



Optimasi Fermentasi *Anaerob* pada Produksi Biogas dari Eceng Gondok dan Kotoran Sapi dengan *Response Surface Methodology*

Optimization of Anaerobic Fermentation in Biogas Production from Water Hyacinth and Cow Dung with Response Surface Methodology

Ahmad Musonnifin Aziz*

*Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia 61218

*Corresponding Author: musonnifnaziz@unusida.ac.id

Received: 2nd October 2024; Revised: 21st December 2024; Accepted: 10th January 2025

ABSTRAK

Biogas merupakan gas alami yang dibuat oleh bakteri anaerob dari pemrosesan bahan organik dan digunakan dalam produksi energi. Penggunaan biogas adalah teknologi hijau yang menguntungkan lingkungan. Teknologi biogas memudahkan penggunaan limbah hewan dan tanaman seperti kotoran sapi dan tanaman eceng gondok. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi biogas untuk mencapai volume biogas yang optimal. Biogas diproduksi dengan Fermentasi Anaerob selama 21 hari. *Response Surface Methodology* (RSM) dengan matriks *Central Composite Design* (CCD) digunakan untuk optimasi ini. Optimasi dilakukan menggunakan dengan matriks data volume biogas yang dihasilkan dimasukkan ke dalam Minitab untuk memperoleh titik optimum. Titik optimum ini selanjutnya divalidasi dengan menghitung nilai eror dari hasil optimasi. Biogas yang dioptimasi menghasilkan volume sebesar 344 mL dengan nilai eror sebesar 1,74% pada komposisi eceng gondok 0,6089 kg dan kotoran sapi 0,6860 kg.

Kata kunci: biogas, eceng gondok, Fermentasi Anaerob, kotoran sapi, *Response Surface Methodology*

ABSTRACT

Biogas is a natural gas produced by anaerobic bacteria from processing organic matter and used in energy production. The use of biogas is a green technology that is beneficial to the environment. Biogas technology facilitates the use of animal and plant waste such as cow dung and water hyacinth plants. This study aims to optimize biogas production to achieve optimal biogas volume. Anaerobic Fermentation produces biogas for 21 days. *Response Surface Methodology* (RSM) with a *Central Composite Design* (CCD) matrix is used for this optimization. To find the ideal location, the biogas volume data is entered into Minitab. The error value from the optimization results is then computed to verify this optimum location. The optimized biogas produces a volume of 344 mL with an error value of 1.74% at a composition of 0.6089 kg of water hyacinth and 0.6860 kg of cow dung.

Keywords: biogas, water hyacinth, Anaerobic Fermentation, cow dung, *Response Surface Methodology*

Copyright © 2025 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Aziz, A. M. Ahmad Musonnifin Aziz: Optimasi Fermentasi Anaerob pada Produksi Biogas dari Eceng Gondok dan Kotoran Sapi dengan *Response Surface Methodology*. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 9(1).

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v9i1.44185



PENDAHULUAN

Proses fermentasi dapat dengan mudah menguraikan senyawa organik dari hewan, tanaman, dan manusia, menghasilkan biogas, yang merupakan jenis limbah organik (Soeprijanto, 2017). Gas yang dihasilkan dari aktivitas fermentasi bahan organik disebut biogas. Setelah mengalami proses anaerob, gas ini digunakan sebagai bahan bakar (Asiva Noor Rachmayani, 2015).

Biogas, gas yang diproduksi oleh mikroorganisme selama proses penguraian bahan organik dalam keadaan anaerob, digunakan sebagai sumber energi memasak, sumber energi penerangan, dan sumber pupuk organik siap pakai (Hudakorn & Sritrakul, 2020). Sumber energi terbarukan alternatif ini dapat mencukupi kebutuhan energi kita (Putri et al., 2019). Biogas bersumber dari substrat bahan organik atau sisa jasad renik, baik yang masih segar ataupun yang sudah mengalami dekomposisi, yang membuatnya ramah lingkungan dan dapat diperbarui (Fitri & Dhaniswara, 2018). Ini adalah salah satu keuntungan biogas daripada bahan bakar fosil (B.Satata, 2016).

Masyarakat pedesaan yang mempunyai peternakan, baik kelompok maupun individu, dapat memenuhi kebutuhan energi mereka sehari-hari secara mandiri dengan teknologi biogas (Sunaryo et al., 2023). Ini adalah salah satu upaya untuk mengurangi laju pemakaian energi fosil (Wardana et al., 2021). Bahan organik padat atau cair dapat menjadi sumber gas metana karena bahan organik banyak mengandung selulosa, seperti yang ditemukan pada tanaman eceng gondok (Dhaniswara et al., 2022).

Meskipun sangat cepat tumbuh, eceng gondok sering dianggap oleh masyarakat sebagai pengganggu dan sumber penyakit karena jarang dimanfaatkan (Yulistiani et al., 2017). Sebaliknya, eceng gondok berguna karena dapat menyerap dan menghilangkan polutan logam berat dalam air (Tangio, 2019). Di sisi lain, eceng gondok menghasilkan banyak amilum dan selulosa, yang membantu dalam pembuatan biogas (Agustine et al., 2023). Disatu sisi, banyak

orang tidak menyadari manfaat penggunaan kotoran sapi sebagai sumber energi ramah lingkungan dan mengurangi pencemaran (Trianto & Ardiatma, 2022). Akibatnya, pemanfaatan kotoran sapi belum sepenuhnya digunakan. Kotoran sapi memiliki tingkat metana (CH_4) yang tinggi (Shitophyta et al., 2022). Jadi, kotoran sapi dapat digunakan untuk membuat biogas (Roni, 2020).

Bahan baku yang digunakan menentukan komposisi biogas (Novia et al., 2024). Beberapa faktor, termasuk temperatur, keasaman (pH), nutrisi, keracunan, dan hambatan, serta kelarutan gas, memengaruhi proses pengolahan biogas (Dhaniswara & Fitri, 2017). Gas metan bisa mencapai 70% dari bahan baku tumbuh-tumbuhan seperti eceng gondok, jerami, dan batang padi (Nawir et al., 2018). Dalam penelitian ini, komposisi eceng gondok dan kotoran sapi akan digunakan pada titik tertentu dengan aplikasi minitab (Irawan et al., 2020). *Response Surface Methodology* (RSM) berfungsi dalam mengoptimalkan produksi biogas melalui fermentasi anaerob (Gopal et al., 2021).

Response Surface Methodology (RSM) adalah metode statistika yang bermanfaat untuk membangun, meningkatkan dan mengoptimalkan proses di mana beberapa faktor memengaruhi respons (variabel bebas) (Iweka et al., 2021). RSM dapat berfungsi untuk menyelidiki dan menyeleksi komposisi biogas terbaik. Dalam pengolahan biogas, optimalisasi proses sangat penting dilakukan karena dapat berdampak pada biaya produksi serta kualitas gas yang dihasilkan. Diharapkan metode RSM ini dapat membantu peneliti menemukan kondisi operasi yang ideal untuk mendapatkan produk biogas yang optimum (Ingabire et al., 2023).

BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah balon, botol kaca, timbangan, ember, katup pengatur gas, dan selang plastik berukuran satu inci. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, eceng gondok, dan kotoran sapi.

Penelitian ini menggunakan metode seperti yang meliputi:



1. Rancangan Desain Eksperimental dan Optimasi

Penelitian ini didasarkan untuk menghasilkan volume biogas optimum dari campuran eceng gondok dan kotoran sapi dengan diawali pembuatan desain eksperimental dan optimasi. Perangkat lunak Design Expert 14 yang berisi *Central Composite Design* (CCD), *Analysis of Variance* (ANOVA), dan *Response surface Methodology* (RSM) digunakan untuk optimasi. CCD digunakan untuk menentukan tingkat input variabel dan menetapkan jumlah optimum percobaan, ANOVA digunakan untuk analisis koefisien regresi dan persamaan prediksi, dan untuk menunjukkan bagaimana variabel berinteraksi dan RSM digunakan untuk memeriksa hubungan atau interaksi antara variabel dan respon dan untuk memperkirakan luas permukaan optimum dari nilai-nilai optimum respon (Ingabire et al., 2023).

Tabel 1. Penentuan Desain Eksperimen CCD

Variabel Bebas	Satuan	Range dan Level		
		-1	0	1
X1 (Eceng Gondok)	Kg	0,25	0,625	1
X2 (Kotoran Sapi)	Kg	0,25	0,625	1

Terdapat dua variabel bebas dalam percobaan fermentasi anaerobik biogas, yaitu X1 yang merepresentasikan eceng gondok dalam kg, dan X2 yang merepresentasikan kotoran sapi dalam kg, sehingga nilai alpha (α) ditetapkan sebesar 1. Alpha adalah jarak setiap titik aksial (star point) dari titik pusat dalam desain komposit pusat. Tiga level (-1, 0, +1) digunakan pada setiap parameter untuk mendapatkan permukaan respons untuk setiap variabel signifikan dan nilai optimal. Variabel dan levelnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Matriks Eksperimen RSM

Run	Variabel	
	X1 (Eceng Gondok)	X2 (Kotoran Sapi)
1	0,25	0,25
2	1	0,25
3	1	1
4	0,625	0,625
5	0,625	0,625
6	0,625	0,625
7	0,25	1
8	0,625	0,625
9	0,625	1,15533
10	0,625	0,09467
11	0,625	0,625
12	0,09467	0,625
13	1,15533	0,625
14	0,625	0,625

2. Fermentasi Anaerob

Dalam ember, eceng gondok yang telah dicacah dan kotoran sapi (sesuai dengan komposisi pada minitab) dicampur dengan air sebanyak 200 mL. Campuran dimasukkan ke dalam botol kaca, dan keran dipasang di mulut botol untuk mengontrol gas.



Gambar 1. Reaktor Biogas Sederhana

Selang plastik digunakan untuk menghubungkan keran, dan balon ditutup di ujung selang plastik. Dari hari pertama hingga delapan, gas di bak penampung dibuang karena gas CO₂ terbentuk. Setelah itu campuran diendapkan lagi selama 21 hari. Setelah itu, gas metan yang dihasilkan dari hasil fermentasi yang terperangkap di dalam balon disimpan untuk pengukuran volume (Fitri & Dhaniswara, 2018).

Pada penelitian ini volume gas yang dihasilkan diukur menggunakan meteran gulung dengan asumsi sama dengan volume bola. Menggunakan rumus: $V = 4/3 \times \pi \times r^3$.



Dimana:

V = Volume balon/gas dalam balon (cm^3)

π = Koefisien dengan nilai 3,14

r = jari-jari lingkaran (cm)

3. Validasi Data

Pada *Central Composite Design* dengan 2 faktor terdapat 14 titik yang harus dilakukan eksperimen. Biogas yang sudah didapat dilakukan pengukuran volumenya dimasukkan ke minitab. Selanjutnya minitab akan memberikan berbagai macam bentuk analisis, sehingga kita bisa menilai titik mana yang merupakan titik terbaik dan optimum. Dan selanjutnya divalidasi untuk mengetahui nilai eror dari Biogas Optimum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

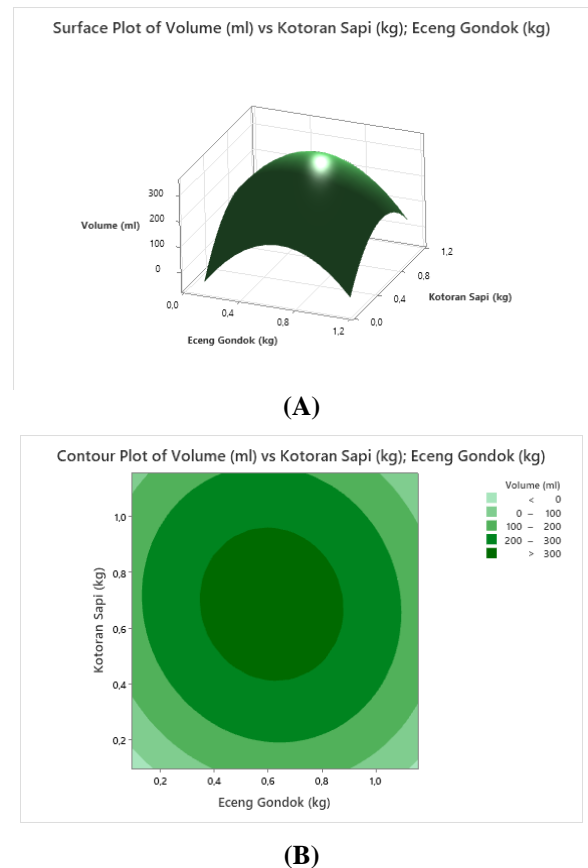
Selanjutnya, penelitian dilakukan terhadap kombinasi rancangan percobaan yang diperoleh dari CCD, yang mencakup 14 sampel. Hasil penelitian didasarkan pada tabel rancangan CCD, yang menunjukkan kombinasi perlakuan optimasi dan data respons, yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Respon Volume Biogas dari Rancangan Desain CCD

StdOr der	RunOr der	Pt Type	Blocks	Eceng Gondok (kg)	Kotoran Sapi (kg)	Volume (ml)
1	1	1	1	0,25000	0,25000	53
2	2	1	1	1,00000	0,25000	96
4	3	1	1	1,00000	1,00000	190
6	4	0	1	0,62500	0,62500	333
5	5	0	1	0,62500	0,62500	336
7	6	0	1	0,62500	0,62500	335
3	7	1	1	0,25000	1,00000	189
12	8	0	2	0,62500	0,62500	341
11	9	-1	2	0,62500	1,15533	210
10	10	-1	2	0,62500	0,09467	220
14	11	0	2	0,62500	0,62500	359
8	12	-1	2	0,09467	0,62500	230
9	13	-1	2	1,15533	0,62500	179
13	14	0	2	0,62500	0,62500	348

Berdasarkan Tabel 3 terlihat hasil optimasi dengan respon volume biogas dari rancangan CCD. Biogas dengan komposisi eceng gondong 0,25 kg dan kotoran sapi 0,25 kg menghasilkan volume biogas terkecil yaitu sebesar 53 mL. Sedangkan volume biogas terbesar terjadi pada komposisi eceng gondok 0,625 kg dan

kotoran sapi 0,625 kg yaitu dengan volume biogas sebesar 359 mL. Komposisi eceng gondok dan kotoran sapi berpengaruh nyata terhadap volume biogas yang dihasilkan. Dari Tabel 3 terlihat bahwa volume maksimum terdapat pada komposisi eceng gondok 0,625 kg dan kotoran sapi 0,625 kg yang ditandai dengan kenaikan volume biogas.



Gambar 2. (A) *Surface Plot* dan (b) *Countour Plot* Desain CCD

Table 4. Analisis Variansi (ANOVA)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	115878	19313,0	10,63	0,003
Blocks	1	9002	9001,8	4,96	0,061
Linear	2	5923	2961,6	1,63	0,262
Eceng Gondok (kg)	1	99	98,9	0,05	0,822
Kotoran Sapi (Kg)	1	5824	5824,3	3,21	0,116
Square	2	100512	50255,9	27,66	0,000
Eceng Gondok (kg)*Eceng Gondok (kg)	1	57430	57430,4	31,61	0,001
Kotoran Sapi	1	50796	50796,0	27,96	0,001



(kg)*Kotoran Sapi (kg)					
2-Way	1	441	441,0	0,24	0,637
Interaction					
Eceng Gondok	1	441	441,0	0,24	0,637
(kg)*Kotoran Sapi (kg)					
Error	7	12717	1816,7		
Lack-of-Fit	3	12547	4182,4	98,80	0,000
Pure Error	4	169	42,3		
Total	13	128594			

Tabel 4 menjelaskan pengaruh komposisi eceng gondok dan kotoran sapi pada model Desain CCD. Suatu desain dianggap signifikan jika Nilai-P nya adalah < 0,05. Nilai Probabilitas (Nilai-P) dapat diartikan sebagai tingkat probabilitas yang diamati dari uji statistik Eceng Gondok (kg)*Eceng Gondok (kg), dan Kotoran Sapi (kg)*Kotoran Sapi (kg), merupakan parameter penting.

Berdasarkan Tabel 4 persamaan yang dihasilkan untuk optimasi ini adalah:

$$Y1 = -201,6 + 821 X1 + 856 X2 - 627 X1*X1 - 590 X2*X2 - 75 X1*X2$$

Table 5. Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
42,6223	90.11%	81,63%	7,73%

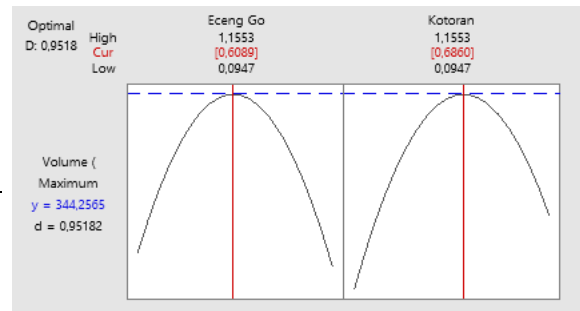
Nilai R-kuadrat (0,9011) menunjukkan hubungan yang baik antara nilai eksperimen dan nilai prediksi respons. Nilai R-kuadrat yang tinggi mendekati 100% menunjukkan bahwa data yang dianalisis melalui *Response Surface Methodology* (RSM) mendekati nilai sebenarnya, yang berarti data eksperimen konsisten.

Tabel 6. Hasil Validasi Data Optimasi

Eceng Gondo k (kg)	Kotoran Sapi (kg)	Volume Biogas (mL)				Error (%)
		V ₁	V ₂	V _{rata} 2	V _{maksi} mum	
0,6089	0,6860	340	336	338	344	1,74 %

Pada Desain Optimasi CCD ini didapatkan volume biogas dengan kondisi optimal pada komposisi eceng gondok 0,6089 kg dan kotoran sapi 0,6860 kg,

sehingga menghasilkan volume biogas 344 mL. Setelah memperoleh hasil optimal, langkah selanjutnya adalah memvalidasi hasil optimasi.



Gambar 3. Optimasi Respon untuk Volume Biogas (mL)

Data tersebut diuji ulang antara data teoritis dari hasil optimasi dengan data eksperimen, dan hasil yang diperoleh seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 6. Persentase kesalahan yang diperoleh adalah 1,74% yang lebih kecil dari batas kesalahan replikasi eksperimen sebesar 5%. Dapat disimpulkan bahwa titik optimum dari *Response Surface Methodology* (RSM) yang diperoleh akurat.

KESIMPULAN

Optimasi komposisi eceng gondok dan kotoran sapi menggunakan fermentasi anaerob dilakukan dengan melakukan 14 kali percobaan dan kemudian melakukan optimasi dengan *Response Surface Methodology* (RSM) dan matriks CCD. Hasil optimasi menunjukkan bahwa komposisi eceng gondok 0,6089 kg dan kotoran sapi 0,6860 kg merupakan kondisi optimum untuk produksi biogas. Hal ini didukung oleh hasil validasi dengan nilai eror 1,74% dan diperoleh volume biogas rata-rata 338 mL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti berterimakasih kepada Laboratorium Teknik Kimia Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo yang telah memberikan dukungan baik finansial maupun emosional, terimakasih juga kepada Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, Universitas Pamulang yang telah mempublikasikan penelitian kami.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, D., Amyranti, M., & Indriani, I. (2023). Penerapan Teknologi Biogas Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dan Limbah Organik Sebagai Upaya Mengatasi Pencemaran Lingkungan. *Prosiding TAU SNARS-TEK Seminar Nasional Rekayasa Dan Teknologi*, 2(1), 58–64. <https://doi.org/10.47970/snarstek.v2i1.503>
- Asiva Noor Rachmayani. (2015). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析* Title. 6.
- B.Satata, S. y. S. S. Z. (2016). Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas. *Jurnal Udayana Mengabdikan*, 15(2), 150–158.
- Dhaniswara, T. K., & Fitri, M. A. (2017). Pengaruh Perlakuan Awal Sampah Organik Terhadap Produksi Biogas Secara Anaerobic Digestion. *Journal of Research and Technology*, 3(2), 23–31. <https://doi.org/10.55732/jrt.v3i2.231>
- Dhaniswara, T. K., Rahkadima, Y. T., Fitri, M. A., Azizah, Z., Aziz, A. M., & Ulumuddin, I. (2022). The Effect of Pre-treatment of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the Use of Cow Dung on Biogas Production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1097(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1097/1/012068>
- Fitri, M. A., & Dhaniswara, T. K. (2018). Pemanfaatan Kotoran Sapi Dan Sampah Sayur Pada Pembuatan Biogas Dengan Fermentasi Sampah Sayuran. *Journal of Research and Technology*, 4(1), 47–54. <https://doi.org/10.55732/jrt.v4i1.233>
- Gopal, L. C., Govindarajan, M., Kavipriya, M. R., Mahboob, S., Al-Ghanim, K. A., Virik, P., Ahmed, Z., Al-Mulhm, N., Senthilkumaran, V., & Shankar, V. (2021). Optimization strategies for improved biogas production by recycling waste through response surface methodology and artificial neural network: Sustainable energy perspective research. *Journal of King Saud University - Science*, 33(1), 101241. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101241>
- Hudakorn, T., & Sritrakul, N. (2020). Biogas and biomass pellet production from water hyacinth. *Energy Reports*, 6, 532–538. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.115>
- Ingabire, H., M'arimi, M. M., Kiriamiti, K. H., & Ntambara, B. (2023). Optimization of biogas production from anaerobic co-digestion of fish waste and water hyacinth. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02360-w>
- Irawan, D., Ridhuan, K., Juliyanto, J., & Saputra, D. (2020). Pemanfaatan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Rumah Tangga Di Desa Astomulyo Kecamatan Punggur Kabupaten Lampung Tengah. *Jurnal Pusat Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 7–16.
- Iweka, S. C., Owuama, K. C., Chukwuneke, J. L., & Falowo, O. A. (2021). Optimization of biogas yield from anaerobic co-digestion of corn-chaff and cow dung digestate: RSM and python approach. *Heliyon*, 7(11), e08255. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08255>
- Nawir, H., Djalal, M. R., & Apollo, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Eceng Gondok Sebagai Energi Biogas Dengan Menggunakan Digester. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 2(2), 56–63. <https://doi.org/10.21070/jeee-u.v2i2.1582>
- Novia, N., Melwita, E., Bahrin, D., Jannah, A. M., Aji, D. B., Aulia, Y., Fadilla, H., & Ripaldi, A. (2024). *Aplikasi Teknologi Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Bagi Warga Desa Seridalam Kecamatan Tanjung Raja, Kabupaten Ogan Ilir*.



- 6(2), 50–58.
- Putri, R. E., Andasuryani, A., & Pratiwi, I. (2019). Studi Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas di Nagari Aie Tajun Kecamatan Lubuk Alung Kabupaten Padang Pariaman. *Dampak*, 16(1), 26. <https://doi.org/10.25077/dampak.16.1.26-30.2019>
- Roni, K. A. (2020). Pemanfaatan Limbah Campuran Eceng Gondok Dan Kotoran Sapi Dengan Proses Hidrolisis Asam Sulfat Dalam Pembuatan Biogas. *Jurnal Tekno*, 17(2), 59–65. <https://doi.org/10.33557/jteknov17i2.772>
- Shitophyta, L. M., Darmawan, M. H., & Rusfidiantoni, Y. (2022). Produksi Biogas dari Kotoran Sapi dengan Biodigester Kontinyu dan Batch: Review. *Journal of Chemical Process Engineering*, 7(2), 85–90. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v7i2.903>
- Soeprijanto, S. (2017). Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi Menggunakan Biodigester di Desa Jumput Kabupaten Bojonegoro. *Sewagati*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v1i1.2984>
- Sunaryo, M., Zahra, J. S., Rosyadah, A., Ramadhani, H. K., Hikmiah, S., Apriyanti, A. A., Thoba, M. N. D., Saputra, N. I., Taqiyyaa, N. K., Wibisono, F., Tiway, M. F. H., Putra, K. D. C. S., Sunnaryani, R. P., & Wasillah, F. (2023). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Terhadap Pembuatan Biogas dan Pupuk Organik di Desa Madureso, Mojokerto. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)*, 4(2), 711–720.
- Tangio, J. (2019). Pemanfaatan Biomassa Eceng Gondok Dari Danau Limboto Sebagai Penghasil Biogas. *Jambura Journal of Chemistry*, 1(1), 27–33. <https://doi.org/10.34312/jambchem.v1i1.2105>
- Trianto, H., & Ardiatma, D. (2022). Pengolahan Kotoran Sapi sebagai Bahan Pembuatan Biogas di Kandang Komunal Dusun Sukunan Kelurahan Banyuranden Kecamatan Gamping Sleman Yogyakarta. *Sains Dan Teknologi*, 1(1), 490–499.
- 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). <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v4i1.615>
- Yulistiani, F., Permanasari, A. R., Ridwan, I., Nurhasanah, A., & Warda, S. (2017). Analisis Pengaruh Pre-treatment Eceng Gondok sebagai Bahan Baku Pembuatan biogas. *8th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 8, 35–41.