

PENGARUH KARBON AKTIF SEKAM PADI DALAM RANSUM DOMBA TERHADAP PRODUKSI GAS, KINETIKA GAS, DAN METANA IN VITRO

The Effect of Activated Carbon from Rice Husk in Sheep Ration on Gas Production, Gas Kinetics, and Methane in Vitro

Muhammad Syahril Mauludan^{*}, Ujang Hidayat Tanuwiria, Iman Hernaman
Program Studi Ilmu Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, Jln. Ir.
Soekarno km 21 Jatinangor, Kab. Sumedang, Jawa Barat

^{*}Corresponding Author: msyahrilmauludan02@gmail.com

ABSTRACT

The current ruminant ration formulation not only pays attention to meeting the nutrient needs of rumen microbes and their hosts, but must also pay attention to the environmental impact caused by methane gas from fermentation in the rumen. The utilization of rice husk activated carbon in sheep rations is thought to have the ability to bind hydrogen ions as one of the precursors of methane gas formation. This study aims to determine the effect of the addition of rice husk activated carbon in sheep rations on total gas production, gas kinetics, and in vitro methane gas production. The research was conducted experimentally with a completely randomized design (CRD). There were three treatments, namely, P0 (0%), P1 (2.5%), P2 (5%) with six replicates. The research data were processed by analysis of variance and Duncan's range test. The results showed that the addition of rice husk activated carbon as much as (2.5%) resulted in total gas production, gas kinetics, and methane gas production which was relatively the same as P0. The addition of activated carbon (5%) in the ration increased total gas production, gas kinetics, and methane gas production.

Keywords: Activated carbon, Gas kinetics, Methane gas, Rice husk, Total gas

ABSTRAK

Formulasi ransum ruminansia saat ini tidak hanya memperhatikan pemenuhan kebutuhan nutrisi mikroba rumen dan inangnya, tetapi juga harus memperhatikan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh gas metana hasil fermentasi di dalam rumen. Pemanfaatan karbon aktif sekam padi dalam ransum domba diduga memiliki kemampuan mengikat ion hidrogen sebagai salah satu prekursor pembentuk gas metana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan karbon aktif sekam padi dalam ransum domba terhadap produksi total gas, kinetika gas, dan produksi gas metana in vitro. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Terdapat tiga perlakuan, yaitu P0 (0%), P1 (2,5%), P2 (5%) dengan enam ulangan. Data penelitian diolah dengan analisis ragam dan uji berjarak Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif sekam padi sebanyak (2,5%) menghasilkan produksi total gas, kinetika gas, dan produksi gas metana yang relatif sama dengan P0. Penambahan karbon aktif (5%) dalam ransum meningkatkan produksi total gas, kinetika gas, dan produksi gas metana.

Kata kunci: Gas metana, Gas total, Karbon aktif, Kinetika gas, Sekam padi

PENDAHULUAN

Konsumsi pakan pada ruminansia memiliki pekerjaan yang sangat penting guna mendukung produksi protein hewani daging dan susu, serta keberlangsungan industri peternakan secara keseluruhan. Ruminansia seperti sapi, kambing, dan domba mencerna pakan melalui sistem pencernaan yang khas, yakni fermentasi

mikroba di dalam rumen. Meskipun proses ini penting untuk meningkatkan efisiensi pencernaan dan menghasilkan produk peternakan, terdapat dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu permasalahan utama sektor peternakan yang selalu menjadi perbincangan dunia ialah emisi gas rumah kaca, khususnya metana (CH₄), yang dihasilkan sebagai

produk sampingan dari proses fermentasi tersebut.

Metana memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon dioksida dan dilepaskan ke atmosfer melalui proses eruktasi (sendawa) pada ternak. Emisi metana dari ruminansia menjadi salah satu penyebab utama perubahan iklim, mengingat sektor peternakan secara signifikan menyumbang terhadap total emisi gas rumah kaca global. Subsektor peternakan memberikan kontribusi nyata terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), seperti halnya metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂), dan dinitrogen oksida (N₂O), baik secara langsung melalui fermentasi enterik maupun secara insiniasi melalui aktivitas produksi pakan dan alih fungsi hutan menjadi padang penggembalaan (Jayanegara *et al.*, 2020). Peternakan ruminansia diperkirakan menyumbang hampir 80% dari total emisi gas rumah kaca di sektor pertanian (Broucek, 2014)

Produksi gas adalah hasil aktivitas mikroba di dalam rumen. Gas yang terbentuk mencerminkan nutrisi yang telah dan belum terfermentasi, baik yang bersifat larut maupun tidak larut. Faktor ini memengaruhi jumlah gas yang dihasilkan selama proses inkubasi. Kinetika gas memiliki peran penting dalam memahami dinamika proses fermentasi. Pola kinetika fermentasi pakan mencerminkan pola fermentasi yang memengaruhi konsumsi pakan oleh ternak ruminansia. Pengukuran kinetika gas digunakan untuk mengidentifikasi laju pembentukan gas dan kecepatan fermentasi pakan di dalam rumen (Jayanegara *et al.*, 2009). Selain itu, kinetika gas juga dapat dimanfaatkan untuk memprediksi tingkat pengurangan bahan kering (BK), bahan organik (BO), dan protein kasar (PK) di dalam rumen (Despal *et al.*, 2023).

Metana dihasilkan melalui proses fermentasi yang dikenal sebagai metanogenesis, yang dilakukan oleh mikroba metanogen dengan memanfaatkan H₂ dan CO₂ sebagai bahan

dasar pembentukan metana (Morgavi *et al.*, 2010). Keberadaan gas metana mencerminkan hilangnya sebagian energi ternak yang tidak dimanfaatkan untuk proses produksi (Jayanegara *et al.*, 2009). Emisi metana mengindikasikan kerugian energi pakan yang signifikan, yaitu sekitar 2% hingga 12% dari total energi bruto pakan, sehingga dapat menurunkan efisiensi pemanfaatan pakan dan produktivitas ternak secara keseluruhan (Martin *et al.*, 2010). Salah satu upaya untuk mengurangi masalah ini dengan menambahkan karbon aktif yang berasal dari sekam padi ke dalam pakan, yang bertujuan untuk mengurangi produksi gas metana.

Karbon aktif, yang terdiri dari ion karbon (C), memiliki kemampuan untuk mengikat ion hidrogen (H₂), yang merupakan prekursor utama dalam pembentukan metana. Selama proses fermentasi di rumen, mikroorganisme metanogen menghasilkan hidrogen bebas yang digunakan untuk mengubah karbon dioksida (CO₂) menjadi metana melalui reaksi metanogenesis. Kehadiran karbon aktif memungkinkan ion karbon untuk mengikat hidrogen bebas sebelum hidrogen tersebut dapat terlibat dalam metanogenesis, sehingga secara efektif mengurangi produksi metana dalam rumen (Garillo *et al.*, 1995).

Penelitian memiliki tujuan mengetahui efek penambahan karbon aktif sekam padi dalam ransum terhadap produksi gas total, kinetika gas, dan produksi gas metana *in vitro* dari tiga perlakuan dan enam penambahan karbon karbon aktif sekam padi.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober—Desember 2024 di Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak, Departemen Nutrisi Fakultas Peternakan Universitas

Padjadjaran, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

Materi

Bahan yang digunakan adalah Ransum untuk domba dibuat dengan komposisi P0 = hijauan rumput odot 70% + konsentrat 30%, P1 = hijauan rumput odot 68,75% + konsentrat 28,75% + karbon aktif sekam padi 2,5% dan P2 = hijauan rumput odot 67,50% + konsentrat 27,50% + karbon aktif sekam padi 5% tingkat perlakuan dimaksudkan untuk mengevaluasi efek penambahan karbon aktif pada kinerja pakan. Formulasi ini dioptimalkan menggunakan *software WinFeed 2.8* untuk memastikan keseimbangan nutrisi kebutuhan pakan, di mana hijauan mengandung serat kasar

yang penting untuk pencernaan domba, sedangkan konsentrat menyediakan nutrisi tambahan bagi domba.

Metode

Metode penelitian ini menggunakan metode *in vitro*. Sampel ditimbang sebanyak 0,5 gram kemudian dimasukan kedalam botol vial. Kemudian ditambahkan cairan rumen dan larutan McDouggle 50 ml (1:4). Tabung kemudian dialiri gas CO₂ untuk menjadikan suasana anaerob didalam botol vial. Botol yang telah siap kemudian dimasukan ke dalam waterbath dan diinkubasi dengan suhu 38°C selama 24 jam. Selama proses inkubasi 24 jam data produksi gas diambil setiap 2 jam sekali.

Tabel 1. Formula ransum penelitian berdasarkan bahan kering

Bahan	Kandungan Nutrien Zat Makanan						
	Air	Abu	PK	SK	LK	BETN	TDN
%.....						
Rumput Odot	88,43	15,59	12,78	25,29	2,19	44,15	49,85
Konsentrat	8,00	8,55	11,42	16,49	8,96	54,58	71,09

Sumber: Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak (2024).

Keterangan:

PK = Protein Kasar

SK = Serat Kasar

LK = Lemak Kasar

BETN = Bahan Ekstrak Tanpa Nitrogen

Tabel 2. Kandungan nutrisi ransum penelitian

No	Kandungan Nutrien	Ransum Perlakuan		
		P0	P1	P2
	%.....		
1	Bahan Kering	22,02	22,07	22,13
2	Abu	13,48	13,43	13,39
3	Protein Kasar	12,37	13,03	13,69
4	Serat Kasar	22,65	22,82	22,99
5	Lemak Kasar	4,22	4,16	4,10
6	BETN	47,28	46,55	45,83
7	TDN	56,22	56,25	56,28

Keterangan: Hasil perhitungan menggunakan *Software Winfeed 2.8*

Analisis Statistik

Percobaan dilakukan menggunakan metode eksperimental dengan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri tiga

perlakuan, setiap perlakuan diulang sebanyak enam kali, sehingga diperoleh 18 unit percobaan. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan Sidik Ragam (*analysis of variance/ANOVA*).

Model matematika yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Di mana:

Y_{ij} = Pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

μ = Rataan umum

α_i = Pengaruh perlakuan ke-i

ϵ_{ij} = Pengaruh acak pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j atau galat

I = Banyak perlakuan (1, 2, 3)

J = Banyak ulangan (1, 2, 3, 4, 5, 6)

Apabila hasil yang diperoleh berpengaruh nyata, maka mengetahui perbedaan antar perlakuan dilakukan uji Jarak Berganda Duncan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{KTG}{r}}$$
$$LSR \alpha = SSR \alpha \cdot S_{\bar{x}}$$

Dimana:

$S_{\bar{x}}$ = Simpangan baku

KTG = Kuadrat tengah galat

LSR = *Least significant range*/jarak beda nyata terkecil

SSR = *Studentized significant range*

r = Banyaknya ulangan

α = Selisih rata-rata antar perlakuan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Gas Total

Berdasarkan data pada Tabel 3, diketahui bahwa perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap produksi gas total. P1 memiliki rata-rata produksi gas yang relatif sama dengan P0 sebagai kontrol, sedangkan P2 memiliki rata-rata produksi gas paling tinggi. Produksi gas total yang dihasilkan mencerminkan adanya proses fermentasi pakan oleh mikroba rumen (Abrar dan Fariani, 2018). Kandungan karbohidrat yang lebih tinggi dalam pakan akan meningkatkan produksi gas

sepanjang proses fermentasi di dalam rumen (Alfiansyah dan Hartutik, 2021).

Penambahan karbon aktif yang tinggi dalam ransum meningkatkan pencernaan dengan peran menstabilkan pH yang ada di dalam rumen. Rataan produksi gas total berkisar antara 86,42-113,67 mL/g BK substrat. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Thalib *et al.* (2010), produksi gas total pada penelitian ini termasuk ke dalam kategori rendah. Hasil penelitian yang dilakukan Thalib *et al.* (2010) yang menggunakan *Complete Rumen Modifier* yang diberi pakan hijauan berserat tinggi menghasilkan produksi gas total berkisar antara 118,5-123,7 mL/g BK.

Ransum perlakuan P2 (5%) memiliki rata-rata produksi gas total yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol P0 (0%) dan P1 (2,5%). Produksi total gas dengan rata-rata yang tinggi pada perlakuan P2 (5%) dipengaruhi karena adanya kandungan karbon aktif dalam ransum domba yang mampu memberikan ikatan kepada senyawa inorganik dan anorganik serta partikel yang bersifat koloidal. Ransum domba dengan kandungan konsentrat di dalamnya dapat menyebabkan konsentrasi ion H_2 meningkat sehingga akan menyebabkan kadar pH di dalam rumen menurun, akan tetapi dengan penambahan karbon aktif yang cukup tinggi dalam ransum maka akan terjadi ikatan yang dilakukan ion hidrogen oleh ion karbon sehingga menjadikan kondisi pH di dalam rumen tetap stabil (Garillo *et al.*, 1994).

Penambahan karbon aktif yang tinggi dalam ransum meningkatkan pencernaan dengan peran menstabilkan pH yang ada di dalam rumen (Bachrudin, 1999). Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif sekam padi sebagai aditif pakan yang terlalu tinggi akan meningkatkan produksi gas total di dalam rumen. Peningkatan produksi gas total dikarenakan kemampuan karbon aktif sekam padi yang cukup tinggi di dalam ransum domba

dikarenakan bakteri selulolitik mikroorganisme yang mampu memecah selulosa, yaitu komponen utama dinding sel tumbuhan yang merupakan polimer karbohidrat kompleks.

Lingkungan ekosistem rumen, bakteri ini berperan penting dalam membantu hewan ruminansia mencerna serat yang sulit diurai. Kondisi rumen yang bersifat anaerob, dengan suhu stabil dan pH mendekati netral (sekitar 6,5-7,0), menjadi lingkungan yang ideal bagi

bakteri selulolitik untuk tumbuh dan menjalankan aktivitasnya (Yulistiani *et al.*, 2011). Penambahan karbon aktif dari sekam padi P2 (5%) membantu menjaga stabilitas kondisi rumen, sehingga mendukung pertumbuhan bakteri selulolitik dalam proses fermentasi, khususnya pada serat kasar. Hal ini ditunjukkan oleh produksi gas total tertinggi yang dihasilkan pada perlakuan P2 (5%).

Tabel 3. Rataan total produksi gas, kinetika gas, dan produksi gas metana

Variabel	Perlakuan		
	P0	P1	P2
Produksi Gas Total (mL/BK Substrat)	92,09 ^a	86,42 ^a	113,67 ^b
Kinetika Gas (mL/BK Substrat)	111,79 ^a	95,24 ^a	130,05 ^b
Produksi Gas Metana (mM/ BK Substrat)	6,46 ^a	5,68 ^a	9,60 ^b

Kinetika Gas

Berdasarkan data pada Tabel 3, diketahui bahwa perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap kinetika gas. P1 memiliki rata-rata kinetika gas yang relatif sama dengan P0, sedangkan P2 memiliki rata-rata kinetika gas paling tinggi.

Pengukuran kinetika gas dilakukan untuk menentukan laju reaksi pembentukan gas serta laju fermentasi pakan di dalam rumen (Jayanegara *et al.*, 2009). Kinetika gas dipengaruhi oleh proporsi fraksi pakan yang meliputi fraksi yang dapat larut, fraksi yang tidak larut tetapi dapat terdegradasi, serta fraksi yang tidak dapat terdegradasi (Getachew *et al.*, 1998). Rataan produksi gas maksimum (a+b) berkisar antara 86,42 – 130,05 mL/g BK substrat. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Garcia *et al.* (2010), produksi gas total pada penelitian ini termasuk ke dalam kategori rendah. Hasil penelitian Garcia *et al.* (2010) pencernaan *in vitro* dan rumen kinetika fermentasi produk sampingan agro-industri menghasilkan produksi gas total berkisar antara 62-314 mL/g BK.

Produksi gas maksimum (a+b) dengan rata-rata paling rendah dihasilkan oleh perlakuan P1 (2,5%), yaitu 86,42

mL/g BK substrat, sedangkan perlakuan P2 (5%) menghasilkan produksi gas maksimum (a+b) dengan rata-rata paling tinggi, yakni 130,05 mL/g BK substrat. Kandungan karbohidrat yang semakin tinggi dalam pakan akan meningkatkan jumlah gas yang dihasilkan selama proses fermentasi di dalam rumen (Alfiansyah dan Hartutik, 2021). Selain itu, perbedaan dalam produksi gas maksimum (a+b) dapat dipengaruhi oleh perubahan populasi serta aktivitas mikroba rumen. Aktivitas mikroba rumen yang berubah tersebut berdampak pada variasi nilai pencernaan berbagai fraksi yang mudah larut dalam pakan (Anas *et al.*, 2020).

Produksi Gas Metana

Gas metana merupakan hasil dari aktivitas biologis bakteri metanogen dalam rumen yang dihasilkan melalui proses metanogenesis. Selama proses inkubasi, konsentrasi gas metana (CH₄) yang terbentuk dapat digunakan sebagai indikator kualitas pakan yang ramah lingkungan. Hal ini disebabkan oleh kontribusi gas metana sebagai gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer, yang berperan dalam pemanasan global. Selain itu, konsentrasi gas metana juga

menunjukkan adanya kehilangan energi akibat dari ternak yang tidak memnafatkannya untuk produksi (Jayanegara *et al.*, 2009). Produksi gas metana di dalam rumen diharapkan dapat diminimalkan, karena hal ini mencerminkan bahwa energi dari pakan telah dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan data pada Tabel 3, diketahui bahwa perlakuan berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap produksi gas metana. P1 memiliki rataan produksi gas metana yang relatif sama dengan P0 sebagai kontrol, sedangkan P3 memiliki rataan produksi gas metana paling tinggi. Produksi gas metana berkisar antara 5,68 – 9,60 mM/ g BK substrat. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Thalib *et al.* (2010), produksi gas metana pada penelitian ini termasuk ke dalam kategori rendah. Hasil penelitian Thalib *et al.* (2010) yang menggunakan *Complete Rumen Modifier* pada ternak dombayang diberi pakan hijauan berserat tinggi menghasilkan produksi gas metana berkisar antara 24.4-31,2 mL/ g BK. Produksi gas metana dengan rataan paling rendah dihasilkan oleh perlakuan P1 (5,68 mM/ g BK substrat), yaitu perlakuan dengan penambahan karbon aktif sekam padi (2,5%). Sedangkan produksi gas metana dengan rataan paling tinggi dihasilkan oleh perlakuan P2 (9,60 mM/ g BK substrat), yaitu perlakuan dengan penambahan karbon aktif sekam padi (5%).

Gas metana dihasilkan dari proses degradasi serat yang memproduksi H_2 , yang kemudian dimanfaatkan oleh mikroba metanogen untuk diubah menjadi CH_4 melalui metanogenesis. Produksi gas metana sangat dipengaruhi oleh kandungan serat dalam ransum, terutama pada ransum dengan proporsi hijauan yang tinggi. Peningkatan kandungan hijauan dan konsentrat dalam ransum cenderung meningkatkan produksi metana, karena hal ini mengubah takaran asam asetat yang menghasilkan gas hidrogen (H_2) sebagai

substrat dalam reaksi metanogenesis (Jayanegara, 2008). Dalam penelitian ini, proporsi hijauan dan konsentrat mencapai 70% dan 30%, yang menunjukkan tingkat ketersediaan hijauan dalam ransum cukup tinggi.

Semakin panjang rantai polisakarida, semakin banyak karbon (C) dan hidrogen (H_2) yang dihasilkan selama proses fermentasi. Pembentukan gas metan di dalam rumen terutama dipengaruhi oleh aktivitas bakteri fibrolitik dan bakteri metanogen. Bakteri fibrolitik bertindak sebagai pengolah awal yang mengubah polisakarida pada dinding sel pakan menjadi VFA, CO_2 , dan H_2 . Substrat seperti hidrogen dan asetat ini kemudian digunakan oleh bakteri metanogen untuk memproduksi gas metana (CH_4) (Morgavi *et al.*, 2010). Tingginya ketersediaan hidrogen menjadi faktor utama yang mendorong bakteri metanogen memanfaatkan substrat tersebut untuk menghasilkan gas metana (CH_4) dalam jumlah besar.

Bakteri selulolitik merupakan mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi selulosa, komponen utama dinding sel tumbuhan yang merupakan polimer karbohidrat kompleks. Ekosistem rumen, bakteri selulolitik memainkan peran penting dalam membantu hewan ruminansia mencerna serat tanaman yang sulit diuraikan. Lingkungan rumen yang bersifat anaerob dengan suhu yang stabil, serta pH yang cenderung netral (sekitar 6,5-7,0), merupakan kondisi optimal bagi bakteri selulolitik untuk berkembang dan beraktivitas (Yulistiani *et al.*, 2011). Penambahan karbon aktif sekam padi P2 (5%) menjadikan kondisi rumen yang stabil, sehingga bakteri selulolitik berkembang dengan baik dalam melakukan proses fermentasi terutama serat kasar. Hal ini ditandai dengan produksi gas total paling tinggi ditunjukkan oleh P2 (5%), maka dengan itu produksi H_2 di dalam rumen oleh P2 (5%) yang

tinggi akan dimanfaatkan sebagai prekursor pembentukan gas metan. Hal ini menunjukkan bahwa P2 (5%) produksi gas metan lebih tinggi dibandingkan dengan P0 dan P1.

KESIMPULAN

Penambahan karbon aktif sekam padi dalam ransum domba mempengaruhi produksi total gas, produksi gas maksimum (a+b), dan produksi gas metan *in vitro*. Ransum perlakuan P2 (5%) menghasilkan rata-rata produksi total gas, produksi gas maksimum (a+b), dan produksi gas metan tertinggi *in vitro*. Penelitian secara *in vitro* merupakan langkah awal dalam memahami respons fermentasi rumen terhadap perubahan dalam komposisi ransum. Untuk validitas eksternal lebih besar penelitian *in vivo* dapat dilakukan untuk mengonfirmasi temuan *in vitro* dan mengevaluasi respon pada ternak secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada kepala Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran yang telah memberikan bantuan dalam menyediakan fasilitas bagi peneliti dalam melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, A., dan A. Fariani. 2018. Pengaruh penambahan ekstrak tanin dari biji sorgum terhadap produksi gas dan metana secara *in vitro*. *Jurnal Peternakan Sriwijaya*.7(1):40–52.
- Alfiansyah, A. H., dan H. Hartutik. 2021. Tren produksi gas, produksi gas total dan degradasi secara *in vitro* dengan penambahan aditif dengan level berbeda pada silase tebon jagung (*Zea mays* L). *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*.4(2):77–87.
- Anas, M. A., Muhlisin, Z. Bachruddin, dan L. M. Yusiati. (2020). *In vitro gas production kinetics as influenced by combination of Acacia magium, Swietenia mahagoni and Artocarpus heterophyllus as tannin source*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.465(1)
- Bachrudin, Z. 1999. Pengaruh penambahan arang aktif pada ransum konsentrat tinggi terhadap fermentasi rumen kambing peranakan etawa. *Buletin Peternakan*, 23(3), 133-139.
- Broucek J. 2014. Production of methane emissions from ruminant husbandry: A Review. *Journal of Environmental Protection*, 5, 1482-1493. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.515141>.
- Despal, Y., I. Yulianti., R. Zahera., I. Agustiyani., A. Rosmalia., I. M. Afnan., M. Zain, & U. H. Tanuwiria. 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.
- Garillo, E. P., R. Pradhan, and H. Tobioka, 1995. *Effect of activated carbon on growth, ruminal characteristic, blood profiles and feed digestibility in growing sheep*. *Proc. Sch. Agric. Khyushu Tokai Univ. Ajas*
- García-Rodríguez, J., M. J. Ranilla., J. France., H. Alaiz-Moretón., M. D. Carro, and S. López. 2019. *Chemical composition, in vitro digestibility and rumen fermentation kinetics of agro-industrial by-products*. *Animals*, 9(11), 861.
- Getachew, G., E. J. DePeters, and P. H. Robinson. 2004. *In vitro gas production provides effective method for assessing ruminant*

- feeds*. California Agriculture.58(1):54–58.
- Jayanegara, A. 2008. *Methane reduction effect of polyphenol containing plants, simple phenols and purified tannins in in vitro rumen fermentation system* [Master Thesis]. University of Hohenheim.
- Jayanegara, A., A. Sofyan, H. P. S. Makkar, dan K. Becker. 2009. Kinetika produksi gas, pencernaan bahan organik dan produksi gas metana in vitro pada hay dan jerami yang disuplementasi hijauan mengandung tanin. *Media Peternakan*.32 (2):120–129.
- Jayanegara, A., Y. Yogiarto., E. Wina., A. Sudarman., M. Kondo., T. Obitsu, and M. Kreuzer. 2020. *Combination effects of plant extracts rich in tannins and saponins as feed additives for mitigating in vitro ruminal methane and ammonia formation*. *Animals*, 10(9), 1531.
- Martin, C., D. P. Morgavi, and M. Doreau. 2010. *Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale*. *Animal*, 4(3), 351-365.
- Morgavi, D. P., E. Forano, C. Martin, dan C. J. Newbold. 2010. *Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants*. *Animal*.4(7):1024–1036.
- Orskov, E. R, and I. McDonald. 1979. *The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage*. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499-503.
- Thalib, A. M. L. I. U. S., Y. Widiawati, dan B. Haryanto. 2010. Penggunaan *complete rumen modifier* (CRM) pada ternak domba yang diberi hijauan pakan berserat tinggi. *JITV*, 15(2), 97-104.
- Theodorou, M. K., B. A. Williams., M. S. Dhanoa., A. B. McAllan, and J. France. 1994. *A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48:185-197.
- Yulistiani, D., I. W. Mathius, dan W. Puastuti. 2011. Bungkil kedelai terproteksi tanin cairan batang pisang dalam pakan domba sedang tumbuh. *Jitv*, 16(1), 33-40.