

PENGARUH PAKAN LEGUM TERHADAP METABOLISME PROTEIN DAN EFISIENSI FERMENTASI RUMEN PADA SAPI PERAH: REVIEW

¹Indah Nur Zakiyah*, ²Alivia Naila Wijaya, ³Muhammad Merza Syahendra,
⁴Muhammad Tri Wijaya Kusuma, ⁵Ulfa Nurrofhingah, ⁶Ainun Nafisah

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Palka Km. 3, Sindangsari, Kec. Pabuaran, Kabupaten Serang, Banten

*Corresponding Author: indahnurzakiyah06@gmail.com

ABSTRACT

*This review aims to examine the role of legume-based feed in improving protein metabolism and rumen fermentation efficiency in dairy cows. The study was conducted using a literature review approach based on the analysis of recent scientific journals relevant to protein metabolism and rumen fermentation. The findings indicate that several types of legumes, such as *Indigofera zollingeriana*, *Leucaena leucocephala*, and *Sesbania grandiflora*, contain high protein levels (20–35%) and bioactive compounds, including tannins and saponins. These compounds play a crucial role in regulating microbial activity in the rumen, reducing excessive protein degradation, and enhancing nitrogen utilization efficiency. Legume supplementation also helps maintain rumen pH stability and increases the production of volatile fatty acids, particularly propionate, which reflects improved energy fermentation efficiency. The combination of easily degradable protein and natural bioactive compounds makes legumes a promising functional feed source. Overall, the inclusion of legumes with moderate tannin levels can enhance protein metabolism, reduce methane emissions, and support an efficient, sustainable, and environmentally friendly dairy production system.*

Keywords: Dairy cows, Legumes, Protein metabolism, Rumen fermentation.

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk mengulas peran pakan legum dalam meningkatkan metabolisme protein dan efisiensi fermentasi rumen pada sapi perah. Metode penulisan menggunakan pendekatan review literatur berdasarkan analisis jurnal ilmiah terbaru yang relevan dengan metabolisme protein dan fermentasi rumen sapi perah. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa jenis legum seperti *Indigofera zollingeriana*, *Leucaena leucocephala*, dan *Sesbania grandiflora* memiliki kadar protein tinggi (20–35%) dan mengandung senyawa bioaktif, di antaranya tanin dan saponin. Kedua senyawa ini berperan dalam mengatur aktivitas mikroba di rumen, menekan degradasi protein berlebihan, serta meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen. Legum membantu menjaga kestabilan pH rumen dan meningkatkan pembentukan asam lemak volatil, terutama propionat, yang mencerminkan efisiensi energi fermentasi yang lebih baik. Kombinasi antara protein mudah terdegradasi dan senyawa bioaktif alami menjadikan legum berpotensi tinggi sebagai pakan fungsional. Secara keseluruhan, pemberian pakan legum dengan kadar tanin moderat mampu memperbaiki metabolisme protein, menurunkan produksi metana, dan mendukung sistem produksi susu yang efisien, berkelanjutan, serta ramah lingkungan.

Kata kunci: Fermentasi rumen, Legum, Metabolisme Protein, Sapi Perah

PENDAHULUAN

Peternakan sapi perah di Indonesia umumnya masih menghadapi tantangan produktivitas yang relatif rendah akibat keterbatasan manajemen pakan dan lingkungan. Produktivitas susu yang dihasilkan belum mampu memenuhi kebutuhan nasional karena efisiensi pemanfaatan nutrisi masih rendah. Produksi susu dari sapi perah merupakan bagian

penting dalam industri peternakan yang membutuhkan pemahaman tentang berbagai faktor yang mempengaruhi jumlah dan kualitas susu yang dihasilkan. (Nugraha *et al.*, 2024). Protein pakan yang dicerna secara optimal akan meningkatkan sintesis mikroba rumen dan memperbaiki kualitas susu. Pemberian pakan dengan kandungan protein yang memadai juga mampu mencegah gangguan metabolik seperti ketosis dan mastitis subklinis. Upaya peningkatan

produktivitas sapi perah harus memperhatikan keseimbangan antara kebutuhan nutrisi dan ketersediaan bahan pakan. Penelitian yang berfokus pada hubungan nutrisi dan performa sapi perah terus berkembang dalam dekade terakhir sebagai dasar peningkatan produksi susu secara berkelanjutan (Schwab dan Broderick, 2017).

Kualitas pakan tropis yang umum digunakan oleh peternak Indonesia sering kali rendah protein dan tinggi serat kasar. Peningkatan protein dalam pakan dapat mempengaruhi produksi susu pada sapi perah. Ketersediaan protein dalam pakan harus mendukung ekosistem rumen melalui aktivitas mikroba selama proses fermentasi dan pencernaan. (Zahera *et al.*, 2020). Ketidakseimbangan nutrisi dalam pakan tropis menyebabkan suplementasi protein sulit terjangkau terutama bagi peternak skala kecil. Alternatif sumber protein alami dari tanaman lokal menjadi penting dikaji untuk meningkatkan efisiensi produksi. Legum seperti kaliandra, gamal, dan lamtoro dikenal memiliki kandungan protein tinggi serta senyawa bioaktif seperti tanin dan saponin. Senyawa tersebut memiliki potensi memodulasi aktivitas mikroba rumen dan meningkatkan efisiensi sintesis protein. Legum lokal sebagai pakan tambahan dapat memperbaiki keseimbangan nitrogen dalam rumen sapi perah (Hidayatullah dan Rani, 2024).

Legum tidak hanya berperan sebagai sumber protein, tetapi juga mengandung metabolit sekunder yang mampu memengaruhi fermentasi rumen (Prayitno *et al.*, 2018). Legum tropis mengandung senyawa bioaktif seperti tanin dan saponin yang berperan penting dalam memodulasi degradasi protein di rumen. Tanin terkondensasi, misalnya, mampu membentuk ikatan kompleks dengan protein pakan sehingga menurunkan degradasi proteolitik oleh mikroba rumen dan meningkatkan aliran protein utuh ke usus halus. Hal ini secara langsung meningkatkan pasokan asam amino esensial yang tersedia bagi ternak ruminansia, terutama untuk produksi susu dan pertumbuhan jaringan tubuh. Kadar tanin dan

saponin antar jenis legum berbeda-beda, sehingga menyebabkan variasi respons fisiologis terhadap pakan yang diberikan (Mueller-Harvey, 2019). Penulisan jurnal ini bertujuan untuk meninjau dan menganalisis pengaruh pakan legum terhadap metabolisme protein dan fermentasi rumen pada sapi perah, serta memahami peran nutrisi pakan dalam mendukung aktivitas mikroba rumen dan efisiensi penggunaan protein.

METODE

Penulisan jurnal review ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk menelusuri, menilai, dan menggabungkan berbagai hasil penelitian yang membahas pengaruh pakan legum terhadap metabolisme protein serta efisiensi fermentasi rumen pada sapi perah. Pengumpulan sumber dilakukan melalui beberapa basis data akademik seperti ScienceDirect, Sinta, dan Google Scholar dengan memakai kata kunci “*Composition and Characteristics of Legume*”, “*The Effect of Legumes on Protein Metabolism*”, “*The Effect of Legumes on Rumen Fermentation Efficiency*”, dan “*The Relationship Between Protein Metabolism and Fermentation Efficiency*”. Berdasarkan hasil penelusuran tersebut diperoleh 40 artikel ilmiah yang telah terindeks Scopus dan Sinta dan diterbitkan antara tahun 2016 hingga 2025, agar data yang digunakan tetap relevan dan mutakhir. Setelah proses pengumpulan, dilakukan tahap seleksi untuk menentukan kriteria inklusi, yaitu syarat yang digunakan guna menilai kelayakan artikel yang akan direview. Artikel dianggap memenuhi kriteria jika terindeks dalam Scopus, membahas metabolisme protein dan efisiensi fermentasi rumen, dapat diakses secara bebas dalam bentuk dokumen lengkap (full PDF), diterbitkan dalam sepuluh tahun terakhir (2016–2025). Melalui tahapan ini, diharapkan literatur yang digunakan benar-benar relevan, kredibel, dan mendukung analisis yang dilakukan dalam jurnal review ini.

Pada tahap analisis, seluruh artikel yang diperoleh dari hasil penelusuran literatur

ditelaah untuk menilai kelayakan dan mutu isinya. Dari total 45 artikel yang dikumpulkan, sebanyak 40 artikel dinilai paling relevan dan sesuai dengan topik serta fokus kajian penelitian ini.

PEMBAHASAN

Kandungan dan Karakteristik Legum

Hijauan pakan memiliki peranan penting dalam menentukan keberhasilan usaha ternak ruminansia. Sekitar sembilan puluh persen kebutuhan pakan ruminansia dipenuhi oleh hijauan, dengan konsumsi hijauan segar mencapai sekitar 10–15% dari bobot tubuh hewan setiap harinya, sedangkan sisanya dipenuhi melalui konsentrat dan bahan tambahan lainnya. Ketersediaan hijauan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim dan musim. Saat musim hujan, produksi hijauan meningkat secara signifikan, sedangkan pada musim kemarau mengalami penurunan karena tanah menjadi kering dan kurang mendukung pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil penelitian Pratama *et al.* (2022), jenis leguminosa seperti *Indigofera zollingeriana* dan *Leucaena leucocephala* memiliki kandungan protein kasar yang lebih tinggi, berkisar antara 20–28%, serta kadar serat kasar yang lebih rendah dibandingkan jenis rumput pada umumnya. Karakteristik ini menjadikan legum sebagai sumber pakan alternatif yang potensial untuk meningkatkan efisiensi nutrisi dan fermentasi rumen pada ruminansia. Pemanfaatan legum secara optimal bergantung pada ketersediaan lahan yang mendukung pertumbuhannya. Sebagian besar lahan yang digunakan untuk menanam hijauan di Indonesia merupakan lahan marginal. Ketika musim kemarau tiba, lahan-lahan tersebut cenderung mengering dan menjadi asam, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan legum maupun hijauan lainnya. Kondisi ini tidak hanya mengurangi ketersediaan hijauan tetapi juga berpengaruh pada kualitas pakan yang diberikan kepada ternak (Hidayatullah dan Rini, 2024).

Leguminosa atau tanaman polong adalah sumber pakan yang sangat berkualitas,

kaya akan protein, mineral, dan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi hewan ruminansia. Kandungan protein pada legum tropis seperti *Gliricidia sepium*, *Indigofera zollingeriana*, *Leucaena leucocephala*, dan *Moringa oleifera* berkisar antara 11 hingga 30%, sementara pencernaan bahan kering dapat mencapai 73% (Antari *et al.*, 2022). Perbedaan ini muncul karena variasi spesies, usia tanaman, dan kondisi lingkungan pertumbuhannya. Legum juga memiliki kandungan serat kasar yang sedang berperan dalam mempertahankan keseimbangan fermentasi di dalam rumen. Legum sering dipilih sebagai bahan pakan alternatif untuk meningkatkan kualitas pakan dengan serat rendah di kawasan tropis. Legum juga mempunyai karakteristik kimia khusus karena mengandung senyawa sekunder seperti tanin, saponin, dan flavonoid. Senyawa ini berfungsi untuk menghambat aktivitas mikroba yang menyebabkan degradasi protein berlebihan di rumen (Syamsi *et al.*, 2022). Legum yang memiliki kandungan fenolik tinggi memperlihatkan fraksi protein yang terdegradasi lebih lambat, sehingga dapat menyediakan sumber protein yang lebih tahan lama. Keberadaan senyawa anti nutrisi ini juga berpotensi mengurangi produksi gas metana yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Kandungan bioaktif dalam legum menambah nilai sebagai pakan fungsional untuk hewan ruminansia (Tunkala *et al.*, 2023).

Karakteristik fisik dan kimia dari legum bervariasi besar bergantung pada jenis dan bagian tanaman yang digunakan, contohnya, daun dari *Indigofera zollingeriana* mengandung lebih banyak protein dibandingkan dengan bagian batangnya, sementara *Sesbania grandiflora* dikenal kaya akan tanin serta saponin (Unnawong *et al.*, 2021). Legum yang ditambahkan ke dalam ransum yang berbasis jerami, dapat meningkatkan kadar nitrogen amonia (N-NH₃) serta sintesis protein mikroba di dalam rumen. Ini menunjukkan bahwa legum memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan protein dan proses fermentasi di rumen. Gabungan antara

kandungan protein yang tinggi dan senyawa bioaktif menjadikan legum sebagai komponen pakan yang strategis di wilayah tropis (Zain *et al.*, 2020). Secara umum, tanaman leguminosa memainkan peran dalam meningkatkan produktivitas dan mendukung efisiensi nutrisi bagi hewan ruminan. Kadar protein yang tinggi dapat menyesuaikan kebutuhan antara mikroba di dalam rumen dan hewan itu sendiri, sedangkan senyawa bioaktif mereka memperbaiki proses fermentasi dan mengurangi kehilangan nitrogen. Penambahan legum dalam pakan bisa mengurangi ketergantungan pada bahan pakan impor seperti pelepah kedelai. Ini sejalan dengan upaya untuk menciptakan sistem peternakan yang berkelanjutan serta berwawasan lingkungan. Pengembangan dan pemanfaatan legum lokal harus terus ditingkatkan sebagai langkah menyediakan pakan berkualitas tinggi untuk ruminansia tropis (Ridla *et al.*, 2025).

Pengaruh Legum terhadap Metabolisme Protein

Protein yang melalui proses pencernaan di rumen akan mengalami pemecahan yang menghasilkan amonia (NH_3) sebagai sumber utama nitrogen bagi pembentukan protein mikroba. Mikroorganisme rumen memecah protein pakan menjadi senyawa sederhana seperti peptida dan asam amino, kemudian memanfaatkannya untuk membentuk protein mikroba yang nantinya diserap di usus halus (Permana *et al.*, 2024). Berdasarkan laporan Despal *et al.* (2023), legum tropis memiliki kisaran nilai *Rumen Degradable Protein* (RDP) antara 21–75%, yang berpengaruh terhadap jumlah amonia yang dilepaskan di dalam rumen. Nilai RDP tinggi meningkatkan NH_3 , namun apabila energi fermentasi tidak seimbang, nitrogen akan terbuang dalam bentuk urea. Suharlina *et al.* (2016) menemukan bahwa *Indigofera zollingeriana* pada kadar 20% dalam pakan meningkatkan pencernaan protein tanpa meningkatkan NH_3 rumen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa protein dari *Indigofera* lebih efisien digunakan untuk sintesis protein mikroba. Rasio RDP:RUP 60:40 adalah kombinasi

terbaik untuk menjaga keseimbangan degradasi protein dan sintesis protein mikroba yang optimal pada sapi perah (Rimbawanto, *et al* 2015).

Kandungan tanin dalam legum berfungsi sebagai agen alami yang berperan dalam mengendalikan kecepatan pemecahan protein di dalam rumen. Menurut Brutti *et al.* (2019), senyawa tanin dapat berikatan dengan protein membentuk kompleks stabil yang sulit diuraikan oleh mikroba pada kondisi pH rumen berkisar antara 5 hingga 7. Kompleks ini terurai di usus halus, sehingga meningkatkan jumlah protein yang dapat diserap. Menurut Mariotti (2019) suplementasi *Sesbania grandiflora* yang mengandung tanin dan saponin menurunkan konsentrasi NH_3 -N dan populasi protozoa, yang berarti degradasi protein di rumen lebih terkendali. Menurut Montoya-Flores *et al.* (2020), *Leucaena leucocephala* dengan kandungan tanin sedang mampu menurunkan NH_3 dan metana tanpa mengurangi protein tercerna. Tanin dalam dosis moderat (20–40 g/kg BK) memberikan efek proteksi protein tanpa menurunkan pencernaan bahan kering. Efek protektif tanin membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen sekaligus menjaga kestabilan fermentasi rumen.

Pemberian legum berdampak terhadap kadar urea darah dan retensi nitrogen tubuh. Penurunan NH_3 rumen akibat pengaruh tanin mengakibatkan penurunan pembentukan urea di hati, sehingga kadar *Blood Urea Nitrogen* (BUN) menurun. Menurut Rashid *et al.*, (2021) pemberian *Sesbania grandiflora* menurunkan BUN dan meningkatkan retensi nitrogen tubuh pada sapi potong dan sapi perah. Montoya-Flores *et al.* (2020) menjelaskan bahwa *Leucaena leucocephala* dengan kadar tanin sedang meningkatkan protein tercerna tanpa meningkatkan NH_3 rumen, menandakan nitrogen dimanfaatkan lebih efisien. Suharlina *et al.* (2016) juga menunjukkan bahwa penambahan *Indigofera zollingeriana* 20% meningkatkan pencernaan protein namun menekan NH_3 , mengindikasikan peningkatan efisiensi retensi nitrogen mendukung hasil tersebut dengan menyatakan bahwa formulasi pakan yang

seimbang antara RDP dan RUP akan menekan ekskresi nitrogen berlebih. Efisiensi nitrogen yang meningkat ditandai oleh rendahnya BUN dan meningkatnya protein plasma (Clemente dan Olias., 2017).

Peningkatan efisiensi metabolisme protein akibat konsumsi legum berkaitan erat dengan keseimbangan antara degradasi dan perlindungan protein. Legum dengan protein tinggi menyediakan nitrogen yang cukup untuk mikroba rumen, sementara tanin melindungi sebagian protein agar tidak terdegradasi berlebih. Kombinasi keduanya mendukung pertumbuhan mikroba dan efisiensi fermentasi pakan. Brutti *et al.* (2019)

menjelaskan bahwa tanin dalam kadar moderat menekan degradasi protein tanpa mengganggu pencernaan. Unnawong *et al.* (2021) memperlihatkan penurunan NH₃ rumen dan peningkatan retensi nitrogen sebagai bukti efisiensi metabolisme protein meningkat. Kisworo *et al.* (2016) menegaskan bahwa legum tropis seperti *Leucaena*, *Sesbania*, dan *Indigofera* cocok untuk meningkatkan keseimbangan nitrogen pada sapi perah tropis. Peningkatan efisiensi metabolisme protein berpengaruh langsung terhadap produktivitas dan efisiensi penggunaan pakan.

Tabel 1. Pengaruh Legum terhadap Metabolisme Protein pada Sapi Perah

Jenis Legum	Kandungan Protein Kasar (%)	Kandungan Tannin / Saponin	NH ₃ Rumen	BUN / Retensi Nitrogen	Keterangan Utama
<i>Indigofera zollingeriana</i>	29–30	Rendah–moderat	Menurun pada 20% inklusi	Peningkatan retensi N	Protein termanfaatkan efisien untuk sintesis mikroba (Suharlina <i>et al.</i> , 2016)
<i>Sesbania grandiflora</i>	±35	Tanin dan saponin tinggi	Menurun signifikan	BUN menurun, retensi N meningkat	Efisiensi nitrogen meningkat dan fermentasi rumen stabil (Unnawong <i>et al.</i> , 2021)
<i>Leucaena leucocephala</i>	27–28	Tannin sedang	Menurun pada 12–24% pakan	Protein tercerna meningkat	Proteksi protein meningkat dan efisiensi fermentasi lebih baik (Montoya-Flores <i>et al.</i> , 2020)
<i>Calliandra calothyrsus</i>	25–27	Tannin tinggi	Sangat menurun	Efisiensi N menurun	Dosis tinggi menurunkan pencernaan protein (Despal <i>et al.</i> , 2023)
Campuran legum tropis	20–30	Bervariasi	Bergantung pada RDP	Tidak dilaporkan	Rasio RDP:RUP 60:40 memberikan efisiensi optimal (Despal <i>et al.</i> , 2023)

Pemberian legum tropis berpengaruh nyata terhadap metabolisme protein sapi perah melalui peningkatan efisiensi penggunaan nitrogen di rumen. Kandungan protein tinggi pada legum menyediakan nitrogen bagi mikroba, sedangkan tanin mengatur laju degradasi protein agar tidak berlebihan. *Indigofera zollingeriana* meningkatkan pencernaan protein dan menurunkan NH₃ karena kandungan tanin

moderat yang menekan degradasi (Rira *et al.*, 2019). *Sesbania grandiflora* dengan tanin dan saponin tinggi menurunkan NH₃ serta urea darah dan meningkatkan retensi nitrogen (Asikin *et al.*, 2025). *Leucaena leucocephala* dengan tanin sedang menurunkan NH₃ dan metana tanpa menurunkan protein tercerna, menandakan efisiensi fermentasi yang baik. *Calliandra calothyrsus* dengan tanin berlebih justru menurunkan pencernaan protein karena

kompleks tanin-protein sulit diurai (Leketa *et al.*, 2019).

Kadar tanin moderat (20–40 g/kg BK) memberikan keseimbangan terbaik antara degradasi dan proteksi protein, menjaga rasio RDP:RUP sekitar 60:40 yang ideal untuk sintesis protein mikroba (Jayanegara *et al.*, 2019) menegaskan bahwa tanin moderat mampu menekan degradasi protein tanpa mengganggu fermentasi rumen. Penurunan NH_3 rumen dan BUN serta peningkatan retensi nitrogen menunjukkan efisiensi metabolisme protein meningkat. Legum tropis seperti *Leucaena leucocephala*, *Sesbania grandiflora*, dan *Indigofera zollingeriana* efektif meningkatkan sintesis protein mikroba dan keseimbangan nitrogen tubuh. Penggunaan legum dengan kadar tanin moderat dapat dijadikan strategi alami untuk meningkatkan efisiensi metabolisme protein dan produktivitas sapi perah di daerah tropis (Palza *et al.*, 2021).

Pengaruh Legum terhadap Efisiensi Fermentasi Rumen

Penggunaan legum jenis *faba bean* pada sapi perah menunjukkan adanya pengaruh terhadap proses fermentasi rumen meskipun tidak secara signifikan mengubah efisiensi fermentasi secara keseluruhan. Inklusi *faba bean* sebesar 17% dari bahan kering total (DM) dalam ransum *isonitrogenous* dan *isoenergetic* tidak menyebabkan perubahan bermakna pada total produksi asam lemak volatil (VFA), rasio asetat terhadap propionate, serta populasi protozoa rumen, yang menandakan bahwa aktivitas fermentasi karbohidrat dan keseimbangan fermentasi tetap stabil (Cherif *et al.*, 2018). Hasil serupa diperoleh oleh Putri *et al.* (2021) yang melaporkan peningkatan konsentrasi amonia dan sintesis protein mikroba pada pakan dengan rasio protein terdegradasi tinggi. Nilai amonia dalam rentang 10–15 mM

mencerminkan ketersediaan nitrogen yang cukup untuk mikroba rumen. pH rumen tetap stabil antara 6,0–6,3 yang menunjukkan aktivitas fermentasi berjalan normal tanpa gangguan asidosis.

Fermentasi rumen yang melibatkan legum menghasilkan pola asam lemak volatil yang berbeda tergantung pada jenis legum. Penelitian oleh Utamy *et al.* (2025) menunjukkan bahwa penggunaan *Gliricidia sepium* dan *Indigofera zollingeriana* meningkatkan total VFA dan propionat dibandingkan dengan konsentrat komersial. Peningkatan propionat menurunkan rasio asetat terhadap propionat yang menunjukkan efisiensi energi lebih tinggi pada sapi perah. Hasil yang berbeda terlihat pada penelitian Cherif *et al.* (2018) dengan *faba bean*, di mana peningkatan asetat lebih dominan yang menandakan fermentasi masih berorientasi pada degradasi serat. Temuan ini menunjukkan bahwa komposisi kimia legum menentukan arah fermentasi rumen dan tingkat efisiensi energi yang dihasilkan.

Keseimbangan mikroba dalam rumen dipengaruhi oleh rasio protein terdegradasi dan tidak terdegradasi dari legum. Menurut Ramin *et al.* (2017), legum seperti *field bean* dan *pea* dapat memperbaiki efisiensi nitrogen ketika diberikan bersama sumber energi fermentabel. Kandungan tanin pada legum tropis dalam jumlah sedang menekan pertumbuhan protozoa dan mencegah degradasi protein berlebih, sebagaimana dilaporkan oleh Tunkala *et al.* (2023). Kombinasi protein mudah terdegradasi, tanin, dan serat moderat menciptakan kondisi fermentasi seimbang yang mendukung pertumbuhan bakteri proteolitik dan amilolitik. Kondisi ini menghasilkan sintesis protein mikroba yang optimal dan meningkatkan efisiensi fermentasi rumen secara keseluruhan.

Tabel 2. Pengaruh Legum terhadap Parameter Fermentasi Rumen dan Keseimbangan Mikroba pada Sapi Perah

Parameter	Pengaruh Pemberian Legum	Penjelasan Mekanisme	Sumber
NH₃ rumen	Meningkat (hingga 10–15 mM)	Protein legum mudah terdegradasi menghasilkan NH ₃ sebagai substrat mikroba.	Cherif <i>et al.</i> , 2018; Putri <i>et al.</i> , 2021
pH rumen	Tetap stabil (6,0–6,3)	Keseimbangan fermentasi protein dan karbohidrat menjaga kondisi rumen.	Cherif <i>et al.</i> , 2018; Utamy <i>et al.</i> , 2025
Total VFA	Meningkat	Aktivitas fermentasi meningkat akibat suplai substrat fermentabel dari legum.	Utamy <i>et al.</i> , 2025; Tunkala <i>et al.</i> , 2023
Rasio Asetat/Propionat	Menurun pada legum tropis (lebih efisien)	Peningkatan propionat → efisiensi energi lebih tinggi.	Utamy <i>et al.</i> , 2025; Ramin <i>et al.</i> , 2017
Keseimbangan mikroba	Lebih seimbang	Tanin menekan protozoa; RDP tinggi meningkatkan bakteri proteolitik.	Tunkala <i>et al.</i> , 2023; Putri <i>et al.</i> , 2021

Pemberian legum meningkatkan amonia, menjaga kestabilan pH, dan meningkatkan total VFA. Penurunan rasio asetat terhadap propionat menandakan pergeseran fermentasi menuju arah yang lebih efisien secara energi. Keseimbangan mikroba rumen menjadi lebih stabil akibat kombinasi protein mudah terdegradasi dan tanin alami dari legum. Kondisi ini mendukung pertumbuhan mikroba rumen yang optimal serta meningkatkan pemanfaatan nitrogen dan energi pakan. Secara keseluruhan, hasil dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa legum memiliki potensi besar sebagai sumber protein alternatif bagi sapi perah. Kandungan nutriennya mendukung proses fermentasi rumen yang efisien tanpa mengganggu kestabilan pH. Peningkatan propionat dan total VFA dari legum tropis menunjukkan kontribusi nyata terhadap peningkatan efisiensi energi. Legum juga memperbaiki keseimbangan mikroba rumen melalui peran tanin dan sinkronisasi antara nitrogen dan energi fermentabel. Penggunaan legum dalam formulasi pakan sapi perah dapat menjadi strategi nutrisi berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi fermentasi rumen dan produktivitas ternak.

Hubungan antara Metabolisme Protein dan Efisiensi Fermentasi

Kandungan senyawa bioaktif dalam legum juga berperan penting dalam menjaga kestabilan pH rumen serta memengaruhi pembentukan asam lemak volatil (VFA) seperti asetat, propionat, dan butirat. Peningkatan kadar propionat yang dihasilkan dari proses fermentasi menunjukkan adanya pemanfaatan energi yang lebih efisien, karena propionat berfungsi sebagai bahan utama pembentuk glukosa di hati. Melalui peran tanin dan saponin, proses fermentasi di dalam rumen menjadi lebih seimbang antara pemecahan protein dan pembentukan protein mikroba, sekaligus menekan produksi gas metana yang dapat menyebabkan hilangnya energi (Singh *et al.*, 2023). Protein dalam pakan sapi perah terbagi menjadi dua bagian penting yaitu *Rumen Degradable Protein* (RDP) adalah protein yang dipecah di rumen oleh mikroba dan digunakan untuk membentuk mikroba protein (*Microbial Crude Protein*, MCP). Bagian protein yang kedua yaitu *Rumen Undegradable Protein* (RUP) adalah protein yang lolos dari degradasi rumen dan diserap langsung di usus halus (Chowdhury *et al.*, 2025).

Metabolisme protein rumen berperan penting dalam menentukan efisiensi fermentasi karena memengaruhi pemanfaatan nitrogen oleh mikroba. Kandungan protein tinggi pada legum menyediakan nitrogen yang cukup, sedangkan senyawa bioaktif seperti tanin dan polifenol oksidase mengatur laju degradasi protein. Biondi *et al.* (2021) menjelaskan bahwa tanin dan polifenol pada *red clover* dan *sainfoin* menekan proteolisis selama fermentasi sehingga konsentrasi amonia ruminal menurun dan nitrogen non-amonia mengalir lebih banyak ke usus. Perlindungan protein tersebut menjaga keseimbangan antara ketersediaan nitrogen dan energi fermentabel yang diperlukan mikroba untuk pertumbuhan. Efek ini meningkatkan efisiensi nitrogen dan mengurangi kehilangan nitrogen melalui urin.

Perbedaan antarspesies legum memengaruhi aktivitas fermentasi rumen dan produksi protein mikroba. Mishra *et al.* (2023) menemukan bahwa *Clitoria ternatea* putih dan *Flemingia macrophylla* dengan kadar tanin moderat memiliki faktor partisi tinggi serta emisi metana lebih rendah dibanding *Desmodium virgatus*. Nilai faktor partisi tinggi mencerminkan pemanfaatan substrat yang efisien oleh mikroba rumen. Tannin dengan kadar sedang mampu mengurangi degradasi protein berlebih tanpa menghambat proses fermentatif. Variasi kandungan kimia antarlegum membentuk perbedaan arah fermentasi dan efisiensi metabolisme protein dalam rumen.

Keseimbangan nitrogen dan energi fermentabel menentukan pola pembentukan

asam lemak volatil (VFA) yang menjadi indikator efisiensi fermentasi. Jo *et al.* (2024) menunjukkan bahwa peningkatan kadar protein menaikkan amonia dan asetat, sedangkan peningkatan energi fermentabel menaikkan propionat sebagai VFA paling efisien secara energi. Proporsi propionat yang tinggi menggambarkan fermentasi yang lebih hemat hidrogen karena tidak diarahkan untuk pembentukan metana. Zhang *et al.* (2022) menjelaskan bahwa sapi dengan efisiensi nitrogen tinggi memiliki populasi *Succinivibrionaceae* dan *Selenomonadaceae* yang lebih besar, keduanya berperan dalam pembentukan propionat dan pemanfaatan amonia. Komposisi mikroba tersebut menegaskan keterkaitan antara metabolisme protein dan efisiensi fermentasi rumen.

Legum berprotein tinggi seperti *Moringa oleifera* dapat meningkatkan efisiensi fermentasi tanpa mengurangi performa produksi. Zeng *et al.* (2019) melaporkan bahwa suplementasi 6% *Moringa* menaikkan lemak susu serta menurunkan metana melalui perubahan komunitas metanogen. Prodanović *et al.* (2025) menemukan bahwa ekstrak *chestnut tannin* menurunkan metana lebih dari dua puluh persen, menurunkan kadar urea susu, dan meningkatkan protein susu. Zeleke *et al.* (2025) menunjukkan bahwa pengurangan protein kasar dari 17% menjadi 15% dalam ransum meningkatkan efisiensi nitrogen tanpa memengaruhi total VFA. Kombinasi legum berprotein tinggi dengan kadar tanin moderat dan keseimbangan energi fermentabel terbukti mendukung efisiensi fermentasi yang optimal.

Tabel 3. Perbandingan Jenis Legum terhadap Parameter Fermentasi dan Efisiensi Nitrogen

Jenis Legum / Perlakuan	Protein Kasar (%)	Faktor Partisi (PF)*	Protein Mikroba (mg/g DDM)	CH ₄ (mL/g DDM)	Karakteristik Kimia	Dampak pada Fermentasi dan Efisiensi N	Sumber
<i>Clitoria ternatea</i> (putih)	19.8	4.06	143	29.6	Tannin rendah	PF tinggi, CH ₄ rendah, fermentasi efisien	Mishra <i>et al.</i> (2023)
<i>Desmodium virgatus</i>	20.1	3.68	121	34.1	Tannin sedang	Protein mikroba rendah, CH ₄ tinggi	Mishra <i>et al.</i> (2023)
<i>Flemingia macrophylla</i>	18.5	3.92	132	30.8	Tannin sedang	NH ₃ rendah, efisiensi N tinggi	Mishra <i>et al.</i> (2023)

Jenis Legum / Perlakuan	Protein Kasar (%)	Faktor Partisi (PF)*	Protein Mikroba (mg/g DDM)	CH ₄ (mL/g DDM)	Karakteristik Kimia	Dampak pada Fermentasi dan Efisiensi N	Sumber
<i>Stylosanthes hamata</i>	17.6	3.88	129	32.0	Serat tinggi	Profil VFA seimbang, fermentasi stabil	Mishra <i>et al.</i> (2023)
<i>Moringa oleifera</i> (6% diet)	22.3	–	–	–	Polifenol, saponin	Menurunkan metana, menaikkan lemak susu	Zeng <i>et al.</i> (2019)
<i>Chestnut tannin</i> (40–80 g/hari)	–	–	–	21–23	Tannin tinggi	MUN turun, protein susu naik	Prodanović <i>et al.</i> (2025)
Diet CP 15% vs 17%	15 vs 17	–	–	–	–	NH ₃ turun, NUE meningkat, VFA stabil	Zelege <i>et al.</i> (2025)

Perbedaan kandungan protein dan senyawa bioaktif pada berbagai jenis legum memengaruhi aktivitas mikroba rumen, produksi protein mikroba, dan efisiensi fermentasi. *Clitoria ternatea* memiliki faktor partisi tertinggi dan emisi metana paling rendah, menunjukkan pemanfaatan substrat yang lebih efisien oleh mikroba, sedangkan *Desmodium virgatus* menghasilkan protein mikroba terendah dan gas metana tertinggi yang menandakan ketidakseimbangan antara nitrogen dan energi fermentabel (Mishra *et al.*, 2023). Kandungan tanin moderat pada *Flemingia macrophylla* dan *Stylosanthes hamata* mampu menekan degradasi protein berlebih tanpa mengganggu fermentasi sehingga nitrogen tersedia secara bertahap bagi mikroba. Pemberian *Moringa oleifera* meningkatkan lemak susu dan menurunkan metana melalui perubahan populasi metanogen (Zeng *et al.*, 2019), sedangkan suplementasi ekstrak *chestnut tannin* menurunkan kadar urea susu dan meningkatkan protein susu akibat peningkatan efisiensi nitrogen (Prodanović *et al.*, 2025). Pengurangan protein kasar dari 17% menjadi 15% dalam pakan sapi perah meningkatkan efisiensi nitrogen tanpa menurunkan total VFA, memperlihatkan sinkronisasi yang baik antara degradasi protein dan energi fermentabel (Zelege *et al.*, 2025). Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa legum dengan kadar protein tinggi dan tanin moderat menghasilkan metabolisme protein mikroba yang optimal, menggeser

fermentasi ke arah pembentukan propionat yang lebih efisien.

Pemberian pakan legum dengan kadar protein tinggi dan tanin moderat terbukti mampu meningkatkan efisiensi metabolisme protein dan fermentasi rumen pada sapi perah. Keseimbangan antara degradasi protein dan energi fermentabel meningkatkan sintesis protein mikroba sekaligus menekan produksi amonia. Pemanfaatan legum seperti *Clitoria ternatea* dan *Moringa oleifera* mendukung fermentasi efisien melalui peningkatan propionat yang berkontribusi pada efisiensi energi dan kualitas susu. Penggunaan tanin alami terbukti menurunkan ekskresi nitrogen urin serta meningkatkan protein susu, menunjukkan peningkatan efisiensi nitrogen (Arroyo *et al.*, 2016). Penerapan pakan legum dengan komposisi seimbang berpotensi menciptakan sistem produksi sapi perah yang efisien dan berkelanjutan (Khampa *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Legum dengan kandungan protein tinggi dan tanin moderat berperan penting dalam mengoptimalkan metabolisme protein dan fermentasi rumen. Perbaikan efisiensi nitrogen dan peningkatan propionat menunjukkan pemanfaatan nutrisi yang lebih efisien serta penurunan metana. Penerapan pakan legum mendukung sistem produksi sapi perah yang efisien dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Antari, R., Anggraeny, Y. N., Putri, A. S., Sukmasari, P. K., Krishna Mariyono, N. H., Aprilliza, M. N., & Ginting, S. 2022. Nutritive and antinutritive contents of *Indigofera zollingeriana*: Its potency for cattle feed in Indonesia. *Livestock Research for Rural Development*, 34(2). <https://www.lrrd.org/lrrd34/2/3412risa.html>
- Arroyo, J. M. G., Fondevila, M., Balcells, J., López, A. M., & Castrillo, C. 2016. *Effect of quebracho-chestnut tannin extracts at two dietary crude protein levels on performance, rumen fermentation, and nitrogen partitioning in dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, 99(10), 8130–8143. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11084>
- Asikin, N., & Fitriani, F. 2025. Konsentrat Hijau *Indigofera zollingeriana*: Solusi Pakan Berkelanjutan dengan Uji Kecernaan In Vitro. *Journal Gallus Gallus*, 3(2), 63-68. DOI: <https://doi.org/10.51978/gallusgallus.v3i2.597>
- Biondi, P., Jayanegara, A., & Niderkorn, V. 2021. *Opportunities Offered by Plant Bioactive Compounds to Improve Silage Quality, Animal Health and Product Quality for Sustainable Ruminant Production*. *Agronomy*, 11(1), 86. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11010086>
- Brutti, D. D., Flachowsky, G., & Lebzien, P. 2019. Effects of tannins and monensin on the modulation of in vitro ruminal fermentation and ammonia production. *Grassland Science*, 65(2), 105–112. <https://doi.org/10.1111/grs.12234>
- Cherif, C., Hassanat, F., Claveau, S., Girard, J., Gervais, R., & Benchaar. 2018. Faba bean (*Vicia faba*) inclusion in dairy cow diets: effect on nutrient digestion, rumen fermentation, nitrogen utilization, methane production, and milk performance. *Journal of Dairy Science* 101(10), 8916-8928. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14890>
- Chowdhury, M. R., Wilkinson, R. G., & Sinclair, L. A. 2025. Performance, Metabolism and nitrogen use efficiency. *Animal*, 19(3), 101433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101433>
- Clemente, A., & Olias, R. 2017. Beneficial effects of legumes in gut health. *Current Opinion in Food Science*, 14, 32-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.01.005>
- Despal, Y., Yulianti, Y. I., Zahera, R., Agustiyani, I., Rosmalia, A., Afnan, I. M., Zain, M., & Tanuwiria, U. H. 2023. Comparison of chemical composition, in vitro digestibility, and near infrared reflectance spectroscopy in estimating in situ rumen degradable protein of tropical foliage. *Tropical Animal Science Journal*, 46(2), 211–220. <https://doi.org/10.5398/tasj.2023.46.2.211>
- Hidayatullah, A. R. & Rini, F. C. 2024. Review: Eksplorasi Potensi Leguminosa Pohon sebagai Pakan Konvensional. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 1(3). DOI: <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v1i3.135>
- Jayanegara, A., Harahap, R. P., Ridla, M., Laconi, E. B., & Nahrowi. 2018. Chemical composition and methane emission of some tropical forage legumes from Indonesia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2021, No. 1, p. 050002). AIP Publishing LLC. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5062752>

- Jo, H., Kim, Y., Son, H., & Kim, D. 2024. *Impacts of Protein and Energy Levels on Rumen Fermentation and Microbial Activity Under Different Incubation Temperatures*. *Animals*, 14(22), 3093. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14223093>
- Khampa, S., Wachirapakorn, C., & Wanapat, M. 2023. *Effects of Chestnut Hydrolysable Tannin on Intake, Digestibility, Rumen Fermentation, Milk Production and Somatic Cell Count in Crossbred Dairy Cows*. *Tropical Animal Health and Production*, 55(6), 37104424. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37104424>
- Kisworo, A. N., Agus, A., Kustantinah, K., & Suwignyo, B. 2016. Physicochemical characteristics identification and secondary metabolite analysis of solid herbal waste as source of feed rich fiber and supplement for ruminants. *Animal Production*, 18(2), 75-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jap.2016.18.2.535>
- Leketa, K., Donkin, E. F., Hassen, A., & Akanmu, A. M. 2019. Effect of *Leucaena leucocephala*, as a protein source in a total mixed ration, on milk yield and composition of Saanen milk goats. *South African Journal of Animal Science*, 49(2), 301-309. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v49i2.10>
- Lommelli, P., Zicarelli, F., Musco, N., Sarubbi, F., Grossi, M., Lotito, D., Lombardi, P., Infascelli, F., & Tudisco, R. 2022. Effect of cereals legumes processing on in situ rumen protein degradability: a review, *MDPI Journals Fermentation*, 8(8), 363. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8080363>
- Mariotti, F. 2017. Plant protein, animal protein, and protein quality. In *Vegetarian and plant-based diets in health and disease prevention* (pp. 621-642). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803968-7.00035-6>
- Montoya-Flores, M. D., Molina-Botero, I. C., Arango, J., & Barahona, R. 2020. Effect of dried leaves of *Leucaena leucocephala* on rumen fermentation, microbial population, and methane production in cattle. *Animals*, 10(3), 300. <https://doi.org/10.3390/ani10030300>
- Mueller-Harvey, I. 2019. *Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14), 4955–4966. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>
- Nugraha, P., Rifa'i, Maskur, C. A., & Ervandi, M. 2024. Review: Faktor-Faktor yang Memengaruhi Produksi Susu Sapi Perah. *JSTT (Jurnal Sains Ternak Tropis)*, 2(1), 1-11. DOI: <https://dx.doi.org/10.31314/jstt.2.1.1-11.2024>
- Pazla, R., Adrizal, S. R., & Sriagtula, R. (2021). Intake, nutrient digestibility and production performance of Pesisir cattle fed *Tithonia diversifolia* and *Calliandra calothyrsus*-based rations with different protein and energy ratios. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 9(10), 1608-1615. DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.10.1608.1615>
- Permana, I. G., Rosmalia, A., Rahmat, S. F. I., Despal, D., & Zahera, R. 2024. Characterization of protein degradation in tropical dairy feedstuff using the in sacco method. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 29(4), 181-192. DOI: <https://doi.org/10.14334/jitv.v29i4.3382>

- Pratama, S. M., Wajizah, Jayanegara, A. & Samadi, S. 2022. "Evaluation of Some Forage as Feed for Ruminant Animal: Chemical Composition, in Vitro Rumen Fermentation, and Methane Emissions." *Animal Production* 24(3), 150-160. <https://doi.org/10.20884/1.jap.2022.24.3.179>.
- Prayitno, R. S., Wahyono, F., & Pangestu, E. 2018. Pengaruh Suplementasi Sumber Protein Hijauan Leguminosa terhadap Produksi Amonia dan Protein Total Ruminal Secara In Vitro. *Jurnal Peternakan Indonesia*, 20(2), 116–123. DOI: <https://doi.org/10.25077/jpi.20.2.116-123.2018>
- Prodanović, R., Popp, M., Radović, I., Krstić, B., Pihler, I., & Sretenović, L. 2025. *Effects of Chestnut Tannin Extract on Enteric Methane Emissions, Blood Metabolites and Lactation Performance in Mid-Lactation Cows*. *Animals*, 15(15), 2238. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15152238>
- Putri, E. M., Zain, M., Warly, L., & Hermon, H. 2021. Effects of rumen-degradable-to-undegradable protein ratio in ruminant diet on in vitro digestibility, rumen fermentation, and microbial protein synthesis. *Veteriner Word*, 14(3), 640-648. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.640-648>
- Ramin, M., Hojer, A., & Hetta, M. 2017. The effects of legume seeds on the lactation performance of dairy cows fed grass silage-based diets. *Agricultural and Food Science*, 26(3), 129-137. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.64417>
- Ridla, M., & Nahrowi. 2025. Methane mitigation strategies by optimizing nutrient profiles in an eco-friendly mixture of cassava pulp and *Indigofera Zollingeriana* branch silage with strategic protein supplementation. *Animal and Veterinary Sciences*, 13(1), 198-208. DOI: <https://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2025/13.1.198.208>
- Rimbawanto, E. A., Yusiati, L. M., Baliarti, E., & Utomo, R. 2015. Effect of condensed tannin of *Leucaena* and *Calliandra* leaves in protein trash fish silage on in vitro ruminal fermentation, microbial protein synthesis and digestibility. *Animal production*, 17(2), 83-91. DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jap.2015.17.2.505>
- Rira, M., Morgavi, D. P., Genestoux, L., Djibiri, S., Sekhri, I., & Doreau, M. 2019. Methanogenic potential of tropical feeds rich in hydrolyzable tannins. *Journal of animal science*, 97(7), 2700-2710. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz199>
- Schwab, C. G., & Broderick, G. A. 2017. *A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows*. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13320>
- Singh, S., Singh, T., Koli, P., Anele, U. Y., Bhadoria, B. K., Choudhary, M., & Ren, Y. 2023. *Nutrient and Rumen Fermentation Studies of Indian Pasture Legumes for Sustainable Animal Feed Utilisation in Semiarid Areas*. *Animals*, 13(23), 3676. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13233676>
- Suharlina, S., Budhi, S. P. S., Widyobroto, B. P., & Hidayat, R. 2016. In vitro evaluation of concentrate feed containing *Indigofera zollingeriana*. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 21(4), 196–203. <https://doi.org/10.14710/jitv.21.4.196-203>

- Suhartati, F. M. 2020. Indigofera zollingeriana Leaf Extract Reduces Sheep Rumen Methane Production in Vitro. *Animal Production*, 22(1). 16-23. DOI: <https://doi.org/10.20884/1.jap.2020.22.1.39>
- Syamsi, A. N., Ifani, M., & Subagyo, Y. 2022. The Protein-Energy Synchronization Index of the tropical legumes for ruminants. *Jurnal Peternakan*, 19(1). 23-37. DOI <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/peternakan/article/view/15415>
- Tunkala, B. Z., DiGiacomo, K., Hess, P. S. A., Gardiner, C. P., Suleria, H., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. 2023. Evaluation of legumes for fermentability and protein fractions using in vitro rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, 305, 115777. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115777>
- Unnawong, N., Cherdthong, A., & So, S. 2021. Influence of supplementing sesbania grandiflora pod meal at two dietary crude protein levels on feed intake, fermentation characteristic, and methane mitigation in thai purebred beef cattle. *Veterinary Sciences*, 8(2), 35. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci8020035>
- Utamy, R. F., Ako, A., Ramadan, Z., Ishi, Y., Rahman, M. M., Umpuch, K., Nurfadilah, A., Alkatiry, G. U. A., Akram, M., & Maharani, J. M. 2025. Lgume-based green concentrate alleviates negative energy balance and enhances performances, metabolic health, and profitability in postpartum Holstein Friesian cows, *Veterinary Word*, 18(8), 2414-2426. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2414-2426>
- Zahera, R., Anggraeni, D., Rahman, Z. A., & Evvyernie, D. 2020. Pengaruh Kandungan Protein Ransum yang Berbeda terhadap Kecernaan dan Fermentabilitas Rumen Sapi Perah secara In vitro. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 18(1), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.29244/jintp.18.1.1-6>
- Zelege, A., Marett, L., Moate, P. J., Jacobs, J. L., & Hannah, M. C. 2025. *Reducing Crude Protein Content in the Diet of Lactating Dairy Cows Improved Nitrogen-Use Efficiency and Reduced N Excretion in Urine, Whilst Having No Obvious Effects on the Rumen Microbiome*. *Animal Bioscience*, 35(1), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-025-01240-7>
- Zeng, B., Sun, J., Chen, T., Li, X., Zhang, Y., & Diao, Q. 2019. *Effect of Dietary Supplementation of Moringa oleifera on the Production Performance and Fecal Methanogenic Community of Lactating Dairy Cows*. *Animals*, 9(5), 262. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9050262>
- Zhang, J., Fan, Z., Chen, X., & Liu, S. 2022. *Contribution of Ruminal Bacteriome to the Individual Variation of Nitrogen Utilization Efficiency of Dairy Cows*. *Frontiers in Microbiology*, 13, 815225. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.815225>