

Pemanfaatan Limbah Sayuran Kubis Menggunakan Starter Kotoran Sapi, Kambing dan Kuda Menjadi Biogas Dengan Penambahan EM4

Muhammad Deni Ainun Najib¹, Nely Ana Mufarida^{2*}, Kusjoko³, Nurhalim⁴

¹ Universitas Muhammadiyah Jember; email : muhdeni2021@gmail.com

² Universitas Muhammadiyah Jember; email : nelyana@unmuhjember.ac.id

³ Universitas Muhammadiyah Jember; email : Kusjoko@unmuhjember.ac.id

⁴ Universitas Muhammadiyah Jember; email : nurhalim@unmuhjember.ac.id

Penulis : Muhammad Deni Ainun Najib

Abstract: The increase in national energy consumption due to population growth has driven the urgency of developing alternative energy, one of which is biogas. This study aims to compare the effectiveness of three types of livestock manure starters (cow, goat, and horse) mixed with the main ingredient of cabbage vegetables and the addition of EM4 in biogas production. The study was conducted experimentally with a fermentation period of 30 days. The parameters analyzed included pH value, C/N ratio, CH₄, CO, O₂, and H₂S and biogas volume. The results showed that the mixture of cabbage waste and goat manure had an ideal C/N ratio (21.294), neutral pH value (7), and higher gas volume and methane content than other treatments. Methane gas production was monitored for 30 days, with initial detection occurring on the 20th to 25th day, especially in the goat manure starter treatment. This finding confirms that the selection of the type of livestock manure starter affects the success of biogas fermentation, that goat manure is the most potential material for biogas production based on vegetable waste. This study contributes to the utilization of organic waste as a sustainable renewable energy source. Keywords: Biogas; Cabbage Waste; EM4; Animal Manure

Keywords: Biogas; Cabbage Waste; EM4; Livestock Manure;

Abstrak: Peningkatan konsumsi energi nasional akibat pertumbuhan penduduk mendorong urgensi pengembangan energi alternatif, salah satunya biogas. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas tiga jenis starter kotoran ternak (sapi, kambing, dan kuda) yang dicampur dengan bahan utama sayuran kubis serta penambahan EM4 dalam produksi biogas. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan masa fermentasi 30 hari. Parameter yang dianalisis meliputi nilai pH, rasio C/N, CH₄, CO, O₂, dan H₂S dan volume biogas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran limbah kubis dan kotoran kambing memiliki rasio C/N ideal (21,294), nilai pH netral (7), serta volume gas dan kandungan metana yang lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya. Produksi gas metana terpantau selama 30 hari, dengan awal deteksi terjadi pada hari ke-20 hingga ke-25, terutama pada perlakuan starter kotoran kambing. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan jenis starter kotoran ternak memengaruhi keberhasilan fermentasi biogas, bahwa kotoran kambing merupakan bahan paling potensial untuk produksi biogas berbasis limbah sayuran. Penelitian ini berkontribusi dalam pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan. Kata kunci: Biogas; Limbah Kubis; EM4; Kotoran Ternak

Diterima: Mei 07, 2025

Direvisi: Mei 27, 2025

Diterima: Juni 09, 2025

Diterbitkan: Juni 11, 2025

Versi sekarang: Juni 20, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam, termasuk potensi besar dalam bidang energi fosil. Namun, peningkatan jumlah penduduk yang

signifikan dari 258,2 juta jiwa pada tahun 2015 menjadi 261,1 juta jiwa pada tahun 2016 menyebabkan kenaikan konsumsi energi secara nasional [1]. Ketergantungan terhadap energi fosil berakibat pada meningkatnya ancaman krisis energi yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan energi alternatif menjadi urgensi yang tidak dapat dihindari [2].

Salah satu bentuk energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan secara berkelanjutan di Indonesia adalah biogas. Biogas dihasilkan dari proses dekomposisi anaerobik bahan organik oleh mikroorganisme, menghasilkan gas yang kaya akan metana [3]. Bahan baku pembuatan biogas umumnya berasal dari limbah rumah tangga, limbah sayuran, hingga kotoran ternak, yang semuanya tergolong biomasa organik [4].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan teknologi produksi biogas dengan menggunakan campuran bahan organik dan inokulan atau starter seperti EM4. Potensi besar limbah sayuran dari pasar tradisional, khususnya limbah kubis, sebagai bahan baku pembuatan biogas. Limbah ini sangat melimpah dan berpotensi menyebabkan pencemaran apabila tidak dikelola dengan baik. Namun, sebagian besar studi yang ada masih terbatas pada penggunaan satu jenis kotoran ternak, tanpa membandingkan efektivitasnya terhadap volume gas metana maupun waktu produksi. Metode yang telah digunakan sebelumnya umumnya berfokus pada fermentasi campuran bahan organik dengan satu jenis kotoran hewan tertentu (misalnya sapi) menggunakan EM4, dan menilai efektivitas berdasarkan volume gas yang dihasilkan. Kekuatan pendekatan ini adalah kemudahan pelaksanaan dan pengendalian variabel, namun kelemahannya terletak pada kurangnya data perbandingan antar jenis kotoran ternak, padahal tiap jenis memiliki karakteristik biologis dan kimiawi berbeda yang dapat mempengaruhi laju fermentasi serta produksi gas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas tiga jenis kotoran ternak (sapi, kambing, dan kuda) sebagai starter dalam proses produksi biogas, dengan menggunakan limbah sayuran kubis sebagai bahan baku utama dan penambahan EM4 sebagai aktivator fermentasi. Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimen komparatif, untuk mengetahui kombinasi bahan yang paling optimal dalam menghasilkan gas metana tertinggi serta waktu produksi yang paling efisien.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Biogas

penelitian terkait produksi biogas dari sampah organik, khususnya limbah sayuran sebagai hasil sisa kegiatan pasar, menunjukkan potensi yang signifikan ketika dikombinasikan dengan starter kotoran terbak. Proses fermentasi selama 21 hari dinilai cukup efektif dalam menghasilkan gas metana, sehingga pendekatan ini dapat menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan limbah organik menjadi energi terbarukan. [5]. Komposisi masukan 30 %, yaitu 30 % sampah sayuran dan 70 % kotoran sapi menghasilkan komposisi gas metana lebih besar daripada sampah sayuran dengan komposisi masukan 50% dan 70 %. Biogas sebagai energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan, bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar dalam skala besar yaitu pembangkit listrik [6]. Gas yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar berasal dari biogas yang mengandung metana (CH_4) dapat diproduksi oleh bakteri pembusukan dengan cara penguraian bahan organik [7].

2.2 Fermentasi Biogas

Fermentasi biogas merupakan proses anaerobik yang melibatkan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik tanpa oksigen untuk menghasilkan gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Proses ini berlangsung dalam empat tahap utama yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Keberhasilan fermentasi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan komposisi substrat.

2.3 pH

Kondisi pH sangat berperan dalam keberlangsungan hidup mikroorganisme. pH ideal untuk fermentasi biogas berkisar antara 6,8 hingga 7,2. pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa) dapat menghambat aktivitas bakteri metanogen dan menurunkan produksi gas metana.

2.4 Rasio CN

Carbon nitrogen (C/N) adalah perbandingan antara carbon (C) dan nitrogen (N). Rasio C/N merupakan parameter penting yang memengaruhi terjadinya gas metana dalam pembuatan biogas. Perbandingan rasio C/N yang paling baik untuk pembentukan gas metana adalah 20-30, agar proses pencernaan dapat menghasilkan gas metan yang optimal dan membantu mempertahankan keberlangsungan kehidupan bakteri anaerobik [8]. Pada kondisi rasio C/N yang rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk ammonia, kondisi ini mengakibatkan gas metan yang dihasilkan sedikit.

2.5 Masa Tinggal (Retention Time)

Masa tinggal adalah waktu rata-rata bahan organik berada dalam digester. Masa tinggal yang optimal untuk digester biogas biasanya berkisar antara 20 hingga 40 hari, tergantung pada suhu dan jenis bahan organik yang digunakan. Masa tinggal yang terlalu singkat dapat menyebabkan bahan belum terdegradasi sempurna, sedangkan masa tinggal yang terlalu lama tidak efisien secara waktu dan ruang.

2.6 Tipe Digester

Tipe digester yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan tipe batch digester, yaitu digester yang diisi satu kali dengan campuran substrat, lalu ditutup untuk menjalani proses fermentasi selama periode tertentu tanpa penambahan bahan baru. Dalam sistem ini, bahan organik dimasukkan secara berkala, sementara bahan hasil dekomposisi dikeluarkan secara terus-menerus, sehingga proses fermentasi dapat berjalan tanpa henti [9].

2.7 Tipe Aliran (Flow Type)

Sistem aliran yang digunakan bersifat tertutup dan non-kontinu, atau dikenal juga sebagai sistem batch. Dalam sistem ini, tidak terjadi aliran masuk dan keluar selama fermentasi berlangsung, sehingga kondisi dalam digester dapat lebih mudah dikontrol dan diamati.

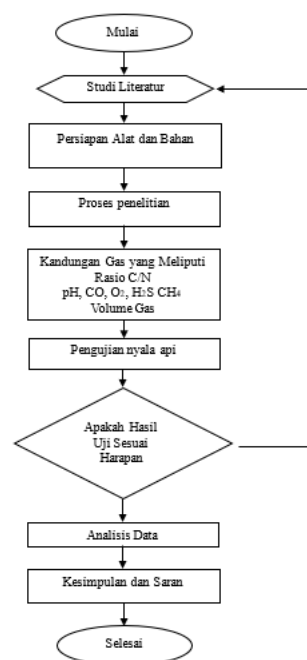
3. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu pendekatan yang menekankan pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk menjelaskan dan menguji fenomena yang diteliti secara objektif. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengukuran yang sistematis dan terstandarisasi terhadap variabel yang berpengaruh dalam proses produksi biogas.

Metode pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen laboratorium, di mana seluruh variabel dapat dikontrol dan dimonitor secara akurat. Data yang diperoleh berasal dari hasil pengukuran langsung terhadap volume biogas yang dihasilkan, perubahan pH, suhu, serta parameter lain yang relevan selama proses fermentasi berlangsung. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat dan instrumen yang telah ditentukan sesuai dengan prosedur teknis (Bahan, Biogas, and Cair, 2020).

Salah satu bahan penting yang digunakan dalam proses ini adalah EM4 (Effective Microorganisms 4), yang merupakan campuran berbagai mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan ragi. EM4 memiliki peran signifikan dalam mempercepat proses penguraian bahan organik. Penggunaan EM4 dalam pembuatan biogas dari limbah sayuran memberikan berbagai manfaat, antara lain mempercepat dekomposisi limbah organik, meningkatkan volume dan kualitas biogas yang dihasilkan, serta mengurangi bau tidak sedap yang biasanya muncul selama proses fermentasi [11].

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Jember, yang berlokasi di Gumuk Kerang, Karangrejo, Kecamatan Sumbersari, Kabupaten Jember, Jawa Timur (68124). Lokasi ini dipilih karena memiliki fasilitas laboratorium yang memadai serta lingkungan yang stabil untuk mendukung pelaksanaan eksperimen biogas, seperti suhu ruangan, keamanan alat fermentasi, dan ketersediaan peralatan teknis.



Gambar 1. Diagram Alir

Dalam penelitian ini, variabel campuran yang digunakan dalam pembuatan biogas terdiri dari berbagai bahan organik dan difermentasikan untuk menghasilkan gas metana selama waktu 30 hari. Variabel ini meliputi jenis dan komposisi bahan yang dicampurkan sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Perlakuan Bahan

Digister Tipe Batch	Material Biogas						
	Limbah sayuran kubis	Kotoran kambing	Kotoran kuda	Kotoran sapi	EM4	Air	Volume digister
D 1	7 L	-	3,5 L	-	0,5 L	6 L	17 L
D 2	7 L	3,5 L	-	-	0,5 L	6 L	17 L
D 3	7 L	-	-	3,5 L	0,5 L	6 L	17 L

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 . Hasil Penelitian pH

Pada penelitian ini sebelum melakukan proses fermentasi dilakukan pengukuran nilai pH untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan dalam proses pembuatan biogas. Nilai pH merupakan salah satu parameter penting yang dapat terbentuknya proses terjadinya biogas dengan nilai pH yang optimal 6,5-7,5 (Bandung 2020). Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur pH meter digital yang telah dikalibrasi sebelumnya agar hasil yang diperoleh lebih akurat, Adapun data pH dalam penelitian biogas ke tiga sampel sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai pH

Sampel	pH Material Biogas
Kubis, sapi, EM4, air	7
Kubis, kuda, EM4, air	6,5
Kubis kambing, EM4, air	7

Selanjutnya, data pada Tabel 4.1 disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah pemahaman perbandingan rasio C/N antara perlakuan, seperti ditampilkan pada Gambar berikut:

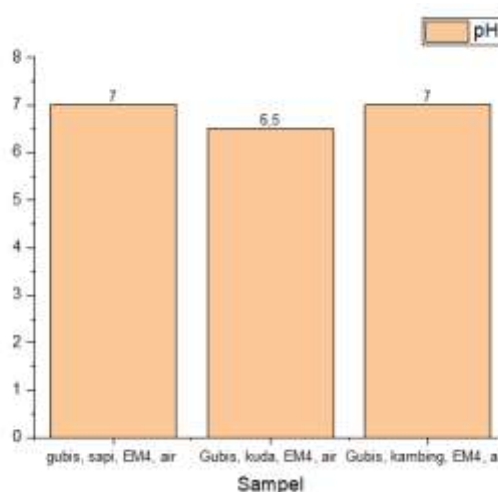


Diagram 1. Batang Hasil Penelitian Nilai pH

Campuran bahan berupa limbah gubis, kotoran sapi dan kambing, EM4, serta air yang memiliki pH netral sebesar 7 menunjukkan komposisi yang lebih optimal dalam proses produksi biogas. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Astuti et al. (2021) yang menyatakan bahwa pH netral (6,8–7,2) merupakan kondisi ideal bagi aktivitas bakteri metanogen dalam menghasilkan gas metana secara maksimal. Sementara itu, campuran yang menggunakan kotoran kuda menunjukkan pH sedikit asam sebesar 6,5, yang dapat menghambat aktivitas mikroba penghasil metana, sehingga diperlukan penyesuaian komposisi untuk meningkatkan efisiensi produksi biogas. Penelitian oleh Wahyuni dan Putra (2020) juga mengungkapkan bahwa kondisi pH di bawah 6,8 dapat menyebabkan penurunan kinerja fermentasi anaerobik.

4.2. Hasil Uji Penelitian Rasio C/N

Pengukuran rasio C/N dilakukan di laboratorium Biosains Politeknik Negri Jember dengan perlakuan menggunakan limbah kubis yang dicampur dengan kotoran hewan sapi, kuda dan kambing, serta tambahan EM4 dan air. Tujuan pencampuran ini adalah untuk mengetahui perbedaan kandungan N-Total, C-Organik, dan rasio C/N sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Penelitian N-Total, C-Organik, C/N Rasio

PENELITIAN	HASIL UJI		
	SAPI	KUDA	KAMBING
N-Total %	0,28	0,135	0,746
C-Organik %	3,187	2,904	6,478
C/N Rasio %	29,982	31,166	21,294

Selanjutnya, data pada Tabel 3 disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah pemahaman perbandingan rasio C/N antara perlakuan, pada Gambar berikut:

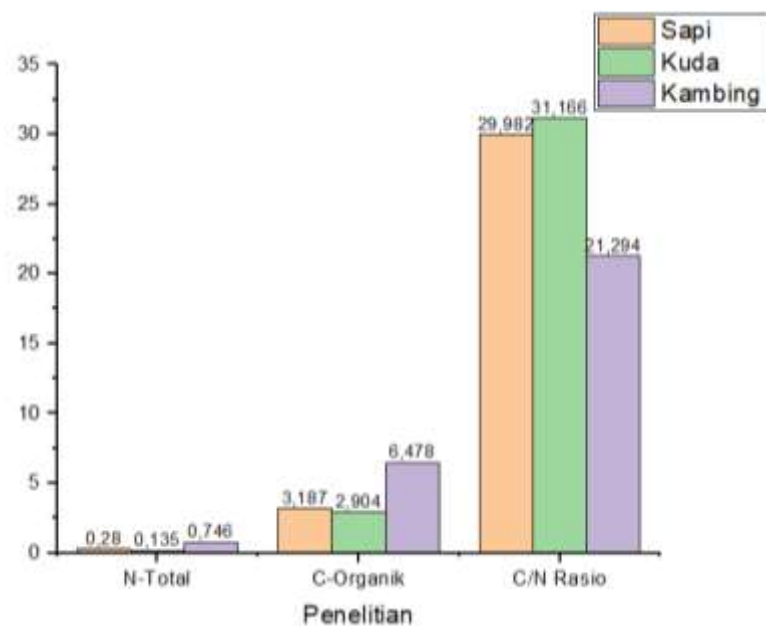


Diagram 2. Batang Hasil Penelitian N-Total, C-organik, C/N-Rasio

Pada grafik diagram batang diatas menunjukkan perbandingan kandungan N-Total, C-Organik, dan rasio C/N dari tiga jenis kotoran hewan yaitu sapi, kuda, dan kambing yang digunakan dalam penelitian. Hasilnya terlihat pada ddiagram batang diatas memperlihatkan bahwa kotoran kambing memiliki kandungan N-Total tertinggi 0,746%, diikuti oleh sapi 0,28% dan kuda 0,135%. Untuk kandungan C-Organik, kambing juga menempati posisi tertinggi 6,478%, sementara sapi dan kuda relatif lebih rendah, masing-masing 3,187% dan 2,904%. Namun, dalam hal rasio C/N, kuda memiliki nilai tertinggi 31,166, dan sapi 29,982 dan kambing 21,294, Rasio C/N yang tinggi berarti kelebihan karbon dan kekurangan nitrogen, sehingga mikroorganisme sulit berkembang dan produksi biogas menurun

4.3 Volume Biogas

Tabel ini menyajikan data volume biogas yang dihasilkan setiap hari selama periode fermentasi 30 hari, berdasarkan perlakuan tiga jenis kotoran ternak (sapi, kambing, dan kuda) yang digunakan sebagai starter dan dicampur dengan limbah kubis sebagai bahan utama

Tabel 3 Volume Produksi Hari ke 1-30

Material Biogas	Volume (ML)
Kubis, sapi, EM4, air	166,89
Kubis, kuda, EM4, air	93,28
Kubis kambing, EM4, air	220,74

4.4 Hasil Variasi Kotoran Hewan

Tabel ini disusun untuk mencatat hasil pengukuran, monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S) dan metana (CH₄) yang terdeteksi dalam suatu proses terbentuknya biogas.

Tabel 4. Variasi Kotoran Hewan

kotoran	Hari ke	Hasil Penelitian			
		CO ppm	O ₂ (%)	H ₂ S ppm	CH ₄ LEL
Sapi	5	2	57,5	535	0
	10	4	0	535	0
	15	93	0	767	0
	20	2	0	446	0
	25	0	20,4	0	112
	30	0	0	0	0
Kuda	5	4	0	0	0
	10	2	0	0	0
	15	0	0	433	0
	20	2	0	763	0
	25	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
Kambing	5	4	0	0	0
	10	0	0	383	0
	15	80,1	71,6	383	0
	20	65,6	50	276	324
	25	0	42,9	0	211
	30	0	0	0	0

6. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa campuran limbah kubis dan kotoran kambing merupakan kombinasi paling efektif dalam produksi biogas. Campuran ini memiliki pH netral, rasio C/N mendekati ideal (21,29), serta menghasilkan volume metana tertinggi, dengan metanogenesis mulai terdeteksi pada hari ke-20 hingga ke-25. Sebaliknya, campuran dengan kotoran kuda menghasilkan gas paling sedikit. Hasil ini menegaskan bahwa jenis kotoran ternak berpengaruh signifikan terhadap efektivitas fermentasi biogas.

Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan energi terbarukan berbasis limbah organik, khususnya dalam pemanfaatan limbah sayuran dan kotoran ternak secara berkelanjutan. Keterbatasan penelitian terletak pada jenis starter yang terbatas; penelitian lanjutan disarankan untuk menguji jenis kotoran lain serta variabel suhu dan kelembaban guna mengoptimalkan produksi metana.

Kontribusi Penulis: Penulis berkontribusi secara langsung dalam seluruh tahapan penelitian ini, mulai dari penyusunan latar belakang, perumusan masalah, studi literatur, hingga pelaksanaan eksperimen. Penulis juga melakukan pengumpulan dan pengolahan data, termasuk proses fermentasi limbah organik menggunakan starter EM4, serta pemantauan produksi biogas dari berbagai kombinasi bahan (kubis, kotoran sapi, kambing, dan kuda).

Selain itu, penulis terlibat dalam analisis hasil, penarikan kesimpulan, serta penyusunan laporan akhir. Seluruh proses penelitian ini dilaksanakan dengan bimbingan dosen pembimbing, namun penulis secara aktif mengambil peran utama dalam pelaksanaan teknis dan penulisan naskah ilmiah.

Pendanaan: Penulis 1 Muhammad Deni Ainun Najib

Pernyataan Ketersediaan Data: Seluruh data yang digunakan dan dihasilkan dalam penelitian ini tersedia dengan lengkap. Data tersebut meliputi hasil pengukuran volume biogas, waktu fermentasi, nilai pH, serta kandungan gas dalam biogas seperti Lower Explosive Limit (LEL), metana (CH_4), oksigen (O_2), dan karbon monoksida (CO). Selain itu, data rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) serta dokumentasi proses pengolahan limbah organik menggunakan starter EM4 juga disertakan secara menyeluruh. Data ini disusun untuk mendukung transparansi dan replikasi dalam penelitian sejenis di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih: Penulis menyampaikan terimakasih kepada pembimbing dan rekan sejawat atas masukan dan arahnya, serta kepada institusi yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di lapangan

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam pelaksanaan maupun penyusunan hasil penelitian. Seluruh proses penelitian dilakukan secara independen, tanpa adanya tekanan, atau keterlibatan kepentingan pribadi, institusi, maupun pihak eksternal lainnya.

Referensi

- [1] Putri & Nadia Cavina. “Banyak Eksploitasi Anak Di Indonesia.” : 1–15.
- [2] Sahlan et.al. 2022. “Bakti Sosial Blanded.” *Jurnal Bakti Sosial* 1(1): 7–13.
- [3] Nafis, Sulthan, and Okik Hendriyanto. 2021. “Dan Limbah Ikan Dalam Biodigester Anaerob.” *EnviroUS* 2(1): 1–8.
- [4] Rifky, Rifky, Heriyani Heriyani, and Dan Mugisidi. 2023. “Pendayagunaan Potensi Kotoran Kambing Menjadi Biogas Pada Peternakan Bina Mandiri Farm Solear Tangerang Banten.” *Bantenese : Jurnal Pengabdian Masyarakat* 5(2): 370–77.
- [5] Waktu, D A N, Tinggal Terhadap, Destilia Anggraini, Mutiara Bunga Pertiwi, and David Bahrin. 2012. “Biogas Dari Sampah Organik.” 18(1): 17–23.
- [6] Hasiholan, Ucok, Agus Haryanto, and Sigit Prabawa. 2016. “Produksi Biogas Dari Umbi Singkong Dengan Kotoran Sapi Sebagai Starter.” *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 5(2): 109–16.
- [7] Muharja, Maktum, Rizki Fitria Darmayanti, Ditta Kharisma Yolanda Putri, and Atiqa Rahmawati. 2022. “Pemanfaatan Sampah Organik Untuk Produksi Biogas Di Lembaga Pemasyarakatan Klas II A Jember Dengan Melibatkan Narapidana.” *Sewagati* 7(1): 1–8.
- [8] Mufarida, Nely Ana, and Asroful Abidin. 2020. “Quality of Fuel Liquid Waste Biogas Tofu Using Starter Composition Variation.” 5(2): 17–21.
- [9] Virly Septira Anggari, and Prayitno. 2020. “Studi Literatur Limbah Tapioka Untuk Produksi Biogas : Metode Pengolahan Dan Peranan Starter Substrat.” *Jurnal Teknologi Separasi* 6(2): 176–87.
- [10] Iswahyudi, Iswahyudi, Sutikno Sutikno, M A’an Auliq, Sofia Ariyani, and Deni Sofia. 2024. “Eksplorasi Energi Biogas Di PT. Biro Teknik Sinar Baru.” *Journal of Mechanical Engineering* 1(1): 1–9.
- [11] Wicaksono, Aria, Ah Amalia, and Hendrik Elvian Gayuh Prasetya. 2019. “Pengaruh Penambahan EM4 Pada Pembuatan Biogas Dengan Bahan Baku Kotoran Sapi Menggunakan Digester Fix Dome Sistem Batch.” *Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur* 2: