



INSTITUT PERTANIAN BOGOR

**EVALUASI PROFIL METABOLOMIK DAN FERMENTASI
RUMEN *IN VITRO* TEH DAN HERBAL SEBAGAI
BAHAN PAKAN POTENSIAL**

TESIS

**SRI ARDYA FIORELLA
D2501251040**

**SEKOLAH PASCASARJANA
PROGRAM STUDI ILMU NUTRISI DAN PAKAN
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 TESIS, SUMBER INFORMASI, PENGGUNAAN AI, DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Evaluasi Profil Metabolomik dan Fermentasi Rumen In Vitro Teh dan Herbal sebagai Bahan Pakan Potensial" merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains. Karya ini 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.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan ChatGPT (OpenAI) untuk memberikan masukan terhadap penyajian ringkasan visual. Setelah menggunakan alat tersebut, penulis meninjau, memverifikasi, dan menyunting seluruh konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi karya tugas akhir ini.

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

Bogor, Agustus Tahun 2026

Sri Ardy Fiorella
D2501251040

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



@Hak cipta milik *IPB University*

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

SOROTAN

SRI ARDYA FIORELLA. Evaluasi Profil Metabolomik dan Fermentasi Rumen *In Vitro* Teh dan Herbal sebagai Bahan Pakan Potensial. Dibimbing oleh ERIKA BUDIARTI LACONI, ANURAGA JAYANEGARA dan AYU SEPTI ANGGRAENI.

1. Penelitian ini membahas evaluasi potensi *Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, dan *Jasminum sambac* sebagai bahan pakan ruminansia melalui analisis komposisi nutrisi, aktivitas antioksidan, profil metabolomik, dan fermentasi rumen *in vitro*.
2. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh proses penyeduhan terhadap komposisi nutrisi, aktivitas antioksidan, profil metabolomik, karakteristik fermentasi rumen *in vitro*, serta potensi ampas seduhan sebagai bahan pakan ruminansia.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses penyeduhan meningkatkan fraksi serat serta menurunkan kandungan fenolik, flavonoid, dan aktivitas antioksidan, sedangkan variasi profil metabolit lebih dipengaruhi oleh perbedaan spesies tanaman dibandingkan proses penyeduhan.
4. Temuan penelitian memberikan kontribusi terhadap pengembangan bahan pakan fitogenik berkelanjutan melalui identifikasi metabolit bioaktif yang berasosiasi dengan aktivitas antioksidan dan karakteristik fermentasi rumen.
5. Tugas akhir ini menunjukkan bahwa ampas *Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, dan *Jasminum sambac* masih mempertahankan metabolit bioaktif serta berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pakan ruminansia.

HIGHLIGHTS

SRI ARDYA FIORELLA. Evaluation of Metabolomic Profile and In Vitro Rumen Fermentation of Tea and Herbal Plants as Potential Feed Resources. *Supervised by* ERIKA BUDIARTI LACONI, ANURAGA JAYANEGARA, and AYU SEPTI ANGGRAENI.

1. This study evaluated the potential of *Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, and *Jasminum sambac* as ruminant feed resources by assessing nutrient composition, antioxidant activity, metabolomic profiles, and *in vitro* rumen fermentation.
2. This study investigated the effects of the brewing process on nutrient composition, antioxidant activity, metabolomic profiles, rumen fermentation characteristics, and the potential of spent tea and herbal residues as feed resources for ruminants.
3. The results showed that brewing increased fiber fractions while reducing bioactive compounds and antioxidant activity, whereas metabolomic variation was influenced primarily by plant species rather than the brewing process.
4. The findings contribute to the development of sustainable phytogenic feed resources by providing insights into the relationships between bioactive metabolites, antioxidant capacity, and rumen fermentation characteristics.
5. This thesis highlights the potential of spent *Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, and *Jasminum sambac* residues as functional feed resources for ruminants.



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



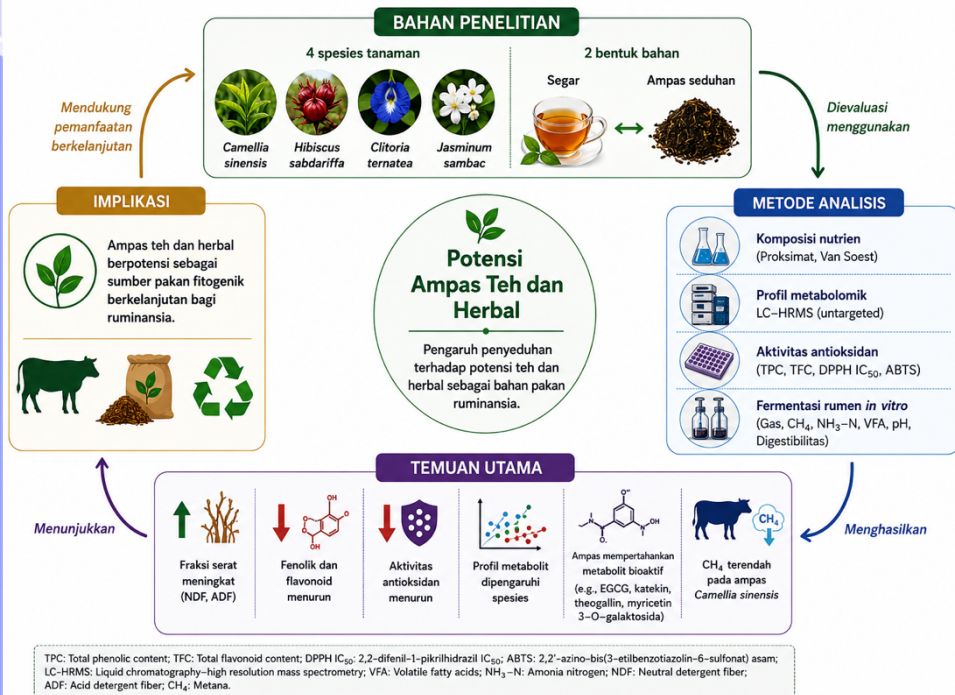
IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

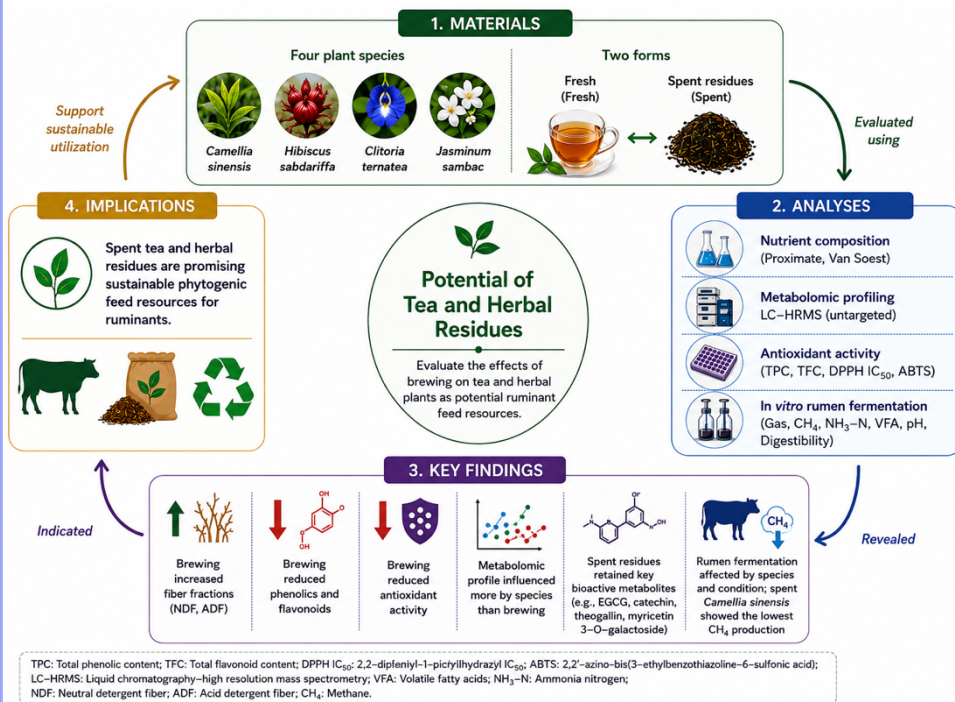
Perpustakaan IPB University

RINGKASAN VISUAL



Potensi Ampas Teh dan Herbal sebagai Pakan Ruminansia

GRAPHICAL SUMMARY



Potential of Tea and Herbal Tea Residues as Ruminant Feed

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.



@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

RINGKASAN

SRI ARDYA FIORELLA. Evaluasi Profil Metabolomik dan Fermentasi Rumen *In Vitro* Teh dan Herbal sebagai Bahan Pakan Potensial. Dibimbing oleh ERIKA BUDIARTI LACONI, ANURAGA JAYANEGARA dan AYU SEPTI ANGGRAENI.

Pengembangan sumber bahan pakan yang berkelanjutan merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi produksi ternak ruminansia melalui pemanfaatan limbah agroindustri dan hasil samping pengolahan pangan sebagai bahan pakan bernilai tambah. Di antara berbagai hasil samping berbasis tanaman, teh (*Camellia sinensis*) serta tanaman herbal, yaitu rosela (*Hibiscus sabdariffa*), telang (*Clitoria ternatea*), dan melati (*Jasminum sambac*), mengandung berbagai metabolit sekunder yang berpotensi memberikan nilai fungsional sebagai bahan pakan ruminansia. Namun, proses penyeduhan menyebabkan perubahan komposisi nutrisi dan profil metabolit sehingga implikasinya terhadap karakteristik fermentasi rumen belum dipahami secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh proses penyeduhan terhadap komposisi nutrisi, aktivitas antioksidan, profil metabolomik, dan karakteristik fermentasi rumen *in vitro* pada teh dan tanaman herbal, serta mengevaluasi potensi ampas seduhan sebagai bahan pakan potensial bagi ternak ruminansia.

Penelitian disusun menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial 4×2 dengan lima ulangan. Faktor yang diuji terdiri atas empat spesies tanaman, yaitu *Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, dan *Jasminum sambac*, serta dua bentuk bahan, yaitu segar dan ampas seduhan. Parameter yang diamati meliputi komposisi nutrisi, aktivitas antioksidan, profil metabolomik menggunakan pendekatan *untargeted liquid chromatography-high-resolution mass spectrometry* (LC-HRMS), serta karakteristik fermentasi rumen *in vitro*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses penyeduhan meningkatkan proporsi fraksi serat serta menurunkan kandungan fenolik total, flavonoid total, dan aktivitas antioksidan secara nyata ($P < 0,001$). Analisis metabolomik menunjukkan bahwa variasi profil metabolit lebih dipengaruhi oleh perbedaan spesies dibandingkan proses penyeduhan. *Epigallocatechin gallate* (EGCG), katekin, myricetin 3-*O*-galaktosida, theogallin, dan theobromine diidentifikasi sebagai metabolit pembeda utama yang berasosiasi dengan kandungan fenolik total, flavonoid total, dan kapasitas antioksidan. Karakteristik fermentasi rumen *in vitro* dipengaruhi oleh spesies tanaman dan kondisi bahan ($P < 0,05$). Produksi metana berkisar antara 4,95–29,80 mL g⁻¹ bahan kering, dengan *Camellia sinensis* menghasilkan produksi metana terendah. Kandungan fenolik total dan flavonoid total berkorelasi negatif dengan produksi metana, sedangkan produksi metana berkorelasi positif dengan pencernaan bahan dan produk akhir fermentasi. Proses penyeduhan menurunkan sebagian kandungan senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan, ampas teh dan tanaman herbal masih mempertahankan metabolit bioaktif utama serta karakteristik fermentasi rumen yang mendukung potensinya sebagai bahan pakan potensial bagi ternak ruminansia.

Kata kunci : aktivitas antioksidan, ampas seduhan, bahan pakan fitogenik, fermentasi rumen, metabolomik, produksi metana.



SUMMARY

SRI ARDYA FIORELLA. Evaluation of Metabolomic Profile and In Vitro Rumen Fermentation of Tea and Herbal Plants as Potential Feed Resources. Supervised by ERIKA BUDIARTI LACONI, ANURAGA JAYANEGARA, and AYU SEPTI ANGGRAENI.

The development of sustainable feed resources through the utilization of agro-industrial by-products and food processing residues is an important strategy to improve the efficiency of ruminant production systems. Tea (*Camellia sinensis*) and herbal plants, including roselle (*Hibiscus sabdariffa*), butterfly pea (*Clitoria ternatea*), and jasmine (*Jasminum sambac*), contain diverse secondary metabolites that may provide functional value as ruminant feed resources. However, the brewing process alters nutrient composition and metabolite profiles, and its implications for rumen fermentation characteristics remain poorly understood. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of the brewing process on nutrient composition, antioxidant activity, metabolomic profiles, and *in vitro* rumen fermentation characteristics of tea and herbal plants, as well as to evaluate the potential of spent tea and herbal residues as promising feed resources for ruminants.

A 4×2 factorial experiment arranged in a completely randomized design with five replications was employed. The experimental factors consisted of four plant species (*Camellia sinensis*, *Hibiscus sabdariffa*, *Clitoria ternatea*, and *Jasminum sambac*) and two sample forms (fresh and spent residues). The evaluated parameters included nutrient composition, antioxidant activity, metabolomic profiling using an untargeted liquid chromatography–high-resolution mass spectrometry (LC–HRMS) approach, and *in vitro* rumen fermentation characteristics.

The brewing process increased fiber fractions while significantly reducing total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activity ($P < 0.001$). Metabolomic analysis revealed that metabolite variation was influenced more by plant species than by the brewing process. *Epigallocatechin gallate* (EGCG), catechin, myricetin 3-*O*-galactoside, theogallin, and theobromine were identified as the major discriminatory metabolites associated with total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant capacity. *In vitro* rumen fermentation characteristics were significantly affected by plant species and sample form ($P < 0.05$). Methane production ranged from 4.95 to 29.80 mL g⁻¹ dry matter, with *Camellia sinensis* producing the lowest methane emission. Total phenolic and flavonoid contents were negatively correlated with methane production, whereas methane production was positively correlated with digestibility and fermentation end products. Although the brewing process reduced the concentrations of bioactive compounds and antioxidant activity, spent tea and herbal residues retained their major bioactive metabolites and favorable rumen fermentation characteristics, supporting their potential as promising feed resources for ruminants.

Keywords: antioxidant activity, feed resources, metabolomics, methane production, rumen fermentation, spent tea residues.



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis :

1. Prof. Dr. Ir. I Komang Gede Wiryawan



@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



Judul Tesis : Evaluasi Profil Metabolomik dan Fermentasi Rumen *In Vitro* Teh dan Herbal sebagai Bahan Pakan Potensial
Nama : Sri Ardy Fiorella
NIM : D2501251040

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Erika Budiarti Laconi, M.S.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. sc. ETH Anuraga Jayanegara, S.Pt.
M.Sc.

Pembimbing 3:
Dr. Ayu Septi Anggraeni, S.Pt., M.Si

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan:
Prof. Dr. Ir. Dewi Apri Astuti, MS.
NIP 1961110051985032001

Dekan Fakultas Peternakan:
Prof. Dr. Ir. Idat Galih Permana, M.Sc.Agr.
NIP 196705061991031001

Tanggal Ujian:
14 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *Subhānahu wa Ta'ālā* atas segala rahmat, karunia, dan pertolongan-Nya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian yang dilaksanakan sejak Maret hingga Mei 2025 ini mengangkat tema pemanfaatan teh dan herbal sebagai sumber bahan pakan fitogenik bagi ruminansia, dengan judul “Evaluasi Profil Metabolomik dan Fermentasi Rumen *In Vitro* Teh dan Herbal sebagai Bahan Pakan Potensial.”

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Ir. Erika Budiarti Laconi, M.S., Prof. Dr. sc. ETH. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc., dan Dr. Ayu Septi Anggraeni, S.Pt., M.Si. selaku komisi pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, motivasi, serta bimbingan selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Ketua Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan, Dekan Fakultas Peternakan IPB University, seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan, serta staf Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pakan, Laboratorium Terpadu IPB University, dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Gunungkidul atas bantuan, fasilitas, serta dukungan selama penelitian berlangsung. Selain itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) IPB University atas dukungan pendanaan melalui Program Riset Kolaborasi Indonesia (RKI) Skema A Tahun 2026 di bawah koordinasi Prof. Dr. sc. ETH. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc., sehingga seluruh rangkaian kegiatan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Ungkapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada kedua orang tua, keluarga, serta seluruh sahabat dan rekan mahasiswa Program Magister Ilmu Nutrisi dan Pakan atas doa, dukungan, semangat, dan kebersamaan yang senantiasa diberikan selama menempuh studi dan menyelesaikan tesis ini. Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang nutrisi dan pakan ternak, serta menjadi referensi dalam pemanfaatan teh, herbal, dan ampas seduhannya sebagai sumber bahan pakan fitogenik yang berkelanjutan bagi ruminansia.

Bogor, Agustus 2026

Sri Ardy Fiorella



@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

DAFTAR ISI

I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Tujuan	3
II	METODE	4
2.1	Waktu dan Tempat	4
2.2	Alat dan Bahan	4
2.3	Prosedur Kerja	4
2.4	Analisis Data	7
III	HASIL DAN PEMBAHASAN	9
3.1	Hasil	9
3.2	Pembahasan	22
IV	SIMPULAN DAN SARAN	33
4.1	Simpulan	33
4.2	Saran	33
	DAFTAR PUSTAKA	34
	LAMPIRAN	38
	RIWAYAT HIDUP	45

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	Skor <i>principal component analysis</i> (PCA) berdasarkan profil metabolomik LC–HRMS pada bahan segar dan ampas seduhan <i>Camellia sinensis</i> , <i>Hibiscus sabdariffa</i> , <i>Clitoria ternatea</i> , dan <i>Jasminum sambac</i> .	12
2	Hasil <i>partial least squares-discriminant analysis</i> (PLS-DA) profil metabolomik LC–HRMS pada bahan segar dan ampas seduhan. (A) Plot skor PLS-DA yang menunjukkan pemisahan antar perlakuan. (B) Hasil uji permutasi.	13
3	Analisis <i>variable importance in projection</i> (VIP) berdasarkan profil metabolomik LC–HRMS. Diagram batang menunjukkan peringkat metabolit berdasarkan nilai VIP, sedangkan heatmap menggambarkan kelimpahan relatif metabolit pada setiap perlakuan.	14
4	Analisis korelasi <i>Pearson</i> antara metabolit diskriminan dengan kandungan fenolik total (TPC), kandungan flavonoid total (TFC), aktivitas antioksidan metode DPPH (IC ₅₀), dan ABTS. Warna biru menunjukkan korelasi negatif, sedangkan warna kuning menunjukkan korelasi positif. Tingkat signifikansi ditunjukkan oleh $P < 0,05$; $P < 0,01$; dan $P < 0,001$. DPPH = 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. ABTS = 2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid).	16
5	<i>Heatmap hierarchical clustering</i> metabolit yang berbeda nyata berdasarkan analisis LC–HRMS. Kelimpahan metabolit dinormalisasi, ditransformasi log, dan diskalakan menggunakan metode Pareto sebelum dilakukan analisis. Warna merah menunjukkan kelimpahan metabolit yang relatif tinggi, sedangkan warna biru menunjukkan kelimpahan yang relatif rendah.	17
6	Kurva produksi gas kumulatif bahan segar (A) dan ampas seduhan (B) selama inkubasi fermentasi rumen <i>in vitro</i> selama 48 jam berdasarkan model Ørskov dan McDonald (1979).	18
7	<i>Heatmap</i> korelasi <i>Pearson</i> yang menunjukkan hubungan antara kandungan fitokimia, aktivitas antioksidan, metabolit diskriminan, karakteristik fermentasi rumen, parameter pencernaan, dan produksi metana pada bahan segar dan ampas seduhan.	21



DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil normalisasi data metabolomik LC–HRMS	38
2	Kurva standar <i>Quercetin</i> untuk penentuan <i>Total Flavonoid Content</i> (TFC)	38
3	Kurva standar <i>Gallic acid</i> untuk penentuan <i>Total Phenolic Content</i> (TPC)	39
4	Kurva standar Trolox untuk analisis aktivitas antioksidan metode ABTS	39
5	Contoh perhitungan produksi metana	39
6	Contoh perhitungan <i>Total Phenolic Content</i> (TPC)	40
7	Contoh perhitungan <i>Total Flavonoid Content</i> (TFC)	40
8	Contoh perhitungan aktivitas antioksidan metode DPPH	40
9	Contoh perhitungan aktivitas antioksidan metode ABTS	41