

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Profil *Volatile Fatty Acids* Parsial

Profil *volatile fatty acids* atau VFA parsial merupakan hasil fermentasi mikroba rumen melalui jalur degradasi karbohidrat yang menghasilkan tiga produk utama meliputi asam asetat (C_2), asam propionat (C_3), dan asam butirat (C_4). Profil VFA parsial utama ini diperoleh melalui jalur degradasi fraksi karbohidrat termasuk karbohidrat struktural (selulosa dan hemiselulosa) dan karbohidrat non-struktural (pati dan gula larut) yang difermentasi oleh mikroorganisme anaerob menjadi produk antara berupa asam piruvat yang selanjutnya dikonversi menjadi produk VFA. Konsentrasi VFA parsial utama masing-masing dari pakan penelitian dengan berbagai sumber serat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi VFA Parsial Utama Pakan Komplit pada Tiap Perlakuan

Perlakuan	Parameter		
	Asam Asetat	Asam Propionat	Asam Butirat
	------(%)-----		
P1	55,89±0,37 ^b	29,36±0,41	9,76±0,22 ^b
P2	57,24±0,30 ^a	29,76±0,32	9,51±0,07 ^b
P3	56,47±0,18 ^a	28,92±0,24	10,31±0,06 ^a
Signifikasi	P<0,05	P>0,05	P<0,05

Keterangan: ^{a-b}Superskrip huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan berbeda nyata (P<0,05)

Berdasarkan data Tabel 2. konsentrasi asam asetat dengan proporsi P1, P2, dan P3 masing-masing 55,89±0,37%, 57,24±0,30%, dan 56,47±0,18%. Hasil

analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap konsentrasi asam asetat. Hasil ini dapat dipengaruhi oleh variasi karakteristik jenis serat dan tingkat efisiensi penguraian komponen dinding sel antara tiga perlakuan sehingga memicu respon yang berbeda dari mikroba selulolitik atau mikroba pemecah selulosa. Komposisi serta sifat fisikokimia dinding sel tanaman mengatur kemudahan degradasi serat sekaligus memengaruhi kolonisasi bakteri selulolitik di dalam rumen. Nurcahyanti *et al.* (2020) menyatakan bahwa kandungan serat kasar yang tinggi dalam bahan pakan menyebabkan konsentrasi asam asetat yang tinggi pada hasil proses pencernaannya. Kusumaningrum *et al.* (2019) menyatakan bahwa bakteri selulolitik berperan dalam efisiensi degradasi serat melalui jalur hidrolisis selulosa karena menghasilkan enzim yang dapat menghidrolisis ikatan glukosidik $\beta 1,4$ pada substrat Carboxymethyl Cellulose (CMC).

Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan, konsentrasi asam asetat pada perlakuan P1 berbeda nyata ($P > 0,05$) terhadap P2 dan P3, sedangkan P2 dan P3 tidak berbeda nyata ($P < 0,05$) satu sama lain. Hasil konsentrasi asetat yang tidak berbeda disebabkan karena komponen serat antara kedua sumber serat memiliki karakteristik yang tidak berbeda. Serat kasar dalam bentuk fraksi karbohidrat struktural berupa selulosa dan hemiselulosa pada dinding sel serat akan dicerna atau difermentasi secara spesifik oleh mikroorganisme rumen (Yosef *et al.*, 2025). Laikha *et al.* (2019) menyatakan bahwa kandungan serat kasar yang berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin dicerna oleh mikroba rumen menghasilkan gula-gula sederhana, selanjutnya melalui proses glikolisis anaerob dan oksidasi glukosa

diubah menjadi asam piruvat sebagai prekursor produksi asam asetat. Konsentrasi asam asetat pada P1 yang rendah dapat disebabkan adanya kandungan lignin yang berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa sehingga proses degradasi serat kurang optimal dibandingkan P2 dan P3. Lignin merupakan komponen dinding sel yang tidak bisa dicerna oleh bakteri rumen (McDonald *et al.*, 1988).

Konsentrasi asam asetat berkaitan dengan kandungan NDF dalam formulasi pakan komplit. Semakin tinggi kandungan NDF yang mudah terdegradasi, semakin banyak substrat yang tersedia untuk fermentasi dan menghasilkan VFA total yang tinggi (Yu *et al.*, 2025). Hikmawan *et al.* (2019) menyatakan bahwa apabila pencernaan serat kasar di dalam pakan tinggi, maka produk fermentasi terbesar yang dihasilkan adalah asetat. Arora (1995) menyatakan bahwa proporsi asetat normalnya berkisar antara 50-65%. Asam asetat adalah VFA utama yang diproduksi dari proses fermentasi pakan diserap melalui dinding rumen dan menyediakan 50% sumber energi utama untuk kelangsungan hidup dan aktivitas metabolisme tubuh ternak ruminansia (Urrutia *et al.*, 2019). Dalam metabolisme tubuh, asam asetat dimanfaatkan dalam pembentukan lemak susu melalui jalur lipogenesis (Rahma *et al.*, 2026).

Proporsi propionat yang dihasilkan pada penelitian ini masing-masing P1, P2, P3 yaitu $29,36 \pm 0,41\%$, $29,76 \pm 0,32\%$, dan $28,92 \pm 0,24\%$. Hasil analisis ragam menunjukkan tidak adanya pengaruh nyata ($P > 0,05$) antara ketiga perlakuan. Hal ini disebabkan karena komponen pakan penentu jalur propionat antara tiga perlakuan tidak berbeda jauh sehingga hasil menunjukkan konsentrasi propionat yang relatif sama. Faktor yang mempengaruhi adalah kandungan (Bahan Ekstrak

Tanpa Nitrogen) BETN terutama komponen pati dan gula larut sebagai prekursor pembentukan propionat rata-rata sama pada tiap perlakuan (Lampiran 8.). Kandungan karbohidat mudah dicerna seperti pati dan gula di dalam pakan tinggi akan menghasilkan propionat tinggi. Suharlina *et al.* (2019) bahwa karbohidrat yang mudah didegradasi di dalam rumen dapat meningkatkan nilai konsentrasi asam propionat di dalam rumen. Kandungan serat yang berupa selulosa akan dirombak menjadi selobiosa oleh mikroorganisme rumen melalui proses hidrolisis menghasilkan glukosa. Selanjutnya glukosa akan dipecah menjadi piruvat kemudian diubah menjadi asam lemak volatil berupa asam asetat, asam propionat, dan asam butirir (Gonzalez-garcia *et al.*, 2017). Arora (1995) bahwa proporsi asam propionat normal berkisar antara 18% hingga 24% dari total VFA. Propionat berperan dalam metabolisme glukosa pada ternak ruminansia untuk proses glukoneogenesis (Maslachah dan Aisyah 2025). Asam propionat yang bersifat glukogenik akan diubah menjadi glukosa di dalam hati untuk diedarkan melalui darah ke seluruh tubuh sebagai sumber energi (Banamtuan *et al.*, 2020).

Berdasarkan data hasil penelitian pada Tabel 2, rata-rata proporsi konsentrasi asam butirir yang dihasilkan pada perlakuan P1, P2, dan P3 masing-masing adalah sebesar $9,76 \pm 0,22\%$, $9,51 \pm 0,07\%$, dan $10,31 \pm 0,06\%$. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan sumber serat pada pakan komplit memberikan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap produksi asam butirir. Faktor utama yang memengaruhi munculnya perbedaan nyata pada analisis ragam adalah adanya variasi kandungan fraksi karbohidrat non-struktural terlarut. Peningkatan kadar karbohidrat yang mudah difermentasi akan meningkatkan hasil produksi asam

butirat (Hidalgo *et al.*, 2025). Hasil uji lanjut Duncan memperlihatkan bahwa perlakuan P1 dan P2 tidak berbeda nyata ($P>0,05$) satu sama lain, namun keduanya menghasilkan konsentrasi asam butirat yang nyata lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan P3 ($P<0,05$). Produksi asam butirat berkaitan dengan kandungan karbohidrat non-struktural terlarut seperti gula sederhana atau jenis serat mudah larut pada tiap sumber serat sebagai substrat utama pembentukan asam butirat. Taniu *et al.* (2020) menyatakan bahwa karbohidrat non-struktural (pati, pektin, dan gula sederhana) sangat cepat difermentasi dibandingkan dengan karbohidrat struktural (selulosa, hemiselulosa dan lignin). Proses sintesis asam butirat memanfaatkan kembali asetat bebas sebagai prekursor melalui pembentukan senyawa antara Asetil-KoA. Keberadaan faktor penghambat berupa tanin mengubah pola fermentasi dengan mengalihkan jalur asetat menjadi butirat, sehingga pada P3 proporsi butirat meningkat tajam meskipun proporsi asetat menurun. Asam butirat yang dihasilkan dari proses fermentasi ini berperan sebagai sumber energi bagi ternak serta substrat lipogenik dalam pembentukan lemak susu pada ternak perah (Rahma *et al.*, 2026).

4.2 Profil *Volatile Fatty Acids* Parsial dari Hasil Degradasi Protein

Proses fermentasi mikroba rumen menghasilkan sebagian kecil VFA parsial melalui jalur degradasi protein pakan. Produk VFA parsial hasil degradasi protein terdiri atas asam lemak rantai cabang atau *iso*-VFA (isobutirat dan isovalerat) serta produk deaminasi asam amino rantai lurus berupa valerat. Data hasil profil

konsentrasi VFA parsial dari hasil degradasi protein pada pakan penelitian dengan berbagai sumber serat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsentrasi VFA Parsial dari Hasil Degradasi Pakan Komplit pada Tiap Perlakuan

Perlakuan	Parameter			Total
	Asam Isobutirat	Asam Isovalerat	Asam Valerat	
	------(%)-----			
P1	0,92	2,53	1,54	4,99±0,07 ^a
P2	0,53	1,74	1,22	3,49±0,08 ^c
P3	0,73	2,30	1,28	4,31±0,07 ^b
Signifikasi	P<0,05	P<0,05	P<0,05	P<0,05

Keterangan: ^{a-c}Superskrip huruf yang berbeda pada kolom menunjukkan berbeda nyata (P<0,05)

Berdasarkan Tabel 3. menunjukkan konsentrasi total iso-VFA dan valerat sebesar 4,99±0,07% pada P1, 3,49±0,08% pada P2, dan 4,31±0,07% pada P3. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan sumber serat memberikan pengaruh yang nyata (P<0,05) terhadap total iso-VFA dan valerat. Faktor yang mempengaruhi hasil analisis konsentrasi gas metan adalah ketersediaan bahan baku metan berupa gas CO₂ dan H₂, kondisi agen metanogenesis, dan interaksi senyawa bioaktif berupa tanin. Perbedaan hasil pada analisis ini dipengaruhi oleh adanya interaksi senyawa antinutrisi berupa tanin khususnya tanin terkondensasi (CT) yang terkandung dalam sumber serat pakan. Besharati *et al.* (2022) menyatakan bahwa tanin berinteraksi erat dengan molekul protein dan pH rumen mendukung pembentukan kompleks tanin-protein. Ikatan kompleks tanin-protein membentuk proteksi pada protein dari hidrolisis enzim protease mikroba.

Berdasarkan hasil uji Duncan ketiga perlakuan berbeda nyata satu sama lain (P<0,05) secara berurutan dengan konsentrasi tertinggi pada P1, diikuti P3, dan

terendah pada P2. Pola ini menunjukkan bahwa tingginya konsentrasi total iso-VFA dan valerat pada P1 menggambarkan protein pakan mudah terdegradasi sehingga produksi fermentasi protein tercapai lebih maksimal tanpa penghambatan berarti dari senyawa tanin. Persentase CT pada rumput odot sekitar 1,16% tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada proteksi protein sebagai substrat fermentasi. Pada P2 yang menghasilkan total iso-VFA dan valerat paling rendah mengindikasikan degradasi protein yang tidak optimal dikarenakan efek proteksi protein oleh senyawa aktif tanin terkondensasi. Pola serupa terjadi pada P3, namun produksi total iso-VFA yang dihasilkan masih lebih tinggi dari P2 menunjukkan efektivitas tanin pada daun jati berbeda dari daun akasia. Penurunan konsentrasi total iso-VFA yang signifikan pada P2 mengikuti kadar CT daun akasia sebesar 2,92%, lebih tinggi dari P3 dengan kadar CT 1,76%. Kandungan senyawa CT dari daun akasia diduga memiliki karakteristik yang kuat dan membentuk kompleks tanin-protein lebih stabil dibandingkan dari daun jati sehingga menurunkan substrat bagi mikroba proteolitik dan menekan produksi iso-VFA (Akbar *et al.*, 2023). Tanin dapat menghambat aktivitas mikroba rumen dengan mengurangi ketersediaan nitrogen yang diperlukan untuk keberlangsungan proses fermentasi (Kurnia *et al.*, 2025).

Pembentukan komponen iso-VFA dan valerat secara kumulatif berasal dari degradasi protein kasar pakan yang terhidrolisis membentuk asam amino, kemudian melalui katabolisme asam amino menghasilkan iso-VFA, termasuk valerat, amonia dan CO₂ (Sutardi, 1976). Asam-asam amino rantai cabang (seperti valin, leusin, dan isoleusin) melalui proses deaminasi (pelepasan gugus amino) dan

dekarboksilasi oksidatif akhirnya menghasilkan asam amino rantai cabang termasuk isobutirat dan isovalerat (Firkins *et al.*, 2024). Isobutirat terbentuk secara eksklusif dari degradasi asam amino valin, sedangkan isovalerat berasal dari degradasi asam amino leusin. Prekursor utama dalam pembentukan valerat adalah asam amino isoleusin (Lyu *et al.*, 2025).

4.3. Produksi Gas Metan

Produksi gas metan (CH_4) dalam fermentasi rumen *in vitro* dihasilkan melalui metanogenesis anaerob oleh *archaea* metanogenik yang memanfaatkan hidrogen (H_2) berlebih dari fermentasi karbohidrat untuk mereduksi CO_2 menjadi CH_4 . Penggunaan sumber serat alternatif yang mengandung senyawa antanutrisi diketahui dapat mempengaruhi aktivitas *archaea* metanogenik. Produksi gas metan disajikan dalam Tabel 4. sebagai berikut.

Tabel 4. Produksi Gas Metan secara *In Vitro* dari Pakan Komplit

Parameter	Perlakuan			P Value
	P1	P2	P3	
Volume (mL/L)	257,40 ^a	195,59 ^b	206,94 ^b	P<0,05
Konsentrasi (%)	25,74±0,9 ^a	19,56±0,55 ^c	20,69±0,33 ^b	

Keterangan: ^{a-b}Superskrip pada baris rataaan menunjukkan perbedaan nyata ($p<0,05$).

Berdasarkan Tabel 4. menunjukkan konsentrasi gas metan pada perlakuan P1 25,74±0,9%, pada P2 19,56±0,55% dan P3 20,69±0,33%. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan sumber serat pada pakan komplit memberikan pengaruh yang nyata ($P<0,05$) terhadap konsentrasi gas metan yang dihasilkan.

Faktor yang mempengaruhi hasil analisis ragam adalah variasi karakteristik kimiawi dari sumber serat, khususnya senyawa bioaktif tanin dan ketersediaan hidrogen (H_2) bebas di dalam ekosistem fermentasi rumen. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan P1, P2, dan P3 berbeda nyata satu sama lain ($P < 0,05$). P1 menghasilkan konsentrasi gas metan yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan P2 dan P3 yang lebih rendah. Faktor yang mempengaruhi hasil analisis konsentrasi gas metan adalah ketersediaan bahan baku metan berupa gas CO_2 dan H_2 , agen metanogenesis, dan interaksi senyawa bioaktif berupa tanin. Proses pembentukan gas metan berhubungan dengan sintesis VFA khususnya asam asetat dan propionat. Berdasarkan hasil analisis, tingginya konsentrasi asetat tidak diikuti dengan kenaikan konsentrasi gas metan. Penurunan metan pada P2 dan P3 disebabkan pergeseran pola fermentasi ke arah propionat yang tinggi (Tabel 2.) Tenzin *et al.* (2022) menyatakan bahwa propionat berfungsi sebagai penyerap H_2 alternatif, sehingga peningkatan produksi propionat menyebabkan berkurangnya H_2 yang tersedia untuk metanogenesis. Kandungan CT pada sumber serat berpengaruh pada penurunan metan dimana tanin dapat mengikat protein dan karbohidrat membentuk kompleks yang tidak mudah didegradasi di rumen, sehingga mengurangi ketersediaan substrat fermentasi dan produksi hidrogen yang menjadi prekursor utama metanogenesis (Thompson *et al.*, 2025).

Penurunan konsentrasi metan tidak hanya terjadi karena terbatasnya ketersediaan H_2 , namun secara intensif terjadi akibat mekanisme kerja tanin dalam penghambatan langsung terhadap metanogenik. Widiawati dan Puastuti (2016) menyatakan bahwa tanin mampu menekan emisi gas metan melalui mekanisme

penghambatan langsung terhadap mikroba metanogen serta penurunan aktivitas protozoa yang berperan dalam transfer hidrogen (H_2) ke metanogen. Senyawa CT bersifat antimetanogenik spesifik mengikat protein enzim *Methyl-coenzyme M Reductase* (MCR) sehingga enzim menjadi inaktif. Enzim MCR memiliki peran penting dalam metanogenesis untuk mereduksi CO_2 menjadi CH_4 dengan menggunakan H_2 (Shao *et al.*, 2026). Sifat astringen tanin diketahui dapat merusak membran sel protozoa ciliata hingga mengalami lisis. Penurunan populasi protozoa ini memutus hubungan simbiotik transfer hidrogen dan menghentikan pasokan hidrogen ke metanogen. Besharati *et al.* (2022) menyatakan bahwa protozoa memiliki hubungan positif dengan produksi CH_4 karena berperan dalam menghasilkan H_2 yang kemudian diubah menjadi CH_4 oleh metanogen.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Daun jati memiliki potensi tinggi untuk dijadikan sumber serat alternatif pakan ternak ruminansia.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian *in vitro* yang menunjukkan potensi daun jati sebagai sumber serat alternatif, disarankan untuk mengaplikasikan pemanfaatannya dalam pakan ternak ruminansia. Pemanfaatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif pakan berserat yang ekonomis bagi peternak. Perlu dilakukan penelitian lanjutan secara *in vivo* pada ternak ruminansia langsung untuk menguji tingkat kesukaan pakan (*palatabilitas*), pencernaan nutrien di dalam rumen, serta dampaknya terhadap pertambahan bobot badan harian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman. A. dan A. Surayah. 2000. Studi Banding Analisis VFA Total dengan Metode Destilasi dan Kromatografi Gas. Temu Teknis Fungsional Non Peneliti. Balai Penelitian Ternak, Bogor.
- Afzalani, A., R. Dianita, S. Apriani, M. R. Raguati, dan E. Musnandar. 2023. Optimalisasi produksi protein mikroba rumen melalui suplementasi ekstrak tepung daun sengon (*Albizia falcataria*) yang mengandung tanin kondensasi. J. Agripet. 23(1): 107-13.
- Akbar, M., R. Islamiyati, J. Mustabi, dan I. Indrawirawan. 2023. Kandungan tanin, VFA dan amonia pada sistem rumen in vitro daun maja (*Aegle marmelos*) dan daun gamal (*Gliricidia sepium*). Buletin Nutrisi dan Makanan Ternak. 17(1): 28-40.
- Anjarwati, A., E. D. Festawanti, Y. Wulandari, F. Rahmadhini, dan M. Muthmainnah. 2022. Pemahaman tentang sistem pencernaan manusia dan hewan siswa SDN Sukabumi 6 Probolinggo. J. Pendidikan, Sains dan Teknologi. 1(3): 250–251.
- Armayanti, A. K., R. Nurfiana, D. Yustidia, M. Mawar, M. E. Kurniawan. 2026. Nutrisi Ternak Dasar. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, Jambi.
- Arora, S. P. 1995. Pencernaan Mikroba pada Ruminansa. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Aswad, A. dan A. B. W. Negara. 2025. Uji pencernaan ransum komplit berbasis silase jerami padi dengan penambahan EM4 (*effective microorganisme*) secara *in vitro*. J. Innovation Research and Knowledge. 5(1): 561-568.
- Banamtuan, S., I. G. N. Jelantik, G. A. Y. Lestari, dan I. Benu. 2020. Pengaruh substitusi *fooder* jagung pada silase rumput alam terhadap konsumsi dan pencernaan serat, konsentrasi VFA dan kadar glukosa darah pada pedet jantan sapi persilangan Ongole x Brahman lepas sapih. J. Nukleus Peternakan. 7(1): 63–74.
- Bata, M., S. Rahayu dan M. Oktora. 2021. Efisiensi metabolisme rumen pakan berbasis jerami padi amoniasi dan konsentrat yang disuplementasi ekstrak daun waru (*Hibiscus tiliaceus*) (*In-Vitro*). J. Agripet. 21(2): 113-121.
- Bath, D. I., F. N. Dickinson, H. A. Tucker, and R. D. Appleman. 1985. Dairy Cattle: Principles, Practice, Problems, Profit (2nd edition). Lea and Febiger, Philadelphia.

- Besharati, M., A. Maggiolino, V. Palangi, A. Kaya, M. Jabbar, H. Eseceli, P. De Palo, and J. M. Lorenzo. 2022. Tannin in ruminant nutrition: Review. *Molecules*, 27: 8273.
- Budianto, P., S. Suroto, B. Wasita, dan D. K. Mirawati. 2023. *Tectona Grandis* leaves: determination of total flavonoid content, phenolic content, characterization of the leaves, and compound identification in GC-MS. *Pharmacognosy Journal*. 15(1): 165-170.
- Carolia, N. dan W. Noventi. 2016. Potensi ekstrak daunsirih (*Piper betle L.*) sebagai alternatif terapi *acne vulgaris*. *J. Majority*. 5(1): 140-145.
- Chuzaemi, S., S. Soebarinoto, M. Mashudi, dan P. H. Ndaru. 2020. Ilmu Gizi Ruminansia. Media Nusa Creative (MNC *Publishing*), Malang.
- Czerkawski, J.W. 1986. An Introduction to Rumen Studies. 1st Ed. Pergamon Press, New York.
- Datta, F. U. 2023. Dasar Ilmu Nutrisi dan Pakan Hewan. Deepublish, Yogyakarta.
- Edi, D. N. dan N. Haryuni. 2023. Estimation of greenhouse gas emission burden of livestock sector in East Java Province, Indonesia. *J. Teknologi Lingkungan*. 24(2): 157-165.
- Edi, D. N., M. Natsir dan I. Djunaidi. 2018. Pengaruh penambahan ekstrak daun jati (*Tectona grandis linn. F*) dalam pakan terhadap performa ayam petelur. *J. Nutrisi Ternak Tropis*. 1(1): 33-44.
- Firkins, J. L., K. E. Mitchell and A. F. White. 2024. Invited Review: Role for isoacids in dairy nutrition. *J. Applied Animal Science*. 40(4): 466-477.
- Fitriyanto, R., F. M. Suhartati dan S. Rahayu. 2021. Pengaruh penggunaan silase rumput gajah yang diberi singkong terhadap konsentrasi VFA dan N-NH₃ cairan rumen sapi secara *in vitro*. *J. Animal Science Technology*. 3(3): 272-279.
- Getabalew, M., T. Alemneh and E. Bzuneh. 2020. Review on methanogenesis and its role. *World J. Agriculture of Soil Science*. 6(2): 1-7.
- Gonzalez-garcia, R. A., T. Mccubbin, L. Navone, C. Stowers, L. K. Nielsen, E. Marcellin. 2017. Microbial Propionic Acid Production. *J. Fermentation*. 3(21): 1-20.
- Greening, C., R. Geier, C. Wang, L. C. Woods, S. E. Morales, M. J. McDonald, R. Rushton-Green, X. C. Morgan, S. Koike, S. C. Leahy, W. J. Kelly, I. Cann, G. T. Attwood, G. M. Cook, and R. I. Mackie. 2019. Diverse hydrogen production and consumption pathways influence methane production in ruminants. *The ISME Journal*. 13(10): 2617-2632.

- Hakim, A. R. 2023. Identifikasi senyawa flavonoid ekstrak daun karinat. *Sains Medisina*. 1(3): 167-168.
- Handayani, S., A. E. Harahap dan E. Saleh. 2018. Kandungan fraksi serat silase kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca*) dengan penambahan level dedak dan lama pemeraman yang berbeda. *J. Peternakan*. 15(1): 1-8.
- Hidalgo, D., L. Garrote, F. Infante, J. M. Martín-Marroquín, E. Pérez-Zapatero, and F. Corona. 2025. Targeted acidogenic fermentation of waste streams for the selective production of volatile fatty acids as bioplastic precursors. *Applied Sciences*. 15(11): 5923.
- Hikmawan, D., M. Erwanto dan F. Fathul. 2019. Pengaruh substitusi rumput laut (*Eucheuma cottonii*) dalam pakan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) terhadap konsentrasi VFA parsial dan estimasi produksi gas metana secara invitro: *J. Riset dan Inovasi Peternakan*. 3(1): 12-18.
- James, R. V. and A. P. Faciola. 2022. Unraveling the pros and cons of various in vitro methodologies for ruminant nutrition: a review. *J. Translational Animal Science*. 6(4): 1-9.
- Kaca, I. N., L. Suariani, N. K. E. Suwitari, dan I. G. A. M. Sanjaya. 2019. Budidaya rumput odot di Desa Sulangai Kecamatan Petang Kabupaten Badung-Bali. *J. Community Service*. 2(1): 29-33.
- Karlsson, J. O., A. Parodi, H. H. E. van Zanten, P. A. Hansson, and E. Rööf. 2021. Halting European Union soybean feed imports favours ruminants over pigs and poultry. *J. Nature Food*. 2(1): 38–46.
- Kusuma, J. W., I. N. Tuti, E. Handayanta, A. Hanifah, and R. F. Hadi. 2022. Evaluation of gas production kinetics from phyllode and acacia plant (*Acacia Mangium*) pod through fermentation by in vitro gas test, in: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Surakarta, 21 Maret 2022. IOP Publishing, p. 012001.
- Kusumaningrum, A., Gunam dan I. M. M. Wijaya. 2019. Optimasi suhu dan pH terhadap aktivitas enzim endoglukanase menggunakan *response surface methodology* (RSM). *J. Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. 7 (2): 243.
- Laikha., U., B. I. M. Tampoebolon dan A. Subrata. 2019. Pengaruh lama peram proses fermentasi kulit kacang tanah amoniasi dengan terhadap produksi VFA dan NH₃ secara *in vitro*. *J. Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*. 17(3): 69-72.
- Lyu, Y., J. Pu, B. Deng, dan C. Wu. 2025. Gut metabolome in companion animal nutrition-linking diets to health. *Animals*. 15(5): 651.

- Maslachah, L. U. W. dan I. Aisyah. 2025. Literature review: pengaruh produksi asam propionat terhadap PBBH ternak domba. *J. Ilmiah Peternakan Halu Oleo*. 7(1): 58-64.
- Mayulu, H. 2019. *Teknologi Pakan Ruminansia*. Endang Sawitri (1st edition.). PT Rajagrafindo Persada, Depok.
- McDonald, P., R. A. Edwards and J. F. D. Greenhalg. 1988. *Animal Nutrition*. John Willey and Sons Inc., New York. 96-105.
- McDonald, P. and R. J. G. Edwards. 2002. *Animal Nutrition* (6th edition). John Willey and Sons Inc., New York.
- Montgomery, D. C. 1976. *Design and Analysis of Experiments* John Willey and Sons Inc., New York.
- Nurcahyanti, B. T., R. Hartanto dan D. W. Harjanti. 2020. Konsumsi serat kasar, pencernaan serat kasar dan produksi lemak susu dengan pemberian tepung temulawak (*Curcuma xanthorrhiza Roxb.*) pada sapi laktasi. *J. Peternakan Sriwijaya*. 9(2): 35– 43.
- Orskov, E. R. dan M. Ryle. 1990. *Energy Nutrition in Ruminants*. Elsevier Science Publishers Ltd., London.
- Panggabean, H. F., N. N. Tobing, H. Salafiyah, dan L. A. Nirahai. 2016. Pengenalan jenis dan karakteristik ternak. *J. Pertanian*. 2(1): 1–3.
- Perhutani. 2014. *Statistik Perum Perhutani 2009- 2013*. Perum Perhutani, Jakarta.
- Pitta D., N. Indugu, K. Narayan, and M. Hennessy. 2022. Understanding the role of the rumen microbiome in enteric methane mitigation and productivity in dairy cows. *J. Dairy Science*. 105(10): 8569–8585.
- Rahayu, R. I., A. Subrata dan J. Achmadi. 2018. Fermentabilitas ruminal *in vitro* pada pakan berbasis jerami padi amoniasi dengan suplementasi tepung bonggol pisang dan molases. *J. Peternakan Indonesia*. 20(3): 166–174.
- Rahma, M., F. A. Usmany, D. P. Ardhi, M. Z. Barlian, A. Nafisah, dan U. Nurrofhingah. 2026. *Volatile fatty acids* (VFA) sebagai mediator metabolisme energi dan lipid pada sapi perah laktasi. *J. Penelitian Ilmiah Multidisipliner*. 2(04): 702-714.
- Ramaiyulis, R., S. Salvia dan M. Dewi. 2022. *Ransum Ruminansia*. Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Payakumbuh.
- Rido, M. dan N. Erni. 2023. Pentingnya hijauan pakan untuk mendukung usaha ternak potong di Desa E2 (Sumber Mulya). *J. Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara*. 4(3): 2058–2063.

- Riyanto, F. A., S. Herijanto dan S. Rahardjo. 2023. Pengaruh jarak tanam terhadap produktivitas rumput odot (*Pennisetum Purperium Cv moot*) di Padang Penggembalaan Maribaya Kecamatan Bumiayu. Media Peternakan. 24(2): 2287-2296.
- Rojas-Downing M. M., A. P. Nejadhashemi, T. Harrigan, S. A. Woznicki. 2017. Climate change and livestock: impacts, adaptation, and mitigation. J. Climate Risk Management. 16: 145–163.
- Sada, S. M., B. B. Koten, B. Ndoen, A. Paga, P. Toe, R. Wea, dan A. Ariyanto. 2018. Pengaruh interval waktu pemberian pupuk organik cair berbahan baku keong mas terhadap pertumbuhan dan produksi hijauan *Pennisetum purpureum cv. Mott*. J. Ilmiah Inovasi. 18(1): 42-47.
- Sangadji, I. 2024. Nutrisi Ruminansia. PT. Mafy Literasi Indonesia, Solok.
- Sari, N. F. 2017. Mengenal keragaman mikroba rumen pada perut sapi secara molekular. J. BioTrends. 8(1): 5-9.
- Sari, N. K. Y. dan N. L. U. Sumadewi. 2019. Potensi ekstrak daun akasia (*Acacia auriculiformis*) sebagai antifungi pada *Candida albicans* dan identifikasi golongan senyawanya. J. Biological Sciences. 6(2): 143-147.
- Shao, Z., Z. Lu, L. Wu, W. Liu, M. Abdullah, F. U. Hassan, and B. He. 2026. Methyl coenzyme M reductase as a target for inhibition of methanogenesis in ruminants: challenges and opportunities. Frontiers in Microbiology. 16: 1704809.
- Shinkai, T., S. Takizawa, M. Fujimori, and M. Mitsumori. 2024. The role of rumen microbiota in enteric methane mitigation for sustainable ruminant production. Anim Biosci. 37(2): 360-369.
- Sholikah, N. U., W. Auliya, D. Ismayasari, A. S. Bachrul, dan A. N. Sari. 2021. Pemanfaatan rumput odot sebagai pakan alternatif ternak ruminansia dengan *high nutrition recommended feed*. J. Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat. 2(2): 96-100.
- Soetanto, H. dan K. Kusmartono. 2021. Ilmu Nutrisi Ternak Ruminansia: Tingkat Lanjut. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Suharlina, S., L. Abdullah dan A. D. Lubis. 2019. Kualitas nutrisi hijauan (*Indigofera zollingerina*) yang diberi pupuk organik cair asal limbah industri penyedap masakan. J. Pertanian Terpadu. 7(1): 2837.
- Suharti, S., D. N. Aliyah, dan S. Suryahadi. 2018. Karakteristik fermentasi rumen *in vitro* dengan penambahan sabun kalsium minyak nabati pada *buffer* yang berbeda. J. Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan. 16(3): 56-64.

- Sun, K., H. Liu, H. Fan, T. Liu, and C. Zheng. 2021. Research progress on the application of feed additives in ruminal methane emission reduction: a review. *J. PeerJ*. 9: 11151.
- Susilo, E., L. K. Nuswantara dan E. Pangestu. 2019. Evaluasi bahan pakan hasil sampling industri pertanian berdasarkan parameter fermentabilitas ruminal secara *in vitro*. *J. Sain Peternakan Indonesia*. 14(2): 128-136.
- Sutardi, T. 1976 . Metabolisme of Some Essential Amino Acids by Rumen Microbes. With Special Refence to Alpha-Keto Acids. Tesis. University of Wiscosin, Madison.
- Sutawi, S., A. Winaya, I. Prihartini, N. T. Waskitho, E. A. Saati, O. Sukmana, J. Astutik, M. Syahri, and M. Marsudi. 2024. The contribution of Indonesian livestock to global greenhouse gas emissions. *J. Livestock Research for Rural Development*. 36(4): 49-50.
- Taniu, M. L., M. Yunus dan T. O. D. Dato. 2020. Pengaruh pakan komplit fermentasi serasah gamal dan batang pisang dengan imbalanced yang berbeda terhadap pencernaan *in vitro*. *J. Peternakan Lahan Kering*. 2(3): 1029-1037.
- Tenzin Tseten T., R. A. Sanjorjo, M. Kwon, and S.W. Kim. 2022. Strategies to mitigate enteric methane emissions from ruminant animals. *J. Microbiology and Biotechnology*. 32(3): 269-277.
- Thompson, J. P., O. Cristobal-Carballo, T. Yan, K. Lawther, N. J. Dimonaco, W. E. Zeller, Z. Zhang, S. Huws, L. Safo, A. D. Southam, C. Ludwig, G. R. Lloyd, S. Stergiadis, and K. Theodoridou. 2025. Unlocking the potential of willow condensed tannins: Effects on rumen fermentation, microbiome, and metabolome for sustainable ruminant nutrition. *Animal Microbiome*. 7(1): 81.
- Tilley, J. M. A. and R. A. Terry. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J. Grass Forage Science*. 18: 104-111.
- Tillman, A. D., H. Hartadi, S. Reksohadiprodjo, S. Prawirokusumo, dan S. Lebdoesoekojo. 1998. Ilmu Makanan Ternak Dasar. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Twyman, S., M. Toledo, O. Thomas, J. Eche, S. Sabal, R. Stockler, M. J. Aguerre, G. Lascano, D. Taysom, J. M. D. S. Neto, J. D. Souza, A. M. Burch, A. Lock, L. L. Sun, L. Lei, J. Brenna and J. Xu. 2020. Ruminant nutrition: carbohydrates and lipids. *J. Animal Science*. 98(4): 328–344.
- Ungerfeld, E. M. 2020. Aliran hidrogen metabolik dalam fermentasi rumen: Prinsip dan kemungkinan intervensi. *Frontiers in Microbiology*. 11: 589.

- Urrutia, N., R. Bomberger, C. Matamoros, and K. J. Harvatine. 2019. Effect of dietary supplementation of sodium acetate and calcium butyrate on milk fat synthesis in lactating dairy cows. *J. Dairy Science*. 102: 5172–5181.
- Wahditiya, A. A., S. L. Pertiwi, N. Rahmi, M. Mukhlisani, R. M. Sari, R. Harly, I. E. Putra, H. D. Triani, dan A. Fitria. 2024. *Teknologi Pengolahan Pakan Ternak: Teori dan Praktek*. CV. Gita Lentera, Padang.
- Weimer, P.J., Kohn, R.A. 2016. Impacts of ruminal microorganisms on the production of fuels: how can we intercede from the outside?. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 100(8): 3389–3398.
- Widiawati, Y. and W. Puastuti. The effect of condensed tannin and saponin in reducing methane produced during rumen digestion of agricultural byproducts. 2016. *Proceedings of International Seminar on Livestock Production and Veterinary Technology*, Bogor, Indonesia, pp. 139-46.
- Wiguna, M., S. A. Putri, A. A. Habibi, S. A. Al Khozi, M. R. S. Pratama, U. Nurrofhingah, dan A. Nafisah. 2026. Proses fermentasi rumen dan pembentukan asam lemak volatil (VFA) pada sapi. *J. Inovasi dan Kajian Multidisipliner Kontemporer*. 1(03): 1927-1936.
- Yosef, Y. G., E. J. Lazarus, M. A. Hilakore, dan E. D. Lawa. 2025. Pengaruh level mikroorganisme lokal (MOL) terhadap komponen serat silase isi rumen sapi. *J. Peternakan Lahan Kering*. 7(1): 102-111.
- Yu, F., N. Li, H. Li, Y. Zhang, L. Chen, B. Wang, X. Sheng, J. Zhang, Q. Ping, and H. Xiao. 2025. Boosting volatile fatty acids (VFAs) production during anaerobic digestion of rich lignocellulose pulp mill excess sludge by inoculating rumen fluid and the study on the microbial community structures and functions. *International J. Biological Macromolecules*. 303: 140718.
- Zhao, Y., Y. Shiqiang dan J. Linshu. 2022. Roles of bioflavonoids in regulating rumen microecosystems: focus on methane emission reduction. *J. Animal Nutrition*. 34(9): 5452-5465.