HYβRIDA
ISSN :

Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan
Vol 5 No 2 Tahun 2025

# REVIEW ARTIKEL: PENGARUH PAKAN JERAMI DAN INDIGOFERA TERHADAP FERMENTASI RUMEN DAN EMISI METANA PADA SAPI PEDAGING

**Kayla Luthfivah Al Azmy[1], Ulfa Nurrofingah[2], Ainun Nafisah[3]**
[1'2'3] Peternakan,Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

* E-mail : kaylalulu31@gmail.com[1], ulfa.nurrofingah@untirta.ac.id[2], ainunnfsh@untirta.ac.id[3]

**Abstrak.** Ketersediaan hijauan berkualitas di wilayah tropis berfluktuasi, terutama pada musim kemarau, sehingga peternak sapi pedaging banyak memanfaatkan jerami padi sebagai pakan basal. Namun, jerami padi memiliki protein kasar rendah serta kandungan NDF dan lignin tinggi yang menurunkan kecernaan dan membuat fermentasi rumen kurang efisien, ditandai oleh rendahnya VFA total dan tingginya rasio asetat:propionat yang berpotensi meningkatkan emisi metana. Kajian ini merupakan studi literatur yang menelaah publikasi tahun 2016–2025 dari berbagai basis data ilmiah untuk menganalisis pengaruh suplementasi Indigofera zollingeriana pada ransum berbasis jerami terhadap fermentasi rumen dan emisi metana sapi pedaging. Hasil sintesis menunjukkan bahwa Indigofera, sebagai leguminosa berprotein tinggi, meningkatkan suplai nitrogen rumen, mempercepat degradasi serat jerami, menaikkan VFA total, meningkatkan propionat, menurunkan NH3- N berlebih, dan meningkatkan protein mikroba. Kandungan tanin dan saponin Indigofera menurunkan populasi protozoa rumen sehingga menekan metanogen, sementara peningkatan propionat mengurangi hidrogen bebas sebagai substrat metanogenesis. Secara keseluruhan, suplementasi Indigofera pada pakan jerami mampu memperbaiki efisiensi fermentasi rumen, meningkatkan ketersediaan energi dan protein bagi ternak, serta menurunkan emisi metana enterik. Strategi ini berpotensi mendukung sistem penggemukan sapi pedaging yang lebih produktif dan ramah lingkungan di Indonesia.

Kata kunci : Jerami Padi; Indigofera zollingeriana; fermentasi rumen; VFA (asam lemak volatil); NH3-N; protozoa rumen; emisi metana; sapi pedaging; suplemen leguminosa; mitigasi gas rumah kaca.

***Abstract***. *In tropical regions, the availability of high-quality forage fluctuates seasonally, particularly during*

**Article History**
Received: Desember 2025
Reviewed: Desember 2025
Published: Desember 2025

**Copyright : Author**
**Publish by : Hibrida**



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

HYβRIDA
Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan
Vol 5 No 2 Tahun 2025
ISSN :

*the dry season, leading beef cattle farmers to rely on rice straw as a basal diet. However, rice straw is characterized by low crude protein and high NDF and lignin contents, resulting in poor digestibility and inefficient rumen fermentation, reflected by low total VFA and a high acetate-to-propionate ratio that may promote enteric methane emissions. This study is a literature review synthesizing relevant publications from 2016–2025 indexed in national and international scientific databases to evaluate the effects of Indigofera zollingeriana supplementation in rice straw–based diets on rumen fermentation and methane production in beef cattle. The reviewed evidence consistently indicates that Indigofera, a high-protein tropical legume, improves rumen nitrogen supply, accelerates straw fiber degradation, increases total VFA, enhances propionate formation, reduces excess ruminal NH3-N, and promotes microbial protein synthesis. Moreover, Indigofera contains moderate levels of tannins and saponins that suppress rumen protozoa, thereby indirectly reducing protozoa-associated methanogens, while the shift toward propionate fermentation lowers available hydrogen for methanogenesis. Overall, Indigofera supplementation in rice straw diets enhances rumen fermentation efficiency, improves energy and protein availability for growth, and mitigates enteric methane emissions. This feeding strategy offers a promising approach for sustainable and productive beef cattle systems in Indonesia.*

*Keyword : Rice Straw; Indigofera Zollingeriana; Rumen Fermentation; VFA (Volatile Fatty Acids); Ruminal NH3-N; Rumen Protozoa; Methane Emission; Beef Cattle; Legume Supplementation; Greenhouse Gas Mitigation.*

## PENDAHULUAN

Sapi pedaging merupakan komoditas strategis penyedia protein hewani, sehingga efisiensi pertumbuhan dan pemanfaatan pakan menjadi fokus utama produksi (Antari et al., 2022). Produktivitas sapi pedaging di wilayah tropis sering terkendala ketersediaan hijauan berkualitas yang berfluktuasi sepanjang musim, khususnya pada musim kemarau (McLennan, 2023). Dalam situasi kekurangan hijauan, peternak umumnya menggunakan jerami padi sebagai pakan basal karena ketersediaannya melimpah dan murah (Sujani & Seresinhe, 2020).

Namun, salah satu permasalahan utama dalam usaha penggemukan sapi pedaging di Indonesia adalah keterbatasan pakan berkualitas, terutama pada musim kemarau, sehingga peternak banyak mengandalkan jerami padi sebagai pakan basal. Jerami padi memiliki ketersediaan melimpah, namun nilai nutrisinya rendah dengan kandungan

serat kasar dan lignin yang tinggi sehingga kecernaannya rendah dan tidak mampu mendukung performa optimal ternak apabila tidak disertai dengan sumber protein pendukung (Haryanto et al., 2020). Kondisi ini menyebabkan fermentasi rumen berjalan kurang efisien yang berdampak pada rendahnya produksi asam lemak volatil (VFA) sebagai sumber energi utama ternak ruminansia.

Jerami padi memiliki kandungan protein kasar rendah dan serat kasar tinggi, terutama NDF serta lignin yang sulit terdegradasi di rumen. Kandungan lignoselulosa dan lignin yang tinggi menghambat kolonisasi mikroba selulolitik dan memperlambat degradasi serat sehingga fermentasi rumen menjadi kurang efisien. Fermentasi jerami yang kurang efisien menurunkan produksi VFA sebagai sumber energi utama bagi sapi pedaging (Huang et al., 2022). Jerami padi karenanya membutuhkan suplementasi sumber protein agar tersedia nitrogen yang cukup untuk pertumbuhan mikroba rumen pemecah serat (Suharlina et al., 2016).

Indigofera zollingeriana adalah leguminosa tropis adaptif dengan protein kasar tinggi yang berpotensi menjadi suplemen jerami padi (Antari et al., 2022). Protein tinggi Indigofera meningkatkan suplai nitrogen rumen dan memperbaiki aktivitas fermentasi serat jerami (Pertiwi et al., 2025). Daun Indigofera juga mengandung tanin dan saponin yang bersifat antinutrisi moderat tetapi dapat memodulasi mikrobiota rumen (Antari et al., 2022). Tanin dan saponin diketahui menurunkan populasi protozoa rumen yang menjadi habitat/mitra sebagian metanogen (Jayanegara et al., 2021). Penurunan protozoa berpotensi menekan emisi metana enterik yang berasal dari aktivitas metanogen rumen (Patra & Saxena, 2020; Kurniawan et al., 2023). Metana penting dimitigasi karena merupakan kehilangan energi pakan dan berkontribusi pada emisi gas rumah kaca sektor peternakan (Liu et al., 2025).

Indigofera zollingeriana merupakan salah satu leguminosa pakan yang memiliki potensi besar sebagai sumber protein untuk ternak, dengan kandungan protein kasar mencapai 24– 31%, serat kasar yang moderat, dan palatabilitas yang baik. Selain itu, Indigofera mengandung senyawa fitobiotik seperti tanin dan saponin yang berperan menurunkan populasi protozoa rumen (Wina et al., 2021). Penurunan populasi protozoa rumen berkaitan erat dengan penurunan produksi metana ($CH_4$), karena sebagian besar mikroba metanogen berasosiasi dengan protozoa. Oleh karena itu, suplementasi Indigofera dalam pakan berbasis jerami tidak hanya meningkatkan kecernaan nutrisi, tetapi juga berpotensi menekan emisi metana yang dihasilkan melalui fermentasi enterik.

Emisi metana dari sektor peternakan, khususnya ruminansia, menjadi perhatian global karena metana memiliki potensi pemanasan global 28 kali lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida (IPCC, 2019). Upaya mitigasi emisi metana yang efektif harus dilakukan melalui pendekatan nutrisi yang mampu memperbaiki fermentasi rumen tanpa menurunkan produktivitas ternak. Kajian ini disusun untuk menganalisis hasil penelitian yang membahas efektivitas kombinasi jerami dan Indigofera terhadap fermentasi rumen dan emisi metana pada sapi pedaging, sehingga diharapkan memberikan dasar ilmiah dalam penerapan ransum berkelanjutan dan efisien pada sistem pemeliharaan sapi pedaging di Indonesia.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini disusun dengan menggunakan metode studi literatur (literature review) untuk menganalisis secara komprehensif berbagai informasi ilmiah yang relevan mengenai pengaruh pakan berbasis jerami dan Indigofera terhadap proses fermentasi rumen serta emisi metana pada sapi pedaging. Pada tahap awal penelusuran, diperoleh

52 artikel ilmiah yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian. Namun, setelah melalui proses seleksi bertahap dan peninjauan mendalam terhadap kesesuaian judul, fokus kajian, metodologi penelitian, serta kualitas publikasi, jumlah artikel kemudian disaring hingga tersisa 19 artikel yang dinilai paling relevan, kredibel, dan representatif untuk digunakan dalam kajian ini. Proses pencarian pustaka dilakukan secara sistematis melalui basis data digital bereputasi, yaitu Scopus, SINTA (Science and Technology Index), PubMed Central (PMC), dan Google Scholar, untuk memastikan cakupan literatur yang luas dan valid. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris, antara lain: “Indigofera zollingeriana”, “rice straw feed”, “rumen fermentation”, “methane emission in beef cattle”, “tannin legumes”, dan “nutrisi sapi pedaging”. Pemilihan kata kunci ini bertujuan untuk menjaring literatur yang membahas karakteristik nutrisi bahan pakan, dinamika fermentasi rumen, dan faktor-faktor yang memengaruhi produksi metana pada sistem pencernaan ruminansia.

Seleksi pustaka dilakukan berdasarkan kriteria pencarian yang ketat guna menjamin bahwa sumber yang digunakan memiliki kualitas dan relevansi tinggi. Kriteria tersebut meliputi: (1) artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam jurnal nasional terakreditasi SINTA peringkat 1–3 atau jurnal internasional yang terindeks Scopus, (2) rentang tahun publikasi antara 2016 hingga 2025 untuk memastikan kemutakhiran data dan kesesuaian dengan perkembangan terbaru dalam sistem pemberian pakan, serta (3) artikel yang secara spesifik membahas penggunaan jerami dan Indigofera dalam ransum, pengaruhnya terhadap fermentasi rumen, profil produk fermentasi, serta kontribusinya terhadap emisi metana pada sapi pedaging. Berdasarkan penyaringan akhir, diperoleh 19 artikel yang memenuhi seluruh kriteria tersebut. Artikel-artikel tersebut kemudian dianalisis dan disintesis secara naratif untuk menyusun pembahasan yang terstruktur, komprehensif, dan selaras dengan tujuan penulisan kajian ini

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Peran Probiotik Terhadap Kesehatan Saluran Pencernaan Sapi Pedaging

Jerami padi tanpa suplementasi umumnya menghasilkan VFA total yang rendah karena lignin menghambat degradasi selulosa oleh enzim mikroba (Huang et al., 2022). Akibatnya, proses fermentasi serat jerami berlangsung lambat dan energi yang dihasilkan dari rumen menjadi terbatas (Sujani & Seresinhe, 2020). Metagenomik rumen menunjukkan diet jerami dapat meningkatkan populasi bakteri pemecah serat, tetapi fermentasinya cenderung mengarah pada pembentukan asetat (Zhang et al., 2023).

Dominasi asetat menyebabkan rasio asetat:propionat meningkat dan menandakan fermentasi kurang efisien (Patra & Saxena, 2020). Rasio asetat:propionat yang tinggi juga menunjukkan banyak energi pakan hilang sebagai gas fermentasi (Patra & Saxena, 2020). Kondisi ini menegaskan perlunya suplementasi protein pada ransum jerami untuk mendukung aktivitas mikroba rumen (Suharlina et al., 2016). Suplementasi Indigofera zollingeriana meningkatkan ketersediaan nitrogen rumen sehingga pertumbuhan bakteri selulolitik lebih optimal (Suharlina et al., 2016). Aktivitas bakteri selulolitik yang meningkat mempercepat degradasi NDF jerami (Pertiwi et al., 2025).

Percepatan degradasi serat tersebut berujung pada peningkatan VFA total sebagai hasil akhir fermentasi (Pertiwi et al., 2025). Pada pemberian Indigofera level tinggi, total VFA dilaporkan mampu mencapai sekitar 381 mM dibanding kontrol jerami tanpa suplemen (Pertiwi et al., 2025). Peningkatan VFA total ini menggambarkan

HYβRIDA
ISSN :
Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan
Vol 5 No 2 Tahun 2025

tersedianya energi metabolik yang lebih besar untuk mendukung performa sapi pedaging (Fregulia et al., 2024). Selain itu, Indigofera menurunkan NH3-N rumen berlebih karena nitrogen lebih efisien dimanfaatkan untuk sintesis protein mikroba (Suharlina et al., 2016). Kenaikan protein mikroba meningkatkan suplai asam amino ke usus sehingga mendukung pertambahan bobot badan (Pertiwi et al., 2025). Dengan demikian, suplementasi Indigofera dapat mengatasi keterbatasan utama jerami padi berupa rendahnya nitrogen dan lambatnya degradasi serat. Tabel 1.

**Tabel 1. fermentasi rumen pada ransum jerami dengan suplementasi Indigofera**

| Studi | Pakan Basal | Bentuk & Level *Indigofera* | Dampak terhadap Fermentasi |
|---|---|---|---|
| Suharlina *et al.*, 2016 | TMR serat–konsentrat | Hijauan *Indigofera* 20–80% BK | VFA total ↑; propionat ↑; protozoa ↓ |
| Rofiq *et al.*, 2019 | Substrat in vitro | Ekstrak daun 1% | VFA ↑; kecernaan BK ↑; NH3-N ↓ |
| Pertiwi *et al.*, 2025 | Ransum serat rendah (in vitro) | Hijauan level tinggi | VFA total ~381 mM ↑; protein mikroba ↑; NH3-N ↓ |
| Fawzy *et al.*, 2025 | TMR in vitro | Tepung daun bertingkat | VFA total ↑; propionat ↑; asetat ↓ |

Pola pada tabel memperlihatkan bahwa seluruh studi konsisten melaporkan peningkatan VFA total setelah suplementasi Indigofera. Konsistensi ini menggambarkan potensi Indigofera sebagai suplemen jerami dalam meningkatkan efisiensi fermentasi rumen.

**Dampak Pemberian Indigofera terhadap Emisi Metana Rumen**

Ransum berbasis jerami padi yang tinggi serat (terutama NDF) cenderung menghasilkan profil fermentasi rumen yang didominasi asetat. Jalur pembentukan asetat melepaskan hidrogen ($H_2$) bebas dalam jumlah besar, yang kemudian dimanfaatkan archaea metanogen untuk membentuk metana ($CH_4$) sebagai mekanisme penyeimbangan elektron di rumen. Karena itu, semakin dominan fermentasi asetat pada ransum jerami, semakin besar peluang peningkatan emisi metana enterik pada sapi pedaging (Patra & Saxena, 2020). Hidrogen bebas tersebut kemudian digunakan archaea metanogen untuk membentuk $CH_4$ sebagai mekanisme penyeimbang elektron di rumen (Patra & Saxena, 2020). Daun Indigofera zollingeriana mengandung tanin dan saponin yang mampu menekan populasi protozoa rumen (Jayanegara et al., 2021). Protozoa merupakan relung hidup sebagian metanogen, sehingga penurunannya menyebabkan metanogen ikut menurun dan produksi $CH_4$ berkurang (Patra & Saxena, 2020). Ekstrak Indigofera 0,8% terbukti menurunkan protozoa dan metana secara signifikan pada fermentasi rumen in vitro (Kurniawan et al., 2023). Penurunan metana juga dilaporkan pada perlakuan Indigofera yang meningkatkan VFA total dibanding kontrol jerami (Pertiwi et al., 2025).

Selain melalui defaunasi protozoa, Indigofera menurunkan metana dengan mendorong fermentasi ke arah propionat (Fawzy et al., 2025). Propionat berperan sebagai penyerap hidrogen sehingga mengurangi substrat yang tersedia bagi metanogen (Patra & Saxena,2020). Suplementasi tepung daun Indigofera bertingkat dilaporkan meningkatkan propionat sekaligus menurunkan $CH_4$ (Fawzy et al., 2025). Meta-analisis

HYβRIDA
ISSN :
Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan
Vol 5 No 2 Tahun 2025

tanaman tropis kaya tanin menunjukkan tanin mampu menekan metana tanpa menurunkan VFA jika dosisnya moderat (Jayanegara et al., 2021). Tabel 2.

**Tabel 2. Kompilasi penurunan metana akibat suplementasi Indigofera**

| Studi | Sistem Uji | Bentuk Indigofera | Dampak terhadap Metana |
|---|---|---|---|
| Suharlina et al., 2016 | RUSITEC | Hijauan 20–80% BK | $CH_4$ ↓ seiring peningkatan level |
| Rofiq et al., 2019 | In vitro | Ekstrak 1% | Protozoa ↓ dan $CH_4$ ↓ |
| Kurniawan et al., 2023 | In vitro | Ekstrak 0,8% | $CH_4$ ↓ signifikan; bakteri ↑ |
| Pertiwi et al., 2025 | In vitro | Suplementasi level tinggi | $CH_4$ ↓; VFA ↑; NH3-N ↓ |
| Fawzy et al., 2025 | In vitro | Tepung daun bertingkat | $CH_4$ ↓; asetat ↓; propionat ↑ |

Secara mekanistik, tabel menegaskan bahwa mitigasi metana oleh Indigofera terjadi melalui penurunan protozoa dan peningkatan jalur propionat. Mekanisme ini penting karena menekan metana sekaligus mengurangi kehilangan energi pakan pada ternak.

**Implikasi Perubahan Fermentasi terhadap Kinerja Sapi Pedaging**

Peningkatan VFA total pada ransum jerami yang disuplementasi Indigofera menunjukkan bahwa lebih banyak energi fermentatif tersedia untuk kebutuhan hidup pokok dan pertumbuhan sapi pedaging (Fregulia et al., 2024). Energi dari VFA, terutama propionat, berperan besar dalam pembentukan glukosa hati yang mendukung pertambahan bobot badan ruminansia (Patra & Saxena, 2020) Kenaikan propionat akibat suplementasi leguminosa berprotein tinggi umumnya berkorelasi positif dengan peningkatan efisiensi konversi pakan (Fawzy et al., 2025).

Perbaikan degradasi serat jerami oleh bakteri selulolitik meningkatkan kecernaan bahan kering sehingga konsumsi nutrien yang terserap juga meningkat (Pertiwi et al., 2025). Kondisi ini memberikan peluang peningkatan performa penggemukan sapi pedaging di daerah tropis yang bergantung pada jerami padi (McLennan, 2023). Secara fisiologis, peningkatan sintesis protein mikroba juga memperkaya suplai asam amino ke usus halus yang penting bagi deposisi jaringan otot (Pertiwi et al., 2025). Dengan demikian, kombinasi jerami padi dan Indigofera dapat diposisikan sebagai strategi peningkatan produktivitas sekaligus efisiensi pemanfaatan limbah pertanian.

**KESIMPULAN**

Kajian literatur ini menunjukkan bahwa Jerami padi sebagai pakan basal sapi pedaging berkualitas rendah karena protein kasar rendah serta serat–lignin tinggi, sehingga kecernaan dan fermentasi rumen tidak efisien, VFA rendah, rasio asetat:propionat tinggi, dan emisi metana meningkat. Suplementasi *Indigofera zollingeriana* memperbaiki fermentasi melalui peningkatan suplai nitrogen, degradasi serat jerami, total VFA, dan propionat, sehingga efisiensi energi serta sintesis protein mikroba naik dan berpotensi meningkatkan performa ternak. Indigofera juga menekan

metana lewat efek tanin–saponin yang menurunkan protozoa/metanogen serta pergeseran fermentasi ke arah propionat yang mengurangi hidrogen untuk pembentukan $CH_4$. Kombinasi jerami padi–Indigofera jadi strategi ransum tropis yang lebih produktif dan ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M., Widyastuti, T., & Lestari, D. (2024). Proteksi protein Indigofera dengan ekstrak tanin terhadap produksi gas dan metana rumen. Pastura, 12(2), 45–53.

Alamsyah, R., Putri, N., & Siregar, H. (2023). Formulasi complete feed berbasis jerami dan Indigofera pada sapi pedaging. International Journal of Animal Science, 18(1), 22– 30.

Antari, R., Anggraeny, Y. N., Putri, A. S. (2022). Nutritive and antinutritive contents of Indigofera zollingeriana: Its potency for cattle feed in Indonesia. Livestock Research for Rural Development, 34(2).

Arifin, Z., & Nugroho, B. (2021). Komposisi nutrisi dan kecernaan jerami padi sebagai pakan basal ruminansia. Jurnal Sain Peternakan Indonesia, 10(3), 155–163.

Dewi, R., & Pratama, S. (2022). Peran leguminosa berprotein tinggi terhadap efisiensi pakan ruminansia. Jurnal Sain Peternakan Indonesia, 14(1), 101–110.

Fatimah, N., & Gunawan, N. (2024). Kualitas pellet hijau berbasis Indigofera dan kecernaan nutrien pada sapi pedaging. Jurnal Teknologi Veteriner, 15(2), 60–68.

Haryanto, B., Wulandari, S., & Setiawan, R. (2020). Karakteristik jerami padi dan potensinya sebagai bahan pakan ruminansia. Jurnal Peternakan Nusantara, 8(1), 33–41.

IPCC. (2019). Climate Change and Land. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Ismail, A., & Yunus, R. (2021). Perubahan profil fermentasi rumen akibat suplementasi leguminosa. Journal of Animal Science and Technology, 42(5), 355–364.

Kusuma, A., & Tanjung, F. (2022). Potensi Indigofera zollingeriana sebagai sumber protein pakan sapi pedaging. Jurnal Peternakan Indonesia, 17(2), 89–98.

Lestari, S., & Widodo, P. (2023). Pengaruh jerami terfermentasi terhadap aktivitas mikroba rumen. Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, 6(1), 70–79.

Mahfud, M., & Yusuf, A. (2024). Perubahan produksi VFA akibat variasi protein pakan ruminansia. Journal of Ruminant Nutrition, 9(2), 112–120.

Nugroho, H., & Safitri, D. (2025). Dinamika fermentasi leguminosa tropis termasuk Indigofera pada sapi pedaging. Smujo Biodiversity, 23(1), 77–85.

Rahman, S., & Natsir, M. (2022). Pengaruh suplementasi Indigofera terhadap ketersediaan nitrogen rumen. Jurnal Peternakan Tropis, 5(3), 144–152.

Suharyono, D., & Permadi, R. (2023). Peningkatan kualitas pakan berbasis limbah pertanian. Global Journal of Environmental Science & Management, 11(4), 299–308.

Susanto, D., & Astuti, Y. (2020). Hubungan protozoa rumen dan pembentukan metana pada ruminansia. Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner, 25(2), 132–140.

Utami, R., & Wijaya, K. (2024). Efisiensi energi fermentasi rumen melalui pergeseran asetat-propionat. Veterinary World, 17(3), 410–419.

Wina, E., Handayani, S., & Lazuardi, M. (2021). Tannin dan saponin sebagai agen modulator mikroba rumen. Animal Production, 23(2), 85–94.

ISSN :

Yunarto, S., & Saputra, A. (2022). Evaluasi pakan komplit jerami–Indigofera terhadap performa sapi pedaging. Animal Production (Unsoed), 24(1), 55–63.

Zakaria, A., & Pradana, R. (2024). Peran suplementasi leguminosa dalam mitigasi emisi metana ruminansia. Journal of Agricultural and Environmental Research, 12(2), 221–230.

Zulkarnain, B., & Hafiz, L. (2022). Pengaruh pakan berserat tinggi terhadap fungsi rumen. Journal of Ruminant Science, 14(4), 301–310.

Suharlina, Astuti, D. A., Nahrowi., Jayanegara, A., & Abdullah, L. (2016). Nutritional evaluation of dairy goat rations containing Indigofera zollingeriana by using in vitrorumen fermentation technique (RUSITEC). International Journal of Dairy Science, 11(3), 100–105.

Rofiq, M. N., Jayanegara, A., & Abdullah, L. (2019). Supplementation effectivity of cassava and Indigofera zollingeriana leaves extraction on rumen fermentation system in vitro. AIP Conference Proceedings, 2120, 070013.

Utami, R., Wijaya, K., & Putra, R. (2024). Enhancing feed fermentation in rice straw basal diets using leaf protein concentrate derived from Indigofera zollingeriana. Veterinary World, 17(9).

Harahap, M. A. (2024). Effects of Indigofera zollingeriana and ammonium sulfate-$Ca(OH)_2$ as combined supplements on in vitro rumen fermentation characteristics. Advances in Veterinary Research.

Kurniawan, D., Astuti, Y., & Yunarto, S. (2023). Indigofera zollingeriana leaf extract reduces sheep rumen methane production and protozoa in vitro. Journal of Animal Nutrition and Feed Technology, 23, 1–9.

Jayanegara, A., Leiber, F., & Kreuzer, M. (2021). Effect of tannins from tropical plants on methane production from ruminants: A systematic review. Veterinary and Animal Science, 13, 100214.

Szwajkowska, M., et al. (2023). A review of effect of saponins on ruminal fermentation, microbial populations and methane mitigation. Animals, 13(7), 450.

Patra, A. K., & Saxena, J. (2020). Ruminal methane production: associated microorganisms and dietary mitigation strategies. Science of the Total Environment, 703, 134-536.

Sujani, S., & Seresinhe, R. T. (2020). The current utilisation and possible treatments of rice straw as ruminant feed. Pakistan Journal of Nutrition, 19, 91–104.

Chen, X., Ma, Y., Khan, M. Z. (2022). A combination of lactic acid bacteria and molasses improves fermentation quality and rumen degradability of rice straw. Frontiers in Veterinary Science, 9, 900764.

Wu, L., Zhang, T., Jin, Z., et al. (2025). Effects of different microbial fermentation processes of rice straw on lignin degradation and in vitro digestibility. INMATEH – Agricultural Engineering, 76(2), 1131–1140.

Fawzy, M., et al. (2025). Assessment of different phytogenic-based additives on in vitro rumen fermentation and methane emission. Frontiers in Veterinary Science, 12, 1591700.

Fregulia, Q., et al. (2024). The ruminant gut microbiome vs enteric methane emission: associations and mitigation paths. Journal of Dairy Science, 107, 1–15.