidoptera: Noctuidae) dan tingkat kerusakan pada pertanaman jagung (*Zea mays*) di Beberapa Lokasi di Pulau Ambon. *Agrologia*. 11(2): 125–134. <https://doi.org/10.30598/ajibt.v11i2.1565>
- Golo PS, Gardner DR, Grilley MM, Takemoto JY, Krasnoff SB, Pires MS, Fernandes EKK, Bittencourt VREP, Roberts DW. 2014. Production of destruxins from *Metarhizium* spp. fungi in artificial medium and in endophytically colonized cowpea plants. *Plos One*. 9(8): e104946. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104946>
- Gustianingtyas M, Herlinda S, Suwandi, Suparman, Hamidson H, Hasbi, Setiawan A, Verawaty M, Elfita, Arsi. 2020. Toxicity of entomopathogenic fungal culture filtrate of lowland and highland soil of South Sumatra (Indonesia) against *Spodoptera litura* larvae. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 21(5): 1839–1849. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210510>
- Hamby KA, Bellamy E, Chiu JC, Lee JC, Walton VM, Wiman NG, York RM, Biondi A. 2016. Biotic and abiotic factors impacting development, behavior, phenology, and reproductive biology of *Drosophila suzukii*. *Journal of Pest Science*. 89: 605–619. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0756-5>
- Herlinda S, Gustianingtyas M, Suwandi S, Suharjo R, Sari JMP, Lestari RP. 2021. Endophytic fungi confirmed as entomopathogens of the new invasive pest, the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), infesting maize in South Sumatra, Indonesia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. 31(124): 1–13. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00470-x>
- Herlinda S, Octariati N, Suwandi S, Hasbi. 2020. Exploring entomopathogenic fungi from South Sumatra (Indonesia) soil and their pathogenicity against a new invasive maize pest, *Spodoptera frugiperda*. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 21(7): 2955–2965. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210711>
- Hernandez-Trejo A, Estrada-Drouaillet B, Lopez-Santillan JA, Rios-Velasco C, Varela-Fuentes SE, Rodriguez-Herrera R, Osorio-Hernandez E. 2019. In vitro evaluation of native entomopathogenic fungi and neem (*Azadiractha indica*) extracts on *Spodoptera frugiperda*. *International Journal of Experimental Botany*. 88: 47–54. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.04611>
- Holmes L, Mandjiny S, Upadhyay D. 2016. Biological control of agriculture insect peste. *European Scientific Journal*. Special Edition. 216–225.
- Hwang I, Che Y, Swenson D, Gloer JB, Wicklow DT, Peterson SW, Dowd PF. 2016. Haenamindole and fumiquinazoline analogs from a fungicolous isolate of *Penicillium lanosum*. *The Journal of Antibiotics*. 69: 631–636. <https://doi.org/10.1038/ja.2016.74>
- Indiati SW, Marwoto. 2017. Penerapan Pengendalian Hama Terpadu (PHT) pada tanaman kedelai. *Buletin Palawija*. 15(2): 87–100. <https://doi.org/10.21082/bulpa.v15n2.2017.p87-100>
- Joshi M, Gaur N, Pandey R, Kn RP. 2019. Pathogenicity of local isolates of entomopathogenic fungi against *Spilarctia oblique* at Pantnagar. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 7(6): 1208–1210.

- Khan M, Pervez A. 2018. Biocontrol: an ecofriendly pest management technique. *Everyman's Science*. 50(3): 160–164.
- Kidanu S, Hagos L. 2020. Research and application of entomopathogenic fungi as pest management option: a review. *Journal of Environment and Earth Science*. 10(3): 31–39.
- Megasari D, Khoiri S. 2021. Tingkat serangan ulat grayak tentara *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) pada pertanaman jagung di Kabupaten Tuban, Jawa Timur, Indonesia. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*. 14(1): 1–5. <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v14i1.9492>
- Mora MAE, Castilho AMC, Fraga ME. 2017. Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Agricultural Microbiology*. 84(e0552015): 1–10. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000552015>
- Mullo IA, Siahaan P, Wahyudi L. 2022. Uji patogenisitas jamur *Metarhizium rileyi* (Farlow) Isolat Tomohon terhadap larva ulat grayak *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Bios Logos*. 12(1): 31–38. <https://doi.org/10.35799/jbl.v12i1.35828>
- Ngangambe MH, Mwatawala MW. 2020. Effects of entomopathogenic fungi (EPFs) and cropping systems on parasitoids of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize in eastern central, Tanzania. *Biocontrol Science and Technology*. 30(5): 418–430. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1726878>
- Ningsih MW, Nurmansyah A, Sartiami D. 2022. Tingkat dan status serangan ulat grayak *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) pada tanaman jagung di Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nonci N, Kalqutny SH, Mirsam H, Muis A, Azrai M, Aqil M. 2019. *Pengenalan fall armyworm (Spodoptera frugiperda J.E. Smith) hama baru pada tanaman jagung di Indonesia*. Maros (ID): Balai Penelitian Tanaman Serealia.
- Noviana E, Sholahuddin S, Widadi S. 2012. The test of suren (*Toona sureni*) leaf extract potential as insecticide of grayak caterpillar. *Asian Journal of Natural Product Biochemistry*. 10(2): 46–53. <https://doi.org/10.13057/biofar/f100203>
- Ortiz-Urquiza A, Keyhani NO. 2013. Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects*. 4: 357–374. <https://doi.org/10.3390/insects4030357>
- Perumal V, Kannan S, Alford L, Pittarate S, Geedi R, Elangovan D, Marimuthu R, Krutmuang P. 2023. First report on the enzymatic and immune response of *Metarhizium majus* bag formulated conidia against *Spodoptera frugiperda*: An ecofriendly microbial insecticide. *Frontiers in Microbiology*. 14 (1104079): 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1104079>
- Rizali A, Oktaviyani, Putri SDPS, Doananda M, Linggani A. 2021. Invasion of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, a new invasive pest, alters native herbivore attack intensity and natural enemy diversity. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22(8): 3482–3488. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220847>
- Rosmayuningsih A, Rahardjo BT, Rachmawati R. 2014. Patogenisitas jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap hama kepinding tanah (*Stibaropus molginus*) (Hemiptera: Cydnidae) dari beberapa formulasi. *Jurnal Hama Penyakit Tumbuhan*. 2(2): 28–37.
- Rosmiati A, Hidayat C, Firmansyah E, Setiati Y. 2018. Potensi *Beauveria bassiana* sebagai agens hayati *Spodoptera litura* Fabr. pada tanaman kedelai. *Jurnal Agrikultura*. 29(1): 43–47. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v29i1.16925>
- Salbiah D, Fronika S. 2021. Penggunaan *Metarhizium anisopliae* Sorokin lokal terhadap *Spodoptera frugiperda* JE Smith. *Jurnal Dinamika Pertanian*. 37(2): 93–100.
- Sartiami D, Dadang, Harahap IS, Kusumah YM, Anwar R. 2020. First record of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Indonesia and its occurrence in three provinces. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 468(012021): 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012021>
- Setiawan AN, Supriyadi A. 2014. Uji efektivitas berbagai konsentrasi pestisida nabati bintang (*Cerbera manghas*) terhadap hama ulat grayak (*Spodoptera litura*) pada tanaman kedelai. *Planta Tropika Journal of Agro Science*. 2(2): 99–105. <https://doi.org/10.18196/pt.2014.029.99-105>
- Sokame BM, Obonyo J, Sammy EM, Mohamed SA, Subramania S, Kilalo DC, Juma G, Calatayud P-A. 2020. Impact of the exotic fall armyworm on larval parasitoids associated with the lepidopteran maize stem borers in Kenya. *Bio Control*. 66: 193–204. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10059-2>
- Subiono T. 2020. Pengaruh ekstrak *Melia azedarach* terhadap aktivitas makan pada larva *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*. 3(1): 61–65.
- Suroto A, Soesanto L, Leana, NWA, Bahrudin A. 2021. Tingkat serangan dan musuh alami *Spodoptera frugiperda* JE Smith pada tanaman jagung di Lima Kecamatan di Kabupaten Banyumas. In: *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences Volume 2 Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian dan Perikanan*. 22 Agustus 2022.

- Purwokerto (ID): Universitas Muhammadiyah Purwokerto. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i.165>
- Suryani Y, Taupiqurrahman O, Kulsum Y. 2020. *Mikologi*. Padang (ID): PT Freeline Cipta Granesia.
- Tannous J, Atoui A, El Khoury A, Francis Z, Oswald IP, Puel O, Lteif R. 2016. A study on the physicochemical parameters for *Penicillium expansum* growth and patulin production: effect of temperature, pH, and water activity. *Food Science and Nutrition*. 4: 611–622. <https://doi.org/10.1002/fsn3.324>
- Utami, S. 2010. Aktivitas insektisida bintaro (*Cerbera odollam* Gaertn) terhadap hama *Eurema* spp. pada skala laboratorium. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 7(4): 211–220. <https://doi.org/10.20886/jpht.2010.7.4.211-220>
- Vivekanandhan P, Swathy K, Thomas A, Kweka EJ, Rahman A, Pittarate S, Krutmuang P. 2021. Insecticidal efficacy of microbial-mediated synthesized copper nano-pesticide against insect pests and non-target organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 18(10536): 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910536>
- Wartono, Nirmalasari C, Suryadi Y. 2016. Seleksi jamur patogen serangga *Beauveria* sp. serta uji patogenitasnya pada serangga inang-walang (*Leptocorisa acuta*). *Jurnal Ilmu-ilmu Hayati*. 15(2): 175–184.
- Watanabe, Tsuneo. 2002. *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species Second Edition*. Florida (FL): CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420040821>
- Widiarti DG, Wibowo L, Hariri AM, Fitriana Y. 2018. Uji patogenisitas jamur *Metarhizium* sp. isolat Lampung Selatan dan Salatiga terhadap larva *Oryctes rhinoceros* di laboratorium. *Jurnal Agrotek Tropika*. 7(2): 315–323. <https://doi.org/10.23960/jat.v7i2.3254>
- Yang WK, Tang FF, Liu ZH, Zhong J, Dong ZP. 2016. Effects of starvation on DefensinA and DefensinB expression in silkworm, *Bombyx mori*. *Southwest Chin. The Journal of Agricultural Science*. 29: 3019–3022.
- Zarate N, Diaz O, Martinez AM, Figueroa JI, Schneider MI, Smagghe G, Pineda S. 2011. Lethal and sublethal effects of methoxyfenozide on the development, survival and reproduction of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*. 40: 129–137. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2011000100020>
- Zhang A-W, Xiao Z-J, Zeng B-P, Li K, Tang Y-L. 2019. Insect behavior and physiological adaptation mechanisms under starvation stress. *Frontiers in Physiology*. 10(163): 1–8. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00163>
- Zhang X, Chen X, Luan F, He L, Pu S, Li Z. 2016. Genetic diversity and population structure of the Chinese fungus *Metarhizium rileyi* causing green muscardine in silkworm. *Journal of Invertebrate Pathology*. 140: 16–2. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.08.005>