
**PENGARUH VARIASI VOLUME CAIRAN RUMEN SAPI TERHADAP
PRODUKSI BIOGAS BERBASIS KOTORAN SAPI**

Echa Azkia Afandi*, Alya Hamdah, Irdawati, Dwi Hilda Putri

Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri
Padang

Jl. Prof. Dr. Hamka No.1, Air Tawar Barat, Padang Utara, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia
e-mail: echaazkia@student.unp.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi yang terus meningkat mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya biogas yang dihasilkan melalui fermentasi anaerob bahan organik. Limbah peternakan seperti kotoran sapi berpotensi sebagai substrat biogas karena kandungan bahan organiknya yang tinggi. Cairan rumen sapi yang kaya mikroorganisme diduga berperan sebagai inokulum untuk meningkatkan efisiensi fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi volume cairan rumen terhadap produksi biogas berbasis kotoran sapi. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan, yaitu tanpa cairan rumen (P1), 160 mL (P2), dan 320 mL (P3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata volume biogas yang dihasilkan berturut-turut sebesar 63.61 cm³ (P1), 112.66 cm³ (P2), dan 209.83 cm³ (P3). Perlakuan P3 menghasilkan volume biogas tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan volume cairan rumen mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob sehingga meningkatkan produksi biogas.

Kata Kunci: *Biogas; Cairan Rumen; Kotoran Sapi; Fermentasi Anaerob; Energi Terbarukan*

Abstract

The ever-increasing demand for energy is driving the development of environmentally friendly alternative energy sources, one of which is biogas produced through the anaerobic fermentation of organic matter. Livestock waste, such as cattle manure, has potential as a biogas substrate due to its high organic matter content. Cattle rumen fluid, which is rich in microorganisms, is believed to act as an inoculum to enhance fermentation efficiency. This study aims to examine the effect of varying rumen fluid volumes on biogas production from cow manure. The method used was a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments: no rumen fluid (P1), 160 mL (P2), and 320 mL (P3). The results showed that the average biogas volumes produced were 63.61 cm³ (P1), 112.66 cm³ (P2), and 209.83 cm³ (P3), respectively. Treatment P3 produced the highest biogas volume. This indicates that an increase in rumen fluid volume enhances microbial activity in the anaerobic fermentation process, thereby increasing biogas production.

Keywords: *Biogas; Rumen Fluid; Cow Manure; Anaerobic Fermentation; Renewable Energy*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan sektor industri yang didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Ketergantungan terhadap energi fosil tidak hanya menyebabkan keterbatasan sumber daya, tetapi juga berdampak negatif terhadap lingkungan, terutama terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan pemanasan global (Rahmayanti et al., 2021; Shitophyta et al., 2022). Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), cadangan minyak bumi di Indonesia hanya mampu bertahan dalam jangka waktu terbatas. Ketergantungan pada energi fosil mendorong perlunya upaya pengurangan serta pengembangan sumber energi terbarukan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi dikembangkan adalah biogas. Biogas merupakan produk sampingan dari aktivitas metabolisme mikroorganisme yang terbentuk melalui penguraian bahan organik melalui proses fermentasi anaerob, dengan menghasilkan metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) sebagai komponen utama yang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Abanades et al., 2022; Kabeyi & Olanrewaju, 2022)

Bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat dalam produksi biogas umumnya berasal dari limbah, salah satunya ialah limbah peternakan seperti kotoran sapi yang merupakan salah satu bahan baku potensial dalam produksi biogas karena ketersediaannya yang melimpah serta kandungan bahan organiknya yang tinggi seperti serat, protein, dan lemak yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme anaerob hingga menjadi gas metana. Selain itu, kotoran sapi memiliki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang relatif seimbang, sehingga mendukung berlangsungnya proses fermentasi anaerob secara optimal (Putra et al., 2024). Limbah lain yang berpotensi dimanfaatkan dalam produksi biogas adalah cairan rumen yang berasal dari sistem pencernaan hewan ruminansia yakni bagian dari sistem pencernaan hewan ruminansia seperti sapi (Irawan & Suwanto, 2016).

Secara umum, isi rumen terdiri atas fraksi padat dan cair, di mana fraksi cair mengandung berbagai enzim seperti selulase, amilase, dan protease yang berperan dalam proses degradasi bahan organik. Selain itu, cairan rumen juga mengandung beragam mikroorganisme, seperti *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, dan *Cellulomonas*, dengan jumlah yang sangat tinggi. Ini menunjukkan cairan rumen berpotensi digunakan sebagai inokulum karena mengandung mikroorganisme aktif yang mampu mempercepat proses degradasi bahan organik dalam fermentasi anaerob (Pamungkas et al., 2025).

Penelitian yang dilakukan oleh Wati et al. (2014) menunjukkan bahwa penambahan sumber mikroorganisme dapat meningkatkan produksi biogas dalam proses fermentasi anaerob. Dalam penelitian tersebut, kotoran sapi digunakan sebagai substrat utama karena kandungan bahan organiknya yang tinggi dan mampu mendukung aktivitas mikroorganisme selama fermentasi. Cairan rumen kemudian ditambahkan ke dalam campuran substrat, dilanjutkan dengan proses fermentasi anaerob dan pengamatan terhadap volume biogas yang dihasilkan. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan cairan rumen dapat meningkatkan produksi biogas karena mikroorganisme yang terkandung di dalamnya berperan dalam mempercepat proses penguraian bahan organik (Kurniati et al., 2021).

Namun demikian, kajian mengenai pengaruh variasi volume cairan rumen terhadap produksi biogas masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada pemanfaatan cairan rumen sebagai sumber mikroorganisme tanpa mengevaluasi pengaruh variasi volumenya secara spesifik. Padahal, perbedaan volume cairan rumen yang ditambahkan diduga dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam proses fermentasi anaerob, sehingga berdampak pada jumlah biogas yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah peternakan seperti kotoran sapi dan cairan rumen menjadi penting dalam pengembangan energi terbarukan sebagai upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus meminimalkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi volume cairan rumen sapi terhadap produksi biogas

berbasis kotoran sapi melalui proses fermentasi anaerob serta menentukan perlakuan yang menghasilkan produksi biogas optimal.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 hingga Januari 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas tiga perlakuan dan dua ulangan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi volume cairan rumen sapi, yaitu 0 mL, 160 mL, dan 320 mL, sedangkan variabel terikat adalah volume biogas yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rancangan penelitian 0 ml (Feses : Air = 160 gram : 320 ml); 160 ml (Feses: Cairan Rumen: Air = 160 gr : 160 ml : 160 ml); 320 ml (Feses : Cairan Rumen = 160 gr : 320 ml)

Jenis Kotoran	Ulangan	Volume cairan rumen sapi (ml)		
		P1	P2	P3
Kotoran atau Feses Sapi	1	0	160	320
	2	0	160	320
	3	0	160	320

2.3 Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi botol kaca sebagai wadah fermentor, gelas ukur, gelas beaker, timbangan digital, dan balon karet sebagai penampung gas. Bahan yang digunakan adalah kotoran sapi, cairan rumen sapi yang diperoleh dari Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Padang, serta air.

2.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan persiapan bahan dan alat. Kotoran sapi dan

cairan rumen yang diperoleh dari Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Padang terlebih dahulu dipersiapkan, kemudian cairan rumen disaring untuk memperoleh fase cair.

Setiap perlakuan disusun dengan mencampurkan kotoran sapi sebanyak 160 g dengan cairan rumen dan air sesuai dengan komposisi perlakuan, yaitu P1 (tanpa cairan rumen), P2 (penambahan 160 mL cairan rumen), dan P3 (penambahan 320 mL cairan rumen). Campuran diaduk hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca sebagai fermentor. Mulut botol ditutup menggunakan balon karet sebagai penampung gas hasil fermentasi dan direkatkan untuk mencegah kebocoran. Fermentasi dilakukan secara anaerob selama 20 hari.

2.5 Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur keliling balon sebagai indikator volume biogas yang dihasilkan setiap 5 hari hingga hari ke-20. Volume biogas dihitung dengan mengasumsikan balon berbentuk bola menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ dimana } r \text{ diperoleh dari: } r = \frac{\text{keliling balon}}{2\pi}$$

$\pi = phi$, koefisien dengan nilai 3,14

r = jari-jari lingkaran (cm^3) (Wati et al., 2014)

Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara deskriptif dan dianalisis menggunakan uji Analisis Varian (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap produksi biogas. disajikan dalam bentuk tabel serta grafik untuk membandingkan produksi biogas pada masing-masing perlakuan selama periode fermentasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengamatan, volume biogas yang dihasilkan menunjukkan perbedaan pada setiap perlakuan dan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya waktu fermentasi. Pembentukan biogas ditandai dengan mengembangnya balon pada mulut fermentor sebagai indikator adanya gas yang dihasilkan.

Tabel 2. Data volume biogas (cm³) pada tiap perlakuan dan ulangan

Perlakuan	Waktu Pengukuran											
	Hari ke-5			Hari ke-10			Hari ke-15			Hari ke-20		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
P1	29.18	29.18	29.18	46.34	56.99	51.67	82.97	82.83	82.90	82.97	98.48	90.73
P2	82.97	82.97	82.97	115.83	98.48	107.16	135.09	115.83	125.46	135.09	135.09	135.09
P3	115.8	115.8	115.8	179.81	205.67	192.74	233.68	233.68	233.68	297.10	297.10	297.10

Berdasarkan data volume biogas yang disajikan pada Tabel 2, perlakuan dengan penambahan cairan rumen (P2 dan P3) menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa cairan rumen (P1).

Tabel 3 Rata-rata volume biogas (cm³) dan standar deviasi

Perlakuan	Rata-rata	stdev ±
P1		
Feses (160 gr) : Air (320 ml)	63,618	± 26,08
P2		
Feses (160 gr) : Cairan rumen (160 ml) : Air (160 ml)	112,669	± 21,47
P3		
Feses (160 gr) : Cairan rumen (320 ml)	209,830	± 68,94

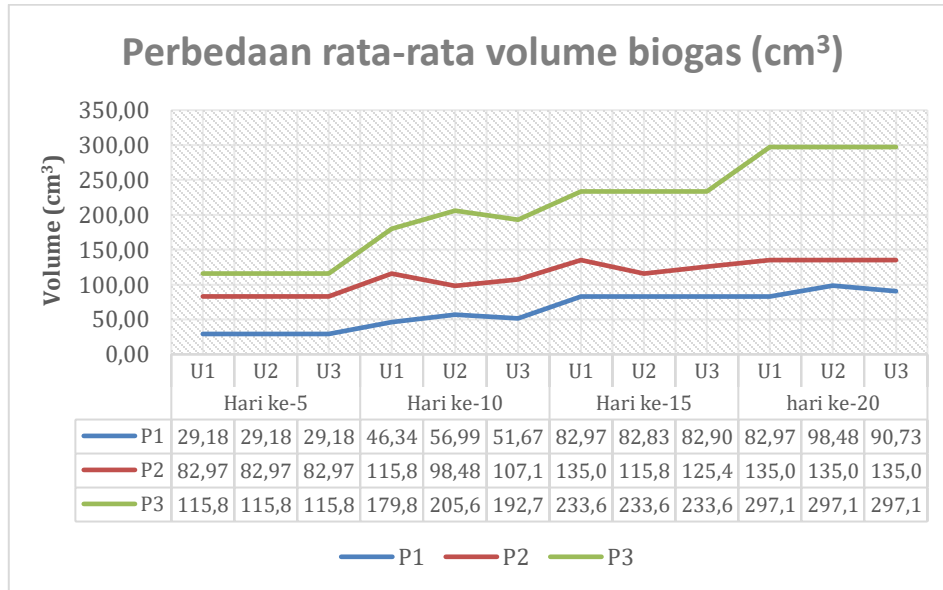
Berdasarkan nilai rata-rata Tabel 3, volume biogas tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 sebesar 209,830 cm³, diikuti oleh P2 sebesar 112,669 cm³, dan P1 sebesar 63,618 cm³.

Tabel 4 Hasil analisis ANOVA produksi biogas

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	132896,3	2	66448,13	33,81545	1,02E-08	3,284918
Within Groups	64845,75	33	1965,023			
Total	197742	35				

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa variasi volume cairan rumen sapi berpengaruh sangat nyata terhadap produksi biogas ($p < 0,05$), yang mana didapatkan nilai p-value sebesar $1,02 \times 10^{-8}$ menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap volume biogas yang dihasilkan. Nilai p-value yang

sangat kecil menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan memberikan pengaruh signifikan terhadap volume biogas yang dihasilkan.



Gambar 1. Grafik perbedaan rata-rata volume (cm³) biogas

Pola peningkatan volume biogas pada setiap perlakuan juga dapat dilihat pada Gambar 1, yang menunjukkan bahwa semakin besar volume cairan rumen yang ditambahkan, semakin tinggi produksi biogas yang dihasilkan seiring bertambahnya waktu fermentasi. Gambar 1 menunjukkan perbedaan rata-rata volume biogas (cm³) pada setiap perlakuan selama periode fermentasi 20 hari. Sumbu X menunjukkan waktu pengamatan yang terdiri atas hari ke-5, hari ke-10, hari ke-15, dan hari ke-20, sedangkan sumbu Y menunjukkan volume biogas yang dihasilkan dalam satuan cm³. Garis berwarna biru (P1) menunjukkan perlakuan tanpa penambahan cairan rumen, garis merah (P2) menunjukkan penambahan 160 mL cairan rumen, dan garis hijau (P3) menunjukkan penambahan 320 mL cairan rumen.

b. *Pembahasan*

Berdasarkan data yang diperoleh, volume biogas pada ketiga perlakuan menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi. Perlakuan dengan penambahan cairan rumen (P2 dan P3) menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa cairan rumen (P1). Hal ini

menunjukkan bahwa keberadaan cairan rumen berperan penting dalam meningkatkan proses fermentasi anaerob (Kabeyi & Olanrewaju, 2022).

Peningkatan produksi biogas akibat penambahan cairan rumen berkaitan erat dengan peran mikroorganisme dan enzim yang terkandung di dalamnya dalam mempercepat proses fermentasi anaerob. Secara umum, produksi biogas berlangsung melalui empat tahap utama, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, senyawa organik kompleks seperti karbohidrat, protein, dan lemak diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh enzim seperti selulase, amilase, dan protease yang terdapat dalam cairan rumen. Selanjutnya, pada tahap asidogenesis, senyawa sederhana tersebut diubah menjadi asam-asam organik oleh bakteri asidogenik. Tahap berikutnya adalah asetogenesis, di mana asam organik dikonversi menjadi asetat, hidrogen, dan karbon dioksida. Pada tahap akhir, yaitu metanogenesis, bakteri metanogen mengubah asetat dan hidrogen menjadi gas metana (CH₄) sebagai komponen utama biogas (Alvarez et al., 2006).

Penambahan cairan rumen berperan dalam meningkatkan jumlah serta aktivitas mikroorganisme yang terlibat selama proses fermentasi anaerob, termasuk bakteri pendegradasi serat dan mikroorganisme penghasil metana (Ningsih et al., 2014). Proses ini menjadi tahapan krusial yang dapat meningkatkan volume biogas yang dihasilkan juga mempercepat waktu awal pembentukan gas metana. Semakin besar volume cairan rumen yang ditambahkan, semakin tinggi aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi, sehingga produksi biogas meningkat secara signifikan (Macias-Corral et al., 2008). Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan cairan rumen sebagai sumber inokulum mampu meningkatkan efisiensi fermentasi anaerob dan mempercepat pembentukan metana (Praptiwi & Mirwan, 2021). Meskipun demikian, terdapat variasi hasil antara ulangan, terutama pada perlakuan P3, yang menunjukkan bahwa selain faktor perlakuan, terdapat variabel lain yang turut memengaruhi stabilitas produksi biogas. Variasi ini dapat dijelaskan melalui beberapa aspek utama, yaitu homogenitas substrat, distribusi mikroorganisme, serta kondisi lingkungan dalam fermentor seperti pH, suhu,

dan ketersediaan nutrien. Homogenitas campuran sangat berpengaruh terhadap kontak antara mikroorganisme dan substrat, di mana pencampuran yang kurang merata dapat menyebabkan terbentuknya zona dengan aktivitas mikroba yang berbeda sehingga menghasilkan variasi produksi gas (Hidayati & Agustina, 2019).

Selain itu, peran mikroorganisme dalam proses anaerob juga telah dilaporkan mampu mengoptimalkan konversi bahan organik menjadi energi terbarukan berupa biogas (Savitri et al., 2024). Hal ini memperkuat bahwa penambahan sumber mikroorganisme seperti cairan rumen dapat meningkatkan efisiensi proses fermentasi.

Terdapat variasi hasil antara ulangan, terutama pada perlakuan P3. Hal ini menunjukkan bahwa faktor lain seperti homogenitas campuran bahan, distribusi mikroorganisme, serta kondisi lingkungan dalam fermentor turut memengaruhi stabilitas produksi biogas (Alvarez et al., 2006). Secara keseluruhan, perlakuan P3 menghasilkan rata-rata volume biogas tertinggi, diikuti oleh P2 dan P1. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio cairan rumen dalam campuran substrat berbanding lurus dengan peningkatan produksi biogas. Faktor lingkungan dalam fermentor, seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrien, juga berperan penting dalam menentukan aktivitas mikroorganisme anaerob. Kondisi pH yang terlalu asam atau basa dapat menghambat aktivitas enzim dan pertumbuhan mikroorganisme, khususnya bakteri metanogen yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Demikian pula, fluktuasi suhu dapat memengaruhi laju reaksi biokimia selama fermentasi berlangsung. Ketersediaan nutrien yang tidak seimbang juga dapat membatasi pertumbuhan mikroorganisme, sehingga proses konversi bahan organik menjadi biogas menjadi kurang efisien. Secara keseluruhan, perlakuan P3 menghasilkan rata-rata volume biogas tertinggi, diikuti oleh P2 dan P1. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio cairan rumen dalam campuran substrat berbanding lurus dengan peningkatan produksi biogas. Penambahan cairan rumen dalam jumlah yang lebih besar meningkatkan populasi mikroorganisme aktif serta enzim yang berperan dalam mempercepat proses degradasi bahan organik, sehingga meningkatkan efisiensi fermentasi anaerob (Macias-Corral et al., 2008). Dengan meningkatnya aktivitas

mikroorganisme, proses hidrolisis hingga metanogenesis berlangsung lebih cepat dan optimal, yang pada akhirnya menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi, ini memperkuat bahwa cairan rumen tidak hanya berfungsi sebagai sumber inokulum, tetapi juga sebagai faktor kunci dalam meningkatkan kinerja sistem produksi biogas berbasis limbah organik.

Dengan demikian, penambahan cairan rumen memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan produksi biogas berbasis kotoran sapi. Namun, penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk menentukan rasio optimum bahan serta meningkatkan kestabilan proses fermentasi melalui pengendalian faktor teknis.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan limbah ternak berupa kotoran sapi dan cairan rumen terbukti dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi biogas melalui proses fermentasi anaerob. Penambahan cairan rumen berpengaruh terhadap peningkatan volume biogas yang dihasilkan dibandingkan perlakuan tanpa cairan rumen. Perlakuan dengan rasio feses dan cairan rumen sebesar 160:320 ml (P3) menghasilkan volume biogas tertinggi, sehingga menunjukkan bahwa peningkatan volume cairan rumen mampu meningkatkan efisiensi proses produksi biogas.

4.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji rasio optimal antara kotoran sapi, cairan rumen, dan air guna memperoleh produksi biogas yang lebih maksimal. Selain itu, penggunaan fermentor dengan sistem kontrol parameter seperti pH dan suhu perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan kestabilan proses. Jumlah ulangan yang lebih banyak serta waktu pengamatan yang lebih panjang juga diperlukan agar hasil yang diperoleh lebih representatif. Pengujian pada skala yang lebih besar, seperti pada tingkat peternakan atau rumah potong hewan, juga penting dilakukan untuk mengetahui potensi penerapan secara nyata.

5. REFERENSI

- Abanades, S., Abbaspour, H., Ahmadi, A., Das, B., Ehyaei, M. A., Esmacilion, F., El Haj Assad, M., Hajilounezhad, T., Jamali, D. H., Hmida, A., Ozgoli, H. A., Safari, S., AlShabi, M., & Bani-Hani, E. H. (2022). A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. In *International Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 19, Number 4, pp. 3377–3400). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03301-6>
- Alvarez, R., Villca, S., & Lidén, G. (2006). Biogas production from llama and cow manure at high altitude. *Biomass and Bioenergy*, 30(1), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.001>
- Hidayati, N., & Agustina, D. K. (2019). Kualitas Fisik Kompos dengan Pemberian Isi Rumen Sapi dan Aplikasinya pada Perkecambahan Jagung. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 21(2), 76–84. <https://doi.org/10.25077/jpi.21.2.76-84.2019>
- Irawan, D., & Suwanto, E. (2016). Pengaruh EM4 (Effective Microorganism) terhadap Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Kotoran Sapi. *TURBO (Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro)*, 5(1).
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply. *Frontiers in Energy Research*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.743114>
- Kurniati, Y., Rahmat, A., Malianto, B. I., Nandayani, D., & Pratiwi, W. S. W. (2021). Review Analisa Kondisi Optimum Dalam Proses Pembuatan Biogas. *Rekayasa*, 14(2), 272–281. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.11305>
- Macias-Corral, M., Samani, Z., Hanson, A., Smith, G., Funk, P., Yu, H., & Longworth, J. (2008). Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource Technology*, 99(17), 8288–8293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.057>
- Pamungkas, A. C., Okta, A. N., Mubarak, A. F., Kusuma, A. A., & Wicaksono, F. F. (2025). Potensi Limbah Rumen Sapi dari Rumah Potong Hewan sebagai Pupuk Organik untuk Tanaman: Review. *Jurnal Riset Dan Inovasi Peternakan (Journal of Research and Innovation of Animals)*, 9(2), 431–443. <https://doi.org/10.23960/jrip.2025.9.2.431-443>
- Pratiwi, R. D., & Mirwan, M. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Tradisional dengan Penambahan Kotoran Sapi dan Kotoran Ayam Sebagai Bahan Energi Alternatif Biogas. *Jurnal Envirous*, 1(2).
- Putra, I. K. P., Yadnya, M. S., & Muljono, A. B. (2024). Potensi Pemanfaatan Biogas Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Konsumsi Rumah Tangga. *Jurnal Pepadu*, 5(2), 292–296. <https://doi.org/10.29303/pepadu.v5i2.4922>
- Rahmayanti, L., Rahmah, D. M., & Larashati, D. (2021). Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Minyak Dan Gas Bumi di Indonesia. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia (JSEI)*, 3(2), 9–16.



-
- Savitri, U. R., Purnomo, A., Prasetyo, Y. A., Rifai, G., & Prasetya, M. (2024). Dampak Positif Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Biogas dalam Perekonomian RumahTangga. *Krida Cendikia*.
- Shitophyta, L. M. S., Darmawan, M. H., & Rusfidiantoni, Y. (2022). Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2).
- Ningsih, S. S., Ahda, Y., & Handayani, D. (2014). Pengaruh Penambahan Beberapa Cairan Rumen Terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Sapi (The Influence of Addition Some of Rumen Liquid to biogas Production from Cow's Manure). *Biospecies*, 7(2), 34–42.
- Wati, L., Ahda, Y., & Handayani, D. (2014). *Pengaruh Volume Cairan Rumen Sapi Terhadap Berbagai Feses Dalam Menghasilkan Biogas. 1*, 43–51.