



# **PENGEMBANGAN FORMULASI INSEKTISIDA NABATI CAMPURAN EKSTRAK *Piper retrofractum* DAN *Annona squamosa* UNTUK PENGENDALIAN *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**HAMDAN MARULI SIREGAR**



**PROGRAM STUDI ENTOMOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- 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 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.

## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul "Pengembangan Formulasi Insektisida Nabati Campuran Ekstrak *Piper retrofractum* dan *Annona squamosa* untuk Pengendalian *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)" 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 disertasi ini.

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

Bogor, Juni 2026

Hamdan Maruli Siregar  
NIM A3601222008

- 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 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.

## RINGKASAN

HAMDAN MARULI SIREGAR. Pengembangan Formulasi Insektisida Nabati Campuran Ekstrak *Piper retrofractum* dan *Annona squamosa* untuk Pengendalian *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Dibimbing oleh DADANG, DEWI SARTIAMI, dan I WAYAN WINASA.

Sejak pertama kali dilaporkan pada awal tahun 2019, keberadaan *Spodoptera frugiperda* sebagai spesies invasif baru terus berkembang yang menjadi ancaman serius terhadap keberhasilan usaha budi daya jagung di Indonesia. Spesies ini kini telah menjadi salah satu hama utama tanaman jagung yang sangat merugikan karena dapat menyerang pada semua fase pertumbuhan tanaman dan menimbulkan kerusakan serta kehilangan hasil yang signifikan. Potensi kerugian ekonomi yang tinggi akibat serangannya telah mendorong peningkatan penggunaan insektisida sintetik sebagai respons pengendalian yang cepat. Namun, praktik aplikasi yang kurang bijaksana dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, termasuk mempercepat terjadinya resistensi hama dan mengganggu keseimbangan agroekosistem, sehingga efektivitas pengendalian cenderung menurun. Kondisi tersebut menegaskan perlunya pengembangan strategi pengendalian alternatif yang lebih ramah lingkungan dan sejalan dengan prinsip pengendalian hama terpadu. Salah satunya adalah dengan menggunakan insektisida nabati.

Berbagai jenis tanaman, terutama dari famili Piperaceae, Asteraceae, dan Annonaceae, diketahui berpotensi sebagai sumber bahan aktif insektisida nabati. Namun, pemanfaatannya masih terbatas karena banyak senyawa aktif nabati bersifat lipofilik, sehingga sukar larut dalam air dan kurang stabil secara kimia. Kondisi ini menyebabkan bahan aktif lebih mudah terdegradasi dan bioaktivitasnya cepat menurun. Di samping itu, ketergantungan pada satu jenis tanaman juga dapat menimbulkan kendala dalam ketersediaan bahan baku, sehingga penerapannya menjadi kurang berkelanjutan. Dalam konteks tersebut, pengembangan formulasi menjadi langkah penting untuk meningkatkan stabilitas, kemudahan aplikasi, dan konsistensi efektivitas. Formulasi *emulsifiable concentrate* (EC) menjadi salah satu pilihan yang relevan dalam upaya tersebut karena sesuai dengan karakter senyawa aktif nabati yang umumnya bersifat lipofilik, relatif mudah dibuat dengan peralatan sederhana, dan mampu membentuk emulsi yang baik saat diencerkan dengan air. Formulasi ini juga membantu mendispersikan bahan aktif secara lebih merata dalam cairan semprot, sehingga penggunaannya menjadi lebih praktis. Selain itu, penggunaan campuran beberapa ekstrak tanaman dapat menjadi pendekatan yang menjanjikan karena tidak hanya memperluas spektrum dan keragaman mekanisme kerja, tetapi juga membuka peluang terjadinya efek sinergis yang dapat meningkatkan efektivitas pengendalian pada dosis yang lebih efisien.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formulasi insektisida nabati berbasis metabolit sekunder tanaman untuk pengendalian *S. frugiperda*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk (1) mempelajari bioaktivitas enam ekstrak tanaman, yaitu *Piper retrofractum*, *P. aduncum*, *Tagetes erecta*, *Tithonia diversifolia*, *Annona squamosa*, dan *A. muricata*, terhadap *S. frugiperda*, (2) mempelajari kompatibilitas campuran ekstrak heksana buah *P. retrofractum* dan biji *A. squamosa* terhadap *S. frugiperda*, (3) mengembangkan formulasi EC menggunakan rasio campuran ekstrak yang bersifat sinergis dan

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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



mengevaluasi kestabilan fisik serta toksisitasnya terhadap larva instar kedua *S. frugiperda*, (4) mengevaluasi persistensi dan keamanan formulasi EC insektisida nabati terhadap musuh alami serta potensi fitotoksitasnya pada tanaman jagung, dan (5) mengevaluasi keefektifan formulasi EC insektisida nabati sebagai alternatif pengendalian *S. frugiperda* pada pertanaman jagung.

Penelitian ini dilakukan melalui lima tahapan, mulai dari pengujian di laboratorium hingga di lapangan. Tahap pertama adalah pengujian bioaktivitas enam ekstrak tanaman terhadap *S. frugiperda*, yang terdiri dari uji toksisitas, penghambatan aktivitas makan, dan ovisidal. Tahap kedua adalah pengujian toksisitas dan kompatibilitas campuran ekstrak heksana buah *P. retrofractum* dan biji *A. squamosa* serta analisis kandungan senyawa kimia ekstrak menggunakan *gas chromatography-mass spectrometry*. Tahap ketiga adalah pembuatan formulasi EC menggunakan rasio campuran ekstrak yang bersifat sinergis, kemudian dilanjutkan dengan pengujian kestabilan fisik dan toksisitas formulasi terhadap larva instar kedua *S. frugiperda*. Tahap keempat adalah pengujian persistensi dan keamanan formulasi EC insektisida nabati, termasuk pengujian terhadap parasitoid larva *S. frugiperda*, yaitu *Microplitis* sp., dan pengujian fitotoksitas pada tanaman jagung. Selanjutnya, tahap kelima adalah pengujian efikasi lapangan untuk menilai keefektifan formulasi EC insektisida nabati dalam menekan populasi dan intensitas serangan *S. frugiperda*, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap tingkat parasitasi parasitoid dan keanekaragaman artropoda pada pertanaman jagung.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh ekstrak tanaman uji memiliki aktivitas insektisida terhadap *S. frugiperda* dengan efektivitas yang bervariasi dan cenderung meningkat seiring kenaikan konsentrasi uji. Di antara seluruh ekstrak tanaman uji, ekstrak heksana buah *P. retrofractum* dan ekstrak heksana biji *A. squamosa* menunjukkan potensi toksik yang tinggi terhadap larva instar kedua *S. frugiperda*, dengan nilai  $LC_{95}$  berturut-turut 0,26 dan 1,33% pada 96 jam setelah perlakuan (JSP). Ekstrak metanol bunga *T. diversifolia* menunjukkan aktivitas penghambatan makan paling kuat, dengan tingkat penghambatan sebesar 84,81 dan 87,22% pada  $LC_{35}$  dan  $LC_{55}$ . Pada uji ovisidal, semua ekstrak berperan efektif sebagai agens ovisidal karena mampu menghambat >75% penetasan telur, terutama pada konsentrasi  $2 \times LC_{95}$ . Hasil uji kompatibilitas menunjukkan bahwa campuran ekstrak heksana buah *P. retrofractum* dan biji *A. squamosa* pada rasio 2:1 (w/w) merupakan kombinasi yang paling efektif dengan interaksi sinergistik kuat pada semua waktu pengamatan, baik pada  $LC_{50}$  maupun  $LC_{95}$ . Campuran tersebut kemudian berhasil diformulasikan menjadi XT<sub>w</sub> 50 EC dengan komposisi 30% xilena, 20% Tween 80, dan 50% campuran ekstrak, yang stabil dan efektif terhadap larva instar kedua *S. frugiperda* dengan nilai  $LC_{95}$  sebesar 0,12% pada 96 JSP. Selain efektif, formulasi XT<sub>w</sub> 50 EC juga memiliki persistensi residu yang singkat, tergolong aman terhadap parasitoid *Microplitis* sp., dan tidak bersifat fitotoksik pada tanaman jagung. Pada uji lapangan, aplikasi formulasi XT<sub>w</sub> 50 EC mampu menekan populasi dan intensitas serangan *S. frugiperda* tanpa menghambat aktivitas parasitoid, serta tetap aman bagi komunitas artropoda. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa formulasi XT<sub>w</sub> 50 EC berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai kandidat produk komersial insektisida nabati untuk pengendalian *S. frugiperda*.

Kata kunci: bioaktivitas, *emulsifiable concentrate*, kompatibilitas, sinergis, stabil

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## SUMMARY

HAMDAN MARULI SIREGAR. The Development of Botanical Insecticides Formulation Containing *Piper retrofractum* and *Annona squamosa* Extract Mixtures for Controlling *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Supervised by DADANG, DEWI SARTIAMI, and I WAYAN WINASA.

Since it was first reported in early 2019, *Spodoptera frugiperda*, a newly invasive species, has emerged as a serious threat to maize production in Indonesia. This species is now recognized as one of the major maize pests because it can attack plants at all growth stages and cause significant crop damage and yield losses. The high potential economic losses associated with its infestation have driven increased reliance on the use of synthetic insecticides as a rapid control measure. However, unwise application practices may lead to adverse consequences, including accelerated insect resistance development and disruption of agroecosystem balance, thereby reducing long-term control effectiveness. These conditions emphasize the need for alternative control strategies that are more environmentally friendly and consistent with the principles of integrated pest management. One promising option is the use of botanical insecticides.

Various plant species, particularly from the families of Piperaceae, Asteraceae, and Annonaceae, have been reported as promising sources of bioactive compounds for botanical insecticides. Nevertheless, their use remains limited because many plant-derived bioactive compounds are lipophilic, resulting in low water solubility and poor stability. These properties make the active ingredients more susceptible to degradation, leading to a rapid decline in bioactivity. In addition, reliance on a single plant species as a raw material source may limit raw material availability, thereby hindering large-scale application. Therefore, the formulation development is an important step to improve stability, practicality of application, and consistency of effectiveness. The emulsifiable concentrate (EC) formulation is considered an appropriate option because it is suitable for predominantly lipophilic botanical active ingredients, can be prepared relatively easily using simple equipment, forms a stable emulsion when diluted with water, and promotes more uniform dispersion of active ingredients in the spray solution, thereby facilitating practical field application. Furthermore, the use of plant extract mixtures may offer a promising approach, as it not only broadens the spectrum of modes of action but also increases the potential for synergistic effects that may enhance control efficacy at lower doses.

In general, this study aimed to develop a botanical insecticide formulation based on plant secondary metabolites for controlling *S. frugiperda*. Specifically, the objectives were (1) to investigate the bioactivity of six plant extracts, namely *Piper retrofractum*, *P. aduncum*, *Tagetes erecta*, *Tithonia diversifolia*, *Annona squamosa*, and *A. muricata*, against *S. frugiperda*, (2) to examine the compatibility of mixed hexane extracts of *P. retrofractum* fruit and *A. squamosa* seeds to enhance the efficacy of botanical insecticides, (3) to develop an EC formulation using a synergistic extract mixture ratio and to assess its physical stability and toxicity against second-instar larvae of *S. frugiperda*, (4) to evaluate the persistence and safety of the EC formulation, including its effects on natural enemies and its phytotoxic potential on maize plants, and (5) to evaluate the field efficacy of the

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.



EC formulation as an alternative control strategy against *S. frugiperda* in maize cultivation.

This study was conducted in five stages, ranging from laboratory experiments to field trials. The first stage involved bioactivity testing of six plant extracts against *S. frugiperda*, including toxicity, antifeedant, and ovicidal assays. The second stage involved compatibility and toxicity testing of mixed hexane extracts of *P. retrofractum* fruit and *A. squamosa* seeds, as well as analysis of their chemical constituents using gas chromatography-mass spectrometry. The third stage involved the development of an EC formulation using a synergistic extract mixture, followed by evaluation of its physical stability and toxicity against second-instar larvae of *S. frugiperda*. The fourth stage involved evaluation of the persistence and safety of the EC formulation, including tests on the larval parasitoid *Microplitis* sp. and phytotoxicity tests on maize plants. The fifth stage involved field efficacy trials to assess the effectiveness of the EC formulation in suppressing larval populations and reducing *S. frugiperda* infestation intensity, and to evaluate its effects on parasitoid parasitism rates and soil arthropod diversity in maize fields.

The results showed that all tested plant extracts exhibited insecticidal activity against *S. frugiperda*, with efficacy generally increasing with increasing test concentration. Among the extracts evaluated, the hexane extracts of *P. retrofractum* fruit and *A. squamosa* seeds showed the highest toxicity against second-instar larvae of *S. frugiperda*, with LC<sub>95</sub> values of 0.26 and 1.33%, respectively, at 96 hours after treatment (HAT). The methanol extract of *T. diversifolia* flowers exhibited the strongest antifeedant activity, with feeding inhibition reaching 84.81% at LC<sub>35</sub> and 87.22% at LC<sub>55</sub>. In the ovicidal assay, all extracts showed strong ovicidal activity (>75%), particularly at 2 × LC<sub>95</sub>, with the strongest effects observed in *P. aduncum*, *P. retrofractum*, and *A. squamosa* extracts. Compatibility testing indicated that the mixture of hexane extracts of *P. retrofractum* fruit and *A. squamosa* seeds at a ratio of 2:1 (w/w) was the most effective combination, exhibiting strong synergism, and was successfully developed into a botanical insecticide formulation, XT<sub>w</sub> 50 EC, consisting of 30% xylene, 20% Tween 80, and 50% extract mixture. This formulation was stable and effective against second-instar larvae of *S. frugiperda*, with an LC<sub>95</sub> value of 0.12% at 96 HAT. In addition to its efficacy, the XT<sub>w</sub> 50 EC formulation exhibited short residual persistence, caused no phytotoxic effects on maize plants, and was considered relatively safe to the parasitoid *Microplitis* sp. Under field conditions, XT<sub>w</sub> 50 EC effectively suppressed larval populations and reduced *S. frugiperda* infestation intensity without adversely affecting parasitoid activity, while remaining safe for soil arthropod communities. Overall, these findings indicate that XT<sub>w</sub> 50 EC has strong potential for further development as a commercial botanical insecticide for controlling *S. frugiperda*.

**Keywords:** bioactivity, compatibility, emulsifiable concentrate, stability, synergism



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.*



### *@Hak cipta milik 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.



**PENGEMBANGAN FORMULASI INSEKTISIDA NABATI  
CAMPURAN EKSTRAK *Piper retrofractum* DAN *Annona  
squamosa* UNTUK PENGENDALIAN *Spodoptera frugiperda*  
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**HAMDAN MARULI SIREGAR**

Disertasi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Entomologi

**PROGRAM STUDI ENTOMOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2026**

- 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 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.

**Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:**

1. Prof. Dr. Ir. Purnama Hidayat, M.Sc.
2. Prof. Dr. Ir. I Made Samudra, M.Sc.

**Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:**

1. Prof. Dr. Ir. Purnama Hidayat, M.Sc.
2. Prof. Dr. Ir. I Made Samudra, M.Sc.

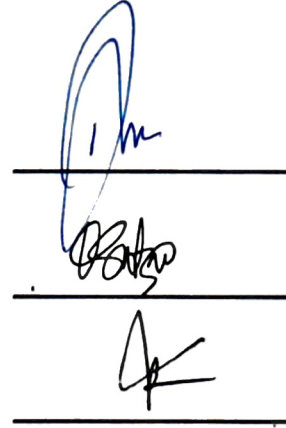
**Judul Disertasi** Pengembangan Formulasi Insektisida Nabati Campuran Ekstrak *Piper retrofractum* dan *Annona squamosa* untuk Pengendalian *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)  
**Nama** : Hamdan Maruli Siregar  
**NIM** : A3601222008

Disetujui oleh

**Pembimbing 1:**  
Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc.

**Pembimbing 2:**  
Dra. Dewi Sartiami, M.Si., Ph.D.

**Pembimbing 3:**  
Dr. Ir. I Wayan Winasa, M.S.



Diketahui oleh

**Ketua Program Studi:**  
Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc.  
NIP. 196402041990021002

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



Tanggal Ujian: 22 April 2026

Tanggal Lulus: 29 JUN 2026

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 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.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia dan rahmat-Nya, sehingga disertasi berjudul "Pengembangan Formulasi Insektisida Nabati Campuran Ekstrak *Piper retrofractum* dan *Annona squamosa* untuk Pengendalian *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)" dapat diselesaikan. Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc., Dra. Dewi Sartiami, M.Si., Ph.D., dan Dr. Ir. I Wayan Winasa, M.S., yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi selama penelitian dan penulisan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Purnama Hidayat, M.Sc dan Prof. Dr. Ir. I Made Samudra, M.Sc yang telah bersedia menjadi penguji luar komisi pembimbing pada ujian tertutup dan sidang promosi terbuka.

Selanjutnya, penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor, Dekan Fakultas Pertanian, dan Ketua Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Jambi atas kesempatan dan izin yang diberikan kepada penulis selama mengikuti tugas belajar pada Program Studi Doktor Entomologi, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Pusat Pembiayaan dan Asesmen Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan atas bantuan studi melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia tahun 2022. Penghargaan dan terima kasih turut penulis sampaikan kepada Rektor, Dekan Fakultas Pertanian, Ketua Departemen Proteksi Tanaman, Ketua Program Studi Entomologi, para staf pengajar Program Studi Entomologi, serta staf administrasi Sekolah Pascasarjana, Fakultas Pertanian, dan Departemen Proteksi Tanaman IPB University, atas dukungan dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan.

Di samping itu, penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada keluarga tercinta, Ayahanda Ahlil Muda Siregar (alm), Ibunda Minim (alm), istri Tunjung Feti Sari, anak-anak Muhammad Syaqeel Arkhan Siregar, Muhammad Chairil Akahtar Siregar, dan Sayyida Maiza Mahra Siregar (alm), kakak Herlinawati Siregar, serta adik Sinta Meili Sari Siregar, dan Melda Tita Santika Siregar, atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang senantiasa menguatkan penulis selama proses studi. Penulis juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian studi ini, khususnya rekan-rekan di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, rekan-rekan mahasiswa pascasarjana pada Program Studi Entomologi, Fitopatologi, dan Pengendalian Hama Terpadu, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan disertasi ini, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan serta turut berkontribusi bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

*Hamdan Maruli Siregar*



### *@Hak cipta milik 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.

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Kebaruan ( <i>Novelty</i> )	5
1.6 Hipotesis	6
1.7 Ruang Lingkup	6
II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 <i>Spodoptera frugiperda</i>	8
2.2 Peran Insektisida Nabati dalam Perlindungan Tanaman	15
2.3 Potensi Tanaman Famili Piperaceae, Asteraceae, dan Annonaceae sebagai Insektisida Nabati	16
2.4 Formulasi Insektisida Nabati	21
III BIOAKTIVITAS EKSTRAK TANAMAN FAMILI PIPERACEAE, ASTERACEAE, DAN ANNONACEAE TERHADAP <i>Spodoptera frugiperda</i>	23
3.1 Abstrak	23
3.2 Pendahuluan	23
3.3 Metode	25
3.4 Hasil dan Pembahasan	29
3.5 Simpulan	35
IV TOKSISITAS DAN KOMPATIBILITAS CAMPURAN EKSTRAK <i>Piper retrofractum</i> DAN <i>Annona squamosa</i> TERHADAP <i>Spodoptera frugiperda</i>	36
4.1 Abstrak	36
4.2 Pendahuluan	36
4.3 Metode	38
4.4 Hasil dan Pembahasan	40
4.5 Simpulan	49
V KESTABILAN DAN TOKSISITAS FORMULASI CAMPURAN EKSTRAK <i>Piper retrofractum</i> DAN <i>Annona squamosa</i> TERHADAP <i>Spodoptera frugiperda</i>	50
5.1 Abstrak	50
5.2 Pendahuluan	50
5.3 Metode	52
5.4 Hasil dan Pembahasan	53
5.5 Simpulan	59



VI	PERSISTENSI DAN KEAMANAN FORMULASI CAMPURAN EKSTRAK <i>Piper retrofractum</i> DAN <i>Annona squamosa</i> TERHADAP <i>Microplitis</i> sp. DAN TANAMAN JAGUNG	60
6.1	Abstrak	60
6.2	Pendahuluan	60
6.3	Metode	62
6.4	Hasil dan Pembahasan	64
6.5	Simpulan	69
VII	KEEFEKTIFAN FORMULASI CAMPURAN EKSTRAK <i>Piper retrofractum</i> DAN <i>Annona squamosa</i> TERHADAP <i>Spodoptera frugiperda</i> DI PERTANAMAN JAGUNG	70
7.1	Abstrak	70
7.2	Pendahuluan	70
7.3	Metode	72
7.4	Hasil dan Pembahasan	76
7.5	Simpulan	84
VIII	PEMBAHASAN UMUM	85
IX	SIMPULAN DAN SARAN	91
9.1	Simpulan	91
9.2	Saran	91
	DAFTAR PUSTAKA	92
	LAMPIRAN	119
	RIWAYAT HIDUP	130

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.

## DAFTAR TABEL

3.1	Kategori penghambatan aktivitas makan ekstrak terhadap larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	28
3.2	Kategori aktivitas ovisidal ekstrak terhadap telur <i>Spodoptera frugiperda</i>	28
3.3	Nilai LC <sub>50</sub> dan LC <sub>95</sub> enam jenis ekstrak tanaman terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i>	30
3.4	Penghambatan aktivitas makan enam jenis ekstrak tanaman terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i>	32
3.5	Aktivitas ovisidal enam jenis ekstrak tanaman terhadap telur <i>Spodoptera frugiperda</i>	33
4.1	Nilai LC <sub>50</sub> dan LC <sub>95</sub> ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan ekstrak heksana biji <i>Annona squamosa</i> terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada 96 jam setelah perlakuan	38
4.2	Rasio konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i>	39
4.3	Kategori sifat interaksi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> berdasarkan nilai indeks kombinasi	39
4.4	Nilai LC <sub>50</sub> dan LC <sub>95</sub> beberapa rasio campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i>	41
4.5	Sifat interaksi beberapa rasio campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i>	43
4.6	Kandungan senyawa kimia ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i>	45
4.7	Kandungan senyawa kimia ekstrak heksana biji <i>Annona squamosa</i>	48
5.1	Jenis pelarut, pengemulsi, dan konsentrasi campuran ekstrak buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> untuk pembuatan formulasi EC	52
5.2	Batasan normal kestabilan emulsi berdasarkan standar CIPAC	53
5.3	Stabilitas fisik beberapa bentuk formulasi EC campuran ekstrak buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i>	54
5.4	Nilai LC <sub>50</sub> dan LC <sub>95</sub> formulasi EC campuran ekstrak buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i>	58
6.1	Kategori dampak aplikasi insektisida terhadap organisme nontarget berdasarkan standar IOBC	63
6.2	Keamanan formulasi insektisida nabati XT <sub>w</sub> 50 dan insektisida sintetik EB <sub>z</sub> 30 EC terhadap imago parasitoid <i>Microplitis</i> sp.	66
7.1	Kriteria skor penilaian tingkat kerusakan daun akibat serangan <i>Spodoptera frugiperda</i> berdasarkan skala Davis	74
7.2	Kelimpahan individu arthropoda pada pertanaman jagung	82

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.



7.3

Rata-rata indeks keanekaragaman dan pemerataan artropoda akibat aplikasi insektisida pada pertanaman jagung 83

7.4

Kelimpahan individu artropoda berdasarkan peranan ekologisnya selama fase vegetatif tanaman jagung 83

8.1

Ringkasan hasil temuan utama penelitian 90

@Hak cipta milik 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.

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Ruang lingkup penelitian	7
2.1	Fase awal perkembangan <i>Spodoptera frugiperda</i>	8
2.2	Karakter morfologi larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	9
2.3	Karakter morfologi pupa dan imago <i>Spodoptera frugiperda</i>	10
3.1	Skema uji penghambatan aktivitas makan	27
3.2	Perkembangan mortalitas larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan enam jenis ekstrak tanaman	29
3.3	Efek ovisidal dari enam jenis ekstrak tanaman terhadap telur <i>Spodoptera frugiperda</i> pada 6 hari setelah oviposisi	34
4.1	Perkembangan mortalitas larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan beberapa rasio campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i>	40
5.1	Uji kestabilan beberapa bentuk formulasi EC campuran ekstrak buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada air sadah	55
5.2	Perkembangan mortalitas larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan formulasi EC campuran ekstrak buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i>	57
6.1	Perkembangan mortalitas larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada uji persistensi formulasi insektisida nabati XTw 50 EC dan insektisida sintetik EBz 30 EC	64
6.2	Persistensi formulasi insektisida nabati XTw 50 EC dan insektisida sintetik EBz 30 EC	65
6.3	Morfologi daun jagung dengan perlakuan formulasi insektisida nabati XTw 50 EC	68
7.1	Peta lokasi penelitian lapangan	72
7.2	Skema petak percobaan	73
7.3	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap total populasi larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	76
7.4	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap perkembangan populasi larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	77
7.5	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap total intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i>	78
7.6	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap perkembangan intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i>	79
7.7	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap total tingkat parasitisasi larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	80
7.8	Pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap perkembangan tingkat parasitisasi larva <i>Spodoptera frugiperda</i>	81
8.1	Hubungan antara pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik dengan kelimpahan populasi dan intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i> , serta tingkat parasitisasi <i>Microplitis</i> sp.	89

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.



## DAFTAR LAMPIRAN

1	Penduga parameter probit hasil uji pendahuluan enam jenis ekstrak terhadap larva instar kedua <i>Spodoptera frugiperda</i> pada 96 jam setelah perlakuan	119
2	Konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada rasio 3:1 (w/w)	119
3	Konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada rasio 2:1 (w/w)	119
4	Konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada rasio 1:1 (w/w)	120
5	Konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada rasio 1:2 (w/w)	120
6	Konsentrasi campuran ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i> dan biji <i>Annona squamosa</i> pada rasio 1:3 (w/w)	120
7	Hasil analisis GC-MS ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i>	121
8	Hasil analisis GC-MS ekstrak heksana biji <i>Annona squamosa</i>	123
9	Kromatogram hasil analisis GC-MS ekstrak heksana buah <i>Piper retrofractum</i>	124
10	Kromatogram hasil analisis GC-MS ekstrak heksana biji <i>Annona squamosa</i>	124
11	<i>Violin plot</i> kelimpahan populasi larva <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan insektisida nabati dan sintetik selama fase vegetatif tanaman jagung	125
12	<i>Violin plot</i> intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan insektisida nabati dan sintetik selama fase vegetatif tanaman jagung	126
13	<i>Violin plot</i> tingkat parasitisasi <i>Microplitis</i> sp. terhadap larva <i>Spodoptera frugiperda</i> pada perlakuan insektisida nabati dan sintetik selama fase vegetatif tanaman jagung	127
14	Anova GLM Gaussian uji F pada indeks Shannon-Wiener setelah transformasi Box-Cox	128
15	Anova GLM negatif binomial uji Chi-square pada indeks Evenness	128
16	Uji Kruskal-Wallis pada indeks dominansi	128
17	Nilai indeks keanekaragaman artropoda pada setiap ulangan perlakuan insektisida nabati, insektisida sintetik, dan kontrol selama fase vegetatif tanaman jagung	128
18	Hasil analisis <i>Structural Equation Modeling</i> pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik terhadap populasi dan intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i> , serta tingkat parasitisasi <i>Microplitis</i> sp.	129
19	Nilai indeks kesesuaian hubungan antara pengaruh aplikasi insektisida nabati dan sintetik dengan kelimpahan populasi dan intensitas serangan <i>Spodoptera frugiperda</i> , serta tingkat parasitisasi <i>Microplitis</i> sp.	129