



STANDARDISASI TEMPUYUNG (*Sonchus arvensis* L.) BERDASARKAN PROFIL FITOKIMIA DAN AKTIVITAS BIOLOGIS MELALUI PENDEKATAN METABOLOMIK

MAMAY MASLAHAT





PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Standardisasi Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) Berdasarkan Profil Fitokimia dan Aktivitas Biologis melalui Pendekatan Metabolomik” 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 2025

Mamay Maslahat
G4601201001

- 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

MAMAY MASLAHAT. Standardisasi Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) Berdasarkan Profil Fitokimia dan Aktivitas Biologis melalui Pendekatan Metabolomik. Dibimbing oleh ETI ROHAETI, MOHAMAD RAFI, HANIFAH NURYANI LIOE, dan UTAMI DYAH SYAFITRI.

Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) telah digunakan oleh masyarakat Indonesia sebagai obat tradisional dan tersedia obat herbal komersial dengan daun sebagai bahan baku. Komposisi dan konsentrasi senyawa dalam suatu tumbuhan obat akan bergantung pada beberapa faktor, di antaranya adalah umur dan bagian tanaman yang digunakan. Perbedaan komposisi dan konsentrasi bioaktif akan menyebabkan perbedaan level aktivitas biologisnya. Senyawa bioaktif daun tempuyung telah diketahui akan tetapi pada bagian lainnya belum banyak diteliti seperti akar dan batang. Oleh karena itu perlu dilakukan standardisasi kimia bagian tumbuhan tempuyung yang nantinya dapat dijadikan bahan baku terstandar untuk pembuatan obat herbalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi profil fitokimia tempuyung menggunakan spektrum FTIR dan LC-MS/MS serta aktivitas biologisnya berdasarkan perbedaan umur dan bagian tanaman (akar, batang, dan daun). Pendekatan metabolomik digunakan dalam menstandarkan bahan baku tempuyung tersebut. Selain itu juga telah dikembangkan metode autentikasi tempuyung menggunakan sidik jari FTIR dari daun tapak liman (*Elephantopus scaber* L.) yang memiliki morfologi yang hampir mirip dengan tempuyung. Hal ini dilakukan sebagai bagian untuk memastikan keautentikan tempuyung sebagai bahan baku pada obat herbalnya. Penelitian ini dibagi dalam dua tahap kegiatan yaitu (1) pengembangan metode autentikasi tempuyung dari tapak liman menggunakan sidik jari *fourier transform infrared-attenuated total reflectance* (FTIR-ATR), dan (2) evaluasi profil fitokimia dan aktivitas biologis tempuyung berdasarkan perbedaan umur dan bagian tanaman.

Pada penelitian tahap pertama, profil spektrum FTIR tempuyung dan tapak liman memiliki kemiripan satu sama lainnya. Gugus fungsi yang teridentifikasi dari kedua sampel yaitu $-CH_3$, $-CH_2$, $-CH$, $-OH$, $C=O$, $-CO$ dan $C=C$ aromatik. Pengelompokan kedua tumbuhan dan juga campurannya dilakukan dengan OPLS-DA menggunakan variabel absorbans pada bilangan gelombang $850-1800\text{ cm}^{-1}$ dan $2300-3000\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan plot OPLS-DA, kedua tumbuhan dapat dikelompokkan baik individu tumbuhan maupun campuran keduanya dengan variasi pencampurannya 5, 25, dan 50%. Nilai R^2X dan R^2Y masing-masing sebesar 0,999 dan 0,675 serta Q^2 sebesar 0,45 pada *significant hotellings* 99,9% untuk pemisahan kedua tumbuhan. Untuk pengelompokan dengan campuran keduanya diperoleh nilai R^2X , R^2Y , Q^2 berturut-turut sebesar 0,999; 0,675 dan 0,45. Nilai R^2X , R^2Y , dan Q^2 adalah parameter yang dapat digunakan untuk kualitas dan akurasi prediksi model pengelompokan. Berdasarkan hasil ini, spektrum FTIR-ATR yang dikombinasikan dengan OPLS-DA dapat digunakan untuk identifikasi dan autentikasi tempuyung dari tapak liman.

Untuk penelitian tahap kedua, ekstrak daun dengan umur 4 bulan memiliki aktivitas antioksidan dan inhibisi xantin oksidase lebih tinggi dibandingkan umur lainnya. Pola sidik jari FTIR dan kromatogram LC-MS/MS akar, batang dan daun menunjukkan kemiripan dengan hanya berbeda pada intensitasnya. Sebanyak 21

metabolit telah berhasil diidentifikasi dalam ekstrak secara putatif, dengan distribusi yang berbeda pada tiap bagiannya (19 metabolit dalam daun, 13 metabolit pada batang, dan 11 metabolit dalam akar). Metabolit yang teridentifikasi termasuk ke dalam golongan asam amino, fenolik/polifenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid, dan asam organik. Senyawa golongan flavonoid merupakan senyawa terbanyak yang teridentifikasi pada daun tempuyung, terdiri atas apigenin 7-O-glukuronida, luteolin, apigenin, kaempferol-7-O-glukosida, isorhoifolin, pinocembrin dan kaempferol-3-O-rutinosida. Berdasarkan nilai *variable importance in projection* (VIP), diperoleh 7 senyawa kimia yang memiliki korelasi dengan aktivitas antioksidan, empat diantaranya merupakan senyawa yang belum diketahui struktur molekulnya. Pengelompokan tempuyung berdasarkan perbedaan bagian tanaman berhasil dilakukan menggunakan spektrum FTIR dan kromatogram LC-MS/MS menggunakan OPLS-DA.

Berdasarkan penelitian ini maka pendekatan metabolomik dapat digunakan sebagai pendekatan alternatif dalam proses standardisasi dan evaluasi mutu tumbuhan obat termasuk di dalamnya untuk proses autentikasi. Penelitian ke depan yang dapat dikembangkan dari tempuyung ini adalah identifikasi struktur senyawa yang belum berhasil teridentifikasi, biotransformasi senyawanya untuk memperoleh bahan aktif dan mempelajari mekanisme farmakodinamikanya. Selain itu, penelitian tentang budidaya tempuyung agar dapat produktif di semua jenis lahan adalah suatu tantangan. Mengingat perubahan lingkungan global, inisiatif untuk mengembangkan varietas tempuyung baru yang unggul untuk memperluas budidaya dan kegunaannya sangat diperlukan. Untuk keperluan ini, maka pendekatan metabolomik dan kemometrik dapat dijadikan sebagai metode alternatif dalam proses standardisasi dan evaluasi mutu baik pada bahan baku ataupun pada produk dan proses aplikasinya.

Kata kunci: autentikasi, kemometrik, LC-MS/MS, metabolomik, *Sonchus arvensis*, spektrofotometer-FTIR

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.



SUMMARY

MAMAY MASLAHAT. Standardization of Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) Based on Phytochemical Profile and Biological Activity through Metabolomics Approach. Supervised by ETI ROHAETI, MOHAMAD RAFI, HANIFAH NURYANI LIOE, and UTAMI DYAH SYAFITRI.

Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) has been used by Indonesian people as a traditional medicine, and there are already commercial herbal medicines with leaves as the raw material. The composition and concentration of compounds in a medicinal plant will depend on several factors, the planting age and part of the plant used. Differences in composition and bioactive concentration will cause differences in the level of biological activity. The bioactive compounds of *S. arvensis* leaves have been known, but in other parts, such as roots and stems, have not been widely studied. Therefore, it is necessary to standardize the chemistry of *S. arvensis* plant parts, which can later be used as standardized raw materials for its herbal medicines. This study aims to evaluate the phytochemical profile of *S. arvensis* using FTIR and LC-MS/MS spectra and its biological activity based on differences in planting age and plant parts (roots, stems, and leaves). The metabolomic approach is used to standardize the raw materials of *S. arvensis*. In addition, a new method for authentication of *S. arvensis* has also been developed using FTIR fingerprints from tapak liman leaves (*Elephantopus scaber* L.) which have a morphology almost similar to *S. arvensis*. All of the activities were performed ensure the authenticity of *S. arvensis* as a raw material for its herbal medicine.

This research is divided into two stages of activity, namely (1) development of the *S. arvensis* authentication method from *E. scaber* using FTIR spectra fingerprintings, and (2) evaluation of the phytochemical profile and biological activity of *S. arvensis* based on differences in planting age and plant parts. In the first stage of the study, the FTIR spectrum profiles of *S. arvensis* and *E. scaber* gave a similar pattern. The functional groups detected from both samples are -CH₃, -CH₂, -CH, -OH, C=O, -CO and aromatic C=C. The two plants and their mixtures were grouped using OPLS-DA using absorbance variables at wavenumbers 850-1800 cm⁻¹ and 2300-3000 cm⁻¹. Based on the OPLS-DA plot, the two plants can be grouped both as individual plants and a mixture of both with mixing variations of 5, 25, and 50%. The R²X and R²Y values were 0.999 and 0.675, respectively, and Q² was 0.45 at 99.9% significant hotellings for separating the two plants. For groups with a mixture of both, the R²X, R²Y, and Q² values were 0.999, 0.675, and 0.45, respectively. The R²X, R²Y, and Q² values can be used for the quality and accuracy of the grouping model prediction. Based on these results, the FTIR-ATR spectrum combined with OPLS-DA can be used to identify and authenticate of *S. arvensis* from *E. scaber*.

For the second research stage, leaf extracts aged 4 months had higher antioxidant and xanthine oxidase inhibition activities than other ages. The FTIR fingerprint pattern and LC-MSMS chromatograms of the roots, stems, and leaves showed similarities with only differences in intensity. A total of 21 metabolites have been putatively identified in the extract, with different distributions in each part (19 metabolites in leaves, 13 in stems, ada 11 in roots). The identified metabolites belong to the amino acid, phenolic/polyphenol groups, flavonoid, alkaloid, terpenoid, and organic acid. Flavonoid compounds are the most abundant

compounds identified in *S. arvensis* leaves, consisting of apigenin 7-O-glucuronide, luteolin, apigenin, kaempferol-7-O-glucoside, isorhoifolin, pinocembrin, and kaempferol-3-O-rutinoside. Based on the variable importance in projection (VIP) value, it was found that 7 compounds had a correlation with antioxidant activity, four of which were compounds whose molecular structure was not yet known. Grouping of *S. arvensis* based on differences in plant parts was successfully carried out using the FTIR spectrum and LC-MS/MS chromatogram using OPLS-DA.

Based on this research, the metabolomics approach can be used as an alternative approach in the standardization and evaluation of the quality of medicinal plants, including the authentication process. Future research that can be developed from this *S. arvensis* is the identifying the structure of compounds that have not been successfully identified, biotransformation of its compounds to obtain active ingredients, and study of its pharmacodynamic mechanisms. In addition, research on cultivating *S. arvensis* so that it can be productive in all types of land is a challenge. Given global environmental changes, initiatives to develop new superior tempuyung varieties to expand their cultivation and uses are urgently needed. For this purpose, the metabolomics and chemometrics approaches can be used as alternative methods in standardization and quality evaluation in raw materials and products and their application processes.

Keyword: authentication, chemometrics, LC-MS/MS, metabolomics, *Sonchus arvensis*, spectrometer-FTIR

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 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.



STANDARDISASI TEMPUYUNG (*Sonchus arvensis* L.) BERDASARKAN PROFIL FITOKIMIA DAN AKTIVITAS BIOLOGIS MELALUI PENDEKATAN METABOLOMIK

MAMAY MASLAHAT

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

PROGRAM STUDI DOKTOR KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi-

1. Dr. Auliya Ilmiawati, S.Si., M.Si.
2. Dr. Rudi Heryanto, S.Si., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi-

1. Dr. Auliya Ilmiawati, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Muktiningsih Nurjayadi, M.Si.

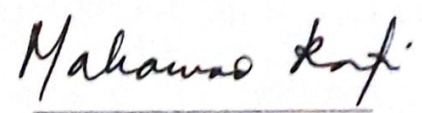
Judul Disertasi : Standardisasi Tempuyung (*Sonchus arvensis* L)
Berdasarkan Profil Fitokimia dan Aktivitas Biologis
Melalui Pendekatan Metabolomik
Nama : Mamay Maslahat
NIM : G4601201001

Disetujui oleh:

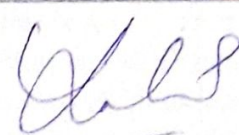
Pembimbing 1:
Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, MS



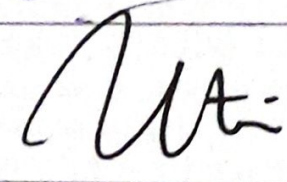
Pembimbing 2:
Prof. Dr. Mohamad Rafi, S.Si., M.Si.



Pembimbing 3:
Prof. Dr. Hanifah Nuryani Lioe, M.Si.

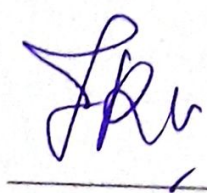


Pembimbing 4:
Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh:

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Irmanida Batubara, S.Si., M.Si.
NIP. 197508072005012001



Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
NIP. 197807232007011001



Tanggal Ujian: 17 April 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanaahu wa ta'ala atas segala nikmat dan karunia-Nya sehingga disertasi ini berhasil diselesaikan. Judul penelitian ini ialah “Standardisasi Tempuyung (*Sonchus arvensis* L.) Berdasarkan Profil Fitokimia dan Aktivitas Biologis Melalui Pendekatan Metabolomik”. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk dapat menempuh studi gelar Doktor Program Studi Kimia pada Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal penelitian hingga penyusunan disertasi ini, tidak mungkin bagi penulis untuk menyelesaikan disertasi ini dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Komisi Pembimbing yaitu Prof. Dr. Dra. Eti Rohaeti, MS, Prof. Dr. Mohamad Rafi, S.Si., M.Si., Prof. Dr. Ir. Hanifah Nuryani Lioe, M.Si., dan Dr. Utami Dyah Syafitri, S.Si., M.Si. yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran dalam membimbing dan memotivasi penulis selama melaksanakan penelitian dan penyusunan disertasi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pula kepada penguji luar komisi yaitu Dr. Auliya Ilmiawati, S.Si., M.Si., Dr. Rudi Heryanto, S.Si., M.Si dan Prof. Dr. Muktiningsih Nurjayadi, M.Si. Terimakasih disampaikan pula kepada Kepala Unit Laboratorium Riset Unggulan IPB (Dr. Ir. Irdika Mansur, M.For.Sc.) dan Kepala Pusat Studi Biofarmaka Tropika IPB (Prof. Dr. Mohamad Rafi, S.Si., M.Si.) yang telah mengizinkan penulis melaksanakan penelitian di laboratorium.

Ungkapan terima kasih penulis sampaikan kepada Rektor Universitas Nusa Bangsa (UNB) Periode 2016-2024, Dr. Yunus Arifin, Ir., MSi, dan Rektor UNB Periode 2024 Prof. Dr. Budi Mulyanto, Ir., M.Sc. yang telah memberikan kesempatan penulis melaksanakan izin belajar. Ungkapan rasa terima kasih juga penulis sampaikan kepada suami tercinta Suharyanto, SH, ME, kedua orang tua penulis yang telah wafat, keluarga besar Bapak H. Achya Sasmita, keluarga besar Bapak Surawi Notosiswoyo, dan keluarga besar Dr. Barijadi Prawirosastro Ir., MS. yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral serta semangat yang sangat luar biasa tidak ternilai.

Akhir kata, semoga Allah Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang kimia analitik dan herbal medisn.

Bogor, Juni 2025

Mamay Maslahat

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	13
DAFTAR GAMBAR	15
DAFTAR TABEL	17
DAFTAR LAMPIRAN	17
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Kebaruan (<i>novelty</i>)	4
1.6 Sistematika Disertasi	4
II PENGEMBANGAN METODE IDENTIFIKASI DAN AUTENTIKASI TEMPUYUNG (<i>Sonchus arvensis</i> L.) DARI TAPAK LIMAN (<i>Elephantopus scaber</i> L.) MENGGUNAKAN KOMBINASI SPEKTROFOTOMETER FTIR-ATR DAN ANALISIS KEMOMETRIK	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Metode Penelitian	6
2.2.1 Pengumpulan Sampel Tempuyung dan Pembuatan Sampel Campuran	6
2.2.2 Pembuatan Spektrum FTIR-ATR	6
2.2.3 Analisis Kemometrik	7
2.3 Hasil dan Pembahasan	8
2.3.1 Karakteristik Fisik Tempuyung dan Tapak Liman	8
2.3.2 Analisis Spektrum FTIR Daun Tempuyung dan Daun Tapak Liman	8
2.3.3 Identifikasi dan Autentikasi Tempuyung dari Tapak Liman	10
2.4 Simpulan	15
III ANALISIS METABOLOMIK TIDAK BERTARGET MENGGUNAKAN SPEKTRUM FTIR DAN LC-MS/MS SERTA EVALUASI AKTIVITAS BIOLOGIS TEMPUYUNG (<i>Sonchus arvensis</i> L.) BERDASARKAN PERBEDAAN UMUR DAN BAGIAN TANAMAN	16
3.1 Pendahuluan	16
3.2 Metode	17
3.2.1 Bahan dan Instrumen	17
3.2.2 Preparasi Sampel	17
3.2.3 Penentuan Nilai TPC dan TFC	18
3.2.4 Penentuan Aktivitas Antioksidan Menggunakan Metode DPPH	18
3.2.5 Penentuan Inhibisi Aktivitas Enzim Xantin Oksidase	18
3.2.6 Pengukuran Spektrum FTIR	19
3.2.7 Identifikasi Metabolit Menggunakan UHPLC-Q-Orbitrap HRMS	19
3.2.8 Analisis Data	19
3.3 Hasil dan Pembahasan	20
3.3.1 Rendemen Ekstrak Tempuyung	20



3.3.2 Kadar Fenolik (TPC) dan Flavonoid Total (TFC) Ekstrak Tempuyung	21
3.3.3 Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Tempuyung	24
3.3.4 Aktivitas Inhibisi Xantin Oksidase Ekstrak Tempuyung	25
3.3.5 Profil Spektrum FTIR Ekstrak Tempuyung	26
3.3.6 Kromatogram dan profil metabolit ekstrak tempuyung	27
3.3.7 Pengelompokan Ekstrak Tempuyung	34
3.3.8 Prediksi Senyawa Antioksidan Menggunakan OPLS-DA	36
3.4 Simpulan	40
IV PEMBAHASAN UMUM	41
V SIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Simpulan	45
5.2 Perspektif Masa Depan	45
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	55

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	Ilustrasi skema penelitian	4
2	Sampel daun tempuyung (a) dan daun tapak liman (b)	8
3	Spektrum FTIR tapak liman (a) dan tempuyung (b)	8
4	<i>Score plot</i> PCA tempuyung-tapak liman asal Bogor pada daerah sidik jari 1500-400 cm^{-1} , dengan <i>preprocessing Savitzky Golay, normalize</i> dan <i>baseline</i> , total PC 1 dan 2 sebesar 80% (A: tempuyung asal Bogor, B: Sukabumi, C: Magelang, D: Karanganyar, E: Malang, F: Bojonegoro, TLA: tapak liman Bogor, 100%: murni; 5%, 25%, 50%: campuran tempuyung-tapak liman)	10
5	<i>Score plot</i> PCA tempuyung-tapak liman asal Bogor pada daerah sidik jari 1550-400 cm^{-1} , dengan <i>preprocessing Savitzky Golay, normalize</i> dan <i>baseline</i> , total PC 1 dan 2 sebesar 81% (A: tempuyung asal Bogor, B: Sukabumi, C: Magelang, D: Karanganyar, E: Malang, F: Bojonegoro, TLB: tapak liman Bogor, 100%: murni; 5%, 25%, 50%: campuran tempuyung-tapak liman)	11
6	<i>Score plot</i> PCA tempuyung-tapak liman asal Semarang pada daerah sidik jari 1500-400, dengan <i>preprocessing Savitzky Golay, normalize</i> dan <i>baseline</i> , total PC 1 dan 2 sebesar 77% (A: tempuyung asal Bogor, B: Sukabumi, C: Magelang, D: Karanganyar, E: Malang, F: Bojonegoro, TLB: tapak liman Semarang, 100%: murni; 5%, 25%, 50%: campuran tempuyung-tapak liman)	12
7	<i>Score plot</i> PCA tempuyung-tapak liman asal Semarang pada daerah sidik jari 1500-400, dengan <i>preprocessing Savitzky Golay, normalize</i> dan <i>baseline</i> , total PC 1 dan 2 sebesar 77% (A: tempuyung asal Bogor, B: Sukabumi, C: Magelang, D: Karanganyar, E: Malang, F: Bojonegoro, TLB: tapak liman Semarang, 100%: murni; 5%, 25%, 50%: campuran tempuyung-tapak liman)	13
8	Dendrogram <i>Hierarchical Cluster Analysis</i> (HCA) tempuyung (1), tapak liman (0) dan campuran (0,5; 0,75; 0,95)	13
9	OPLS-DA <i>score plot</i> tempuyung (1) dan tapak liman (0) pada bilangan gelombang 850-1800 cm^{-1} dan 2300-3000 cm^{-1} (R^2X sebesar 0,98; R^2Y sebesar 0,802 dan Q^2 sebesar 0,765)	13
10	OPLS-DA <i>score plot</i> tempuyung (1), tapak liman (0) dan campuran (5%; 25%; 50%) pada bilangan gelombang 850-1800 cm^{-1} dan 2300-3000 cm^{-1} (R^2X sebesar 0,999; R^2Y sebesar 0,675 dan Q^2 sebesar 0,45)	14
11	Rendemen ekstrak etanol akar, batang dan daun tempuyung. Persentase rendemen dihitung terhadap bobot simplisia yang telah dikoreksi dengan kadar air	20
12	Kurva standar asam galat	22
13	Kurva standar kuersetin	22
14	Kadar TPC ekstrak etanol akar, batang, dan daun tempuyung berdasarkan variasi umur tanaman	22
15	Kadar TFC ekstrak etanol akar, batang, dan daun tempuyung berdasarkan variasi umur tanaman	23
16	Grafik hasil analisis statistik polinomial kadar flavonoid total daun tempuyung, bersifat kuadratik dengan nilai <i>R Square</i> sebesar 0,7295	23
17	Aktivitas antioksidan (IC_{50}) ekstrak etanol akar, batang, dan daun tempuyung yang diukur dengan menggunakan pereaksi DPPH	24
18	Grafik hasil analisis statistik polinomial aktivitas antioksidan daun tempuyung, bersifat kuadratik dengan nilai <i>R Square</i> sebesar 0,9988	25



19	Nilai persen inhibisi xantin oksidase ekstrak etanol akar, batang, dan daun tempuyung	26
20	Spektrum FTIR ekstrak etanol akar, batang dan daun tempuyung: akar 3 bulan (3a), daun 3 bulan (3d), akar 4 bulan (4a), batang 4 bulan (4b), daun 4 bulan (4d), akar 5 bulan (5a), batang 5 bulan (5b), daun 5 bulan (5d) yang diperoleh dengan instrumen FTIR	27
21	Kromatogram <i>base peak</i> ekstrak etanol tempuyung pada mode ionisasi positif dari umur dan bagian tanaman: akar 3 bulan (A), daun 3 bulan (B), akar 4 bulan (C), batang 4 bulan (D), daun 4 bulan (E), akar 5 bulan (F), batang 5 bulan (G), daun 5 bulan (H) yang diperoleh dari analisis menggunakan LC-MS/MS	28
22	Kromatogram <i>base peak</i> ekstrak etanol tempuyung pada mode ionisasi negatif dari umur dan bagian tanaman: akar 3 bulan (A), daun 3 bulan (B), akar 4 bulan (C), batang 4 bulan (D), daun 4 bulan (E), akar 5 bulan (F), batang 5 bulan (G), daun 5 bulan (H) yang diperoleh dari analisis menggunakan LC-MS/MS	28
23	Golongan metabolit teridentifikasi pada akar, batang dan daun tempuyung	29
24	Senyawa flavonoid yang teridentifikasi dalam ekstrak etanol tempuyung apigenin 7-O-glukuronida (a), luteolin (b), apigenin (c), kaempferol-7-O-glukosida (d)	30
25	Senyawa flavonoid yang teridentifikasi dalam ekstrak etanol tempuyung: isorhoifolin (e), pinosembrin (f), dan kaempferol-3-O-rutinosida (g)	31
26	<i>Scoreplot</i> OPLS-DA ekstrak etanol tempuyung berdasarkan spectrum FTIR. Akar 3 bulan (3A), daun 3 bulan (3D), akar 4 bulan (4A), batang 4 bulan (4B), daun 4 bulan (4D), akar 5 bulan (5A), batang 5 bulan (5B), daun 5 bulan (5D). Model menunjukkan nilai: R^2X sebesar 0,999; R^2Y sebesar 0,953; dan Q^2 sebesar 0,871	34
27	<i>Scoreplot</i> OPLS-DA ekstrak etanol <i>S. arvensis</i> berdasarkan kromatogram. Akar 3 bulan (3A), daun 3 bulan (3D), akar 4 bulan (4A), batang 4 bulan (4B), daun 4 bulan (4D), akar 5 bulan (5A), batang 5 bulan (5B), daun 5 bulan (5D). Model menunjukkan nilai R^2X sebesar 0,887; R^2Y sebesar 0,968; dan Q^2 sebesar 0,904	35
28	<i>Heatmap</i> ekstrak etanol akar, batang dan daun tempuyung umur 3, 4 dan 5 bulan	36
29	<i>Score plot</i> dari model OPLS-DA untuk grup aktif (merah) dan tidak aktif (hijau) pada ekstrak etanol tempuyung yang diuji aktivitas antioksidan menggunakan DPPH. <i>Score plot</i> OPLS-DA dapat menunjukkan pengelompokan yang baik untuk kedua group (a). S-plot dalam penentuan senyawa penduga terhadap grup aktif (b)	37
30	Struktur senyawa prediksi antioksidan. <i>Echinenone</i> (a), (3aR,4aS,5R,7aS,8S,9aR)-5-Hydroxy-4a,8-dimethyl-3-methylenedoctahydro azuleno[6,5-b]furan-2,6(3H,4H)-dione. (b), dan asam D-pantotenat (c) dari hasil analisis LC-MS/MS dengan mode positif	38
31	Ilustrasi pendekatan metabolomik untuk autentikasi bahan baku tumbuhan obat	41

32	Ilustrasi pendekatan metabolomik untuk standardisasi bahan baku tumbuhan obat	42
33	Distribusi senyawa kimia pada bagian akar (9 metabolit), batang (10 metabolit) dan daun (13 metabolit) tempuyung umur 4 bulan	43

DAFTAR TABEL

1	Asal tempuyung dan tapak liman	7
2	Gugus fungsi yang teridentifikasi dari tempuyung dan tapak liman	9
3	Metabolit yang teridentifikasi secara putatif pada ekstrak akar, batang daun tempuyung berdasarkan perbedaan umur tanaman	32
4	Senyawa kimia prediksi sebagai antioksidan	39

DAFTAR LAMPIRAN

1	Spektrum FTIR tempuyung dari daerah Bogor (a), Sukabumi (b), Magelang (c), Karanganyar (d), Malang (e), dan Bojonegoro (f)	56
2	Spektrum FTIR tapak liman asal Bogor (a), dan Semarang (b)	56
3	Struktur senyawa kimia yang teridentifikasi dalam ekstrak etanol akar, batang, dan daun tempuyung	577
4	Spektrum massa dari senyawa flavonoid luteolin yang teridentifikasi dalam ekstrak etanol tempuyung sebagai senyawa penciri menurut Farmakope Herbal Indonesia	62
5	Spektrum MS2 senyawa <i>echinenone</i> (a), (3 <i>aR</i> ,4 <i>aS</i> ,5 <i>R</i> ,7 <i>aS</i> ,8 <i>S</i> ,9 <i>aR</i>)-5- <i>Hydroxy-4a,8-dimethyl-3-methyleneoctahydroazuleno</i> [6,5- <i>b</i>]furan 2,6(3 <i>H</i> ,4 <i>H</i>)- <i>dione</i> .b), dan asam D-pantotenat (c)	63
6	ANOVA	64