

**PERKEMBANGAN DAN KEEFEKTIFAN *Microplitis manilae*
PADA *Spodoptera frugiperda* YANG DIPENGARUHI OLEH
Bacillus thuringiensis DAN *Metarhizium anisopliae***

NURSYIFA NADA HARIYADI



**PROGRAM STUDI PENGENDALIAN HAMA TERPADU
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Perkembangan dan Keefektifan *Microplitis manilae* pada *Spodoptera frugiperda* yang Dipengaruhi oleh *Bacillus thuringiensis* dan *Metarhizium anisopliae*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini melimpahkan hak cipta dan karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Nursyifa Nada Hariyadi
A3502241022



RINGKASAN

NURSYIFA NADA HARIYADI. Perkembangan dan Keefektifan *Microplitis manilae* pada *Spodoptera frugiperda* yang Dipengaruhi oleh *Bacillus thuringiensis* dan *Metarhizium anisopliae*. Dibimbing oleh RULY ANWAR dan NINA MARYANA.

Ulat grayak jagung (*Spodoptera frugiperda*) merupakan hama invasif utama pada tanaman jagung di Indonesia yang memerlukan pengembangan strategi pengendalian hama terpadu secara efektif. Agens pengendalian hayati, termasuk bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt), cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae*, dan parasitoid larva *Microplitis manilae*, merupakan solusi pengendalian yang ramah dan berkelanjutan. Namun, aplikasi beberapa agens pengendalian hayati secara bersamaan dapat memicu interaksi negatif, sehingga berpotensi menurunkan efektivitas parasitoid. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh setengah konsentrasi rekomendasi di lapangan pada *B. thuringiensis* dan *M. anisopliae* terhadap tingkat mortalitas *S. frugiperda*, serta mengevaluasi efektivitas dan perkembangan *M. manilae* yang dipelihara pada *S. frugiperda* yang terinfeksi entomopatogen.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biosistemika Serangga, Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Dua formulasi biopestisida komersial digunakan dalam penelitian ini, yaitu *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* strain GC-91 (Turex WP, bahan aktif 3,8%, PT Multi Sarana Indotani, Jawa Timur, Indonesia) dan *Metarhizium anisopliae* (GMN *Metarhizium* WP, $1,23 \times 10^5$ CFU/g, CV Trubus Prima, Jawa Tengah, Indonesia) dengan konsentrasi masing-masing sebesar 1,0 g/l dan 2,5 g/l. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan lima kombinasi perlakuan: (i) parasitisasi tunggal (P_0), (ii) aplikasi Bt diikuti dengan parasitisasi (P_1), (iii) parasitisasi diikuti dengan aplikasi Bt (P_2), (iv) aplikasi *M. anisopliae* diikuti dengan parasitisasi (P_3), dan (v) parasitisasi diikuti dengan aplikasi *M. anisopliae* (P_4). Setiap perlakuan diulang sebanyak lima kali, dengan setiap unit percobaan terdiri atas 20 larva *S. frugiperda* instar kedua. Variabel tingkat mortalitas, tingkat parasitisasi, tingkat keberhasilan larva menjadi pupa, tingkat eklosi, tingkat keberhasilan larva menjadi imago, dan proporsi imago betina dianalisis menggunakan *Generalized Linear Mixed Models* (GLMM). Variabel kontinu (periode perkembangan telur dan larva, periode perkembangan pupa, total siklus perkembangan, dan lama hidup imago yang dikelompokkan berdasarkan jenis kelamin) dianalisis menggunakan *Linear Mixed Models* (LMM).

Analisis GLMM menunjukkan bahwa *B. thuringiensis* dan *M. anisopliae* yang diaplikasikan pada konsentrasi rendah menghasilkan tingkat mortalitas larva *S. frugiperda* yang secara statistik tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol parasitisasi tunggal (P_0 ; $p > 0,05$), dengan kisaran mortalitas antara 69% hingga 79% di seluruh perlakuan. Paparan biopestisida secara signifikan menekan tingkat parasitisasi oleh *M. manilae*. Tingkat parasitisasi tertinggi tercatat pada P_0 ($64,10 \pm 5,04\%$), sedangkan tingkat parasitisasi terendah terjadi pada P_1 ($45,00 \pm 5,25\%$). Berdasarkan standar toksisitas *International Organization for Biological Control* (IOBC), perlakuan P_1 (penurunan relatif sebesar 29,80%) dan P_3 (penurunan relatif sebesar 22,00%) berada di bawah ambang batas penurunan 30%, sehingga kedua biopestisida tersebut diklasifikasikan ke dalam Kelas 1 (Tidak Berbahaya) terhadap

parasitoid *M. manilae*. Namun, terdapat efek negatif perkembangan subletal yang signifikan terdeteksi di seluruh perlakuan. Aplikasi biopestisida tidak memberikan pengaruh yang nyata secara statistik terhadap tingkat eklosi imago atau kelangsungan hidup total dari fase larva hingga imago ($p > 0,05$), dengan pola kelangsungan hidup yang tidak berbeda nyata pada semua kombinasi perlakuan.

Analisis LMM menunjukkan bahwa paparan agens entomopatogen secara signifikan memperpanjang periode perkembangan pradewasa *M. manilae*. Perlakuan P₃ (*M. anisopliae* diikuti dengan parasitisasi) menghasilkan durasi yang lebih lama pada perkembangan telur dan larva yang secara signifikan menjadi $9,24 \pm 0,26$ hari dibandingkan dengan $8,15 \pm 0,19$ hari pada kontrol (P₀), dan perkembangan pupa diperpanjang menjadi $6,18 \pm 0,12$ hari dibandingkan dengan P₀ sebesar $5,76 \pm 0,10$ hari. Tingkat eklosi imago *M. manilae* tidak berbeda nyata di seluruh perlakuan ($p > 0,05$) dengan kisaran antara 70,21% hingga 83,37%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun paparan entomopatogen menunda perkembangan *M. manilae*, hal tersebut tidak mengganggu kemampuan parasitoid untuk mencapai fase imago.

Paparan entomopatogen menyebabkan penurunan signifikan pada lama hidup imago betina *M. manilae*, yang mengindikasikan adanya dampak negatif yang nyata. Lama hidup betina terpendek ditemukan pada P₂ (parasitisasi diikuti dengan *B. thuringiensis*) yaitu sebesar $21,46 \pm 1,46$ hari dibandingkan dengan kontrol (P₀: $26,84 \pm 1,46$ hari). Lama hidup imago jantan tetap relatif stabil di seluruh perlakuan, tanpa adanya perbedaan signifikan berkisar antara 24,38 - 26,50 hari ($p > 0,05$), menunjukkan resistensi fisiologis yang lebih besar terhadap paparan entomopatogen daripada yang diamati pada imago betina. Paparan entomopatogen memicu pergeseran demografi yang signifikan ke arah rasio kelamin yang didominasi jantan (*male-biased*) pada kombinasi perlakuan. Pada P₃ (*M. anisopliae* diikuti dengan parasitisasi), proporsi betina menurun drastis menjadi $0,30 \pm 0,08$, yang menunjukkan penyimpangan signifikan dari kontrol yang didominasi betina (P₀: $0,68 \pm 0,07$). Pergeseran demografi dan penurunan lama hidup betina, menunjukkan adanya akumulasi penurunan kebugaran biologis (*fitness*) yang berkaitan dengan interaksi entomopatogen-parasitoid.

Meskipun *B. thuringiensis* dan *M. anisopliae* yang diaplikasikan pada setengah konsentrasi rekomendasi lapangan menunjukkan klasifikasi Kelas 1 IOBC (tidak berbahaya) berdasarkan tingkat parasitisasi dan lama hidup imago, efek subletal yang timbul bersifat spesifik terhadap jenis agens dan waktu aplikasi. Aplikasi *M. anisopliae* pra-parasitisasi (P₃) memperpanjang perkembangan pradewasa parasitoid dan memicu rasio kelamin yang didominasi jantan, sedangkan *B. thuringiensis* pasca-parasitisasi (P₂) menurunkan lama hidup betina. Temuan ini menunjukkan bahwa penentuan waktu aplikasi pasca-parasitisasi dapat meningkatkan kompatibilitas antara entomopatogen dan *M. manilae*. Namun, validasi semi-lapangan pada konsentrasi penuh sesuai rekomendasi lapangan sangat diperlukan untuk menilai ambang batas toleransi serta mengevaluasi efeknya terhadap perilaku pencarian inang dan kapasitas reproduksi parasitoid dalam pengendalian *S. frugiperda*.

Kata Kunci: alokasi jenis kelamin, dampak non-target, entomopatogen, parasitoid larva, ulat grayak jagung



SUMMARY

NURSYIFA NADA HARIYADI. Development and Effectiveness of *Microplitis manilae* on *Spodoptera frugiperda* as Influenced by *Bacillus thuringiensis* and *Metarhizium anisopliae*. Supervised by RULY ANWAR and NINA MARYANA.

The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) represents a major invasive pest of maize in Indonesia, necessitating the development of effective integrated pest management strategies. Biological control agents, including the bacterium *Bacillus thuringiensis* (Bt), the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*, and the larval parasitoid *Microplitis manilae*, offer eco-friendly and sustainable management solutions. However, the simultaneous application of multiple biological control agents may trigger negative interactions among natural enemies, potentially reducing parasitoid effectiveness. This study aimed to evaluate the effects of half field-recommended concentrations of *B. thuringiensis* and *M. anisopliae* on *S. frugiperda* mortality rates, and evaluated the effectiveness and development of *M. manilae* reared on entomopathogen-infected *S. frugiperda*.

The study was conducted at the Insect Biosystematics Laboratory, Institut Pertanian Bogor, Indonesia. Two commercial biopesticide formulations were used in this study *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* strain GC-91 (Turex WP, 3.8% active ingredient; PT Multi Sarana Indotani, East Java, Indonesia) and *Metarhizium anisopliae* (GMN *Metarhizium* WP, 1.23×10^5 CFU/g; CV Trubus Prima, Central Java, Indonesia). Working suspensions were prepared at concentrations of 1.0 g/l and 2.5 g/l, respectively. A randomized block design was employed with five treatment combinations: (i) single parasitization (P_0), (ii) Bt application followed by parasitization (P_1), (iii) parasitization followed by Bt application (P_2), (iv) *M. anisopliae* application followed by parasitization (P_3), and (v) parasitization followed by *M. anisopliae* application (P_4). Each treatment was replicated five times, with each replicate consisting of 20 second-instar *S. frugiperda* larvae. Categorical response variables (mortality, parasitization, pupation, eclosion rates, adult emergence, and sex ratios) were analyzed using Generalized Linear Mixed Models (GLMM). Continuous variables (egg-larval development period, pupal development period, total developmental cycle, and adult longevity stratified by sex) were analyzed using Linear Mixed Models (LMM).

GLMM analysis revealed that *B. thuringiensis* and *M. anisopliae* applied at reduced concentrations produced *S. frugiperda* larval mortality rates statistically equivalent to those observed in the single parasitization control treatment (P_0 ; $p > 0.05$), with mortality ranging from 69% to 79% across all treatments. Biopesticide exposure significantly suppressed parasitization rates by *M. manilae*. The highest parasitization rate was recorded in P_0 ($64.10 \pm 5.04\%$), whereas the lowest occurred in P_1 ($45.00 \pm 5.25\%$). According to International Organization for Biological Control (IOBC) toxicity standards, treatments P_1 (29.80% relative reduction) and P_3 (22.00% relative reduction) fell below the 30% reduction threshold, thereby classifying both biopesticides as Class 1 (Harmless) to *M. manilae*. However, despite this favorable classification, significant sublethal developmental effects were detected across treatments. Biopesticide application exerted no statistically significant effect on adult emergence rates or total survival from the larval to adult

stages ($p > 0.05$), with survival patterns comparable across all treatment combinations.

LMM analysis revealed that exposure to entomopathogenic agents significantly extended the pre-adult developmental period of *M. manilae*. Treatment P₃ (*M. anisopliae* followed by parasitization) produced the most pronounced delay, with egg-larval development significantly prolonged to 9.24 ± 0.26 days compared to 8.15 ± 0.19 days in the control (P₀), and pupal development extended to 6.18 ± 0.12 days relative to 5.76 ± 0.10 days in P₀. Eclosion rates of *M. manilae* did not differ significantly across treatments ($p > 0.05$), ranging from 70.21% to 83.37%. This suggests that while entomopathogenic exposure delayed development, it did not substantially compromise the capacity of parasitoids to reach the adult stage.

Entomopathogenic exposure resulted in significant reductions in female *M. manilae* longevity, indicating pronounced sublethal costs. Female longevity was shortest in P₂ (parasitization followed by *B. thuringiensis*) at 21.46 ± 1.46 days, compared to the control (P₀: 26.84 ± 1.46 days). In contrast, male longevity remained relatively stable across treatments, with no significant differences detected ranging between 24.38 and 26.50 days ($p > 0.05$), indicating greater physiological resistance to entomopathogenic exposure than observed in females. Entomopathogenic exposure induced a significant demographic shift toward male-biased sex ratios in treatment combinations. In P₃ (*M. anisopliae* followed by parasitization), the female proportion declined substantially to 0.30 ± 0.08 (30.0%), representing a significant departure from the female-biased control (P₀: 0.68 ± 0.07 , or 68.0%; $p < 0.001$). This demographic shift, coupled with reduced female longevity, suggests cumulative fitness costs associated with entomopathogens-parasitoid interactions.

Although *B. thuringiensis* and *M. anisopliae* applied at half field-recommended concentrations demonstrated IOBC Class 1 (harmless) classification based on parasitization rates and adult longevity, sublethal effects were agent- and timing-specific: pre-parasitization application of *M. anisopliae* (P₃) extended parasitoid development and induced male-biased sex ratios, while post-parasitization *B. thuringiensis* (P₂) reduced female longevity. These findings suggest that post-parasitization application timing may enhance compatibility between entomopathogens and *M. manilae*. However, semi-field validation at full field-recommended concentrations is necessary to assess tolerance thresholds and evaluate effects on parasitoid host-seeking behavior and reproductive capacity in *S. frugiperda* control.

Keywords: entomopathogens, fall armyworm, larval parasitoid, non-target effects, sex allocation



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan, kritik atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**PERKEMBANGAN DAN KEEFEKTIFAN *Microplitis manilae*
PADA *Spodoptera frugiperda* YANG DIPENGARUHI OLEH
Bacillus thuringiensis DAN *Metarhizium anisopliae***

NURSYIFA NADA HARIYADI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Pengendalian Hama Terpadu

**PROGRAM STUDI PENGENDALIAN HAMA TERPADU
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi pada Ujian Tesis: Dr. Ir. I Wayan Winasa, M.S.



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Perkembangan dan Keefektifan *Microplitis manilae* pada *Spodoptera frugiperda* yang Dipengaruhi oleh *Bacillus thuringiensis* dan *Metarhizium anisopliae*

Nama : Nursyifa Nada Hariyadi
NIM : A3503241022

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Ir. Ruly Anwar, M.Si.

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Nina Maryana, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Ali Nurmansyah, M.Si.
NIP 196302121990021001

Dekan Fakultas Pertanian
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc. Agr.
NIP 196902121992031003

Tanggal Ujian: 25 Juni 2026

Tanggal Lulus: 28 JUL 2026



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Agustus 2025 hingga Januari 2026 adalah tesis dengan judul “Perkembangan dan Keefektifan *Microplitis manilae* pada *Spodoptera frugiperda* yang Dipengaruhi oleh *Bacillus thuringiensis* dan *Metarhizium anisopliae*”.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Ruly Anwar, M.Si. dan Dr. Ir. Nina Maryana, M.Si. selaku komisi pembimbing atas bimbingan, arahan, dan saran berharga selama penelitian hingga penyusunan karya ilmiah ini. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Ir. I Wayan Winasa, M.S. selaku penguji luar komisi pembimbing yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan tesis ini. Penghargaan tertinggi serta rasa terima kasih yang tak terhingga dipersembahkan kepada keluarga tercinta, yaitu Ayah Selamat Hariyadi Sopandi, Ibu Mariani, Kakak Selma Nur Rizky Hariyadi, serta Adik Muhammad Al-Falah Hariyadi, atas doa yang tiada putus, kasih sayang, motivasi terbesar (*to live for the hope of it all*), dan dukungan moral yang senantiasa menjadi sumber kekuatan.

Ucapan terima kasih turut dialamatkan kepada segenap dosen, staf tata usaha, staf komisi pendidikan, dan staf laboratorium Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor, yang telah memberikan bekal ilmu serta membantu kelancaran proses administrasi dan studi. Rasa hormat dan terima kasih juga dihaturkan kepada Prof. Samharinto, Prof. Salamiah, Ibu Helda, M.Si., Dr. Lyswiana, dan Dr. Muslimin atas doa, bimbingan, serta motivasi luar biasa yang meyakinkan langkah untuk melanjutkan studi pascasarjana. Selain itu, apresiasi disampaikan kepada Rati Lestari dan Arman atas bantuan waktu dan tenaga dalam pengambilan sampel serangga hingga seluruh kegiatan laboratorium, serta kepada Ibu Atiek atas ilmu dan saran berharganya dalam perbanyakan serangga parasitoid.

Rasa terima kasih yang mendalam juga ditujukan kepada Rahelza Karennina yang selalu setia menemani selama masa perantauan. Terima kasih khusus diberikan kepada Alkim Hallaç atas kesabaran, dukungan emosional, serta ruang aman untuk berbagi cerita selama masa perkuliahan. Apresiasi turut diberikan kepada Anas Jauhar Mutaqqin dan Rizkia Fenandri selaku tim Summer Course PTN 2025 atas bantuannya dalam pengolahan data statistik, serta kepada Asel Hallaç, Andrea Zunder, Janet Lear, Amol, Amy Wilson, dan Sydney Lowden atas masukan berharga dalam penyusunan draf jurnal. Akhir kata, kehangatan persahabatan dan dukungan dari rekan-rekan di Laboratorium Biosistemika Serangga, mahasiswa pascasarjana PHT IPB angkatan 2024–2025, serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu sangat bernilai dalam penyelesaian karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Nursyifa Nada Hariyadi



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Hipotesis Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Bacillus thuringiensis</i>	4
2.2 <i>Metarhizium anisopliae</i>	5
2.3 <i>Microplitis manilae</i>	7
2.4 <i>Spodoptera frugiperda</i>	8
III BAHAN DAN METODE	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	11
3.2 Perbanyakkan <i>Spodoptera frugiperda</i>	11
3.3 Perbanyakkan <i>Microplitis manilae</i>	11
3.4 Jenis dan Formulasi Biopestisida	12
3.5 Aplikasi Biopestisida Pra dan Pasca Parasitisasi	12
3.6 Variabel Uji Pra dan Pasca Parasitisasi	14
3.7 Analisis Data	15
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Mortalitas Larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	17
4.2 Tingkat Parasitisasi <i>Microplitis manilae</i>	18
4.3 Perkembangan Pradewasa dan Tingkat Eklosi <i>Microplitis manilae</i>	21
4.4 Lama Hidup dan Keberhasilan Hidup Imago <i>Microplitis manilae</i>	25
4.5 Proporsi Imago Betina dan Populasi <i>Microplitis manilae</i>	30
V SIMPULAN DAN SARAN	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	57



DAFTAR TABEL

3.1	Kriteria klasifikasi toksisitas di laboratorium (IOBC)	16
4.1	Tingkat mortalitas kumulatif larva <i>Spodoptera frugiperda</i> pada berbagai kombinasi perlakuan waktu aplikasi <i>Bacillus thuringiensis</i> dan <i>Metarhizium anisopliae</i> di laboratorium	17
4.2	Tingkat parasitisasi <i>Microplitis manilae</i> pada larva <i>Spodoptera frugiperda</i> akibat paparan kombinasi entomopatogen di laboratorium	19
4.3	Tingkat keberhasilan larva <i>Microplitis manilae</i> yang menjadi pupa akibat paparan kombinasi entomopatogen di laboratorium	21
4.4	Tingkat eklosi imago <i>Microplitis manilae</i> pada perlakuan entomopatogen sebelum dan sesudah parasitisasi	24
4.5	Lama hidup imago <i>Microplitis manilae</i> yang terpapar akibat infeksi entomopatogen pada inang	26
4.6	Tingkat kelangsungan hidup total <i>Microplitis manilae</i> dari fase larva hingga dewasa akibat aplikasi entomopatogen	29
4.7	Proporsi imago betina <i>Microplitis manilae</i> akibat dampak paparan entomopatogen	30

DAFTAR GAMBAR

2.1	Mekanisme kerja bakteri entomopatogen <i>Bacillus thuringiensis</i> pada larva Lepidoptera	4
2.2	Dampak perlakuan <i>Bacillus thuringiensis</i> pada larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	5
2.3	Mekanisme kerja <i>Metarhizium anisopliae</i>	6
2.4	Gejala serangan <i>Metarhizium anisopliae</i> pada larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	7
2.5	Perbedaan antena <i>Microplitis manilae</i> jantan dan betina	7
2.6	Perkembangan larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	9
2.7	Pupa dan imago <i>Spodoptera frugiperda</i>	10
4.1	Larva <i>Microplitis manilae</i> pada tubuh inang <i>Spodoptera frugiperda</i> yang terpapar biopestisida	20
4.2	Stadium telur dan larva <i>Microplitis manilae</i> pada berbagai perlakuan kombinasi entomopatogen	22
4.3	Stadium pupa <i>Microplitis manilae</i> pada berbagai perlakuan kombinasi entomopatogen	23
4.4	Kegagalan eklosi <i>Microplitis manilae</i> pada perlakuan biopestisida	25
4.5	Lama hidup imago jantan dan betina <i>Microplitis manilae</i> pada berbagai perlakuan kombinasi entomopatogen	27
4.6	Malformasi antena pada imago <i>Microplitis manilae</i>	30
4.7	Proporsi populasi imago jantan serta betina <i>Microplitis manilae</i> pada berbagai perlakuan patogen serangga	31
4.8	Imago <i>Microplitis manilae</i>	32

DAFTAR LAMPIRAN

1	Persiapan inang dan imago parasitoid	45
2	Hasil analisis data tingkat mortalitas larva <i>Spodoptera frugiperda</i> menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM)	45
3	Hasil analisis data tingkat parasitisasi <i>Microplitis manilae</i> (%) menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM) dan nilai IOBC	46
4	Hasil analisis data tingkat keberhasilan larva <i>Microplitis manilae</i> (%) menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM)	47
5	Hasil uji normalitas sisaan Shapiro-Wilk, ANOVA Kenward-Roger, dan uji lanjut komparasi berpasangan Tukey 5% durasi perkembangan fase telur dan larva <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Linear Mixed Model</i> (LMM)	48
6	Hasil uji normalitas sisaan Shapiro-Wilk, ANOVA Kenward-Roger, dan uji lanjut komparasi berpasangan Tukey 5% durasi perkembangan fase pupa <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Linear Mixed Model</i> (LMM)	49
7	Hasil analisis data tingkat eklosi <i>Microplitis manilae</i> (%) menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM)	50
8	Hasil uji normalitas sisaan Shapiro-Wilk, ANOVA Kenward-Roger, dan uji lanjut komparasi berpasangan Tukey 5% siklus hidup <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Linear Mixed Model</i> (LMM)	51
9	Hasil uji normalitas sisaan Shapiro-Wilk, ANOVA Kenward-Roger, dan uji lanjut komparasi berpasangan Tukey 5% lama hidup imago jantan <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Linear Mixed Model</i> (LMM)	52
10	Hasil uji normalitas sisaan Shapiro-Wilk, ANOVA Kenward-Roger, dan uji lanjut komparasi berpasangan Tukey 5% lama hidup imago betina <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Linear Mixed Model</i> (LMM)	53
11	Hasil analisis data tingkat keberhasilan hidup imago <i>Microplitis manilae</i> (%) menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM)	54
12	Hasil analisis data proporsi jenis kelamin betina <i>Microplitis manilae</i> menggunakan <i>Generalized Linear Mixed Model</i> (GLMM)	55
13	Populasi jantan dan betina <i>Microplitis manilae</i> (%)	56