



PERUBAHAN ALERGENISITAS PROTEIN KEDELAI LOKAL DALAM PENGOLAHAN TEMPE DAN PENCERNAAN *IN VITRO*

NANDA TRIANDITA



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



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Perubahan Alergenisitas Protein Kedelai Lokal dalam Pengolahan Tempe dan Pencernaan *In Vitro*” 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 (OpenAI) untuk membantu penyuntingan bahasa akademik, perbaikan tata bahasa, dan visual pendukung. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi publikasi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Nanda Triandita
F2601221003



RINGKASAN

NANDA TRIANDITA. Perubahan Alergenisitas Protein Kedelai Lokal dalam Pengolahan Tempe dan Pencernaan *In Vitro*. Dibimbing oleh NURHENI SRI PALUPI, ENDANG PRANGDIMURTI, NANCY DEWI YULIANA dan HENDRA WIJAYA.

Alergi merupakan salah satu masalah kesehatan global. Seiring dengan meningkatnya prevalensi alergi pangan, kedelai telah diakui sebagai salah satu dari sembilan alergen utama di dunia karena mengandung protein imunoreaktif, terutama Gly m 5 (β -konglisinin) dan Gly m 6 (glisinin). Meskipun kedelai merupakan salah satu sumber protein nabati utama di Indonesia, kandungan protein alergen yang dimilikinya membatasi pemanfaatannya sebagai pangan bagi individu yang sensitif terhadap protein kedelai. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan landasan ilmiah yang mendalam mengenai bagaimana proses pengolahan tempe dapat memodifikasi struktur protein kedelai dan signifikan menurunkan tingkat alergenisitasnya melalui pendekatan yang terintegrasi antara bibliometrik dan meta-analisis, eksperimen laboratorium, pemodelan *in silico* dan pencernaan *in vitro*, dan analisis peptida alergenik dengan LC-HRMS. Metodologi penelitian dilakukan dalam empat tahap penelitian. Tahap pertama adalah studi bibliometrik dan meta-analisis terhadap 111 artikel riset global untuk memetakan teknologi pengolahan yang efektif dalam menurunkan kapasitas pengikatan IgE. Pada tahap kedua, analisis perubahan profil protein pada varietas kedelai lokal (Grobogan dan Anjasmoro) dalam tahap pengolahan tempe (kedelai mentah, kedelai rebus, tempe mentah, dan tempe goreng) menggunakan SDS-PAGE, *immunoblotting* dengan serum pasien alergi, serta imunoreaktivitas protein dengan ELISA. Selanjutnya, penelitian tahap ketiga adalah integrasi pemodelan *in silico* (*PeptideCutter*) untuk memprediksi posisi pemotongan enzim pencernaan, yang kemudian diverifikasi melalui simulasi pencernaan *in vitro* (fase lambung dan usus halus). Penelitian tahap keempat adalah identifikasi peptida alergenik menggunakan LC-HRMS.

Tahap pertama penelitian ini diawali dengan studi bibliometrik dan meta-analisis terhadap 111 artikel riset global periode 2000–2023 untuk memetakan tren riset dan efektivitas berbagai teknologi pengolahan dalam mereduksi alergen kedelai. Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa riset alergenitas kedelai telah memasuki fase akselerasi sejak tahun 2017, dengan Tiongkok sebagai kontributor terbesar dunia. Melalui pendekatan meta-analisis dengan model efek acak, ditemukan bukti kuantitatif bahwa teknologi pengolahan secara signifikan mampu menurunkan alergenitas kedelai dengan nilai *standardized mean difference* (SMD) gabungan sebesar -11,507. Hasil penelitian ini mengidentifikasi bahwa ekstrusi, *pulsed ultraviolet* (PUV), dan kombinasi fermentasi dan hidrolisat metode yang paling efektif dalam merusak epitop alergenik dibandingkan dengan metode lainnya.

Tahap kedua penelitian berfokus pada karakterisasi perubahan alergen pada dua varietas kedelai lokal Indonesia, yaitu Grobogan dan Anjasmoro, pada setiap tahapan pengolahan, meliputi kedelai mentah, rebus, fermentasi, dan goreng. Karakterisasi tersebut dilakukan menggunakan analisis SDS-PAGE, *immunoblotting* dengan serum pasien alergi kedelai, serta kuantifikasi

imunoreaktivitas protein kedelai menggunakan ELISA. Hasil analisis menunjukkan bahwa tahap perebusan menyebabkan denaturasi dan agregasi protein yang ditandai dengan hilangnya pita protein berbobot molekul tinggi (>43 kDa). Perubahan yang lebih nyata terjadi pada tahap fermentasi oleh *Rhizopus oligosporus*, ketika aktivitas proteolitik enzim protease ekstraseluler memicu degradasi protein berukuran besar menjadi peptida berbobot molekul rendah (<15 kDa). Analisis ELISA secara kuantitatif menunjukkan penurunan imunoreaktivitas yang signifikan, yaitu sebesar 96,86% pada varietas Grobogan dan 99,89% pada varietas Anjasmoro. Hasil immunoblotting turut mengonfirmasi penurunan jumlah pita pengikat IgE, dari 11–12 pita pada kedelai mentah menjadi hanya 2–3 pita pada tempe goreng.

Tahap ketiga penelitian ini adalah integrasi prediksi *in silico* dan simulasi pencernaan *in vitro* untuk memahami nasib alergen saat dikonsumsi manusia. Pemodelan komputer menggunakan platform *PeptideCutter* memprediksi bahwa enzim pepsin di lambung dengan jumlah posisi pemotongan mencapai 90–94 posisi, jauh lebih banyak dibandingkan enzim tripsin dan kimotripsin yang memiliki 15–16 posisi pemotongan. Verifikasi laboratorium melalui simulasi pencernaan lambung dan usus halus menunjukkan bahwa terdapat fraksi protein stabil (41–57 kDa) yang bertahan dari pencernaan. Pengolahan kedelai menjadi tempe diikuti proses pencernaan berhasil mengurangi total kapasitas pengikatan IgE pada semua perlakuan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur protein yang tersisa setelah proses pencernaan tidak lagi mampu dikenali oleh antibodi IgE penderita alergi, sehingga mengindikasikan bahwa fermentasi yang diikuti oleh proses pencernaan memberikan kontribusi signifikan terhadap penurunan potensi alergenitas kedelai.

Pada tahap keempat dilakukan identifikasi protein dan peptida spesifik menggunakan pendekatan proteomik berbasis *Liquid Chromatography-High Resolution Mass Spectrometry* (LC-HRMS) pada kedelai varietas Grobogan. Analisis proteomik mengidentifikasi 43 peptida. Berdasarkan 43 peptida yang teridentifikasi, dua peptida pada sampel tempe goreng dikategorikan sebagai peptida berisiko tinggi karena memiliki karakteristik hidrofobisitas dan stabilitas termal yang tinggi. Salah satu peptida, LAFLFLLSTLLSSYLCCRHN, teridentifikasi sebagai kandidat berisiko tertinggi yang diduga resisten terhadap degradasi proteolitik. Konfirmasi molekuler menunjukkan bahwa protein penyimpan utama kedelai yang bersifat alergenik (Gly m 5, Gly m 6, dan Gly m TI) tidak terdeteksi setelah proses fermentasi menjadi tempe. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kedelai lokal dalam pengolahan tempe berpotensi sebagai alternatif protein yang aman bagi individu sensitif terhadap alergi kedelai. Mekanisme denaturasi panas, proteolisis oleh kapang *Rhizopus oligosporus*, dan pencernaan manusia secara efektif menghancurkan epitop alergenik kedelai. Kedelai varietas Grobogan dan Anjasmoro berpotensi digunakan sebagai bahan baku utama tempe hipoalergenik. Penelitian ini masih berbasis pada metode *in vitro* dan *in silico*, sehingga memerlukan validasi klinis lanjutan melalui uji *Skin Prick Test* dan *Oral Food Challenge* untuk memastikan keamanan pada penderita alergi sebelum klaim sebagai pangan hipoalergenik dapat diberikan.

Kata kunci: Alergen, Imunoreaktivitas, *In silico*, Kedelai, Tempe



SUMMARY

NANDA TRIANDITA. Changes in Local Soybean Protein Allergenicity in Tempeh Processing and *In Vitro Digestion*. Supervised by NURHENI SRI PALUPI, ENDANG PRANGDIMURTI, NANCY DEWI YULIANA, and HENDRA WIJAYA.

Allergies are a global health problem. The increasing prevalence of food allergies has identified soy as one of the nine major allergens worldwide, as it contains immunoreactive proteins such as Gly m 5 (β -conglycinin) and Gly m 6 (glycinin). Although soybeans are a crucial source of plant-based protein in Indonesia, the presence of this allergen limits their consumption for sensitive individuals. This study aims to provide a deep scientific basis for how tempeh processing can modify soybean protein structure and significantly reduce allergenicity through an integrated approach combining bibliometrics and meta-analysis, laboratory experiments, *in silico modeling*, *in vitro* digestion, and analysis of allergenic peptides with LC-HRMS. The research methodology was carried out in four stages. The first stage was a bibliometric study and meta-analysis of 111 global research articles to map effective processing technologies in reducing IgE binding capacity. In the second stage, changes in protein profiles of local soybean varieties (Grobogan and Anjasmoro) were analyzed during tempeh processing (raw soybeans, boiled soybeans, raw tempeh, and fried tempeh) using SDS-PAGE, *immunoblotting* with patients' allergy sera, and ELISA quantification. Furthermore, the third stage integrated *in silico modeling* (*PeptideCutter*) to predict the cutting position of digestive enzymes, which was then verified through *in vitro digestion* simulations (gastric and small intestine phases). The fourth stage identified allergenic peptides using LC-HRMS.

The first phase of this research began with a bibliometric study and meta-analysis of 111 global research articles published between 2000 and 2023 to map research trends and assess the effectiveness of various processing technologies in reducing soy allergens. The bibliometric analysis showed that research on soybean allergenicity has accelerated since 2017, with China as the world's largest contributor. Using a random-effects meta-analysis, the study found that processing technologies significantly reduced soybean allergenicity, with a *combined standardized mean difference* (SMD) of -11,507. The study also found that the combination of fermentation and enzymatic hydrolysis is among the most effective methods for destroying allergenic epitopes. Other technologies, such as extrusion and *pulsed ultraviolet* (PUV), also show strong downward potential.

The second stage, research was conducted to characterize allergen changes in two local Indonesian soybean varieties, namely Grobogan and Anjasmoro, at each processing stage: raw, boiled, fermented, and fried. The analysis used SDS-PAGE, *immunoblotting* with serum from allergy patients, and ELISA quantification. Boiling led to protein denaturation and aggregation, as evidenced by the loss of high-molecular-weight bands (>43 kDa). Drastic changes occurred during fermentation by the *mold Rhizopus oligosporus*; the proteolytic activity of extracellular proteases triggered the breakdown of large proteins into low-weight peptides below 15 kDa. Quantitatively, ELISA analysis showed a significant

decrease in immunoreactivity, namely 96.86% in the Grobogan variety and 99.89% in the Anjasmoro variety. The *immunoblotting* results confirmed a reduction in the number of IgE-binding bands, from 11–12 in raw soybeans to 2–3 in fried tempeh. The third stage of this research is the integration of *in silico prediction and in vitro digestion simulations* to understand the fate of allergens when consumed by humans. Computer modeling using the *PeptideCutter* platform predicted that the pepsin enzyme in the stomach had 90–94 cutting positions, far more than the trypsin and chymotrypsin enzymes, which had 15–16 cutting positions. Laboratory verification via gastric and small-intestinal digestion simulations showed that a stable protein fraction (41–57 kDa) was retained. The processing of soybeans into tempeh, followed by digestion, successfully reduced total IgE binding capacity in all treatments. These results suggest that the protein remaining after digestion is no longer recognized by IgE antibodies from allergy sufferers, indicating that fermentation followed by digestion significantly reduces soybean allergenicity.

The fourth stage, specific proteins and peptides were identified using a proteomics approach based on *Liquid Chromatography-High-Resolution Mass Spectrometry* (LC-HRMS) in Grobogan soybeans. Proteomics analysis identified 43 peptides. Peptide identification identified two "high risk" peptides in samples of fried tempeh because they exhibit high hydrophobicity and thermal stability. One of the peptides, LAFLFLSTLLLSSYLCCRHNR, was identified as a high-risk candidate suspected to be proteolytically resistant. Molecular confirmation showed that the main soybean allergenic storage proteins (Gly m 5, Gly m 6, and Gly m TI) were not detected in tempeh after fermentation. The results of this study conclude that local soybeans in tempeh processing have the potential to be a safe protein alternative for individuals sensitive to soy allergies. The mechanisms of heat denaturation, proteolysis by *the mold Rhizopus oligosporus*, and human digestion effectively destroy the soybean allergenic epitope. Grobogan and Anjasmoro soybeans have the potential to be used as the main raw material for hypoallergenic tempeh. This research is still based on *in vitro* and *in silico methods*, with advanced clinical validation through the *Skin Prick Test* and the *Oral Food Challenge* to ensure safety for allergy sufferers before hypoallergenic food claims.

Keywords: Allergen, Immunoreactivity, In silico, Soybean, Tempeh





@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Perpustakaan IPB University



@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.

PERUBAHAN ALERGENISITAS PROTEIN KEDELAI LOKAL DALAM PENGOLAHAN TEMPE DAN PENCERNAAN *IN VITRO*

NANDA TRIANDITA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Doktor 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 Dr. Saraswati, S.Pi.
- 2 Dr. Rizki Maryam Astuti, S.Si., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Saraswati, S.Pi.
- 2 Dr. Rizki Maryam Astuti, S.Si., M.Si.



Judul Disertasi: Perubahan Alergenisitas Protein Kedelai Lokal dalam Pengolahan
Tempe dan Pencernaan *In Vitro*

Nama : Nanda Triandita
NIM : F2601221003

Disetujui oleh

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



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc.



Pembimbing 4:
Dr. Hendra Wijaya, S.Si., M.Si.



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: 18 Juni 2026
Ujian Terbuka: 14 Juli 2026

Tanggal Pengesahan: 17 Juli 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga disertasi ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini berjudul “Perubahan Alergenisitas Protein Kedelai Lokal dalam Pengolahan Tempe dan Pencernaan *In Vitro*”. Penulis dengan rasa syukur dan bangga mempersembahkan karya ini kepada istri tercinta, anak, dan kedua orang tua penulis. Penyusunan disertasi ini merupakan perjalanan panjang yang tidak hanya memperkaya wawasan keilmuan penulis, tetapi juga memberikan pelajaran berharga tentang ketekunan, kesabaran, integritas ilmiah, serta pentingnya kolaborasi dalam menghasilkan karya ilmiah yang bermanfaat. Berbagai tantangan selama proses penelitian menjadi sarana pembelajaran untuk terus berkembang dan berkontribusi dalam pengembangan ilmu pangan.

Dalam penyelesaian disertasi ini, penulis memperoleh dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Nurheni Sri Palupi, M.Si., Prof. Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si., Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc., dan Dr. Hendra Wijaya, S.Si., M.Si., selaku komisi pembimbing, atas bimbingan, arahan, motivasi, kesabaran, serta berbagai masukan ilmiah yang berharga selama proses penelitian dan penyusunan disertasi ini.
2. Dr. Nur Wulandari, S.T.P., M.Si., selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pangan, atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan doctoral.
3. Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr., selaku Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi, atas dukungan dan kesempatan yang diberikan selama proses studi.
4. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP), Pusat Pembiayaan dan Asesmen Pendidikan Tinggi (PPAPT), dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, atas dukungan pendanaan melalui Program Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) dan Hibah Penelitian Disertasi Doktor yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan pendidikan doctoral dan penelitian disertasi.
5. Papa Burnaidi dan Mama Sapta Weti, atas kasih sayang, doa, dukungan moral, serta pengorbanan yang tidak ternilai sepanjang perjalanan pendidikan penulis.
6. Istri tercinta, Khairul Bariyah, yang dengan penuh kesabaran, pengertian, dan kasih sayang selalu mendampingi setiap proses perjuangan penulis. Terima kasih atas doa, dukungan, serta pengorbanan yang menjadi sumber kekuatan dalam menyelesaikan studi ini.
7. Putri tercinta, Naisyaturrahma Khadeejah Azzahra Aryan, yang kehadirannya menjadi inspirasi, semangat, dan pengingat bagi penulis untuk terus berjuang memberikan yang terbaik.
8. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Doktor Ilmu Pangan serta Fakultas Teknik dan Teknologi IPB University, atas ilmu, bantuan administrasi, pelayanan akademik, serta dukungan yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan doctoral.

9. Sivitas akademika Universitas Teuku Umar, khususnya pimpinan universitas, fakultas, program studi, serta rekan-rekan dosen dan tenaga kependidikan yang telah memberikan dukungan, motivasi, kesempatan, dan berbagai kemudahan sehingga penulis dapat melanjutkan dan menyelesaikan studi doktoral ini.
10. Teman-teman Angkatan 2022 Program Studi Doktor Ilmu Pangan Mba Ita, Mba Sukma, Mas Rifqi, Kang Slamet, Mas Fakih, Mba Cici, Mba Wiwin, Mba Elmi, Mba Deyvie, Kak Fitri, Teh Neny, Mba Ola, Bang Donald, Pak Agung, Pak Maman, Bu Ida, Bu Rini dan Bu Widya yang telah berbagi pengalaman, pengetahuan, suka dan duka selama proses perkuliahan, penelitian, seminar, hingga penyelesaian disertasi. Kebersamaan dan persahabatan yang terjalin menjadi kenangan berharga dalam perjalanan akademik ini.
11. Rekan-rekan di laboratorium penelitian (Mba Nina, Mba Zahra, Abib, Mba Sukma, Kang Slamet, Mba Rima, Mba Yuli), baik di lingkungan IPB University maupun institusi mitra penelitian, atas bantuan teknis, diskusi ilmiah, serta kerja sama yang diberikan selama pelaksanaan penelitian.
12. Rekan-rekan pejuang doktoral THP UTU: Kak Maya, Kak Hilka, Kak Desi, Pak Maman semoga dimudahkan dan dilancarkan studinya.
13. Rekan-rekan penerima Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis melalui berbagai diskusi, kolaborasi, semangat kebersamaan, dan dukungan selama menempuh pendidikan.
14. Keluarga besar, sahabat dan teman-teman seperjuangan lainnya, yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas dukungan, doa, motivasi, serta perhatian yang diberikan selama proses studi dan penyelesaian disertasi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Nanda Triandita

DAFTAR ISI

RINGKASAN	iv
SUMMARY	vi
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kebaruan (<i>novelty</i>)	4
1.7 Hipotesis	5
1.8 Kerangka penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Alergi	7
2.2 Alergi Pangan	8
2.3 Alergen Pangan	10
2.4 Alergen Kedelai	11
2.5 Metode <i>In Silico</i> dalam Alergi Pangan	12
2.6 Pengaruh Fermentasi terhadap Alergenisitas	14
2.7 Teknologi Pengolahan Tempe	16
III PENENTUAN TEKNOLOGI PROSES YANG EFEKTIF DALAM MENURUNKAN ALERGENISITAS PROTEIN KEDELA MENGUNAKAN BIBLIOMETRIK DAN META-ANALISIS	20
3.1 Abstrak	20
3.2 Latar belakang	20
3.3 Metode	22
3.4 Hasil dan Pembahasan	23
3.5 Kesimpulan	43
IV KARAKTERISASI PERUBAHAN NILAI GIZI DAN ALERGEN SELAMA PROSES PENGOLAHAN TEMPE	45
4.1 Abstrak	45
4.2 Pendahuluan	45
4.3 Bahan dan Metode	47
4.4 Hasil dan Pembahasan	48
4.5 Kesimpulan	59

V	PENURUNAN ALERGENISITAS PROTEIN KEDELAI DALAM PENGOLAHAN TEMPE BERDASARKAN PREDIKSI DAN SIMULASI PENCERNAAN	61
5.1	Abstrak	61
5.2	Pendahuluan	61
5.3	Bahan dan Metode	63
5.4	Hasil dan Pembahasan	64
5.5	Kesimpulan	74
VI	IDENTIFIKASI ALERGEN HIDROLISAT PROTEIN DALAM PENGOLAHAN TEMPE	75
6.1	Abstrak	75
6.2	Pendahuluan	75
6.3	Bahan dan Metode	76
6.4	Hasil dan Pembahasan	78
6.5	Kesimpulan	80
VII	PEMBAHASAN UMUM	88
VIII	KESIMPULAN DAN SARAN	96
8.1	Kesimpulan	96
8.2	Saran	96
	DAFTAR PUSTAKA	98
	LAMPIRAN	110
	RIWAYAT HIDUP	125

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 TABEL

2.1 Sumber alergen hewani, protein alergen dan nama alergen	10
2.2 Sumber alergen nabati, protein alergen dan nama alergen	11
2.3 Alergen kedelai	12
2.4 Alat prediksi <i>in silico</i> untuk memprediksi potensial alergenitas protein	13
2.5 Pengaruh pengolahan terhadap alergen pangan	17
2.6 Komposisi nilai gizi kedelai, tempe kedelai, dan tempe goreng per 100 gram	19
3.1 Sepuluh negara dengan kontribusi publikasi tertinggi di bidang pengolahan dan alergenitas kedelai	24
3.2 Sepuluh penulis produktif dalam penelitian pengolahan dan alergenitas kedelai	25
3.3 Karakteristik studi, sampel, dan teknologi pengolahan yang digunakan dalam meta-analisis	31
4.1 Konsentrasi imunoreaktivitas protein kedelai dan persentase penurunan dalam pengolahan tempe	56
5.1 Karakteristik biokimia alergen kedelai yang digunakan dalam prediksi <i>in silico</i>	65
5.2 Prediksi jumlah posisi pemotongan enzimatis pada Gly m 5 dan Gly m 6 menggunakan <i>Peptidecutter</i>	66
6.1 Profil alergen peptida	82

DAFTAR GAMBAR

1.1 Kerangka penelitian	6
2.1 Mekanisme alergi pangan	9
3.1 Jumlah artikel ilmiah yang membahas dampak pengolahan terhadap alergenitas kedelai pada tingkat global	23
3.2 <i>Network visualization</i> penelitian pengolahan dan alergenitas kedelai	26
3.3 Diagram alir PRISMA 2020	29
3.4 <i>Forest plot</i> semua proses pengolahan	35
3.5 <i>Forest plot</i> proses pengolahan termal	36
3.6 <i>Forest plot</i> proses pengolahan non-termal	38
3.7 <i>Forest plot</i> proses pengolahan dengan reaksi kimia	39
3.8 <i>Forest plot</i> proses pengolahan hidrolisis enzimatis	41
3.9 <i>Forest plot</i> kombinasi teknologi proses pengolahan	42
4.1 Komposisi proksimat kedelai varietas grobogan dalam pengolahan tempe (% basis kering)	49
4.2 Komposisi proksimat kedelai varietas anjasmoro dalam pengolahan tempe (% basis kering)	50
4.3 Profil pita protein (kDa) hasil SDS-PAGE varietas grobogan dalam pengolahan tempe	52
4.4 Profil pita protein (kDa) hasil SDS-PAGE varietas anjasmoro dalam pengolahan tempe	53

4.5	Profil protein imunoreaktif IgE hasil <i>immunoblotting</i> varietas grobogan dan anjasmoro dalam pengolahan tempe	54
5.1	Prediksi pemotongan pepsin, tripsin dan chymotrypsin di protein library	65
5.2	Profil pita protein (kDa) pada SDS-PAGE varietas grobogan dalam pengolahan tempe (a) sebelum pencernaan <i>in vitro</i> dan (b) setelah pencernaan <i>in vitro</i>	68
5.3	Profil protein pengikat IgE pada <i>immunoblotting</i> sebelum dan pasca pencernaan <i>in vitro</i>	71
5.4	Kuantifikasi protein imunoreaktif kedelai menjadi tempe pasca pencernaan melalui ELISA	72
5.1	Ringkasan skema alur penelitian dan hasil utama	90

DAFTAR LAMPIRAN

1	Funnel plot Meta-analisis	111
2	Hasil pemotong <i>peptid cutter</i>	114
3	Hasil analisis LC-HRMS	123



@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

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.