

OPTIMASI PATI TERDEGRADASI DI RUMEN PADA BAHAN PAKAN LOKAL MELALUI PENGOLAHAN ASAM ORGANIK DAN *HEAT MOISTURE*

MARDIAH RAHMADANI



**ILMU NUTRISI DAN PAKAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 “Optimasi Pati Terdegradasi di Rumen pada Bahan Pakan Lokal melalui Pengolahan Asam Organik dan *Heat Moisture*” 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, Juli 2025

Mardiah Rahmadani
D2601221021



RINGKASAN

MARDIAH RAHMADANI. Optimasi Pati Terdegradasi di Rumen pada Bahan Pakan Lokal melalui Pengolahan Asam Organik dan *Heat Moisture*. Dibimbing oleh ANURAGA JAYANEGARA, NAHROWI, LILIS KHOTIJAH, dan RUSLI HIDRIYANTO.

Optimasi pati terdegradasi di rumen bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya pakan lokal melalui modifikasi pati, sehingga dapat mendukung produktivitas ternak ruminansia secara optimal. Di Indonesia, berbagai bahan pakan lokal seperti biji-bijian, umbi-umbian, dan hasil sampingnya memiliki kandungan pati yang bervariasi, dengan sebagian besar mengandung pati yang mudah terdegradasi di rumen atau *rumen degradable starch* (RDS). Konsumsi pakan dengan kandungan RDS tinggi secara berlebihan berisiko menyebabkan gangguan kesehatan pada ternak, seperti asidosis rumen, apabila tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, teknologi pengolahan ganda yang menggabungkan pengolahan kimia menggunakan asam organik dan pengolahan fisik melalui *heat moisture treatment* (HMT) diperlukan untuk mengubah RDS menjadi pati yang tidak mudah terdegradasi di rumen (*rumen undegradable starch*, RUS). Pengolahan ini secara efektif memodifikasi struktur kimia pati pada bahan pakan tinggi karbohidrat.

Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahap. Tahap pertama merupakan eksplorasi bahan pakan lokal dengan fokus pada karakteristik fraksi pati dan tingkat degradasinya di rumen. Studi menemukan variasi signifikan kandungan dan struktur pati yang memengaruhi degradasi rumen pada sepuluh bahan pakan sumber energi, yaitu jagung, gaplek, sagu, sorgum, gandum, *corn gluten feed* (CGF), *corn gluten meal* (CGM), dedak padi, pollard, dan onggok. Gaplek, jagung, sagu, dan sorgum memiliki potensi tinggi sebagai sumber energi karena kandungan pati yang tinggi, dengan sorgum menunjukkan kandungan pati resisten (*resistant starch*, RS) tertinggi. Dedak padi dan CGM memiliki struktur kimia pati yang berbeda sehingga tingkat degradasinya lebih rendah. Selain itu, ditemukan korelasi signifikan antara kandungan RS dan RDS, yang mengindikasikan bahwa peningkatan RS secara langsung menurunkan RDS.

Tahap kedua berupa evaluasi modifikasi pati menggunakan asam organik melalui meta-analisis. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi pengolahan asam organik dengan HMT lebih efektif meningkatkan kandungan RS pada bahan tinggi pati dibandingkan pengolahan tunggal. Modifikasi ini menyebabkan perubahan struktur pati, termasuk peningkatan karakteristik fisiko-kimia, penurunan derajat polimerisasi, serta pembentukan struktur kristalin yang lebih stabil. Analisis subgrup merekomendasikan asam malat dan asam sitrat sebagai asam terbaik untuk peningkatan RS secara signifikan. Penggunaan asam organik lemah ini juga dianggap lebih praktis dan aman, tanpa menimbulkan toksisitas jangka panjang pada ternak.

Tahap ketiga melibatkan pengolahan bahan pakan lokal tinggi pati dan amilosa seperti gaplek, jagung, dan sagu dilakukan dengan tiga jenis asam organik (asam malat, asam sitrat, dan asam tanat) dalam kombinasi dengan HMT. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan kandungan RS dan perubahan sifat fungsional pati, seperti daya ikat air, kelarutan, dan daya mengembang. Modifikasi

ini juga meningkatkan kandungan bahan organik yang mencerminkan peningkatan kualitas nutrisi pakan. Selain itu, penurunan pencernaan protein *in vitro* enzimatis ditemukan pada bahan pakan termodifikasi, yang menunjukkan perubahan struktur pati-protein. Gaplek yang dimodifikasi menggunakan asam malat dan HMT menunjukkan peningkatan RS dan kualitas terbaik, sehingga dapat digunakan untuk mengontrol rasio RDS dan RUS dalam ransum ruminansia.

Tahap terakhir adalah analisis fermentasi rumen *in vitro* secara komprehensif dan kajian metabolomik terhadap pakan dan cairan rumen hasil fermentasi selama 48 jam. Peningkatan proporsi RUS hingga 50% dalam ransum menurunkan akumulasi amonia, populasi protozoa, serta produksi gas metana secara signifikan. Meskipun penyerapan di bagian pasca rumen dan usus halus belum menunjukkan hasil signifikan, terdapat kecenderungan dampak positif yang didukung oleh perubahan profil metabolit. Kajian metabolomik mengindikasikan perubahan signifikan pada struktur kimia pakan akibat modifikasi, yang meningkatkan efisiensi energi melalui optimalisasi jalur metabolisme pati di rumen. Ransum dengan kandungan RUS tinggi memperlihatkan pergeseran fungsi rumen ke arah optimasi degradasi serat, serta pola fermentasi yang lebih lambat namun efisien, yang ditandai dengan peningkatan rasio asetat terhadap propionat. Hal ini menunjukkan ketersediaan energi yang lebih optimal bagi ternak.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi HMT dan asam organik secara efektif memodifikasi karakteristik pati bahan pakan lokal, meningkatkan kandungan RS dan RUS, serta mengoptimalkan profil fermentasi rumen *in vitro*. Strategi ini berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan bahan pakan lokal dan produktivitas ternak ruminansia tanpa efek negatif, sekaligus mendukung pemanfaatan sumber daya lokal yang berkelanjutan.

Kata kunci: asam organik, karbohidrat, metabolomik, ruminansia, pati.

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

MARDIAH RAHMADANI. Optimization of Rumen-Degradable Starch in Local Feed Ingredients through Organic Acid and Heat Moisture Treatment. Supervised by ANURAGA JAYANEGARA, NAHROWI, LILIS KHOTIJAH, and RUSLI FIDRIYANTO.

The optimization of starch degradation in the rumen aims to enhance the utilization of local feed resources by modifying starch to improve the feed efficiency of ruminant livestock. In Indonesia, various local feedstuffs, including grains, tubers, and their by-products, contain varying starch contents. Most of these feedstuffs have a high proportion of rumen degradable starch (RDS), which, if consumed excessively without proper management, can lead to health issues such as ruminal acidosis. Therefore, dual processing technologies, combining chemical treatment with organic acids and physical treatment using heat moisture treatment (HMT), are necessary to convert RDS into rumen undegradable starch (RUS). This dual processing effectively modifies starch by altering the chemical structure of high-carbohydrate feed materials.

This study was conducted in four stages. The first stage involved the exploration of local feed materials focusing on the characteristics of starch fractions and their degradation rates in the rumen. Significant variation was found in starch content and structure affecting ruminal degradation among ten energy feed sources: corn, cassava, sago, sorghum, wheat, corn gluten feed (CGF), corn gluten meal (CGM), rice bran, pollard, and cassava pulp. Cassava, corn, sago, and sorghum showed high potential as energy sources due to their high starch content, with sorghum having the highest resistant starch (RS) content. Rice bran and CGM exhibited different starch chemical structures resulting in lower degradation rates. A significant correlation between RS and RDS contents was also observed, indicating that increased RS directly reduces RDS.

The second stage involved the evaluation of starch modification using organic acids through a meta-analysis approach. Results indicated that combining organic acid treatment with HMT was more effective in increasing RS content in high-starch materials compared to single treatments. This modification led to changes in starch structure, including enhanced physicochemical properties, decreased starch polymerization degree, and formation of more stable crystalline structures. Subgroup analyses recommended malic acid and citric acid as the most effective acids for significantly increasing RS content. Moreover, the use of weak organic acids is considered practical and safe for livestock feed, as it does not pose long-term toxicity risks.

In the third stage, local high-starch and high-amylose feedstuffs such as gaplek, corn, and sago were treated with three different organic acids (malic acid, citric acid, and tannic acid) in combination with HMT. The results demonstrated a significant increase in RS content and altered functional properties of starch, such as water-binding capacity, solubility, and swelling power. This modification also improved organic matter content, reflecting enhanced nutritional quality. Additionally, a decrease in *in vitro* enzymatic protein digestibility was observed, indicating structural changes in starch-protein complexes. Cassava modified with



malic acid and HMT showed the highest RS value and quality improvement, making it suitable for controlling the RDS-to-RUS ratio in ruminant diets.

The final stage comprised a comprehensive *in vitro* rumen fermentation analysis and metabolomic study of the feed and rumen fluid after 48 hours of fermentation. Increasing the RUS proportion in the diet up to 50% significantly reduced ammonia accumulation, protozoa population, and methane gas production. Although post-rumen and small intestine absorption were not significantly affected, a positive trend was observed, supported by metabolite profile changes. Metabolomic analysis revealed significant alterations in metabolite profiles, indicating chemical structural changes in the feed due to modification and improved energy efficiency through optimized starch metabolism pathways in the rumen. Diets high in RUS shifted rumen function towards enhanced fiber degradation. Furthermore, the volatile fatty acid production rate indicated a slower yet more efficient fermentation pattern, with an increased acetate-to-propionate ratio, suggesting more optimal energy availability for the livestock.

Overall, this study demonstrates that combining HMT with organic acid treatment effectively modifies starch characteristics in local feed materials, increases RS and RUS content, optimizes *in vitro* rumen fermentation profiles, and improves the efficiency of local feed utilization. This strategy has the potential to enhance ruminant productivity without adverse effects, while promoting sustainable use of local feed resources.

Keywords: organic acids, carbohydrates, metabolomics, ruminants, starch.



@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.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

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



@Hak cipta 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.

OPTIMASI PATI TERDEGRADASI DI RUMEN PADA BAHAN PAKAN LOKAL MELALUI PENGOLAHAN ASAM ORGANIK DAN *HEAT MOISTURE*

MARDIAH RAHMADANI

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan

**ILMU NUTRISI DAN PAKAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Muhammad Ridla, M.Agr
- 2 Dr. Ir. Heri Ahmad Sukria, M.Sc.Agr

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Dr. Ir. Heri Ahmad Sukria, M.Sc.Agr
- 2 Dr. Roni Ridwan, S.Pt., M.Si



@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 Disertasi : Optimasi Pati Terdegradasi di Rumen pada Bahan Pakan Lokal
melalui Pengolahan Asam Organik dan *Heat Moisture*
Nama : Mardiah Rahmadani
NIM : D2601221021

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc.

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

Pembimbing 3:
Dr. Ir. Lilis Khotijah, M.Si.

Pembimbing 4:
Dr. Rusli Fidriyanto, M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Dewi Apri Astuti, M.S
NIP 196110051985032001

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

Tanggal Ujian Tertutup: 30 Juni 2025
Tanggal Ujian Terbuka: 22 Juli 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2023 sampai bulan April 2025 ini ialah teknologi pengolahan pakan, dengan judul “Optimasi Pati Terdegradasi di Rumen pada Bahan Pakan Lokal melalui Pengolahan Asam Organik dan *Heat Moisture*”.

Penelitian dilaksanakan dengan sumber dana dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementrian Riset dan Teknologi melalui Program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU). Penulis mengucapkan terima kasih banyak atas kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis bisa menuntut ilmu hingga Pascasarjana. Disertasi ini disusun tidak lepas atas bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Anuraga Jayanegara, S.Pt., M.Sc. sebagai promotor PMDSU dan ketua komisi pembimbing, serta Prof. Dr. Ir. Nahrowi, M.Sc., Dr. Ir. Lilis Khotijah, M.Si., Dr. Rusli Fidriyanto, M.Sc. selaku anggota komisi pembimbing yang telah membimbing, mengarahkan, memberi nasihat dan saran, serta semangat selama penelitian dan penulisan karya ilmiah ini.
2. Dr. Ir. Didid Diapari, MS selaku penguji luar komisi saat ujian kualifikasi doktor, Dr. Ir. Rita Mutia, M.Agr selaku moderator kolokium, Dr. Indah Wijayanti, S.Tp. M.Si. selaku moderator seminar, Prof. Dr. Ir. Muhammad Ridla, M.Agr selaku penguji luar komisi pada ujian tertutup, Dr. Ir. Heri Ahmad Sukria, M.Sc.Agr selaku penguji luar komisi saat ujian kualifikasi doktor, ujian tertutup, dan sidang promosi, serta Dr. Roni Ridwan, S.Pt., M.Si. selaku penguji luar pada sidang promosi yang telah memberi masukan dan saran dalam penulisan disertasi ini.
3. Rektor IPB University, Dekan Sekolah Pascasarjana, Dekan Fakultas Peternakan, dan Ketua Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Ketua dan Sekretaris Program Studi S3 Ilmu Nutrisi dan Pakan, serta staf sekretariat program studi yang telah memberi kesempatan belajar dan pelayanan akademik terbaik.
4. Seluruh staf pengajar dan tenaga kependidikan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama menempuh pendidikan doktor di Program Studi Ilmu Nutrisi dan Pakan.
5. Staf Laboratorium Ilmu dan Teknologi Pakan: Ibu Eneh Maesaroh, S.Si, Ibu Ratih Widyaningrum, S.Pt, Bapak Dadang Sutiawan, Bapak Endar Permana, dan Mba Riana telah membantu proses penelitian dan pengambilan data di Laboratorium.
6. Staf Laboratorium Nutrisi Ternak Perah: Ibu Dian Anggraini, S.Si, Ibu Inah Kusminah, S.Pt, Bapak Ahmad Yani yang telah membantu proses penelitian tahap *in sacco* di laboratorium lapang.
7. Tim Pusat Riset Zoologi Terapan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN): Ibu Dr. Ainissya Fitri, M.Si, Bapak Dr. Ki Ageng Sarwono, M.Sc yang telah membimbing selama penelitian di BRIN Cibinong tahap *in vitro*.

8. Pihak-pihak yang telah membantu selama pengumpulan data dan studi doktor di IPB, yaitu Silva Aulia Hapsari, S.Pt., Tazkiyah Annisa Utari, S.Pt., Maya Shofiah, S.Pt., Dr. Eko Lela Fitriana, S.Pt., M.Si., Dr. Annisa Rosmalia, S.Pt., M.Si., Irwan Susanto, S.Pt., M.Si., Vita Apriani, S.Pt., M.Si., Dara Nur Sabrina, S.Pt., Nadia Safira, S.Pt., Afriani Dona, S.Pt., MP.
9. Sahabat Melingkar 53, Rekan-rekan INP 2022 program S3, terima kasih atas dukungan selama studi di IPB.
10. Segenap keluarga, Ayah Supriatno, Mama Drs. Farida Hannum, Bapak Wanhari, Ibu Prihati, Abang, Kakak, dan Adik atas segala dukungan dan kasih sayangnya untuk kesuksesan penulis.
11. Rasa syukur dan terima kasih dengan segenap cinta penulis sampaikan juga kepada suami, Rahma Dhani Dwi Prasetya, S.Pt., M.Si atas pengertian, kesabaran, kerjasama, kebersamaan, dan selalu menjadi motivasi penulis untuk segera menyelesaikan studi ini.

Disertasi ini adalah karya besar dalam perjalanan hidup penulis. Penulis senantiasa berharap agar karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Mardiah Rahmadani



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Kebaruan (<i>novelty</i>)	3
EVALUASI FRAKSI KARBOHIDRAT DAN DEGRADASI PATI <i>IN-SACCO</i> PADA PAKAN LOKAL SUMBER KARBOHIDRAT	5
2.1 Abstrak	5
2.2 Pendahuluan	5
2.3 Materi dan Metode	7
2.4 Hasil dan Pembahasan	9
2.5 Simpulan	19
PENINGKATAN PATI RESISTEN MELALUI INTERVENSI ASAM ORGANIK: STUDI META-ANALISIS	20
3.1 Abstrak	20
3.2 Pendahuluan	20
3.3 Prosedur Kerja	22
3.4 Analisis data	24
3.5 Hasil dan Pembahasan	24
3.6 Simpulan	36
MODIFIKASI BAHAN PAKAN DENGAN ASAM ORGANIK DAN <i>HEAT MOISTURE TREATMENT</i> : PENGARUH TERHADAP SIFAT FISIKO-KIMIA, KECERNAAN PROTEIN, DAN PATI RESISTEN	37
4.1 Abstrak	37
4.2 Pendahuluan	37
4.3 Materi dan Metode	38
4.4 Hasil dan Pembahasan	41
4.5 Simpulan	50
OPTIMALISASI FORMULASI RANSUM DENGAN GAPLEK TERMODIFIKASI ASAM MALAT DAN <i>HEAT MOISTURE TREATMENT</i> : <i>IN VITRO</i> DAN METABOLOMIK	51
5.1 Abstrak	51
5.2 Pendahuluan	51
5.3 Materi dan Metode	53
5.4 Hasil dan Pembahasan	59
5.5 Simpulan	80
PEMBAHASAN UMUM	81



- 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.

VII SIMPULAN DAN SARAN	87
7.1 Simpulan	87
7.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	101
RIWAYAT HIDUP	109



DAFTAR TABEL

1	Komposisi nutrisi bahan pakan sumber karbohidrat (%BK)	10
2	Kandungan pati dan pati resisten bahan pakan lokal (%BK)	11
3	Karakterisasi pati bahan pakan sumber karbohidrat (%BK)	12
4	Karakterisasi pati bahan pakan sumber karbohidrat (%BK)	13
5	Residu bahan kering dan pati bahan pakan pada berbagai waktu inkubasi rumen <i>in-sacco</i>	15
6	Parameter kinetika degradasi <i>in-sacco</i> bahan kering dan pati	17
7	Estimasi <i>rumen degradable starch</i> (RDS) dan <i>rumen undegradable starch</i> (RUS)	18
8	Studi yang dimasukkan sebagai basis data untuk meta-analisis pati resisten termodifikasi dengan asam organik	25
9	Statistik deskriptif pengaruh pati resisten modifikasi dengan asam organik	27
10	Informasi eksperimental yang dilaporkan dalam basis data	28
11	Hasil meta-analisis peningkatan pati resisten dengan intervensi asam organik	31
12	Komposisi kimia pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT (%BK)	42
13	Parameter warna pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT	43
14	Karakteristik fungsional pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT (%BK)	44
15	Kristalin dan amorf pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT	46
16	Komposisi pati dan pati resisten pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT (%BK)	47
17	Kecernaan protein <i>in vitro</i> pakan yang dimodifikasi dengan asam organik-HMT (%)	49
18	Formulasi dan kandungan nutrisi ransum	54
19	Profil fermentasi rumen <i>in vitro</i>	59
20	Kinetika produksi gas dan konsentrasi metana fermentasi <i>in vitro</i>	60
21	<i>Volatile fatty acid</i> hasil fermentasi rumen <i>in vitro</i>	61
22	Degradasi bahan kering dan bahan organik <i>in vitro three-step</i>	63
23	Karakteristik bahan pakan sumber karbohidrat	82

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	4
2	Korelasi fraksi karbohidrat dan degradasi pati	19
3	Alur pencarian literatur menggunakan protokol PRISMA	23
4	<i>Forest plot</i> dari analisis subkelompok berdasarkan berbagai jenis asam organik	34
5	<i>Forest plot</i> dari analisis subkelompok berdasarkan sumber karbohidrat	35
6	<i>Funnel plot</i> bias publikasi pada parameter pati resisten	36

7	Model regresi <i>broken line</i> yang disesuaikan dengan total produksi VFA	62
8	Profil senyawa <i>volatile</i> pakan <i>in vitro</i> dengan imbalan RDS dan RUS	64
9	Profil kelas senyawa <i>volatile</i> pakan	65
10	Analisis <i>hierarchical cluster</i> dan <i>heatmap</i> senyawa <i>volatile</i> pakan	66
11	Profil senyawa hasil derivatisasi pakan <i>in vitro</i>	67
12	Profil kelas senyawa hasil derivatisasi pakan	69
13	<i>Hierarchical cluster</i> dan <i>heatmap</i> senyawa hasil derivatisasi pakan	70
14	Profil senyawa <i>volatile</i> cairan rumen <i>in vitro</i>	72
15	Profil kelas senyawa <i>volatile</i> cairan rumen <i>in vitro</i>	73
16	Analisis <i>hierarchical cluster</i> dan <i>heatmap</i> dari rata-rata metabolit	74
17	Profil senyawa hasil derivatisasi cairan rumen <i>in vitro</i>	75
18	Profil kelas senyawa hasil derivatisasi cairan rumen <i>in vitro</i>	77
19	Analisis <i>hierarchical cluster</i> dan <i>heatmap</i> senyawa hasil derivatisasi	78
20	Korelasi parameter <i>in vitro</i> dan senyawa metabolit cairan rumen	80
21	Skema strategi modifikasi pati lokal dan aplikasinya dalam formulasi ransum ruminansia	85

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Surat Pesetujuan Perlakuan Etik	103
2	Lampiran 2 Bukti Publikasi Jurnal Internasional 1	104
3	Lampiran 3 Bukti Publikasi Jurnal Internasional 2	105
4	Lampiran 4 Bukti Publikasi Jurnal Internasional 3	106
5	Lampiran 5 Bukti Publikasi Seminar Internasional 1	107
6	Lampiran 6 Bukti Publikasi Seminar Internasional 2	108