

POTENSI HIDROLISAT PROTEIN BELALANG SAWAH (*Oxya chinensis*) SEBAGAI PRODUK HIPOALERGENIK DAN AGEN ANTIINFLAMASI

SLAMET HADI KUSUMAH



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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 “Potensi Hidrolisat Protein Belalang Sawah (*Oxya chinensis*) sebagai Produk Hipoalergenik dan Agen Antiinflamasi” 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. Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan Grammarly dan ChatGPT (Open AI) untuk membantu penyuntingan bahasa akademik, perbaikan tata bahasa, dan visual pendukung. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggungjawab penuh atas isi disertasi ini.

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

Bogor, Agustus 2026

Slamet Hadi Kusumah
NIM. F2601221002



RINGKASAN

SLAMET HADI KUSUMAH. Potensi Hidrolisat Protein Belalang Sawah (*Oxya chinensis*) sebagai Produk Hipoalergenik dan Agen Antiinflamasi. Dibimbing oleh NURHENI SRI PALUPI, AZIS BOING SITANGGANG, FITRIYA NUR ANNISA DEWI, dan SARASWATI.

Belalang sawah (*Oxya chinensis*) merupakan salah satu sumber protein alternatif yang prospektif dikembangkan sebagai pangan masa depan karena kandungan proteinnya tinggi, profil asam aminonya lengkap, dan ketersediaannya melimpah di berbagai wilayah Indonesia. Namun demikian, pemanfaatannya masih terkendala oleh dua masalah utama, yaitu (i) neofobia terhadap bentuk serangga utuh, dan (ii) adanya risiko alergi akibat kandungan protein alergen. Pengolahan belalang melalui hidrolisis enzimatis dapat menjadi solusi kedua kendala tersebut, yaitu dengan mengolahnya menjadi hidrolisat protein yang berpotensi sebagai pangan olahan intermediet yang bersifat hipoalergenik dan sekaligus memiliki potensi biofungsional.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memperoleh metode isolasi dan hidrolisis protein belalang yang paling efektif melalui *systematic literature review* (SLR); (2) mengevaluasi proses isolasi protein serta menganalisis karakteristik kimia belalang mentah, tepung, dan isolat protein belalang sawah; (3) menganalisis pengaruh hidrolisis enzimatis terhadap alergenitas protein menggunakan serum penderita alergi serta mengidentifikasi protein/peptida alergeniknya; dan (4) mengevaluasi aktivitas antiinflamasi hidrolisat protein belalang secara *in vitro* serta mengidentifikasi senyawa peptida bioaktifnya.

Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahap. Tahap pertama berupa *systematic literature review* (SLR) untuk menetapkan metode isolasi dan kondisi hidrolisis protein serangga yang paling efektif. Tahap kedua adalah isolasi protein dengan variasi pH pengendapan untuk menentukan titik isoelektrik serta karakterisasi kimia belalang mentah, tepung belalang, dan isolat protein belalang. Tahap ketiga yaitu proses hidrolisis enzimatis dengan enzim alkalase 1-5% E/S, kemudian dilakukan analisis alergenitasnya melalui uji ELISA dengan kit krustasea, elektroforesis dengan SDS-PAGE, dan *immunoblotting* menggunakan serum penderita alergi mengonsumsi belalang, serta mengidentifikasi peptida alergenik dengan kromatografi cair-spektrometri massa resolusi tinggi (LC-HRMS). Tahap keempat mengevaluasi aktivitas antiinflamasi hidrolisat protein belalang sawah secara *in vitro* pada sel makrofag RAW 264.7 yang diinduksi lipopolisakarida (LPS), didahului fraksinasi peptida dengan membran ultrafiltrasi dan diakhiri identifikasi peptida bioaktif menggunakan LC-HRMS.

Berdasarkan hasil SLR, isolasi protein serangga paling efektif dilakukan melalui ekstraksi pada kondisi basa yang dilanjutkan dengan presipitasi pada titik isoelektrik, serta didukung proses penghilangan lemak untuk meningkatkan kemurnian protein. Proses hidrolisis paling efektif menggunakan enzim alkalase yang mampu menghasilkan derajat hidrolisis tinggi, sedangkan ultrafiltrasi ditetapkan sebagai metode fraksinasi peptida. Kajian tersebut juga menunjukkan bahwa hidrolisat protein serangga berpotensi memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi. Temuan ini menjadi dasar metodologis bagi pelaksanaan tahap penelitian selanjutnya.

Hasil isolasi protein menunjukkan bahwa isolat protein belalang sawah yang diekstraksi pada pH 10,5 dengan suhu 40°C selama 60 menit memiliki kadar protein 92,78% basis kering (bk), meningkat dari 69,66% bk pada tepung belalang atau setara dengan peningkatan relatif sekitar 33%. Kondisi ekstraksi pada suhu 40°C menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan ekstraksi pada suhu kamar. Titik isoelektrik protein belalang sawah berada pada pH 4,0. Proses isolasi juga memperkaya profil asam amino, terutama kelompok asam amino hidrofobik, rantai cabang, dan bermuatan yang berperan penting dalam nilai gizi dan bioaktivitas.

Proses hidrolisis enzimatis pada isolat protein belalang sawah menggunakan alkalase pada konsentrasi 1–5% E/S menghasilkan derajat hidrolisis 69,83–74,48% yang meningkat seiring naiknya konsentrasi enzim. Hidrolisis enzimatis dengan rasio enzim alkalase 1-5% E/S terbukti efektif menurunkan alergenitas sebesar 98,33-99,19% dari sampel isolat protein. Profil elektroforesis menunjukkan hilangnya pita protein berukuran sedang hingga besar pada hidrolisat, termasuk degradasi pita pada kisaran bobot molekul tropomiosin. Hasil analisis *immunoblotting* menunjukkan bahwa serum penderita alergi reaktif terhadap belalang mentah dan tepung belalang, tetapi kehilangan reaktivitas sepenuhnya terhadap seluruh sampel hidrolisat. Temuan ini menegaskan bahwa hidrolisis enzimatis merupakan langkah kunci untuk menghasilkan produk yang hipoalergenik. Analisis LC-HRMS dan bioinformatika telah mengidentifikasi empat kandidat peptida alergenik dari protein belalang sawah berbobot molekul 14-17 kDa.

Hidrolisat protein belalang sawah juga menunjukkan potensi sebagai agen antiinflamasi. Fraksinasi menghasilkan tiga fraksi berdasarkan ukuran molekul, dan rentang konsentrasi 12,5–50 µg/mL terbukti aman terhadap sel. Ketiga fraksi menurunkan produksi oksida nitrat secara bergantung dosis. Pada model pra-inkubasi dengan fraksi berukuran kecil (< 3 kDa) menunjukkan penghambatan oksida nitrat (NO) tertinggi yaitu 70,52% yang merepresentasikan skenario konsumsi preventif. Pada model ko-inkubasi menunjukkan penghambatan NO tertinggi sebesar 40,96% pada fraksi 3-10 kDa. Analisis LC-HRMS terhadap fraksi tersebut mengidentifikasi empat kandidat sekuens peptida yang diprediksi bersifat antiinflamasi.

Kebaruan yang dihasilkan dari penelitian ini adalah: (1) diperolehnya hidrolisat protein belalang sawah yang berpotensi dikembangkan sebagai pangan hipoalergenik yang dibuktikan dengan adanya penurunan imunoreaktivitas, (2) teridentifikasi empat kandidat peptida yang berasal dari protein alergen belalang sawah; (3) hidrolisat protein belalang sawah memiliki aktivitas antiinflamasi *in vitro* yang dibuktikan dengan adanya kemampuan penghambatan oksida nitrat (NO) pada sel makrofag RAW 264.7 dengan model ko-inkubasi dan pra-inkubasi; dan (4) teridentifikasi empat kandidat peptida bioaktif antiinflamasi pada hidrolisat protein belalang sawah. Hasil ini menunjukkan bahwa hidrolisis enzimatis berperan ganda, yaitu menurunkan pengenalan epitop oleh IgE sekaligus melepaskan peptida bioaktif dari struktur protein induknya. Secara praktis, hidrolisat protein belalang sawah berpotensi dikembangkan sebagai bahan pangan hipoalergenik dan agen antiinflamasi, sehingga mendukung pemanfaatan belalang sebagai sumber protein alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci: antiinflamasi, *Oxya chinensis*, hidrolisis enzimatis, imunoreaktivitas, peptida bioaktif



SUMMARY

SLAMET HADI KUSUMAH. *The Potential of Rice Field Grasshopper (Oxya chinensis) Protein Hydrolysate as a Hypoallergenic Product and Anti-Inflammatory Agent. Supervised by NURHENI SRI PALUPI, AZIS BOING SITANGGANG, FITRIYA NUR ANNISA DEWI, and SARASWATI.*

The rice field grasshopper (Oxya chinensis) is a promising alternative protein source for future food production due to its high protein content, complete amino acid profile, and abundant availability across various regions of Indonesia. However, their utilization is still hampered by two main issues: (i) neophobia toward whole insects, and (ii) the risk of allergies due to the presence of allergenic proteins. Processing grasshoppers through enzymatic hydrolysis can address both of these challenges by converting them into protein hydrolysates that have the potential to serve as hypoallergenic intermediate food products with biofunctional properties.

This study aimed to identify the most effective methods for grasshopper protein isolation and enzymatic hydrolysis through a systematic literature review (SLR); to evaluate the protein isolation process and analyze the chemical characteristics of raw grasshoppers, grasshopper flour, and protein isolate from the rice grasshopper; to investigate the effect of enzymatic hydrolysis on protein immunoreactivity using sera from allergic patients and to identify the allergenic proteins/peptides; and to evaluate the in vitro anti-inflammatory activity of grasshopper protein hydrolysates and identify their bioactive peptide compounds.

The study was conducted in four stages. The first stage involved a systematic literature review (SLR) to determine the most effective methods for isolating and hydrolyzing insect proteins. The second stage involved protein isolation using varying precipitation pH levels to determine the isoelectric point, as well as the chemical characterization of raw grasshoppers, grasshopper meal, and grasshopper protein isolates. The third stage involved enzymatic hydrolysis using 1–5% E/S alkalase, followed by analysis of allergenicity via ELISA using a crustacean test kit, SDS-PAGE electrophoresis, and immunoblotting using serum from patients allergic to grasshoppers, as well as the identification of allergenic peptides using LC-HRMS. The fourth stage evaluates the in vitro anti-inflammatory activity of the hydrolysate on lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 macrophages, preceded by peptide fractionation using an ultrafiltration membrane and followed by the identification of bioactive peptides using LC-HRMS.

Based on the SLR results, insect protein isolation was most effectively performed through extraction under alkaline conditions followed by precipitation at the isoelectric point, supported by a defatting process to enhance protein purity. The hydrolysis process was most effective using alkalase enzyme, which is capable of producing a high degree of hydrolysis, whereas ultrafiltration was established as the peptide fractionation method. The review also indicated that insect protein hydrolysates potentially possess antioxidant and anti-inflammatory activities. These findings served as the methodological basis for the implementation of the subsequent research stages.

The protein isolation results showed that the rice field grasshopper protein isolate, extracted at pH 10.5 and 40°C for 60 minutes, had a protein content of

92.78% (db), up from 69.66% db in grasshopper flour—equivalent to a relative increase of approximately 33%. Extraction at 40°C yielded a higher protein yield compared to extraction at room temperature. The isoelectric point of the rice-field grasshopper protein was at pH 4.0. The isolation process also enriched the amino acid profile, particularly the hydrophobic, branched-chain, and charged amino acid groups that play important roles in nutritional value and bioactivity.

Enzymatic hydrolysis of rice field grasshopper protein isolates using alkalase at concentrations of 1–5% (w/v) resulted in a degree of hydrolysis of 69.83–74.48%, which increased as the enzyme concentration rose. Enzymatic hydrolysis with an alkalase enzyme ratio of 1-5% E/S has been proven to be effective in reducing allergenicity by 98.33-99.19% of protein isolate samples. The electrophoresis profile showed the disappearance of medium- to large-sized protein bands in the hydrolysate, including degradation of the band within the molecular-weight range of tropomyosin. Immunoblotting analysis showed that the sera of allergy sufferers reacted with raw grasshopper and grasshopper flour but completely lost their reactivity toward all hydrolysate samples. These findings confirm that enzymatic hydrolysis, and not merely flouring, is the key step in producing a hypoallergenic grasshopper-based product. LC-HRMS analysis combined with bioinformatics identified four candidate allergenic peptides in the rice-field grasshopper.

Hydrolysates of rice field grasshopper protein also show potential as anti-inflammatory agents. Fractionation yielded three fractions based on molecular weight, and a concentration range of 12.5–50 µg/mL was found to be safe for cells. All three fractions reduced nitric oxide production in a dose-dependent manner. In the pre-incubation model with the small-molecule-weight fraction (< 3 kDa), the highest inhibition of nitric oxide (NO) was observed at 70.52%, representing a preventive consumption scenario. In the co-incubation model, the highest NO inhibition of 40.96% was observed in the 3–10 kDa fraction. LC-HRMS analysis of this fraction identified four candidate peptide sequences predicted to have anti-inflammatory properties.

The novel findings of this study are: (1) the production of a rice field grasshopper protein hydrolysate with potential for development as a hypoallergenic food, as evidenced by a reduction in immunoreactivity; (2) the identification of four peptide candidates derived from rice field grasshopper allergenic proteins; (3) the rice field grasshopper protein hydrolysate exhibits in vitro anti-inflammatory activity, as evidenced by its ability to inhibit nitric oxide (NO) in RAW 264.7 macrophages using co-incubation and pre-incubation models; and (4) the identification of four candidate bioactive anti-inflammatory peptides in the rice field grasshopper protein hydrolysate. These results indicate that enzymatic hydrolysis plays a dual role: it reduces epitope recognition by IgE while simultaneously releasing bioactive peptides from the parent protein structure. In practical terms, rice field grasshopper protein hydrolysate has the potential to be developed as a hypoallergenic food ingredient and an anti-inflammatory agent, thereby supporting the use of grasshoppers as a sustainable alternative protein source.

Keywords: anti-inflammatory activity, bioactive peptides, enzymatic hydrolysis, immunoreactivity, *Oxya chinensis*



@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.



@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.

POTENSI HIDROLISAT PROTEIN BELALANG SAWAH (*Oxya chinensis*) SEBAGAI PRODUK HIPOALERGENIK DAN AGEN ANTIINFLAMASI

SLAMET HADI KUSUMAH

Penelitian Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Pangan

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU PANGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si.
- 2 Dr. Hendra Wijaya, S.Si., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si.
- 2 Dr. Hendra Wijaya, S.Si., M.Si.



Judul Disertasi : Potensi Hidrolisat Protein Belalang Sawah (*Oxya chinensis*)
sebagai Produk Hipoalergenik dan Agen Antiinflamasi

Nama : Slamet Hadi Kusumah
NIM : F2601221002

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Nurheni Sri Palupi, M.Si.



Pembimbing 2:
Prof. Dr.-Ing. Azis Boing Sitanggang, S.T.P., M.Sc.



Pembimbing 3:
drh. Fitriya Nur Annisa Dewi, Ph.D.



Pembimbing 4:
Dr. Saraswati, S.Pi.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si.
NIP 19741003 200003 2 001

Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP 19610502 198603 1 002

Tanggal Ujian:
Ujian Tertutup: 28 Juli 2026
Ujian Terbuka: 6 Agustus 2026

Tanggal Pengesahan: 11 Agustus 2026

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini berjudul “Potensi Hidrolisat Protein Belalang Sawah (*Oxya chinensis*) sebagai Produk Hipoalergenik dan Agen Antiinflamasi” yang dilaksanakan sejak bulan Juli 2024 sampai bulan Juni 2026. Dalam penyusunan disertasi ini penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pembimbing, yaitu Prof. Dr. Ir. Nurheni Sri Palupi, M.Si.; Prof. Dr.-Ing. Azis Boing Sitanggang, S.T.P., M.Sc.; drh. Fitriya Nur Annisa Dewi, Ph.D.; dan Dr. Saraswati, S.Pi. yang telah meluangkan waktu, serta memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian disertasi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada penguji luar komisi pembimbing yaitu Prof. Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si. dan Dr. Hendra Wijaya, S.Si., M.Si. yang telah memberikan saran dan masukan dalam disertasi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si. selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pangan (PS IPN), dan Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi (FTT) IPB yang telah memfasilitasi penulis selama proses pendidikan doktor di PS IPN. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Taufik, S.T.P., M.Si. selaku pimpinan sidang dan Dr. Diah Chandra Aryani, S.T.P., M.Sc. selaku perwakilan program studi saat sidang tertutup dan promosi doktor yang telah memberikan masukan dalam disertasi ini. Penghargaan yang tinggi penulis sampaikan kepada Dr. Nurul Iman Hima Amrullah, S.Ag., M.Si. selaku Rektor Universitas Islam Al-Ihya Kuningan yang telah memberikan izin tugas belajar. Terima kasih kepada Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) Kemendikstisaintek beserta PPAPT dan LPDP, yang telah memberikan dukungan pembiayaan program doktor secara penuh kepada penulis.

Penghargaan setinggi-tingginya juga disampaikan kepada Dr. Silmy Maria dan Ibu Iin Indriawati, M.Si. yang telah membantu penelitian di PSSP IPB. Dr. Didik, Mba Diyah dan Mas Mutaqin yang telah membantu penelitian di Laboratorium Proteomik BRMP Verteriner Bogor. Para responden yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini. Para laboran LDITP yang telah memberikan bantuannya. Rekan-rekan mahasiswa IPN angkatan 2022 (Mas Nanda, Kang Rifqi, Pak Agung, Mas Faqih, Pak Maman, Pak Donald, Mba Sukma, Mba Ola, Mba Ita, Bu Ida, Mba Deyvie, Mba Wiwin, Kak Fitri, Mba Elmi, Teh Neny, Bu Cici, Bu Rini, Mba Widya) terima kasih atas kebersamaan dan dukungannya. Rekan sebangkian yaitu Dr. Rizki Maryam, Mas Nanda, Mba Nina, Mba Zahra, dan Mas Abib yang telah banyak memberikan masukan dan bantuannya. Keluarga tercinta yang telah memberikan banyak dukungan baik secara materi dan doa yang tiada henti kepada penulis (Bapak Drs. Hadi Supi'i, B.Sc. (Alm.) dan ibu Hj. Juhati Tresnaningsih, istri Ria Arisma Dewi, ananda Hamzah dan Haaziq, serta saudara-saudara). Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan disertasi ini masih terdapat kekurangan, karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi sempurnanya disertasi ini. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026
Slamet Hadi Kusumah

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	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	4
1.7 Hipotesis	5
1.8 Kerangka Penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Belalang Sawah	8
2.2 Hidrolisis Protein Enzimatis	10
2.3 Alergi Pangan	12
2.4 Inflamasi	17
III STUDI METODE ISOLASI DAN HIDROLISIS PROTEIN SERANGGA ORDO ORTHOPTERA MELALUI <i>SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW</i> (SLR)	21
3.1 Abstrak	21
3.2 Pendahuluan	21
3.3 Metode	23
3.4 Hasil dan Pembahasan	27
3.5 Simpulan	39
IV ISOLASI DAN KARAKTERISASI PROTEIN BELALANG SAWAH	40
4.1 Abstrak	40
4.2 Pendahuluan	40
4.3 Metode	41
4.4 Hasil dan Pembahasan	44
4.5 Simpulan	51
V HIDROLISIS ENZIMATIS, ANALISIS IMUNOREAKTIVITAS, DAN IDENTIFIKASI PROTEIN/PEPTIDA ALERGENIK PADA BELALANG SAWAH	52
5.1 Abstrak	52
5.2 Pendahuluan	52
5.3 Metode	54
5.4 Hasil dan Pembahasan	57
5.5 Simpulan	65
VI IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI PEPTIDA BIOAKTIF HIDROLISAT PROTEIN BELALANG SAWAH SEBAGAI AGEN ANTIINFLAMASI	66
6.1 Abstrak	66



6.2	Pendahuluan	66
6.3	Metode	68
6.4	Hasil dan Pembahasan	71
6.5	Simpulan	79

VII PEMBAHASAN UMUM	81
---------------------	----

VIII KESIMPULAN DAN SARAN	89
---------------------------	----

8.1	Kesimpulan	89
8.2	Saran	89

DAFTAR PUSTAKA	90
----------------	----

LAMPIRAN	103
----------	-----

RIWAYAT HIDUP	128
---------------	-----



DAFTAR TABEL

1	Kandungan gizi belalang sawah	9
2	Beberapa penelitian tentang protein alergen ordo Orthoptera	16
3	Perumusan pertanyaan dengan PICO	23
4	Kriteria inklusi dan kriteria eksklusi	24
5	Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran literatur	25
6	Berbagai kondisi proses isolasi protein serangga	29
7	Berbagai jenis serangga Orthoptera dan preparasi sampel untuk proses hidrolisis	32
8	Derajat hidrolisis hidrolisat protein serangga ordo Orthoptera	34
9	Aktivitas antioksidan hidrolisat protein serangga Orthoptera	36
10	Aktivitas antiinflamasi hidrolisat protein belalang	38
11	Karakterisasi peptida berbasis MS terhadap hidrolisat protein serangga ordo Orthoptera	39
12	Analisis proksimat belalang mentah	44
13	Kadar air, kadar lemak, dan kadar protein tepung belalang	45
14	Kadar air dan kadar protein IPBS	48
15	<i>Protein extraction yield (%)</i> pada IPBS dengan 4 kali ekstraksi	48
16	Kadar protein dan derajat hidrolisis protein belalang sawah	58
17	Hasil analisis <i>immunoblotting</i>	61
18	Hasil analisis identifikasi fragmen peptida belalang sawah dari pita protein berbobot molekul 14-17 kDa	64
19	Hasil analisis identifikasi peptida bioaktif dari sampel F3	78

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka penelitian	7
2	Bagian-bagian tubuh belalang sawah	9
3	Mekanisme hidrolisis protein endo- dan eksoprotease	12
4	Mekansime reaksi hipersensitivitas tipe I	14
5	Pedoman PRISMA pada a) studi isolasi protein serangga, dan b) studi hidrolisis protein serangga ordo Orthoptera	26
6	Metode hidrolisis protein belalang secara enzimatis	33
7	Kadar protein terlarut ekstrak protein belalang sawah pada berbagai pH (10, 1,5, dan 11) dan suhu ekstraksi (RT = <i>room temperature</i> = 25-27°C; LH = <i>low heat</i> = 40°C)	46
8	Kadar protein terlarut supernatan protein belalang sawah pada berbagai tingkat pH presipitasi: a) pH 1-6 dan b) pH 3-5 yang diekstraksi pada suhu RT (<i>room temperature</i> = 25-27°C) dan LH (<i>low heat</i> = 40°C)	47
9	Kandungan asam amino pada tepung dan isolat protein belalang sawah (g/100g protein)	50
10	Kadar alergen dan penurunan imunoreaktivitas pada (a) belalang sawah mentah (BSM) dengan tepung belalang sawah (TBS), dan (b) isolat	

11	protein belalang sawah (IPBS) dengan hidrolisat protein belalang sawah dengan rasio enzim alkalase 1-5% E/S protein (HPBS1-5)	59
12	Profil elektroforesis pada belalang sawah mentah (BSM), tepung belalang sawah (TBS), isolat protein belalang sawah (IPBS), dan hidrolisat protein belalang sawah dengan konsentrasi enzim alkalase 1-5% E/S protein (HPBS1-5)	60
13	Hasil analisis <i>immunoblotting</i> pada sampel a) belalang sawah mentah (BSM); b) tepung protein belalang sawah (TBS); c) hidrolisat protein belalang sawah (HPBS1-5) menggunakan serum penderita alergi konsumsi belalang/serangga/udang; dan d) menggunakan serum yang tidak alergi (kontrol negatif)	62
14	Hasil uji kapasitas antioksidan metode ABTS ($\mu\text{mol TEAC/g protein}$) hidrolisat protein belalang sawah dengan konsentrasi enzim alkalase 1-5% E/S protein (HPBS1-5) pada fraksi tiga fraksi berbeda	72
15	Hasil uji kapasitas antioksidan metode FRAP ($\mu\text{mol TEAC/g protein}$) hidrolisat protein belalang sawah dengan konsentrasi enzim alkalase 1-5% E/S protein (HPBS1-5) pada fraksi tiga fraksi berbeda	73
16	Viabilitas sel RAW 264.7 setelah inkubasi dengan hidrolisat protein belalang sawah pada konsentrasi protein 12,5-200 $\mu\text{g/mL}$	74
17	Pengaruh hidrolisat protein belalang sawah terhadap kadar NO yang diinduksi LPS (1 $\mu\text{g/mL}$) pada sel RAW264.7 dengan model a) ko-inkubasi dan b) pra-inkubasi	75
18	Pengaruh hidrolisat protein belalang sawah terhadap tingkat penghambatan NO yang diinduksi LPS (1 $\mu\text{g/mL}$) pada sel RAW264.7 dengan model a) ko-inkubasi dan b) pra-inkubasi	77
19	Gambaran umum hasil penelitian	82

DAFTAR LAMPIRAN

1	Distribusi hasil pencarian artikel berdasarkan kata kunci	104
2	Data artikel terpilih hasil penyaringan yang digunakan untuk dipelajari	107
3	Hasil uji identifikasi/determinasi spesies belalang	111
4	Kromatogram dan tabel puncak pada analisis asam amino	115
5	Surat keterangan lolos kaji etik penelitian	117
6	Data responden penelitian	118
7	Laporan hasil analisis LC-HRMS, profil master protein, dan kromatogram pada sampel gel SDSPAGE belalang mentah berbobot molekul 14-17 kDa	119
8	Foto sel dalam pengujian antiinflamasi	123
9	Laporan hasil analisis LC-HRMS dan kromatogram sampel hidrolisat protein belalang sawah dengan fraksi <3 kDa	126



@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.