

Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*) dan Bawang Putih (*Allium sativum*) sebagai Fitogenik Pemodifikasi Rumen: Evaluasi Fermentabilitas dan Protozoa Secara *In Vitro*

Cinnamon Bark (*Cinnamomum burmannii*) and Garlic (*Allium sativum*) as Phytogetic Rumen Modifiers: An *In Vitro* Evaluation of Fermentability and Protozoa

A Rosmalia^{1*}, D M Fassah¹, R S Puteri¹, D A Nurlela¹, D Evvyernie¹

Corresponding email:
annisarosmalia@apps.ipb.ac.id

¹Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jl. Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia, intp@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the effect of cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) and garlic (*Allium sativum*) powder supplementation as phytogetic additives on *in vitro* fermentability and protozoal population. The experiment employed a 3 × 3 factorial randomized block design with different forage:concentrate ratios (30:70, 50:50, and 70:30) and three types of phytogetic additives (control, cinnamon, and garlic) at 2% DM. The observed parameters included rumen pH, ammonia (NH₃), total volatile fatty acids (VFA), and protozoal population. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and the Duncan test. The results showed that different forage:concentrate ratios and types of phytogetic additives had no significant effect on ruminal pH, NH₃ concentration, total VFA production, or protozoal population. All measured variables remained within normal physiological ranges. In conclusion, cinnamon and garlic powder supplementation at 2% DM was able to maintain normal rumen fermentability, but did not show measurable improvement compared with the control.

Key words: cinnamon bark, garlic; *in vitro*, phytogetic, rumen modifier

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efek penambahan kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) dan bawang putih (*Allium sativum*) bubuk sebagai *phytogetic additive* terhadap fermentabilitas dan populasi protozoa secara *in vitro*. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial 3 x 3 dengan tiga imbang hijauan:konsentrat (30:70, 50:50, 70:30) dan tiga jenis *phytogetic additive* (kontrol, kayu manis, bawang putih) pada dosis 2% bahan kering. Peubah yang diamati meliputi pH rumen, konsentrasi amonia (NH₃), *volatile fatty acids* (VFA) total, dan populasi protozoa. Analisis data dilakukan dengan analisis ragam (ANOVA) dan diuji Duncan untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan imbang hijauan:konsentrat dan jenis *phytogetic additive* tidak berpengaruh nyata terhadap pH rumen, konsentrasi NH₃, produksi VFA total, dan populasi protozoa. Seluruh peubah berada dalam kisaran fisiologis normal. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penambahan kayu manis dan bawang putih sebesar 2% BK mampu mempertahankan fermentabilitas rumen tetap normal, namun belum menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan kontrol.

Kata kunci: bawang putih; fitogenik; *in vitro*; kayu manis; pemodifikasi rumen



PENDAHULUAN

Peningkatan efisiensi produksi ternak ruminansia, baik ternak pedaging maupun perah, diperlukan dalam upaya pengembangan sistem peternakan berkelanjutan. Proses fermentasi di dalam rumen berperan penting dalam penyediaan energi dan protein bagi ternak melalui pembentukan produk utama berupa *volatile fatty acids* (VFA) dan amonia (NH_3). Namun, proses fermentasi tersebut juga menghasilkan gas metana (CH_4) sebagai produk samping, yang menyebabkan kehilangan energi ransum sebesar 6–12% sehingga menurunkan efisiensi ransum serta berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Kondisi ini berdampak negatif terhadap efisiensi pemanfaatan nutrisi dan keberlanjutan sistem produksi ternak ruminansia.

Salah satu pendekatan nutrisi ternak yang berkembang untuk meningkatkan efisiensi fermentasi rumen sekaligus menekan pembentukan CH_4 adalah penggunaan *rumen modifier* (pemodifikasi rumen) berbasis bahan alami, khususnya *phytogenic feed additives*. *Phytogenic additive* mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti minyak atsiri dan metabolit sekunder, yang mampu memodulasi aktivitas dan struktur komunitas mikroba rumen, mengubah pola fermentasi rumen, dan berpotensi menurunkan emisi CH_4 (Nastoh et al. 2024). Senyawa bioaktif tersebut bekerja dengan mengganggu permeabilitas membrane sel mikroba, menghambat sistem enzimatis tertentu, dan perubahan struktur komunitas mikroba rumen termasuk protozoa dan arkea metanogen (Ding et al. 2023; Garcia-Rodriguez et al. 2024).

Di Indonesia, beberapa sumber *phytogenic additive* yang mudah diperoleh dan berpotensi dikembangkan adalah kulit kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) dan bawang putih (*Allium sativum*). Kulit kayu manis mengandung senyawa *cinnamaldehyde*, *eugenol*, flavonoid, dan tanin yang berpotensi memodulasi fermentasi rumen serta memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan (Garcia-Rodriguez et al. 2024). *Cinnamaldehyde* dilaporkan mampu menginaktivasi enzim mikroba baik bakteri gram positif maupun gram negatif, sehingga berpotensi mengarahkan fermentasi rumen ke arah yang lebih efisien. Sementara itu, bawang putih mengandung berbagai senyawa dengan organosulfur, seperti *allicin*, *diallyl sulfides*, *diallyl disulfide*, dan *diallyl trisulfide* yang memiliki sifat antimikroba, menekan produksi CH_4 , serta memperbaiki karakteristik fermentasi rumen melalui mekanisme penghambatan aktivitas enzim arkea metanogen (Sari et al. 2022; Ding et al. 2023).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa suplementasi *phytogenic feed additive* dalam bentuk ekstrak pada dosis 0,05% – 1% (Ntsongota et al. 2025). Rabee et al. (2025) melaporkan bahwa suplementasi bawang putih bubuk sebesar 2% bahan kering dapat meningkatkan proporsi propionat, menurunkan konsentrasi amonia dan prediksi metana, serta memperbaiki profil fermentasi rumen. Sementara itu, penggunaan kayu manis atau

senyawa aktif utamanya cinnamaldehyde pada level 0,5% – 1,5% bahan kering mampu meningkatkan fermentabilitas rumen, memperbaiki sintesis protein mikroba, dan memodifikasi komunitas mikroba rumen tanpa menurunkan produksi VFA total (Garcia-Rodriguez et al. 2024). *Feed additive* umumnya diberikan pada kisaran dosis 1% – 3% bahan kering (BK) ransum. Kisaran dosis ini masih mampu memberikan efek biologis yang signifikan tanpa menurunkan karakteristik fermentasi. Dosis 2% BK sering digunakan sebagai dosis moderat dalam memodulasi fermentasi rumen. Namun demikian, sebagian besar kajian terdahulu menggunakan bentuk ekstrak atau minyak atsiri (Patra & Yu 2012; Cobellis et al. 2016; Cantet et al. 2023; Martin & Chaudhry 2024), sementara penggunaan bahan fitogenik dalam bentuk bubuk utuh sebagai aditif pakan yang lebih praktis dan aplikatif dalam pencampuran pakan ternak relatif terbatas.

Komposisi ransum, terutama imbangannya hijauan dan konsentrat juga berpengaruh terhadap kondisi fermentasi rumen. Peningkatan proporsi konsentrat umumnya meningkatkan fermentabilitas dan produksi VFA, tetapi menurunkan pH rumen apabila tidak diimbangi dengan serat efektif yang memadai (Chen et al. 2021). Sebaliknya, ransum dengan proporsi hijauan tinggi cenderung mempertahankan kestabilan pH rumen, namun dapat menurunkan ketersediaan energi fermentatif. Oleh karena itu, evaluasi penggunaan fitogenik perlu mempertimbangkan interaksinya dengan imbangannya hijauan:konsentrat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan *phytogenic additive* kulit kayu manis dan bawang putih dalam ransum ruminansia terhadap tingkat fermentabilitas (pH rumen, konsentrasi NH_3 , dan VFA total) dan populasi protozoa.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk pakan terdiri atas rumput gajah dan konsentrat sapi perah komersial (CV. Mulyono, PK 16%). Kayu manis dan bawang putih bubuk digunakan sebagai sumber *phytogenic additive*. Cairan rumen sebagai sumber inokulum mikroba rumen diambil dari 3 ekor sapi perah jantan berfistula pada pukul 7.00 WIB sebelum sapi diberi pakan. Larutan buffer McDougall dibuat dari campuran 9,8 g NaHCO_3 ; 4,65 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,57 g KCl; 0,47 g NaCl; 0,12 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,04 g CaCl_2 per L akuades. Bahan lain untuk analisis *in vitro* dan peubah fermentasi, yaitu gas CO_2 , larutan HgCl_2 , larutan Na_2CO_3 , larutan asam borat, larutan H_2SO_4 , larutan HCl, NaOH, indikator PP, dan larutan Trypan Blue Formal Saline (TBFS). Alat yang digunakan yaitu, pH meter (Hanna Instruments), water shaker bath, mikroskop (XSZ-107BN, BW Optics), alat sentrifus, cawan Conway, dan alat destilasi uap.

Rancangan Percobaan dan Ransum Perlakuan

Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial 3x3 dengan tiga kelompok sumber cairan rumen sebagai ulangan. Faktor pertama adalah imbangian hijauan (H) dan konsentrat (K) dalam, yang terdiri atas H:K 30:70, H:K 50:50, dan H:K 70:30 dengan kadar nutrisi terlihat pada Tabel 1. Faktor kedua adalah jenis *phytogenic additive* yang diberikan pada dosis 2% BK ransum, yaitu tanpa *additive* dengan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) sebagai *placebo*, berupa kayu manis, dan berupa bawang putih. Kandungan nutrisi ransum dapat dilihat pada Tabel 1.

Prosedur Analisis In Vitro

Analisis in vitro dilakukan dengan metode Tilley & Terry (1963). Sebanyak 0,5 g sampel pakan ditambahkan *phytogenic additive* sebanyak 2% BK (10 mg), kemudian dimasukkan ke dalam tabung fermentor. Selanjutnya, cairan rumen dan larutan buffer McDougall ditambahkan dengan imbangian 1:4 hingga mencapai volume total 50 mL, kemudian dihomogenkan. Kondisi anaerob diciptakan dengan mengalirkan gas CO₂ selama 30 detik ke dalam tabung fermentor, setelah itu tabung ditutup rapat dengan penutup karet. Sampel diinkubasi pada suhu 39 °C menggunakan water shaker bath selama 4 jam. Setelah inkubasi, sebanyak 1 mL cairan fermentasi diambil dan dimasukkan ke dalam botol berisi 1 mL larutan TBFS untuk analisis populasi protozoa. Nilai pH hasil fermentasi rumen diukur dengan pH meter digital. Selanjutnya, sampel disentrifugasi pada kecepatan 3.500 rpm selama 10 menit pada suhu 25 °C, kemudian supernatan dipisahkan dan disimpan dalam *freezer* pada suhu -20 °C untuk analisis NH₃ dan VFA total. Analisis protozoa dilakukan melalui pengamatan mikroskopis pada perbesaran 40x. Metode destilasi uap dan mikrodifusi Conway digunakan untuk pengukuran konsentrasi VFA total (General Laboratory Procedure 1996) dan NH₃ (Conway 1957).

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis *one-way analysis of variance* (ANOVA) menggunakan software SPSS. Signifikan ditetapkan pada selang kepercayaan 95% ($p < 0,05$). Perbedaan antar perlakuan diuji dengan uji jarak berganda Duncan.

Tabel 1 Kandungan nutrisi ransum dengan imbangian H:K berbeda (% BK)

Pakan perlakuan	Abu	Protein kasar	Lemak kasar	Serat kasar	BETN	TDN*
H:K 30:70	8,01	15,48	6,47	14,77	55,27	75,61
H:K 50:50	9,41	14,48	6,07	18,74	51,31	71,38
H:K 70:30	10,80	13,48	5,67	22,70	47,35	67,15

TDN=total digestible nutrient; *TDN diestimasi berdasarkan rumus Sutardi (Indah et al. 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fermentabilitas dan populasi protozoa ditampilkan pada Tabel 2. Penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan imbangian hijauan:konsentrat dan jenis *phytogenic additive* pada ransum sapi perah tidak berpengaruh signifikan terhadap pH rumen. Nilai pH rumen pada penelitian ini berada dalam kisaran normal, yaitu 6,97–7,13. Menurut Petrovski (2017), pH rumen normal berada pada kisaran 6,0–7,2. Hal ini sejalan dengan Chapman et al. (2019) bahwa pemberian kayu manis sebagai *phytogenic additive* menghasilkan pH rumen dalam kisaran normal. Selain itu, El-Naggar & Ibrahim (2018) juga menyatakan penambahan bawang putih pada ransum tidak mempengaruhi pH rumen. Pada penelitian ini, perbedaan imbangian hijauan:konsentrat juga tidak mempengaruhi kondisi pH rumen. Hal ini disebabkan oleh sifat rumen yang memiliki sistem buffer yang kuat sehingga dapat menstabilkan pH dalam kisaran tidak jauh untuk menjaga aktivitas mikroba rumen (Dorantes-Iturbide et al. 2022). Kondisi pH yang sesuai membuat proses pertumbuhan dan metabolisme mikroba tidak akan terganggu sehingga proses pencernaan ransum akan optimal (Suharti et al. 2018).

Amonia (NH₃) merupakan hasil degradasi protein yang masuk ke dalam rumen. Perbedaan imbangian hijauan:konsentrat dan jenis *feed additive* pada ransum sapi perah tidak berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi NH₃ dalam rumen. Konsentrasi NH₃ yang dihasilkan berkisar antara 6,16–9,19 mM. Menurut Sutardi et al. (1993), konsentrasi NH₃ minimum untuk sintesis protein mikroba adalah 4–12 mM. Konsentrasi NH₃ yang dihasilkan akan digunakan oleh mikroba rumen sebagai sumber nitrogen (N) untuk mensintesis protein mikroba rumen. Oleh karena itu, konsentrasi amonia menjadi salah satu indikator untuk mengetahui fermentabilitas ransum yang berhubungan dengan aktivitas dan populasi mikroba rumen, serta pencernaan protein ransum (Putri et al. 2023). Kadar amonia dapat dipengaruhi oleh jumlah ransum dan kelarutan, lama inkubasi, karbohidrat, protein dalam ransum, dan kondisi pH rumen (Rahayu et al. 2018). Penambahan *phytogenic additive* pada berbagai jenis ransum yang tidak menunjukkan perubahan tidak berarti bahwa *phytogenic* tidak berfungsi, tetapi dalam kondisi tertentu efeknya sangat kecil. Komponen kimia yang berbeda pada bawang putih maupun kayu manis dapat meningkatkan diversitas bakteri tanpa menekan bakteri penghasil amonia, sehingga kadar NH₃ tidak berubah terlalu banyak. Selain itu, senyawa bioaktif dari kayu manis dan bawang putih pada bentuk bubuk utuh kemungkinan belum cukup tersedia untuk menekan aktivitas bakteri deaminatif dalam rumen sapi perah (Khurana et al. 2023).

Produksi VFA menunjukkan tingkat kecukupan energi yang diperoleh ternak. Perbedaan imbangian hijauan:konsentrat dan jenis *phytogenic additive* tidak berpengaruh signifikan terhadap produksi VFA total.

Tabel 2 Karakteristik fermentasi dan populasi protozoa

Peubah	Ransum (H:K)	Fitogenik			Rata-rata ± SD
		Kontrol	Kayu Manis	Bawang Putih	
pH	30:70	7,03	7,07	7,13	7,08 ± 0,05
	50:50	7,17	7,02	7,11	7,10 ± 0,08
	70:30	7,06	6,99	6,97	7,01 ± 0,05
	Rata-rata ± SD	7,09 ± 0,07	7,03 ± 0,04	7,07 ± 0,08	
NH ₃ (mM)	30:70	7,98	7,12	7,92	7,67 ± 0,48
	50:50	6,16	7,61	8,66	7,48 ± 1,26
	70:30	7,68	7,10	9,19	7,99 ± 1,07
	Rata-rata ± SD	7,27 ± 0,97	7,28 ± 0,29	8,59 ± 0,63	
VFA (mM)	30:70	130,26	138,18	130,27	132,91 ± 4,57
	50:50	133,32	129,20	146,04	136,19 ± 8,78
	70:30	130,91	140,18	139,70	136,93 ± 5,22
	Rata-rata ± SD	131,50 ± 1,61	135,86 ± 5,85	138,67 ± 7,93	
Protozoa (log sel mL ⁻¹)	30:70	6,33	5,92	6,03	6,10 ± 0,21
	50:50	6,05	6,05	6,16	6,08 ± 0,07
	70:30	7,68	7,10	9,19	7,99 ± 1,07
	Rata-rata ± SD	6,69 ± 0,88	6,36 ± 0,65	7,13 ± 1,78	

Pada penelitian ini, produksi VFA yang dihasilkan berkisar antara 129,20–146,04 mM. Produksi VFA total yang digunakan untuk pertumbuhan mikroba rumen berkisar antara 70–150 mM (McDonald *et al.* 2010). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaanimbangan hijauan:konsentrat maupun penambahan fitogenik pada dosis 2% bahan kering belum mampu mengubah total hasil fermentasi secara keseluruhan, tetapi dapat memproduksi VFA total yang cukup untuk pertumbuhan mikroba rumen. Pada umumnya, peningkatan jumlah konsentrat dapat meningkatkan produksi VFA. Namun, respon tersebut juga dipengaruhi oleh jenis bahan pakan, kecepatan fermentasi, dan durasi inkubasi. Senyawa bioaktif pada bawang putih, seperti *Allicin* merupakan organosulfur yang bersifat antimikroba yang dapat memodulasi aktivitas mikroba rumen. Antimikroba dapat menekan populasi protozoa tanpa menghentikan aktivitas bakteri yang memproduksi VFA, sehingga produksi VFA yang dihasilkan tidak berbeda. Hal ini sejalan dengan García-Rodríguez *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa penambahan bawang putih dan kayu manis hanya sedikit mengubah proporsi VFA parsial, namun tidak mengubah produksi VFA total. Selain itu, (Catalá *et al.* 2019) juga menyebutkan *cinnamaldehyde* dari kayumanis memodifikasi fermentasi mikroba rumen, tetapi tidak berpengaruh terhadap produksi VFA total. Hal ini menunjukkan senyawa tersebut tidak menekan jalur utama fermentasi karbohidrat yang memproduksi VFA. Produksi VFA total dapat dipengaruhi oleh tingkat fermentabilitas bahan pakan, pH rumen, dan jumlah serta macam bakteri dalam rumen (Christiyanto *et al.* 2021).

Protozoa dalam rumen berperan dalam pemecahan polisakarida kompleks seperti serat dan pati. Selain itu, protozoa juga berperan dalam stabilisasi pH rumen dan produksi VFA. Protozoa memangsa bakteri tertentu untuk menjaga keseimbangan populasi mikroba di rumen (Rosmalia *et al.* 2024). Protozoa menjaga dinamika populasi dan komposisi mikroba rumen

dengan predasi dan simbiosis (Shang *et al.* 2022). Namun, protozoa juga berdampak negatif pada efisiensi pemanfaatan nitrogen, yaitu memangsa bakteri dan mendegradasi proteinnya yang menyebabkan adanya daur ulang protein mikroba di dalam rumen. Protozoa juga bersimbiosis dengan metanogen dan memproduksi hidrogen sehingga semakin memperburuk emisi CH₄ (Yu *et al.* 2025).

Perbedaanimbangan hijauan:konsentrat dan jenis *phytogenic additive* tidak berpengaruh signifikan terhadap populasi protozoa. Pada penelitian ini, populasi protozoa yang dihasilkan berkisar antara 5,92–6,33 log sel mL⁻¹. Populasi protozoa sesuai dengan kondisi normal di dalam rumen, yaitu 5–6 log sel mL⁻¹ (Dehority 2004). Bawang putih memiliki senyawa *Allicin* yang bersifat antimikroba dan dapat menghambat bakteri dan metanogen tertentu yang berhubungan secara ekologis dengan protozoa. Mekanisme ini dilakukan melalui penghambatan enzim yang berperan dalam sintesis membran sel *Archaea* (eter isoprenoid) (Hodge *et al.* 2024). Namun, efektivitasnya juga sangat dipengaruhi oleh jenis bahan pakan dan stabilitas senyawa aktif. Bentuk bubuk yang utuh melepas senyawa aktif dengan cenderung lebih lambat dibandingkan dengan ekstrak atau minyak atsiri, sehingga respon defaunasi menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan aktivitas protozoa berubah secara tidak langsung tanpa menurunkan populasi protozoa (Martin & Chaudhry 2024). Kayu manis memiliki senyawa *cinnamaldehyde* sebagai komponen yang dominan yang bersifat antimikroba. Selain itu, kayu manis juga memiliki tanin dan flavonoid yang dapat berperan sebagai agen defaunasi yang memengaruhi protozoa. Hal ini dapat dilihat pada ransum yang diberikan kayu manis, yaitu cenderung menghasilkan populasi protozoa yang paling sedikit.

SIMPULAN

Perbedaan imbalan hijauan:konsentrat serta penggunaan *phytogenic* asal kayu manis dan bawang putih sebesar 2% bahan kering dalam ransum sapi perah mampu mempertahankan fermentabilitas rumen tetap normal yang ditunjukkan oleh nilai pH, konsentrasi amonia, produksi VFA total, dan populasi protozoa yang berada dalam kisaran normal, tetapi belum menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan kontrol.

DAFTAR PUSTAKA

- Cantet JM, Yu Z, Tucker HA & Rius AG. 2023. A cinnamaldehyde feed additive improved feed use-efficiency in lactating dairy cows. *Livestock Science*. 272: 105232726.
- Catalá P, García V, Hernández F, Madrid J, Megías MD & Orengo J. 2019. Effect of cinnamaldehyde on in vitro ruminal degradability and volatile fatty acids production. *Cuban Journal of Agriculture Science*. 53(4): 361-372.
- Chapman CE, Ort SB, Aragona KM, Cabral RG & Erickson PS. 2019. Effect of cinnamaldehyde on feed intake, rumen fermentation, and nutrient digestibility in lactating dairy cows. *Journal of Animal Science*. 97(4):1819–1827. doi:10.1093/jas/skz050.
- Chen H, Wang C, Huasai S & Chen A. 2021. Effect of dietary forage to concentrate ratio on nutrient digestibility, ruminal fermentation and rumen bacterial composition in Angus cows. *Scientific Reports*. 17(17023): 1-11. doi: 10.1038/s41598-021-96580-5.
- Christiyanto M, Surono, Munarifdah FI & Utama CS. 2021. Volatile fatty acids (VFA) dan ammonia (NH₃) litter ayam fermentasi dengan lama peram yang berbeda secara in vitro. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan*. 9(2):69–74. doi: 10.20956/jitp.v9i2.12497
- Cobellis G, Tralbalza-Marinucci M & Yu Z. 2016. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. *The Science of The Total Environment*. 545:556–568. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.103
- Conway EJ. 1957. *Microdiffusion of Analysis of Association Official Analytical Chemist*. Georgia (US) : Georgia Press
- Ding H, Liu T, Wang W & Goel G. 2023. Potential use of garlic and its bioactive components to modulate rumen fermentation: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 299:115607.
- Dorantes-Iturbide G, Orzuna-Orzuna JF, Lara-Bueno A, Mendoza-Martínez GD, Miranda-Romero LA & Lee-Rangel HA. 2022. Essential oils as a dietary additive for small ruminants: A meta-analysis on performance, rumen parameters, serum metabolites, and product quality. *Veterinary Sciences*. 9(9):475. doi:10.3390/vetsci9090475.
- El-Naggar S & Ibrahim EM. 2018. Impact of incorporating garlic or cumin powder in lambs ration on nutrients digestibility, blood constituents and growth performance. *Egyptian Journal of Nutrition and Feed*. 21(2): 355–364. doi:10.21608/ejnf.2018.75530.
- García-Rodríguez J, Saro C, Mateos I, Carro MD & Ranilla MJ. 2024. Effects of garlic oil and cinnamaldehyde on sheep rumen fermentation and microbial populations in Rusitec fermenters in two different sampling periods. *Animals*. 14(7):1067. doi:10.3390/ani14071067.
- General Laboratory Procedure. 1966. Department of Dairy Science. Madison (US): University of Wisconsin.
- Hodge I, Quille P & O'Connell S. 2024. A review of potential feed additives intended for carbon footprint reduction through methane abatement in dairy cattle. *Animals*. 14(4): 568. doi: 10.3390/ani14040568.
- Indah AS, Permana IG & Despal D. 2020. Model pendugaan *total digestible nutrient* (TDN) pada hijauan pakan tropis menggunakan komposisi nutrien. *Sains Peternakan* 18(1): 38-43.
- Khurana R, Brand T, Tapio I & Bayat AR. 2023. Effect of a garlic and citrus extract supplement on performance, rumen fermentation, methane production, and rumen microbiome of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 106(7): 4608-4621. doi: 10.3168/jds.2022-22838.
- Martin RSH & Chaudhry AS. 2024. The effects of garlic as a feed additive on ruminal fermentability and ruminant performance: A meta-analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*. 18:101531. doi: 10.1016/j.jafr.2024.101531.
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD & Morgan CA. 2010. *Animal Nutrition*. Seventh Edition. Gosport: Ashford Colour Press.
- Nastoh NA, Waqas M, Çınar AA & Salman M. 2024. The impact of phytogenic feed additives on ruminant production: A review. *Journal of Animal and Feed Science*. 33(4): 431–453.
- Ntsongota Z, Ikusika O & Jaja IF. 2025. The role of phytogenic feed additives in growth and immune response in livestock production: A global systematic review. *Frontiers in Animal Science*. 6:1703112.
- Patra AK & Yu Z. 2012. Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*. 78(12): 4271–4280.
- Petrovski KR. 2017. Assessment of the rumen fluid of bovine patient. *Journal of Dairy and Veterinary Science*. 2(3): 555588.
- Putri DL, Sutrisna R, Fathul F & Liman L. 2023. Pengaruh pengolahan amoniasi, fermentasi, dan amofer kelobot jagung terhadap konsentrasi VFA total, NH₃, dan produksi gas total secara in vitro. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*. 7(1):84–93.
- Rabee AE, El Shereef AA, Nassar MS, El-Rayes MAH, Mohammed RS & Bakr SA. 2025. Effect of garlic powder supplementation on rumen microbiota and histology, and blood metabolites in Barki lambs. *BMC Veterinary Research*. 21(116): 1-11. doi: 10.1186/s12917-025-04521-5.
- Rahayu RI, Subrata A & Achmadi J. 2018. Fermentasi ruminal in vitro pada pakan berbasis jerami padi amoniasi dengan suplementasi tepung pisang dan molases. *Jurnal Peternakan Indonesia*. 20(3):166–174.
- Rosmalia A, Evvryernie D, Yolanda DE & Fassah DM. 2024. Studi *in vitro* temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*) dan kencur (*Kaempferia galanga*) sebagai *feed additive* alami terhadap fermentabilitas dan protozoa rumen. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 22(3): 173-177. doi: 10.29244/jintp.22.3.173-177.
- Sari NF, Ray P, Rymer C, Kliem KE & Stergiadis S. 2022. Garlic and its bioactive compounds: Implications for methane emissions and ruminant nutrition. *Animals*. 12(21):2998. doi:10.3390/ani12212998.
- Shang Z, Wang X, Jiang Y, Li Z & Ning J. 2022. Identifying rumen protozoa in microscopic images of ruminant with improved YOLACT instance segmentation. *Biosystems Engineering*. 215:156–169.
- Suharti S, Aliyah DN & Suryahadi. 2018. Karakteristik fermentasi rumen in vitro dengan penambahan sabun kalsium minyak nabati pada buffer yang berbeda. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 16(3):56–64.
- Sutardi T, Sastradipradja D, Toharmat T, Permana I. 1993. Peningkatan produksi ternak ruminansia melalui amoniasi pakan serat bermutu terhadap degradasi dalam rumen. *Journal of Animal Science*. 28(6):67–74.
- Tilley JMA & Terry RA. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*. 18(2): 104-111.
- Yu Z, Somasundaram S & Yan M. 2025. International Symposium on Ruminant Physiology: Rumen protozoa and viruses—New insights into their diversity and potential roles through omics lenses: A review. *Journal of Dairy Science*. 108(7):7530–7544. doi:10.3168/jds.2024-25780.