

Pengaruh Rasio C/N dan Penambahan Mikronutrien (Molybdenum, Mangan, dan Nikel) terhadap Kadar Gas Metan Biogas

Santika Octaviana Putri Br Purba dan Novirina Hendrasarie*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: novirina@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kata Kunci:

biogas, mangan, molybdenum, nikel, gas metan, rasio C/N

Biogas merupakan teknologi pengolahan limbah yang menggunakan mikroorganisme alami untuk menghasilkan energi yang ditempatkan di ruang kedap udara. Dalam produksi biogas, diperlukan penambahan nutrisi untuk mengoreksi komposisi fraksi organik pada sampah agar mendekati komposisi idealnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan mikronutrien molybdenum 1 mg/L, mangan 1 mg/L, nikel 1 mg/L, dan campuran ketiga mikronutrien 1 mg/L dalam proses pembentukan biogas. Penelitian dilakukan terhadap pencampuran kotoran sapi, sampah sayur, *hydrilla verticillate*, dan air dalam reaktor *batch* dengan kapasitas 5 liter. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar gas metan dan rasio C/N. Kadar gas metan dan rasio C/N terbaik pada penelitian ini dihasilkan pada variasi penambahan campuran ketiga mikronutrien selama 30 hari dengan nilai berturut-turut adalah 68,33% dan 29,774%.

ABSTRACT

Keyword:

biogas, manganese, molybdenum, nickel, methane gas, C/N ratio

Biogas is a waste treatment technology that uses natural microorganisms to produce energy that is placed in an airtight space. In biogas production, it is necessary to add nutrients to correct the composition of the organic fraction in the waste to approach its ideal composition. The objective of this study is to determine the effect of adding micronutrients molybdenum 1 mg/L, manganese 1 mg/L, nickel 1 mg/L, and a mixture of three micronutrients 1 mg/L in the biogas formation process. The research was conducted on the mixing of cow dung, vegetable waste, *hydrilla verticillate*, and water in a batch reactor with a capacity of 5 liter. The parameters used in this research are methane gas content and C/N ratio. The best methane gas content and C/N ratio in this study were obtained in the variation of the addition of a mixture of the three micronutrients for 30 days with values of 68.33% and 29.774%, respectively.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat setiap tahunnya, terutama di Indonesia. Adapun tindakan yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mencari energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan seperti biogas (Wardana *et al.*, 2021). Biogas dapat diperoleh dengan mudah, sederhana, terbarukan, dan cocok bagi masyarakat perdesaan (Ali *et al.*, 2017).

Biogas terbentuk oleh mikroorganisme yang berasal dari bahan organik dalam keadaan tertutup (anaerob). Proses ini dinamakan proses fermentasi, di mana sebagian besar gas yang dihasilkan dari proses ini adalah metana dan karbon dioksida. Proses anaerobik terdiri dari tiga fase utama, yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis. Biogas mengandung gas metana 55-75%, karbon dioksida 25-45%, karbon monoksida 0,1%, oksigen 0,1%, dan kandungan gas lainnya yang jumlahnya sangat sedikit seperti nitrogen, hidrogen, dan hidrogen sulfida (Rohim, 2020).

Bahan baku yang biasanya digunakan merupakan limbah organik. Limbah organik yang dimaksud dapat berupa kotoran sapi, sampah organik, limbah rumah makan, dan sebagainya. Adanya pemanfaatan limbah sebagai bahan baku biogas dapat mengurangi timbulan limbah dan menjadi solusi untuk permasalahan krisis energi. Selain itu juga bermanfaat dalam berbagai sektor, seperti sektor energi yaitu untuk bahan bakar, penerangan, dan pembangkit listrik yang dapat mengurangi pemakaian minyak bumi (Damayanti *et al.*, 2021).

Pada umumnya bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biogas berupa sampah sayur dan kotoran sapi. Sampah sayur banyak mengandung bahan organik yang mudah membusuk, lembap, dan dapat terurai dengan cepat, terutama pada cuaca hangat. Dalam proses fermentasi, sampah sayuran dapat digunakan sebagai substrat bagi mikroorganisme (Widyastuti & Suyantara, 2017). Penguraian sampah organik seperti protein, lemak, dan karbohidrat

dilakukan oleh mikroorganismen anaerob sehingga dapat menghasilkan gas metana (Redjeki *et al.*, 2013).

Usaha bidang peternakan semakin berkembang. Hal ini menyebabkan jumlah limbah kotoran ternak meningkat. Kotoran sapi mengandung bahan organik yang cukup tinggi. Dalam kotoran sapi terkandung nitrogen, fosfor, dan kalium yang merupakan nutrisi utama yang dibutuhkan dalam produksi biogas (Praptiwi & Mirwan, 2021).

Dalam produksi biogas diperlukan nutrisi. Nutrisi terbagi menjadi dua yaitu makronutrien dan mikronutrien. Makronutrien utama yang dibutuhkan pada semua proses degradasi biologis adalah nitrogen dan fosfat. Makronutrien yang dipakai pada penelitian ini yaitu *Hydrilla verticillata*. *Hydrilla verticillata* mengandung 0,54% lemak, 1,74% protein, 1,37% nitrogen, 14,47% karbon organik, 3,97% karbohidrat, 1,82% serat kasar, 1,51% abu, dan 90,42% air. *Hydrilla verticillata* yang terdegradasi mulai menghasilkan CH₄ pada hari ke-12 dan H₂ dan CO₂ dapat dideteksi dari *Hydrilla verticillata* pada hari ke-16 (Mirwan & Irianto, 2021).

Mikronutrien merupakan nutrisi yang sama pentingnya dengan makronutrien. Namun, dibutuhkan hanya dalam jumlah yang kecil. Jenis mikronutrien seperti besi, nikel, kobalt, mangan, molybdenum atau tungsten berperan dalam pertumbuhan mikroorganismen anaerob (Weiland, 2010). Mikronutrien yang digunakan dalam penelitian ini adalah molybdenum, mangan, dan nikel. Setiap mikronutrien memiliki peranannya masing-masing dalam proses pembentukan biogas. Molybdenum berperan dalam formil metanofuran dehidrogenase dan format dehidrogenase. Mangan memiliki peran penting dalam stabilisasi metiltransferase dan reaksi redoks (Jiang *et al.*, 2017). Nikel berperan untuk metabolisme metanogenesis yaitu meningkatkan laju perombakan asetat oleh archaea metanogen dalam proses anaerobik (Mellyanawaty *et al.*, 2019). Kekurangan nutrisi dan tingkat fermentasi substrat yang terlalu tinggi dapat menghambat dan mengganggu proses anaerobik (Seadi, T. Al *et al.*, 2008).

Produksi biogas dipengaruhi beberapa faktor antara lain faktor nutrisi dan lingkungan. Makronutrien, mikronutrien, rasio C/N, dan ukuran partikel merupakan faktor nutrisi, sedangkan faktor lingkungan meliputi suhu dan kadar air (Mirwan & Nadia Agustina Irianto, 2021). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai rasio C/N bahan baku dan penambahan variasi mikronutrien terhadap kadar gas metan (CH₄) dalam produksi biogas.

2. METODE PENELITIAN

Reaktor yang digunakan adalah tipe *batch digestion*. Adapun peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah ember 5 liter, selang plastik, *urine bag*, timbangan, kran kompresor, dan manometer U. Bahan baku utama yang dipakai sebagai substrat dalam penelitian ini adalah sampah sayur 2,5 kg, kotoran sapi 5 kg, *Hydrilla verticillata* 2,5 kg, dan air. Lalu, diberi variasi penambahan mikronutrien pada masing-masing reaktor yaitu Na₂MoO₄·2H₂O 1 mg/L, MnCl₂·4H₂O 1 mg/L, NiCl₂·6H₂O 1 mg/L, Campuran Mo + Mn + Ni 1 mg/L.

Tabel 1. Komposisi Perlakuan Bahan Baku Setiap Reaktor

Substrat	Waktu Fermentasi (hari)	Jenis Mikronutrien
Kotoran Sapi 1kg + Sampah Sayur 0,5 kg + <i>Hydrilla verticillata</i> 0,5 kg	10	-
	15	
	20	
	25	
	30	
	10	Molybdenum (Mo) 1 mg/L
	15	
	20	
	25	
	30	
	10	Mangan (Mn) 1 mg/L
	15	
	20	
	25	
	30	
10	Nikel (Ni) 1 mg/L	
15		
20		
25		
30		
10	Campuran (Mo + Mn + Ni) 1 mg/L	
15		
20		
25		
30		

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan kelengkapan alat dan bahan yang dibutuhkan. Kemudian membuat reaktor di mana masing-masing reaktor dilakukan pencampuran bahan dengan rasio yang telah ditentukan dengan menyisakan sekitar 20% ruang kosong dari volume reaktor. Bahan yang sudah dicampur ditambahkan air dengan perbandingan 1:1 lalu aduk secara merata. Selanjutnya reaktor ditutup dengan rapat dan diberi label pada setiap reaktor. Lakukan pengamatan yang disesuaikan dengan proses fermentasi yang berjalan selama 1 bulan. Variasi waktu fermentasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 hari, 15 hari, 20 hari, 25 hari, dan 30 hari. Biogas yang tertampung dalam *urine bag* sesuai dengan waktu fermentasi dibawa ke laboratorium dan dilakukan pengujian kadar gas metan, kadar C-Organik, dan N-Total. Hasil uji dari kadar C-Organik dan N-Total akan dikonversi ke dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai rasio C/N.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Rasio C/N terhadap Kadar Gas Metan (CH₄)

Rasio C/N merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pembentukan biogas. Rasio C/N adalah perbandingan antara karbon dengan nitrogen dalam bahan organik. Karbon dan nitrogen adalah dua elemen utama yang membentuk substrat bahan organik. Mikroorganismen membutuhkan keduanya sebagai sumber energi untuk melakukan perombakan (Wahyuni, 2017). Berikut merupakan hasil analisis pada masing-masing variasi bahan dengan pencampuran mikronutrien yang telah ditentukan.

Tabel 2. Nilai rasio C/N substrat

Variasi Bahan	Ratio C/N
Substrat (Kontrol)	20,455
Substrat + Mo	24,667
Substrat + Mn	31,020
Substrat + N	26,519
Substrat + Mo + Mn + Ni	29,774

Berdasarkan Tabel 2, hasil analisis rasio C/N substrat pada masing-masing reaktor yang digunakan dalam memproduksi biogas. Pengujian C-Organik dan N-Total untuk memperoleh nilai rasio C/N dilakukan pada hari ke-30. Menurut Hardoyo, *et al.* (2018), untuk rasio C/N antara 20-30 merupakan hasil yang optimum dalam memproduksi biogas. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa terdapat 4 (empat) variasi bahan yang berada pada *range* optimal. Kadar gas metan mengalami peningkatan pada tiap nilai rasio C/N. Perbedaan dari tiap jenis penambahan mikronutrien pada substrat memengaruhi nilai kandungan gas metan (CH₄) yang dihasilkan karena nilai rasio C/N dari tiap jenis penambahan mikronutrien pada substrat juga berbeda.

Variasi bahan yang menghasilkan nilai rasio C/N terbaik yakni pada variasi bahan substrat dengan pencampuran ketiga mikronutrien (molybdenum, mangan, dan nikel) dengan nilai 29,774 dan nilai kadar gas metan sebesar 68,33%. Nilai rasio C/N variasi bahan substrat dengan pencampuran ketiga mikronutrien mendekati nilai maksimum dari *range* optimal nilai rasio C/N. Namun, untuk nilai rasio C/N paling tinggi dan melebihi *range* optimal diperoleh pada variasi bahan substrat dengan pencampuran mikronutrien mangan dengan nilai 31,020 dan kadar gas metan sebesar 62,45%. Nilai rasio C/N yang di atas *range* optimal menunjukkan bahwa jumlah karbon (C) lebih tinggi dibandingkan nitrogen (N). Hal ini dapat berpengaruh pada produksi biogas.

Jika rasio C/N terlalu tinggi, maka bakteri metanogenik dengan cepat mengonsumsi nitrogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya bereaksi dengan sejumlah kecil karbon. Sebaliknya, jika nilai rasio C/N terlalu rendah, maka nitrogen dilepaskan dan terakumulasi dalam bentuk amonia (NH₃), menghambat pertumbuhan bakteri dan bahkan menyebabkan kematian seluruh populasi mikroorganisme (Zulkarnaen *et al.*, 2016). Kondisi seperti ini mengakibatkan gas yang dihasilkan menjadi sedikit. Perbedaan nilai hasil rasio C/N yang berbeda-beda dapat dipengaruhi oleh kondisi kotoran dan sampah organik lainnya saat pengambilan sampel berbeda sehingga pada saat pengujian mendapatkan hasil C/N variatif (Yahya *et al.*, 2018).

3.2 Pengaruh Komposisi Bahan terhadap Kadar Gas Metan (CH₄)

Tingginya kandungan metana (CH₄) menjadi salah satu indikator keberhasilan proses fermentasi biogas. Biogas berkualitas baik terdiri dari sekitar 55-70% metana (Haryanto *et al.*, 2019). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut merupakan data laboratorium kandungan gas metan (CH₄) yang dihasilkan dengan variasi komposisi bahan yang telah ditentukan.

Tabel 3. Pengaruh komposisi bahan terhadap kadar gas metan (CH₄)

Variasi Bahan	Kadar Gas Metan (%)				
	Hari ke-10	Hari ke-15	Hari ke-20	Hari ke-25	Hari ke-30
Substrat (Kontrol)	13,97	20,21	25,44	35,6	38,6
Substrat + Mo	17,9	26,48	31,07	46,69	54,12
Substrat + Mn	21,76	34,4	45,28	54,11	62,45
Substrat + Ni	19,2	31,02	38,46	44,57	58,6
Substrat + Mo + Mn + Ni	16,11	30,77	47,55	61,14	68,33

Keterangan:

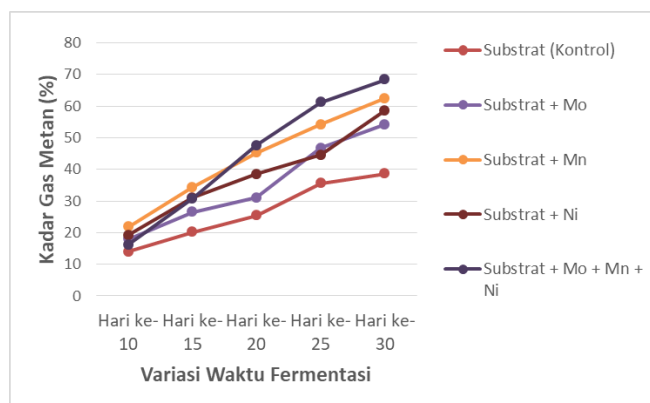
Substrat = Sampah sayur + Kotoran sapi + *Hydrilla verticillata*

Mo = Molybdenum

Mn = Mangan

Ni = Nikel

Pada Tabel 1 yang disajikan, hasil analisis jenis bahan yang digunakan untuk substrat terhadap kandungan gas metan (CH₄) yang dihasilkan dalam pembuatan biogas dalam waktu fermentasi total selama 30 hari. Berdasarkan hasil yang didapatkan, beberapa bahan substrat telah mampu menghasilkan gas metan (CH₄) diatas 40% pada waktu fermentasi tertentu. Kadar gas metan (CH₄) tertinggi dihasilkan pada variasi bahan substrat dengan penambahan mikronutrien dalam waktu fermentasi 30 hari dengan nilai sebesar 68,33%. Hasil gas metan yang diperoleh hampir mencapai nilai maksimal dari kadar optimum gas metan dalam suatu biogas.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Kadar Gas Metan (%) dengan Variasi Waktu Fermentasi

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai kadar gas metan tiap reaktor berbeda. Perbedaan kadar gas metan pada reaktor kontrol cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan reaktor yang diberi perlakuan penambahan mikronutrien. Hal ini dikarenakan masing-masing mikronutrien merupakan sumber nutrisi bagi mikroorganisme dan memiliki peran yang berbeda dalam proses pembentukan biogas. Dalam penelitian Adiani *et al.* (2020), penambahan nutrisi pada substrat biogas dapat memengaruhi kadar gas metan yang dihasilkan. Kadar gas metan yang rendah terjadi karena proses degradasi yang kurang optimal. Biogas yang mempunyai kandungan gas

metan sekitar 50 – 70% bersifat sangat mudah terbakar, tidak berwarna, dan tidak berbau yang dihasilkan oleh proses fermentasi bahan organik (Anggriani, 2014). Pada penelitian Mirwan & Irianto (2021), dilakukan pengujian gas nyala api sebagai indikator adanya metana. Hasil pengujian gas nyala api pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa biogas dengan kadar gas metan yang berada pada *range* optimum bahkan di bawah optimum yaitu 30% juga dapat nyala api pada hari ke-15 dengan warna nyala api berwarna biru. Nyala api yang berwarna biru dapat diidentifikasi mengandung metana yang sangat baik.

Pengaruh variasi bahan substrat terhadap kadar gas metan dalam produksi biogas dapat diketahui dengan melakukan uji statistik ANOVA *One-way*. Pada uji ANOVA nilai α yaitu 5% atau 0,05. Jika nilai $p\text{-value} < \alpha$ maka H_0 ditolak. Sebaliknya, jika nilai $p\text{-value} > \alpha$ maka H_1 ditolak. Pada penelitian ini, H_0 menunjukkan bahwa variabel tersebut tidak memengaruhi nilai kadar gas metan dan H_1 menunjukkan bahwa variabel tersebut memengaruhi nilai kadar gas metan.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Variasi Bahan	4	1055	263,7	1,04	0,410
Error	20	5057	252,8		
Total	24	6111			

Gambar 2. Hasil Uji ANOVA *One-Way* Pengaruh Variasi Bahan Substrat dengan Kadar Gas Metan

Hipotesis :

- H_0 : variasi bahan memengaruhi nilai kadar gas metan
- H_1 : variasi bahan tidak memengaruhi nilai kadar gas metan

Pada gambar 2 hasil uji ANOVA *One-way* di atas dapat dilihat bahwa nilai $p\text{-value}$ variasi bahan substrat $> \alpha$ sehingga dapat disimpulkan H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa variasi bahan tersebut berpengaruh terhadap kadar gas metan. Selain itu, untuk melihat pengaruh variasi bahan terhadap kadar gas metan dapat dilihat dari nilai rata-rata yang diperoleh melalui hasil uji statistik. Berikut merupakan nilai rata-rata hasil dari uji statistik.

Means

Variasi Bahan	N	Mean	StDev	95% CI
Substrat (Kontrol)	5	26,76	10,33	(11,93; 41,60)
Substrat + Mn	5	43,60	16,05	(28,77; 58,43)
Substrat + Mo	5	35,25	14,85	(20,42; 50,09)
Substrat + Ni	5	38,37	14,74	(23,54; 53,20)
Substrat + Trace Metal Campuran	5	44,78	21,50	(29,95; 59,61)

Pooled StDev = 15,9005

Gambar 3. Means Pengaruh Variasi Bahan dengan Kadar Gas Metan

Pada uji ANOVA *One-way*, dapat dilihat pada gambar 3 bahwa variasi bahan substrat + mikronutrien campuran memiliki nilai rata-rata 44,78, variasi bahan substrat + Mn

memiliki nilai rata-rata 43,6, variasi bahan substrat + Ni memiliki nilai rata-rata 38,37, variasi substrat + Mo memiliki nilai rata-rata 35,252, dan variasi substrat (kontrol) memiliki nilai rata-rata 26,764. Berdasarkan hasil nilai rata-rata yang didapatkan, variasi bahan substrat + mikronutrien campuran memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap nilai kadar gas metan daripada variasi bahan lainnya karena memiliki nilai rata-rata paling tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil produksi biogas terbaik pada penelitian ini diperoleh pada reaktor dengan variasi penambahan mikronutrien campuran (Mo + Mn + Ni) 1 mg/L pada substrat dalam waktu fermentasi 30 hari. Nilai kadar gas metan (CH_4) yang diperoleh sebesar 68,33% dan nilai rasio C/N yang diperoleh adalah 29,774. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan penambahan parameter uji nyala api sebagai uji fisik untuk mengetahui kadar gas metan yang dihasilkan mampu untuk diaplikasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Laboratorium Kimia Universitas UBAYA yang telah melaksanakan aspek eksperimental dalam penelitian ini dan pemangku kepentingan lainnya yang telah berkontribusi dalam penelitian ini sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiani, K. M., Bagus, I., Gunadnya, P., & Setiyo, Y. (2020). Effect of Urea Addition and Heating on Biogas Production. *Jurnal Biosistem Dan Teknik Pertanian*, 8(1), 86–92.
- Ali, H., J., & Bengkulu, K. (2017). Utilization of Organic Waste As a Basic Material Making of Biogas in Workshop of Environmental Health Bengkulu. *Jnp*, 5(1), 32–39.
- Damayanti, A. A., Fuadina, Z. N., Azizah, N. N., Karinta, Y., & Ketut Mahardika, D. I. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik Dalam Pembuatan Biogas Sebagai Sumber Energi Kebutuhan Hidup Sehari-Hari. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 17(3), 182–190.
- Haryanto, A., Okfrianas, R., & Rahmawati, W. (2019). Pengaruh Komposisi Subtrat dari Campuran Kotoran Sapi dan Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) terhadap Produktivitas Biogas pada Digester Semi Kontinu. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 47.
- Jiang, Y., Zhang, Y., Banks, C., Heaven, S., & Longhurst, P. (2017). Investigation of the impact of trace elements on anaerobic volatile fatty acid degradation using a fractional factorial experimental design. *Water Research*, 125, 458–465.
- Mellyanawaty, M., Alfiata Chusna, F. M., & Nofiyanti, E. (2019). Proses Peruraian Anaerobik Palm Oil Mill Effluent dengan Media Zeolit Termodifikasi. *Jurnal*

- Rekayasa Proses*, 13(1), 16.
- Mirwan, M., & Irianto, N. A. (2021). Efektifitas Tanaman *Hydrilla Verticillata*, Rumput Gajah, Eceng Gondok dalam Pembuatan Biogas dengan Bahan Dasar Kotoran Sapi. *EnviroUS*, 2(1), 48–55.
- Praptiwi, R. D. & Mirwan, M. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik Pasar Tradisional Dengan Penambahan Kotoran Sapi Dan Kotoran Ayam Sebagai Bahan Energi Alternatif Biogas. *EnviroUS*, 1(2), 26–31.
- Redjeki, S., Triana, N. W., Iriani, & Utami, I. (2013). Alternative Energy Biogas from Chocolate Rind. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 95–100.
- Rohim, I. M. (2020). *Teknologi Tepat Guna Pengolahan Limbah*. CV. Penerbit Qiara Media.
- Sadi, T. Al, Dominik, R., Prassl, H., & Köttner, M. (2008). *Biogas*. University of Southern Denmark Esbjerg.
- Wahyuni, S. (2017). *Biogas : Hemat Energi Pengganti Listrik, BBM, Dan Gas Rumah Tangga*. AgroMedia.
- Wardana, L. A., Lukman, N., Mukmin, M., Sahbandi, M., Bakti, M. S., Amalia, D. W., Wulandari, N. P. A., Sari, D. A., & Nababan, C. S. (2021). Pemanfaatan Limbah Organik (Kotoran Sapi) Menjadi Biogas dan Pupuk Kompos. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(1).
- Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860.
- Widyastuti, S., & Suyantara, Y. (2017). Penambah an Sampah Sayuran Pada Fermentasi Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Starter Em4. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 15(1), 36–42.
- Yahya, Y., Tamrin, T., & Triyono, S. (2018). Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, dan Rumput Gajah Mini (*Pennisetum Purpureum cv. Mott*) dengan Sistem *Batch*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 6(3), 151.
- Zulkarnaen, I. ., Tira, H. ., & Padang, Y. . (2016). Pengaruh Rasio Karbon Dan Nitrogen (C / N Ratio) Pada Kotoran Sapi Terhadap Produksi Biogas Dari Proses Anaerob. *Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram*, 1(1), 1–16.