

## Perancangan Eksperimen Reaktor Biogas Portabel dengan Bahan Kotoran Sapi dan Limbah Rumah Tangga

Mu'alin<sup>1\*</sup>, Sabarudin Akhmad<sup>2</sup>, Anis Arendra<sup>3</sup>, Sugeng Purwoko<sup>4</sup>

Jurusan Teknik Industri – Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura,  
Jalan Raya Telang Kamal Bangkalan, Jawa Timur, Indonesia  
mualinajawi@gmail.com

\* corresponding author

### INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik  
v24i2.5994

#### Jejak Artikel :

Upload artikel

4 Juli 2023

Revisi

3 Maret 2024

Publish

31 Maret 2024

#### Kata Kunci :

Perancangan  
eksperimen, biogas, kotoran  
sapi, limbah rumah tangga

### ABSTRAK

Penelitian diawali dengan penggalan potensi biogas di Kec, Waru yang dilanjutkan dengan pengembangan reaktor biogas portabel sebagai sarana perancangan eksperimen yang akan dilakukan. Perancangan eksperimen dengan variabel independen (variasi perbandingan campuran kotoran sapi : limbah rumah tangga dengan 3 level yaitu 4:2,3:2,2:3 dan derajat keasaman (pH) dengan 3 level yaitu 6,8,7,0,7,2) dan variabel dependent (tekanan biogas yang dihasilkan) serta variabel kontrol (volume reaktor biogas sama, waktu proses (Hydraulic Retention Time atau HRT) 15 hari, perbandingan air: kotoran sapi+ limbah rumah tangga adalah 1:1). Pendekatan perancangan eksperimen faktorial acak lengkap  $3^2$  dengan 2 faktor variasi campuran dan menggunakan 3 perulangan. Dari 27 data pengamatan dilakukan Uji Anova dan hasilnya hanya faktor variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga yang memiliki pengaruh signifikan terhadap tekanan biogas yang dihasilkan dengan kombinasi terbaik variasi campuran 4:2 dan derajat keasaman (pH) 7,0 menghasilkan total rata-rata tekanan biogas 0,627333 Psi. Berdasarkan Uji Koefisien Determinasi faktor variasi campuran, derajat keasaman dan interaksi kedua faktor menjelaskan variabel respon tekanan biogas sebesar 46,24 %.

### ABSTRACT

The research began with the excavation of biogas potential in Kec, Waru followed by the development of a portable biogas reactor as a means of designing experiments to be carried out. Experimental design with independent variables (variations in the ratio of cow dung mixture: household waste with 3 levels of 4: 2, 3: 2, 2: 3 and acidity (pH) with 3 levels of 6.8, 7.0, 7.2) and dependent variables (biogas pressure produced) and control variables (the same biogas reactor volume, process time (Hydraulic Retention Time or HRT) 15 days, the ratio of water: cow dung + household waste is 1: 1). Complete random factorial experiment design approach  $3^2$  with 2 mixed variation factors and using 3 iterations. From 27 observational data, the Anova Test was carried out and the results were only the variation factor of cow dung-household waste mixture that had a significant influence on the biogas pressure produced with the best combination of mixture variation of 4: 2 and acidity (pH) 7.0 resulting in a total average biogas pressure of 0.627333 Psi. Based on the Coefficient Test of Determination of mixed variation factors, the degree of acidity and interaction of the two factors explained the variable biogas pressure response of 46.24%.

## 1. Pendahuluan

Bidang energi adalah salah satu fokus dari bidang penelitian yang ditetapkan dalam Rencana Induk Penelitian Universitas Trunojoyo Madura (RIP-UTM) periode 2020-2024 dengan konsentrasi pada biogas dengan konsep mandiri energi khususnya untuk rumah tangga. Tujuan dari konsep tersebut adalah untuk membangun teknologi biogas yang dapat mengurangi limbah peternakan khususnya kotoran sapi untuk kebutuhan rumah tangga dan mengurangi ketergantungan rumah tangga terhadap Gas LPG [1]. Fokus bidang riset UTM ini sinkron dengan Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2015-2045 dimana sesuai Perpres No. 5 Tahun 2006 pemerintah mengeluarkan Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional (PEN) 2006-2025 [2].

Dalam Cetak Biru tersebut disebutkan bahwa litbang energi merupakan salah satu program utama pengelolaan energi nasional. Ada 4 (empat) hal terkait program litbang energi dimana pengembangan IPTEK energi, diarahkan salah satunya adalah teknologi energi ramah lingkungan dan biogas adalah termasuk energi ramah lingkungan [2].

Adapun salah satu fokus area penelitian berdasarkan Rencana Induk Penelitian Universitas Trunojoyo Madura (RIP-UTM) periode 2020-2024 adalah daerah Kecamatan Waru Kabupaten Pamekasan [1]. Potensi populasi ternak sapi potong di Kecamatan Waru, Pamekasan adalah sebanyak 13841 ekor [3]. Nilai energi biogas jika dibandingkan dengan nilai energi bahan bakar yang lain yaitu kalori dalam satu (1) m<sup>3</sup> biogas setara dengan 6 kwh energi listrik, 0,62 liter minyak tanah, 0,52 liter minyak solar atau minyak diesel, 0,46 kg elpiji, 3,50 kg kayu bakar, 0,80 liter bensin, 1,50 m<sup>3</sup> gas kota [4].

Perhitungan nilai energi yang dihasilkan dari biogas dapat dilakukan yaitu dengan mengasumsi 1 kg kotoran sapi bisa menghasilkan 0,03 m<sup>3</sup> gas. Jumlah kotoran yang dihasilkan oleh satu ekor sapi tiap hari sekitar 10 kg [5].

Berdasarkan data tersebut maka potensi nilai energi biogas yang dihasilkan di Kecamatan Waru Kabupaten Pamekasan adalah  $0.03 \text{ m}^3 \times 10 \times 13841 = 4152.3 \text{ m}^3$  dimana itu setara dengan 24913.8 kwh energi listrik, setara dengan 2574.426 liter minyak tanah, setara dengan 2159.196 liter solar, setara dengan 1910.058 kg LPG, setara dengan 14533.05 kg

kayu bakar dan setara dengan 3321.84 liter bensin [6].

Selain kotoran sapi, bahan baku biogas bisa berasal dari limbah rumah tangga dimana dari 100 liter limbah rumah tangga yang diproses fermentasi maka didapat biogas sejumlah 0,55432 m<sup>3</sup> atau 554,32 liter biogas. Dengan tekanan tertinggi 106,5 kN/ m<sup>2</sup> [7].

Sampah kulit pisang, bayam, kubis dan kangkung dapat dibuat menjadi biogas. Dengan bahan baku sampah rumah tangga bayam, kulit pisang, kangkung dan juga kubis masing-masing sebanyak 4 kg menghasilkan tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kulit pisang adalah 1,03325 bar, diperoleh dalam waktu 110 jam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah bayam adalah 1,03066 bar diperoleh dalam waktu 150 jam [8].

Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kangkung adalah 1,02575 bar diperoleh dalam waktu 150 jam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kubis adalah 1,02850 bar diperoleh dalam waktu 140 jam. Kesimpulan dari penelitian adalah penghasil biogas terbaik adalah dari sampah kulit pisang [9].

Berdasarkan deskripsi latar belakang tersebut memunculkan permasalahan dalam penelitian ini yaitu bagaimana jika kedua bahan kotoran sapi dan limbah tangga dicampurkan.

Selain bahan campuran biogas, pH campuran juga berpengaruh pada produksi biogas. Variasi pH 7,0 merupakan pH optimal untuk produksi biogas dari limbah kacang hijau yang menghasilkan warna nyala biru kemerahan [10]. Pada penelitian produksi biogas dengan menggunakan campuran kotoran hewan dan substrat kentang busuk pada reaktor anaerob total volume gas terbanyak berada pada nilai pH 6.8, yaitu sebesar 2040 mL dengan volume gas rata-rata 70.34482759 mL [11].

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan menyebutkan bahwa salah satu faktor penting dalam proses fermentasi anaerob adalah pH. pH dalam digester harus dijaga pada kisaran 6.8 – 7, dimana proses anaerobic digestion berlangsung pada kisaran pH 6 – 8 dengan pH optimal kurang lebih 7 [12].

Kondisi yang paling baik dalam menghasilkan biogas limbah cair kelapa sawit adalah pH 8,5 waktu fermentasi 13 hari dengan digester berpengaduk, dengan konsentrasi biogas sebesar 195,41 ppm [13]. Pada

penelitian pembuatan biogas dari substrat limbah rumah makan, limbah cair tahu dan kotoran sapi nilai pH *biodigester* berkisar antara 6,63 - 6,7 dimana rentang pH ini masih berada dalam nilai pH yang ideal dalam pembuatan biogas yaitu berkisar antara 6,6 - 7,6 [14] [15].

Dalam penelitian ini melakukan perancangan eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan campuran kotoran sapi- limbah rumah tangga dan variasi pH terhadap tekanan dan temperatur biogas yang dihasilkan. Pada penelitian menggunakan rancangan eksperimen faktorial acak lengkap  $3^2$  dimana ada dua faktor dengan 3 level. Faktor pertama limbah rumah tangga dengan 3 level yaitu 4:2,3:2,2:3 dan faktor kedua yaitu derajat keasaman (pH) dengan 3 level yaitu 6.8,7.0,7.2. perulangan sebanyak 3 kali.

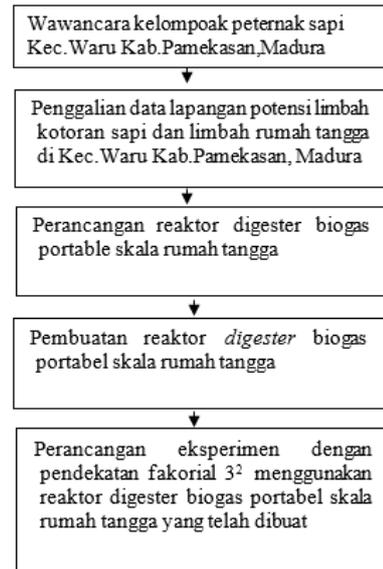
## 2. Metode Penelitian

Bahan utama biogas dalam penelitian ini adalah campuran bahan organik kotoran sapi dan limbah rumah dengan perbandingan tertentu serta air. Bahan baku yang dimanfaatkan untuk biogas harus memiliki beberapa persyaratan atau kriteria yaitu: bahan organik sampah, limbah pertanian, harus mengandung unsur karbon dan hidrogen serta nitrogen.

Unsur nitrogen diperlukan bakteri untuk pembentukan sel, agar fermentasi lebih cepat, bahan yang kasar harus digiling atau dirajang terlebih dahulu, bahan baku harus berbentuk bubur oleh karena itu kandungan air harus cukup tinggi (optimum : 7-9%), kadar air dalam kotoran sapi kira-kira 18% (rata-rata hewan 1125%),maka perlu diencerkan dengan perbandingan 1:1, air yang tidak mengandung zat-zat yang dapat menghambat pengembangbiakan bakteri. perbandingan unsur karbon dan nitrogen (C/N) paling baik untuk pembentukan biogas adalah 3.

Penelitian ini di laboratorium sistem manufaktur Universitas Trunojoyo Madura dan di Kec. Waru, Kab. Pamekasan, Madura.

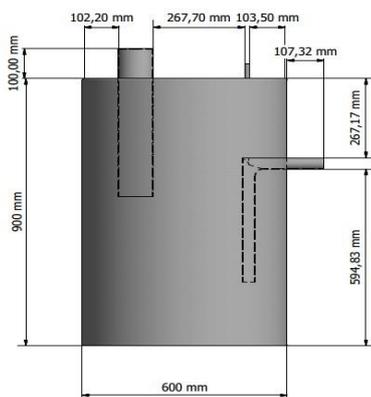
Adapun tahapan dalam penelitian ini seperti dalam gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Dalam merancang *digester* perlu diperhatikan bahwa ada 6 bagian utama dari sebuah *digester* yaitu *inlet* (tangki pencampur) sebagai tempat kotoran hewan masuk, reaktor (ruang pencernaan anaerob), penampung gas (ruang penyimpanan), *outlet* (ruang pemisah), sistem pengangkut gas dan lubang kompos kotoran hewan yang telah hilang gasnya/ *bio-slurry*. Campuran kotoran dan air (dicampur dalam saluran masuk atau ruang pencampur) mengalir melalui saluran pipa menuju *digester*. Pencampur menghasilkan gas melalui proses pencernaan di reaktor dan gas yang telah dihasilkan kemudian disimpan dalam penampung gas. *Slurry* mengalir keluar dari *digester* menuju outlet dan menjadi *bio-slurry* mengalir ke lubang *slurry* melalui *overflow*. Kemudian gas dialirkan ke kompor melalui saluran pipa .

Dari hasil proses perancangan didapatkan desain reaktor biogas seperti pada gambar 2 dan *digester* yang sudah jadi pada gambar 3.



**Gambar 2.** Desain Reaktor Biogas



**Gambar 3.** Reaktor Biogas

Tahap penelitian berikutnya adalah melakukan perancangan eksperimen *factorial*  $3^2$  model acak lengkap dengan 2 faktor dan 3 *level factor* serta 3 kali perulangan.. Secara umum desain penelitian adalah semua proses yang berada dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu, secara khusus desain menggambarkan secara jelas hubungan antar variabel, hipotesis, pengumpulan data, dan analisis data.

Prosedur perancangan eksperimen dimulai dengan penentuan variabel penelitian ini yaitu variabel independen (variasi perbandingan campuran kotoran sapi : limbah rumah tangga dengan 3 level yaitu 4:2,3:2,2:3 dan derajat keasaman (pH) dengan 3 level yaitu 6,8,7,0,7,2) dan variabel *dependent* (tekanan biogas yang dihasilkan) serta variabel kontrol (volume reaktor biogas untuk masing-masing perlakuan sama,lama waktu proses (*Hydraulic Retention Time atau HRT*) 15 hari,perbandingan air:kotoran sapi+ limbah rumah tangga adalah 1:1). Prosedur selanjutnya adalah penentuan hipotesis penelitian yaitu  $H_0 : \mu = \mu_0$  ;  $p\text{-Value} > 0$  dan  $H_1: \mu \neq \mu_0$  ;  $p\text{-Value} < 0$ . Setelah itu proses berikutnya adalah melakukan kombinasi

lengkap dari setiap faktor dan *level factor* yang ada yang kemudian disusun *orthogonal array* setiap kombinasi secara acak dimana setiap perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali perulangan sehingga nanti akan didapatkan 27 data pengamatan..

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan ANOVA dan menganalisisnya untuk mengetahui signifikansi pengaruh variabel *independent* terhadap variabel *dependent* sehingga dapat menentukan keputusan hipotesis yang mana yang berlaku paadan penelitian ini.

Dalam metode analisis dependensi sering kali penelitian dihadapkan pada analisis data yang ingin melihat hubungan antara satu variabel *dependent* (skala metrik) dan satu atau lebih variabel independen (skala non metrik yang bersifat kategori yang memiliki kategori lebih dari 2 (dua). Maka teknik analisis data yang tepat digunakan adalah *Analysis of Variance* (ANOVA).

Untuk membandingkan satu faktor memiliki perlakuan dengan tingkat yang berbeda. Respon yang diamati dari masing-masing perlakuan adalah variabel acak.

Jika keputusan pada uji ANOVA adalah tolak hipotesis nol, atau disimpulkan minimal terdapat dua rata-rata yang berbeda, maka selanjutnya gunakan Uji *Tukey* untuk mengetahui rata-rata mana yang berbeda.

Untuk mengetahui seberapa besar variabel *independent* dapat menjelaskan variabel *dependent* maka diperlukan Uji Koefisien Determinasi (*R-Squared*). Selain itu, uji koefisien determinasi juga bisa digunakan untuk mengukur seberapa baik garis regresi yang kita miliki. Apabila nilai koefisien determinasi (*R-squared*) pada suatu estimasi mendekati angka satu (1), maka dapat dikatakan bahwa variabel *dependent* dijelaskan dengan baik oleh variabel independennya. Dan sebaliknya, apabila koefisien determinasi (*R-Squared*) menjauhi angka satu(1) atau mendekati angka nol(0), maka semakin kurang baik variabel independen menjelaskan variabel *dependent*

### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk setiap pengamatan dicatat dan dimasukkan dan ditabulasi sehingga didapatkan data percobaan respon pengaruh variabel independen terhadap variabel *dependent* seperti tercantum dalam tabel 1.

**Tabel.1.** Tabulasi data respon variable tekanan

Perula- ngan	Variasi Campuran Kot.Sapi : Limbah RT	Derajat Keasaman		
		6,8	7,0	7,2
1	4 :2	0.575	0.652	0.52
2		0.582	0.598	0.58
3		0.564	0.632	0.532
1	3;2	0.482	0.542	0.427
2		0.422	0.585	0.552
3		0.486	0.57	0.328
1	2;3	0.467	0.524	0.438
2		0.468	0.49	0.43
3		0.434	0.478	0.396

**Tabel.2.** Hasil Perhitungan ANOVA

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.072734	0.024245	6.59	0.002
Linear	2	0.072713	0.036356	9.89	0.001
Variasi Campura	1	0.06845	0.06845	18.61	0
Derajat Keasaman (pH)	1	0.004263	0.004263	1.16	0.293
Variasi Campura n* Derajat Keasaman (pH)	1	0.000021	0.000021	0.01	0.94
Error	23	0.084576	0.003677		

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA tersebut kemudian dilakukan analisa untuk setiap faktor untuk mengetahui signifikansi pengaruh variabel independen terhadap variable *dependent*. Faktor variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga didapatkan bahwa Nilai *p - Value* yang dihasilkan adalah sebesar  $0.000 < 0.05$  sehingga tolak  $H_0$ , yang artinya terdapat pengaruh minimal terdapat dua rata-rata yang berbeda signifikan terhadap nilai tekanan biogas yang dihasilkan. Adapun faktor derajat keasaman didapatkan nilai *P - Value* yang dihasilkan adalah sebesar  $0.293 > 0.05$  sehingga terima  $H_0$ , yang artinya tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari faktor derajat keasaman dari campuran biogas terhadap nilai tekanan biogas yang dihasilkan. Faktor

interaksi variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga dan derajat keasaman nilai *P - Value* yang dihasilkan adalah sebesar  $0.94 > 0.05$  sehingga terima  $H_0$ , yang artinya tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari interaksi faktor komposisi dan derajat keasaman dari campuran biogas terhadap nilai tekanan biogas yang dihasilkan.

Berdasarkan Uji ANOVA yang telah dilakukan didapatkan bahwa faktor variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga keputusannya adalah tolak  $H_0$  dimana artinya minimal terdapat dua rata-rata yang berbeda signifikan terhadap nilai tekanan biogas yang dihasilkan, namun belum dapat diketahui mana rata-rata yang benar-benar berbeda. Maka selanjutnya dilakukan Uji lanjut *Tukey* untuk mengetahui mana yang benar-benar berbeda rata-rata pengaruh faktor variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga terhadap tekanan biogas yang dihasilkan seperti terdapat dalam tabel 3.

**Tabel.3.** Uji lanjut *Tukey grouping*

Variasi Campuran*Derajat keasaman (PH)	N	Mean	Grouping		
4:2 * 7.0	3	0.627333	A		
4:2 * 6.8	3	0.573667	A	B	
3:2 * 7.0	3	0.565667	A	B	
4:2 * 7.2	3	0.544	A	B	C
2:3*7.0	3	0.497333		B	C
3:2 * 6.8	3	0.463333		B	C
2:3* 6.8	3	0.456333		B	C
3:2 * 7.2	3	0.435667			C
2:3* 7.2	3	0.421333			C

Berdasarkan pada tabel.3 menunjukkan bahwa pada uji lanjut *tukey grouping*, kombinasi perlakuan terbaik terhadap nilai respon yang diamati di artikan bahwa semakin besar nilai rata-rata yang dihasilkan maka semakin baik hasil dari tekanan yang dihasilkan biogas. Seperti pada variasi campuran kotoran sapi: limbah rumah tangga adalah 4:2 dengan derajat keasaman 7,0 menghasilkan total rata-rata tekanan sebesar 0,627333 Psi dengan arti semakin besar tekanan gas yang dihasilkan akan semakin banyak gas yang dihasilkan. Dari hasil tersebut juga dijelaskan bahwa level yang berbeda

secara signifikan yaitu (4:2\*7.0, 3:2\*7.2, dan 2:3\*7.2)

Selain Uji ANOVA dan Uji *Turkey*, maka juga dilakukan Uji Koefisien Determinasi (*R-Squared*) untuk mengetahui seberapa besar variabel *independent* dapat menjelaskan *variable dependent* seperti tertera di table 4.

**Tabel.4** Uji Koefisien Determinasi (*R-Squared*)

Nilai R-sq	
R-sq	46.24%

Pada tabel menunjukkan sebesar 46,24 % faktor variasi campuran, derajat keasaman dan interaksi kedua faktor yang digunakan menjelaskan nilai respon tekanan, serta sisanya 53.76% dijelaskan oleh faktor lain diluar penelitian.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pengolahan data dan analisis hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa faktor variasi campuran kotoran sapi-limbah rumah tangga terdapat pengaruh minimal terdapat dua rata-rata yang berbeda signifikan terhadap nilai tekanan biogas yang dihasilkan dan kombinasi terbaik berdasarkan Uji *Tukey* yang dilakukan adalah variasi campuran kotoran sapi: limbah rumah tangga adalah 4:2 dengan derajat keasaman 7,0 menghasilkan total rata-rata tekanan sebesar 0,627333 Psi dengan arti semakin besar tekanan gas yang dihasilkan akan semakin banyak gas yang dihasilkan.

Berdasarkan Uji Koefisien Determinasi (*R-Squared*) faktor variasi campuran, derajat keasaman dan interaksi kedua faktor menjelaskan nilai respon tekanan hanya sebesar 46,24 % sedangkan sisanya 53.76% dijelaskan oleh faktor lain diluar penelitian. Oleh karena itu saran untuk penelitian selanjutnya adalah mencari faktor lain diluar faktor variasi campuran, derajat keasaman dan interaksi kedua faktor misalnya variabel independen temperatur ruang reaktor biogas,tingkat kelembaban.

#### 5. Daftar Pustaka

[1] A. Amzeri, Z. Hidayah, T. Handaka, D. L. Nugroho, S. Khoiri, and H. Boemiya, "RENCANA INDUK PENELITIAN UNIVERSITAS TRUNOJOYO

MADURA PERIODE 2020 - 2024," in *Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Trunojoyo Madura*, vol. 2, 2020, pp. 1–82.

- [2] N. Huda, I. Pawennei, A. Ratri, and V. L. Taylor, "Mendorong Perbaikan Ekosistem Riset dan Inovasi Indonesia," p. 134, 2020.
- [3] S. A. Zakiyyah and H. Mardiyah, "Tataniaga Sapi Madura Di Desa Waru Barat Kabupaten Pamekasan," *Agriscience*, vol. 3, no. 2, pp. 502–514, 2022, [Online]. Available: <https://journal.trunojoyo.ac.id/agriscience>
- [4] P. V. H. Sinaga, D. Suanggana, and H. D. Haryono, "Analisis Produksi Biogas Sebagai Energi Alternatif Pada Kompor Biogas Menggunakan Campuran Kotoran Sapi Dan Ampas Tahu," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.)*, vol. 8, no. 1, p. 61, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i1.348.
- [5] Marcelino, Viktor, and D. A. Anggorowati, "Karakteristik Produk Biogas Dari Berbagai Jenis Limbah Sayur Sawi," *J. Atmos.*, vol. 3, no. 2, pp. 30–36, 2023, doi: 10.36040/atmosphere.v3i2.6065.
- [6] H. Harmiansyah, R. D. Pratama, L. P. Afisna, M. Syauckani, and R. Efendi, "Karakteristik Sisa Slurry pada Produksi Biogas Berbahan Kotoran Sapi," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 6, no. 2, pp. 46–53, 2022, doi: 10.18196/jmpm.v6i2.16175.
- [7] L. A. Wardana et al., "Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos," *J. Pengabd. Magister Pendidik. IPA*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.29303/jpmpi.v4i1.615.
- [8] F. N. Rahmat, Sudarti, and Yushardi, "Analisis Pemanfaatan Sampah Organik Menjadi Energi Alternatif Biogas," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, pp. 118–122, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.16497.
- [9] N. Wahab and I. Ramli, "Analisis



- Pengolahan Biogas Dari Campuran Limbah Sayur Kangkung Dan Eceng Gondok Dengan Starter Kotoran Sapi,” *J. Tecnoscienza*, vol. 6, no. 2, pp. 234–245, 2022, doi: 10.51158/tecnoscienza.v6i2.625.
- [10] L. M. Shitophyta, M. H. Darmawan, and Y. Rusfidiantoni, “Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review,” *J. Chem. Process Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 85–90, 2022, doi: 10.33536/jcpe.v7i2.903.
- [11] Suparman, S. Tjokrodiningrat, Z. Abdullatif, S. Hasan, yunus Syafie, and A. Hasan, Ali, Dedy, “Efektivitas Reaktor Biogas dan Pengolahan Limbah Bioslurry Sebagai Sumber Energi Rumah Tangga Serta Hara Organik Pada Wilayah Pertanian Di Halmahera Timur,” *J. Pertan. Khairun*, vol. 2, no. 2, pp. 205–212, 2023.
- [12] N. Herawati, D. ulfa Reynaldi, and Atikah, “Pengaruh Jenis Katalis Asam dan Waktu Fermentasi Terhadap Persentase Yield Bioetanol dari Rumput Gajah (*Pennisetum Purpureum Schumacher*),” *J. Distilasi*, vol. 4, no. 2, pp. 19–26, 2019.
- [13] R. Fitria, N. Hindratiningrum, and M. Rayhan, “pH dan Total Mikroba pada Starter Mikroorganisme Lokal (MOL) Berbasis Limbah untuk Fermentasi Pakan,” *J. Sains Peternak.*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2023, doi: 10.21067/jsp.v11i1.7638.
- [14] V. Dwivannie, A. Sasmita, and E. Pratiwi, “Karakteristik pH dan Suhu dalam Proses Pembuatan Biogas dari Substrat Limbah Rumah Makan, Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi,” *Jom Fteknik*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [15] A. Subakti, D. Irawan, M. Mafruddin, and S. D. Handono, “Pengaruh komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair tapioka terhadap biogas yang dihasilkan,” *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 3, no. 1, pp. 37–45, 2022, doi: 10.24127/armatur.v3i1.1937.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

