

- 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.

**TOKSISITAS INSEKTISIDA DAN KARAKTERISASI GEN
PENYANDI IMUNITAS PADA LEBAH TANPA SENGAT
Tetragonula laeviceps SMITH, 1857**

BELA HASNA AUDIA



**PROGRAM STUDI PENGENDALIAN HAMA TERPADU
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**





PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Toksisitas Insektisida dan Karakterisasi Gen Penyandi Imunitas pada Lebah Tanpa Sengat *Tetragonula laeviceps* Smith, 1857” 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 saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Desember 2025

Bela Hasna Audia
A3503231025

- 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

BELA HASNA AUDIA. Toksisitas Insektisida dan Karakterisasi Gen Penyandi Imunitas pada Lebah Tanpa Sengat *Tetragonula laeviceps* Smith, 1857. Dibimbing oleh DAMAYANTI BUCHORI, DADANG, dan RIKA RAFFIUDIN.

Tetragonula laeviceps merupakan lebah yang banyak dibudidayakan di Indonesia yang sangat penting dalam memberikan layanan ekologi sebagai penyerbuk tanaman, termasuk pada tanaman budi daya. Namun, akhir-akhir ini populasi lebah di dunia mengalami penurunan dan penggunaan insektisida secara intensif saat budi daya tanaman diduga menjadi salah satu penyebabnya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh dari senyawa volatil pada insektisida terhadap perilaku preferensi kunjungan lebah *T. laeviceps*, menganalisis tingkat toksisitas insektisida melalui paparan dermal dan oral, menganalisis pengaruh paparan insektisida terhadap kemampuan makan lebah *T. laeviceps*, dan mengkarakterisasi 2 gen penyandi imunitas lebah *T. laeviceps*, yaitu gen defensin 1 dan abaecin. Insektisida berbahan aktif karbosulfan, klotianidin, diafentiuron, dan tetraniliprol diuji toksisitasnya terhadap *T. laeviceps* melalui paparan dermal dan oral pada lima taraf konsentrasi insektisida. Sementara itu, pengujian preferensi lebah *T. laeviceps* dilakukan melalui uji olfaktori menggunakan tabung-Y olfaktometer. DNA lebah *T. laeviceps* diekstraksi menggunakan metode ekstraksi *GeneAid DNA Mini KIT* dan pengendapan etanol serta diamplifikasi menggunakan primer berdasarkan primer untuk lebah *Apis mellifera*. Hasil penelitian ini memberikan informasi mengenai tingkat toksisitas dan pengaruh keempat insektisida pada lebah *T. laeviceps* serta karakterisasi gen defensin 1 dan abaecin sebagai gen penyandi imunitas lebah yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk upaya penggunaan insektisida yang lebih peduli terhadap keberlangsungan hidup lebah di sekitar area pertanian.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan insektisida memengaruhi durasi kunjungan lebah *T. laeviceps* ($p = 0,006$), tetapi tidak memengaruhi frekuensi kunjungannya ($p = 0,286$). Tingkat toksisitas insektisida karbosulfan dan klotianidin tergolong ke dalam insektisida yang sangat toksik dan berbahaya, sedangkan diafentiuron dan tetraniliprol tergolong ke dalam insektisida yang tidak berbahaya bagi lebah *T. laeviceps*. Karbosulfan dan klotianidin bersifat toksik terhadap lebah *T. laeviceps*, baik secara dermal (LC_{50} berturut-turut 31,285 dan 0,092 ppm) maupun oral (LC_{50} berturut-turut 28,511 dan 0,410 ppm). Selain itu, kemampuan lebah untuk mengonsumsi pakan juga menurun secara signifikan akibat adanya paparan insektisida karbosulfan (10 000 dan 3000 ppm) dan klotianidin (300; 30; 3; 0,3; dan 0,03 ppm). Insektisida dapat mengurangi kelangsungan hidup dan mengubah sistem fisiologis yang selanjutnya berdampak pada penurunan imunitas dan perubahan perilaku lebah.

Gen penyandi imunitas, defensin 1 dan abaecin, yang diperoleh pada penelitian ini hanya sebagian dari sekuen total. Fragmen gen defensin 1 yang diperoleh sebesar 283 pb mencakup sebagian ekson 2, intron 2, dan ekson 3. Panjang ekson 2, intron 2, dan ekson 3 pada sekuen DNA gen defensin 1 secara berturut-turut adalah 73, 160, dan 40 pb. Gen defensin 1 pada ekson 2 dan 3 menghasilkan peptida sepanjang 36 asam amino dengan 5 asam amino sistein.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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.



Motif protein khas defensin 1 tidak dapat diidentifikasi karena hanya 5 residu sistein yang diperoleh pada ekson 2 yang seharusnya berjumlah 6 untuk pembentukan struktur motif ikatan disulfida yang lengkap. Konstruksi filogenetik gen defensin 1 menunjukkan *T. laeviceps* berkerabat dekat dengan *M. bicolor* dibandingkan dengan lebah madu. Sementara itu, hanya 30 pb gen abaecin *T. laeviceps* pada ekson 2 yang diperoleh dan menghasilkan 9 asam amino dengan kandungan prolin yang tinggi. Variasi nukleotida terbanyak terjadi antara *T. laeviceps* dan *M. quadrifasciata* sebanyak 6 bp, tetapi tidak menyebabkan perbedaan asam amino. Konstruksi filogenetik gen abaecin berdasarkan sekuen nukleotida menunjukkan *T. laeviceps* berkerabat dekat dengan lebah madu dibandingkan dengan *M. quadrifasciata*, tetapi berkerabat dengan *M. quadrifasciata* berdasarkan sekuen asam amino yang mengindikasikan konservasi protein.

Kata kunci: abaecin, defensin, kemampuan makan, olfaktori, paparan dermal, paparan oral

- 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

BELA HASNA AUDIA. Insecticide Toxicity and Characterization of Immune-Related Genes in the Stingless Bee *Tetragonula laeviceps* Smith, 1857. Supervised by DAMAYANTI BUCHORI, DADANG, and RIKA RAFFIUDIN.

Tetragonula laeviceps is widely reared in meliponiculture in Indonesia and plays a crucial role in providing ecological services as pollinators of plants, including cultivated crops. However, in recent years, global bee populations have been in decline, and the intensive use of insecticides in agricultural practices is suspected to be one of the causes. So, this study aimed to examine the effects of volatile compounds from insecticides on the visitation preference behavior of *T. laeviceps*, analyze the toxicity level of insecticides through dermal and oral exposure, evaluate the effects of insecticide exposure on the feeding ability of *T. laeviceps*, and characterize two immune-related genes in *T. laeviceps*, namely the *defensin 1* and *abaecin* genes. Four insecticide active ingredients, carbosulfan, clothianidin, diafenthiuron, and tetraniliprole, were tested for toxicity against *T. laeviceps* through dermal and oral exposures at five concentration levels. Meanwhile, bee preference testing was conducted through olfactory tests using a Y-tube olfactometer. DNA in *T. laeviceps* were extracted using the *GeneAid DNA Mini Kit* and ethanol precipitation methods. It is amplified using primers based on the primer for *Apis mellifera*. The findings of this research provide insights into the toxicity levels and effects of the four insecticides on *T. laeviceps*, as well as the characterization of the *defensin 1* and *abaecin* genes as immune-related genes. These results may serve as a basis for promoting the use of more bee-friendly insecticides in agricultural areas.

The results showed that insecticide exposure affected the visitation length of *T. laeviceps* ($p = 0.006$), but not its visitation frequency ($p = 0.286$). The toxicity levels of the insecticides carbosulfan and clothianidin are classified as highly toxic and hazardous, while diafenthiuron and tetraniliprole are non-hazardous to *T. laeviceps* bees. Both carbosulfan and clothianidin exhibited toxicity toward *T. laeviceps*, through dermal (LC₅₀: 31.285 and 0.092 ppm, respectively) and oral exposure (LC₅₀: 28.511 and 0.410 ppm, respectively). In addition, the capability of bees to consume feed was also significantly decreased due to exposure to carbosulfan (10 000 and 3000 ppm) and clothianidin (300; 30; 3; 0.3; and 0.03 ppm) insecticides. Insecticide exposure can reduce bee survival and change physiological systems, which impacts immunity and alters bee behavior.

The immunity-related genes, defensin 1 and abaecin, obtained in this study represent only partial sequences of the full genes. The fragment of the defensin 1 gene obtained was 283 bp, encompassing part of exon 2, intron 2, and exon 3. The lengths of exon 2, intron 2, and exon 3 in the defensin 1 DNA sequence were 73, 160, and 40 bp, respectively. The defensin 1 gene spanning exons 2 and 3 encodes a peptide of 36 amino acids containing five cysteine residues. The characteristic protein motif of defensin 1 could not be identified because only five cysteine residues were obtained in exon 2, whereas six cysteines are normally required to form a complete disulfide-bonded structural motif. Phylogenetic relationship of the defensin 1 gene indicated that *T. laeviceps* is closely related to *M. bicolor* compared

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.



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.

to the honeybees. Only a 30 bp fragment of the abaecin gene from exon 2 of *T. laeviceps* was obtained, encoding 9 amino acids with a high proline content. The highest nucleotide variation occurred between *T. laeviceps* and *M. quadrifasciata* with 6 bp, but this did not result in any amino acid changes. Phylogenetic relationship of the abaecin gene based on nucleotide sequences showed that *T. laeviceps* is closely related to honeybees compared to *M. quadrifasciata*, whereas analysis based on amino acid sequences indicated a closer relationship with *M. quadrifasciata*, reflecting protein conservation.

Keywords: abaecin, defensin, dermal exposure, feeding capability, olfactory, oral exposure



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 2025
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 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.

**TOKSISITAS INSEKTISIDA DAN KARAKTERISASI GEN
PENYANDI IMUNITAS PADA LEBAH TANPA SENGAT
Tetragonula laeviceps SMITH, 1857**

BELA HASNA AUDIA

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
2025**



@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.



Judul Tesis : Toksisitas Insektisida dan Karakterisasi Gen Penyandi Imunitas pada Lebah Tanpa Sengat *Tetragomula laeviceps* Smith, 1857
Nama : Bela Hasna Audia
NIM : A3503231025

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Damayanti Buchori, M.Sc.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Rika Raffiudin, M.Si.





Diketahui oleh

Ketua Program Studi Pengendalian Hama Terpadu
Dr. Ir. Giyanto, M.Si.
NIP. 196707091993031002

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





Tanggal Ujian: 10 Oktober 2025

Tanggal Lulus: 05 JAN 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini yang berjudul “Toksisitas Insektisida dan Karakterisasi Gen Penyandi Imunitas pada Lebah Tanpa Sengat *Tetragonula laeviceps* Smith, 1857”. Penelitian dilaksanakan sejak bulan Mei 2024 sampai bulan Mei 2025 di Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, serta Laboratorium Fungsi dan Perilaku Hewan, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Damayanti Buchori, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Dadang, M.Sc., dan Prof. Dr. Ir. Rika Raffiudin M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ketua Program Studi dan penguji luar komisi pembimbing. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen dan keluarga besar Proteksi Tanaman atas dukungannya. Selain itu, penghargaan dan ungkapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ade Haerudin, Mama Imas Siti Sadihah, dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada rekan-rekan Laboratorium Pengendalian Hayati, rekan-rekan Laboratorium Fisiologi dan Toksikologi Serangga, serta rekan-rekan Laboratorium Fungsi dan Perilaku Hewan yang telah membantu, memberi masukan, dan semangat selama proses penelitian dan penyusunan karya ilmiah ini. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Desember 2025

Bela Hasna Audia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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.



@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	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Biologi Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	4
2.2 Imunitas Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	6
2.3 Cara Kerja dan Cara Masuk Insektisida	7
III BAHAN DAN METODE	11
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	11
3.2 Pemeliharaan Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	11
3.3 Penyiapan Insektisida Uji	11
3.4 Pengujian Olfaktori Lebah terhadap Paparan Insektisida	12
3.5 Toksisitas Insektisida terhadap Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	12
3.5.1 Pengujian Efek Residu Insektisida	13
3.5.2 Pengujian Paparan Oral Insektisida	14
3.5.3 Analisis Data Toksisitas	14
3.6 Karakterisasi Intron dan Ekson pada Gen Imunitas Lebah	15
3.6.1 Ekstraksi DNA Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	15
3.6.2 Amplifikasi dan Visualisasi DNA Gen Imunitas Lebah	16
3.6.3 Analisis Bioinformatika Gen Imunitas Lebah	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Preferensi Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> terhadap Senyawa Volatil pada Insektisida	18
4.2 Pengaruh Insektisida terhadap Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	21
4.3 Toksisitas Insektisida terhadap Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	24
4.4 Amplifikasi DNA Gen Penyandi Imunitas pada <i>Tetragonula laeviceps</i>	28
4.5 Penyejajaran Sekuen DNA Gen Defensin 1 dan Sekuen Asam Amino Gen Defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	29
4.6 Penyejajaran Sekuen DNA Abaecin dan Sekuen Asam Amino Gen Abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	33
4.7 Analisis Homologi Sekuen DNA dan Asam Amino Gen Penyandi Imunitas pada <i>Tetragonula laeviceps</i>	35

4.8 Analisis Jarak Genetik dan Konstruksi Pohon Filogenetik berdasarkan Gen Penyandi Imunitas <i>Tetragonula laeviceps</i>	38
4.9 Keterkaitan antara Toksisitas Insektisida dengan Imunitas pada Lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	41
KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
DAFTAR LAMPIRAN	54
DAFTAR GAMBAR	61

DAFTAR TABEL

3.1	Insektisida yang digunakan dalam pengujian	11
3.2	Perlakuan perbandingan dua sumber senyawa volatil pada pengujian olfaktori	12
3.3	Klasifikasi toksisitas berdasarkan nilai LD ₅₀ (EPA 2014)	15
3.4	Klasifikasi toksisitas berdasarkan nilai HQ (Felton <i>et al.</i> 1986)	15
3.5	Primer yang digunakan untuk mengamplifikasi gen imunitas lebah	16
3.6	Sekuen DNA gen defensin 1 yang digunakan dalam analisis variasi nukleotida dan analisis filogeni	17
3.7	Sekuen DNA gen abaecin yang digunakan dalam analisis variasi nukleotida dan analisis filogeni	17
4.1	Pengaruh konsentrasi insektisida terhadap kemampuan makan lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	23
4.2	Perbandingan toksisitas residu insektisida terhadap lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	24
4.3	Perbandingan toksisitas oral insektisida terhadap lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	25
4.4	Tingkat toksisitas insektisida berdasarkan klasifikasi EPA dan <i>Hazard Quotient</i>	26
4.5	Variasi substitusi nukleotida pada ekson 2 gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	30
4.6	Variasi substitusi nukleotida pada ekson 3 gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	31
4.7	Variasi substitusi nukleotida pada intron 2 gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	31
4.8	Variasi substitusi asam amino pada gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	33
4.9	Inseri/delesi pada intron 2 gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	33
4.10	Variasi substitusi nukleotida pada sekuen gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	35
4.11	Variasi substitusi asam amino pada gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	35
4.12	Hasil BLAST-N dan BLAST-P sekuen DNA gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	36
4.13	Hasil BLAST-N dan BLAST-P sekuen DNA gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	36
4.14	Jarak genetik berdasarkan gen defensin 1 ekson 2, intron 2, dan ekson 3 spesies <i>ingroup</i> dan <i>outgroup</i>	38
4.15	Jarak genetik berdasarkan gen abaecin spesies <i>ingroup</i> dan <i>outgroup</i>	39

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.



DAFTAR GAMBAR

1.1	Ruang lingkup penelitian	3
2.1	Morfologi lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	5
2.2	Perbandingan kasta pekerja, ratu, dan pejantan lebah tanpa sengat	5
2.3	Lapisan imunom pada makhluk hidup	6
2.4	Kelompok utama <i>target site</i> insektisida	8
2.5	Skema dari target utama dan golongan insektisida yang mengganggu sistem saraf serangga	9
2.6	Mekanisme paparan insektisida terhadap lebah di lapangan	10
3.1	Tempat pemeliharaan <i>Tetragonula laeviceps</i>	11
3.2	Skema pengujian respons olfaktori lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> terhadap insektisida	13
3.3	Skema pengujian paparan dermal residu insektisida terhadap lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	14
3.4	Skema pengujian pengaruh paparan oral insektisida terhadap perilaku makan lebah <i>Tetragonula laeviceps</i>	14
4.1	Lama kunjungan (A) dan frekuensi kunjungan (B) lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> terhadap senyawa volatil yang diuji pada pengujian olfaktori menggunakan tabung-Y olfaktometer dengan dua sumber senyawa volatil	19
4.2	Tingkat mortalitas lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> akibat residu insektisida (A) dan paparan oral insektisida (B)	21
4.3	Amplikon gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i>	28
4.4	Amplikon gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	28
4.5	Sekuen DNA gen defensin 1 dan sekuen asam amino gen defensin 1 ekson 2 dan 3 <i>Tetragonula laeviceps</i>	29
4.6	Sekuen DNA dan sekuen asam amino gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i>	34
4.7	Hasil BLAST-N sekuen DNA gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Apis dorsata</i> (NW_006263879.1) dalam bentuk penyejajaran	37
4.8	Hasil BLAST-N sekuen DNA gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Apis mellifera</i> (NC_037643.1) dalam bentuk penyejajaran	37
4.9	Hasil BLAST-P sekuen DNA gen defensin 1 <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Apis mellifera</i> (NP_001011616.2) dalam bentuk penyejajaran	37
4.10	Hasil BLAST-N sekuen DNA gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Apis mellifera</i> (NC_037638.1) dalam bentuk penyejajaran	38
4.11	Hasil BLAST-P sekuen DNA gen abaecin <i>Tetragonula laeviceps</i> dengan <i>Apis mellifera</i> (NP_001011617.1) dalam bentuk penyejajaran	38
4.12	Pohon filogenetik berdasarkan sekuen ekson 2, intron 2, dan ekson 3 gen defensin 1 menggunakan metode <i>Maximum Likelihood</i> model Kimura 3 Parameter	40
4.13	Pohon filogenetik berdasarkan sekuen gen abaecin menggunakan metode <i>Maximum Likelihood</i> model Kimura 3 Parameter	40
4.14	Pohon filogenetik berdasarkan sekuen asam amino putatif gen abaecin menggunakan metode <i>Maximum Likelihood</i> Jones-Taylor-Thornton model	41

DAFTAR LAMPIRAN

1	Jumlah kunjungan lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> pada beberapa perlakuan uji olfaktori	55
2	Durasi kunjungan lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> pada beberapa perlakuan uji olfaktori	56
3	Mortalitas lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> akibat perlakuan insektisida pada pengujian efek residu	57
4	Mortalitas lebah <i>Tetragonula laeviceps</i> akibat perlakuan insektisida karbosulfan pada pengujian paparan oral	58
5	Kromatogram sekuen DNA gen defensin 1 ekson 2, intron 2 dan ekson 3 <i>Tetragonula laeviceps</i> menggunakan primer forward Defensin 1_F	59
6	Kromatogram sekuen DNA gen defensin 1 ekson 2, intron 2 dan ekson 3 <i>Tetragonula laeviceps</i> menggunakan primer forward Defensin 1_R	59
7	Kromatogram sekuen DNA gen abaecin ekson 2 <i>Tetragonula laeviceps</i> menggunakan primer forward Abaecin_F	60
8	Kromatogram sekuen DNA gen abaecin ekson 2 <i>Tetragonula laeviceps</i> menggunakan primer forward Abaecin_R	60