

**Potensi Energi Terbarukan dari Limbah Sapi dan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) di Kutai Timur**

**Renewable Energy Potential from Cow Waste and Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in East Kutai**

**Benny Kurniawan<sup>1a</sup>, Amprin<sup>1</sup>, Leni Marlina<sup>1</sup>, Dhani Aryanto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertanian Sekolah Tinggi pertanian Kutai Timur, Jl Soekarno Hatta, Sangatta Utara, Kab Kutai Timur. 75683

<sup>a</sup>Korespondensi : Benny Kurniawan, E-mail: bennykurniawan@stiperkutim.ac.id

Diterima: 26-Juni-2025 , Disetujui: 4-Juli-2025

***ABSTRACT***

*This study aims to analyze the potential of biogas production from a mixture of cow dung and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as an alternative energy solution in East Kutai. The research applied an experimental method with four substrate composition treatments: P1 (85% cow dung : 15% water hyacinth), P2 (75%:25%), P3 (60%:40%), and P4 (100% cow dung). Each treatment was fermented for 20 days using laboratory-scale bioreactors, with daily monitoring of gas pressure and internal temperature. The results showed that P1 generated the highest biogas pressure (2.4 kPa), while increasing the proportion of water hyacinth reduced production efficiency. Fermentation temperatures remained stable within the mesophilic range (35–38°C), indicating ideal conditions for methanogenic microbes. MANOVA analysis confirmed that substrate composition significantly affected both pressure and temperature ( $p < 0.05$ ). This study demonstrates that co-digestion of livestock and aquatic biomass waste can be an effective strategy for renewable energy production and organic waste management. The findings are applicable for the development of local-scale biogas technology in biomass-rich areas.*

**Keywords:** Anaerobic Fermentation, Biogas, Cow dung, Renewable energy, Water hyacinth

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi produksi biogas dari campuran kotoran sapi dan enceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai solusi energi alternatif di Kutai Timur. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan empat perlakuan komposisi substrat, yaitu P1 (85% feses sapi : 15% enceng gondok), P2 (75%:25%), P3 (60%:40%), dan P4 (100% feses sapi). Masing-masing perlakuan difermentasi selama 20 hari menggunakan biodigester skala laboratorium dan diukur tekanan serta suhu fermentasinya setiap hari. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan P1 menghasilkan tekanan biogas tertinggi (2,4 kPa), sedangkan peningkatan proporsi enceng gondok cenderung menurunkan efisiensi produksi. Suhu fermentasi stabil pada kisaran mesofilik (35–38°C), menunjukkan kondisi optimal bagi mikroorganisme metanogenik. Uji MANOVA menunjukkan bahwa variasi komposisi substrat berpengaruh signifikan terhadap tekanan dan suhu fermentasi ( $p < 0,05$ ). Penelitian ini menunjukkan bahwa ko-digesti limbah ternak dan enceng gondok dapat menjadi strategi efisien dalam menghasilkan energi terbarukan, sekaligus sebagai solusi pengelolaan limbah organik. Hasil ini relevan bagi pengembangan teknologi biogas skala lokal dan dapat diterapkan pada wilayah dengan potensi biomassa melimpah.

**Kata kunci:** Biogas, Enceng gondok, Energi terbarukan, Fermentasi anaerobik, Kotoran sapi

---

Kurniawan, B., Amprin., L. Marlana., D. Aryanto. Potensi Energi Terbarukan dari Limbah Sapi dan Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) di Kutai Timur. *Jurnal Green House*, 4(11), 32-39.

DOI: <https://doi.org/10.63296/jgh.v4i1.53>

---

## PENDAHULUAN

Di Indonesia, ketergantungan terhadap gas elpiji sebagai sumber energi utama masih sangat tinggi, terutama di sektor rumah tangga dan industri kecil. Elpiji menjadi bahan bakar yang paling banyak digunakan untuk memasak karena dinilai praktis dan mudah diakses. Namun, kenyataannya, distribusi gas elpiji di berbagai wilayah, khususnya di daerah-daerah terpencil dan pedesaan, masih menghadapi kendala serius. Keterlambatan pasokan dan ketidakmerataan distribusi menyebabkan kelangkaan yang memicu lonjakan harga di tingkat konsumen. Di Kutai Timur, kelangkaan gas elpiji subsidi pada tahun 2023 menjadi perhatian besar karena harga gas melon bersubsidi mencapai Rp 45.000 per tabung, jauh melebihi Harga Eceran Tertinggi (HET) yang ditetapkan sebesar Rp 22.500 (Diskominfo kutim, 2024). Kondisi ini menimbulkan tekanan ekonomi yang signifikan, terutama bagi masyarakat berpenghasilan rendah yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap elpiji untuk kebutuhan energi sehari-hari.

Permasalahan energi ini diperparah oleh keterbatasan akses infrastruktur energi di wilayah pedesaan, yang menyebabkan beban pengeluaran rumah tangga semakin berat. Padahal, Indonesia memiliki potensi biomassa lokal yang sangat besar namun belum dimanfaatkan secara optimal. Kotoran ternak yang melimpah di wilayah peternakan dan limbah perairan seperti enceng gondok sejauh ini lebih banyak menjadi masalah lingkungan daripada sumber daya yang bermanfaat. Pengelolaan limbah peternakan yang tidak terkontrol menyebabkan pencemaran air dan udara, sementara pertumbuhan enceng gondok yang invasif mengancam kelangsungan ekosistem perairan (Wicaksono et al., 2024; Yunindanova et al., 2020).

Biogas muncul sebagai salah satu solusi yang menjanjikan untuk menjawab tantangan tersebut. Berbagai studi menunjukkan bahwa kotoran sapi memiliki potensi tinggi sebagai bahan baku produksi biogas dengan efisiensi konversi energi mencapai 35% (Putra & Seniari, 2024). Selain itu, enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), yang kaya akan kandungan selulosa dan hemiselulosa serta memiliki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang ideal, juga berpotensi besar untuk difermetasi secara anaerobik menjadi biogas (Agustine et al., 2023). Penggabungan keduanya dalam skema ko-digesti dinilai mampu meningkatkan efisiensi produksi biogas sekaligus menjadi solusi atas dua permasalahan lingkungan yang berbeda (Saputra et al., 2023).

Kutai Timur memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan berbasis biogas, mengingat populasi sapi potong di daerah ini mencapai 22.082 ekor (BPS Kutai Timur, 2024), serta ketersediaan enceng gondok yang melimpah di perairan lokal. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi biogas dari campuran kotoran sapi dan enceng gondok melalui fermentasi anaerobik, serta menentukan komposisi campuran terbaik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan bagi kebijakan energi lokal dan pengembangan teknologi biodigester skala kecil yang berkelanjutan di tingkat masyarakat.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sumber Daya Lahan dan Air, Program Studi Teknik Pertanian, Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan rancangan perlakuan berupa variasi komposisi antara feses sapi dan enceng gondok segar, dengan 4 perlakuan yaitu P1 (85% feses sapi : 15% enceng gondok), P2 (75% feses sapi : 25% enceng gondok), P3 (60% feses sapi : 40% enceng gondok), dan P4 (100% feses sapi : 0% enceng gondok). Masing-masing perlakuan ditambahkan 2 mL probiotik dan diaduk hingga homogen sebelum dimasukkan ke dalam digester sebanyak 80% dari volume totalnya. Digester yang digunakan dilengkapi dengan manometer Bourdon untuk pengukuran tekanan dan sensor suhu untuk mencatat fluktuasi temperatur selama proses fermentasi.

Data primer yang dikumpulkan adalah tekanan gas (dalam kPa) dan suhu dalam digester (°C), yang dicatat setiap hari selama 20 hari. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) melalui perangkat lunak SPSS versi 15. Uji statistik

ini digunakan untuk mengetahui pengaruh signifikan dari komposisi bahan baku terhadap tekanan dan temperatur di dalam digester.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Potensi Bahan Baku

Kabupaten Kutai Timur memiliki populasi sapi potong sebanyak 22.082 ekor, tersebar di berbagai kecamatan, dengan jumlah tertinggi di Kongbeng (3.022), Sangatta Utara (2.525), dan Kaubun (2.248) (BPS Kutai Timur, 2024). Tingginya populasi ini menunjukkan potensi besar dalam pengembangan biogas berbasis limbah ternak. Wilayah dengan populasi kecil seperti Busang dan Karanganyan tetap berpeluang melalui pendekatan komunal. Distribusi ini penting sebagai dasar perencanaan teknologi biogas, termasuk penentuan lokasi, skala biodigester, dan strategi pemanfaatan energi terbarukan yang mendukung kemandirian energi dan pengelolaan limbah berkelanjutan. Menurut (Wawrzyniak et al., 2022), potensi pengembangan biogas sangat besar dengan asumsi setiap sapi menghasilkan 0,05ton kotoran per hari dan setiap ton kotoran mampu menghasilkan sekitar 60 m<sup>3</sup> biogas maka biogas tahunan mencapai sekitar 24,17 juta m<sup>3</sup>. Jika kandungan metana sebesar 60%, maka volume energi yang dihasilkan cukup untuk mendukung kebutuhan energi rumah tangga dan pertanian lokal.

Enceng gondok memiliki potensi besar sebagai bahan baku produksi biogas di Kabupaten Kutai Timur, terutama karena kelimpahannya di perairan lokal. Sebagai tanaman air invasif, enceng gondok tumbuh cepat dan sering menimbulkan masalah lingkungan, seperti menyumbat aliran sungai dan mengganggu ekosistem. Namun, kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi menjadikannya substrat yang ideal untuk fermentasi anaerobik dalam produksi biogas (Agustine et al., 2023; Riyanti, 2015). Konversi tanaman ini menjadi biogas tidak hanya menawarkan solusi pengelolaan limbah tetapi juga menyediakan sumber energi terbarukan yang terjangkau. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan digester sederhana dari drum plastik cukup efektif untuk skala rumah tangga dan efisiensinya meningkat dengan penambahan kotoran sapi yang memperbaiki rasio C/N (Aliah & Wirawan, 2022; Rahim et al., 2023). Pra perlakuan pada enceng gondok menghasilkan biogas kumulatif sebanyak 2553 ml dan kontrol sebanyak 2506 ml dengan waktu fermentasi 30 hari. *Hydraulic Retention Time* dilakukan setiap 7 hari (Atidhira et al., 2018).

Hasil pengamatan tekanan dan suhu pada pembuatan biogas dari campuran kotoran sapi dan enceng gondok selama 20 hari ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil pengamatan suhu dan tekanan selama proses fermentasi

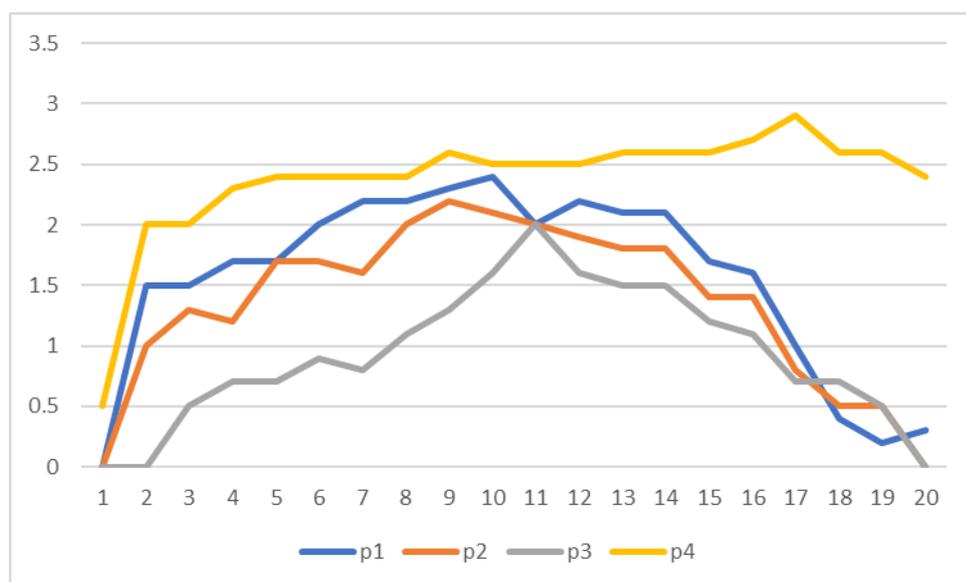
Hari	Suhu Luar (°C)	Tekanan (kPa)				Suhu (°C)			
		p1	p2	p3	p4	p1	p2	p3	p4
1	27.4	0	0	0	0.5	37.2	32.3	31.4	37.8
2	26.9	1.5	1.0	0	2.0	36.9	36	35.7	37.9
3	26.3	1.5	1.3	0.5	2.0	37.3	37.7	30.4	38.9
4	28.4	1.7	1.2	0.7	2.3	35.3	37.6	30.4	36.9
5	30.6	1.7	1.7	0.7	2.4	37.7	37.5	34.3	38.3
6	26.8	2.0	1.7	0.9	2.4	35.3	36.9	34.5	37.4
7	29.7	2.2	1.6	0.8	2.4	37.4	36.1	35	35.9
8	28.6	2.2	2.0	1.1	2.4	37.9	35.8	35.8	37.0
9	30.4	2.3	2.2	1.3	2.6	36.0	37.5	36.1	38.4
10	30.5	2.4	2.1	1.6	2.5	38.9	35.5	33.5	36.6
11	30.0	2.0	2.0	2.0	2.5	35.3	35.4	35.1	36.2
12	29.6	2.2	1.9	1.6	2.5	38.1	35.1	36.1	38.9
13	28.9	2.1	1.8	1.5	2.6	35.1	37.7	36.1	38.7

14	29.9	2.1	1.8	1.5	2.6	37.2	37.9	36.3	36.9
15	29.6	1.7	1.4	1.2	2.6	37.7	37.3	30.2	37.4
16	29.7	1.6	1.4	1.1	2.7	36.3	37.1	36.1	38.0
17	29.9	1.0	0.8	0.7	2.9	37.6	37.5	36.1	40.2
18	28.9	0.4	0.5	0.7	2.6	36.5	38.7	36.1	35.5
19	30.4	0.2	0.5	0.5	2.6	37.1	36.6	32.0	35.1
20	30.3	0.3	0	0	2.4	37.6	38	31.4	35.9

(Sumber: data primer, 2024)

Berdasarkan data observasi tekanan biogas dan suhu dalam digester, terlihat bahwa tekanan maksimum terjadi pada P4 (substrat murni sapi), mencapai 2,9 kPa pada hari ke-17, sementara perlakuan campuran (P1–P3) menunjukkan tekanan puncak 1,8–2,2 kPa. Setelah periode ini, tekanan cenderung menurun, menunjukkan bahwa fase aktif fermentasi metana telah lewat. Suhu dalam digester relatif stabil antara 35–38 °C, menunjukkan kondisi mesofilik yang ideal untuk aktivitas mikroba metanogenik. Menurut Agustine et al (2023) dan Dhaniswara et al (2022) campuran kotoran sapi dan enceng gondok memiliki pengaruh signifikan terhadap pembentukan biogas. Kotoran sapi sebagai biostarter mengandung mikroorganisme yang mempercepat fermentasi, sedangkan enceng gondok mengandung selulosa dan hemiselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi glukosa, sumber energi bagi bakteri penghasil metana dalam proses anaerobik (Agustine et al., 2023; Dhaniswara et al., 2022). Wembe et al., (2023), menambahkan pemanfaatan dapat memanfaatkan limbah organik lain, yang memperkaya komposisi nutrisi dan meningkatkan hasil biogas.

Parameter penting dalam fermentasi anaerobik adalah suhu dimana suhu pada kisaran 30-40 °C (mesofilik) dapat mengoptimalkan produksi biogas. Suhu optimal untuk fermentasi anaerobik yang menghasilkan biogas berkisar antara 30°C hingga 35°C (Rahim et al., 2023). Pada suhu ini, aktivasi mikroorganisme penghasil metana berlangsung efisien, menghasilkan volume biogas yang lebih tinggi. Semakin tinggi suhu di luar rentang optimum dapat menghambat metabolisme bakteri, sementara suhu rendah memperlambat proses fermentasi dan menurunkan hasil biogas (Atidhira et al., 2018). Lebih lanjut, suhu juga mempengaruhi pH dan kegunaan biostarter, seperti kotoran sapi, yang dapat meningkatkan laju produksi biogas ketika kondisi termal berada dalam rentang yang sesuai (Wembe et al., 2023).



Gambar 1. Grafik perubahan tekanan biogas selama proses fermentasi

Produksi biogas ditunjukkan dengan perubahan tekanan (Gambar 1). Perlakuan P4 (substrat murni feses sapi tanpa enceng gondok) menghasilkan tekanan biogas tertinggi dan paling stabil, dengan puncak tekanan mencapai 2,9 kPa pada hari ke-17. Tekanan pada P4 juga mulai tinggi sejak hari ke-2 dan relatif konstan hingga hari ke-18 sebelum mulai menurun. Sementara itu, P1 dan P2 menunjukkan pola tekanan yang meningkat secara bertahap hingga hari ke-10–11, dengan puncak masing-masing sekitar 2,2–2,4 kPa, kemudian menurun tajam setelah hari ke-13. Ini mengindikasikan bahwa pencampuran moderat antara feses sapi dan enceng gondok masih mendukung aktivitas mikroba metanogenik, meskipun tidak seoptimal P4. P3 yang memiliki proporsi enceng gondok paling tinggi memperlihatkan tekanan biogas paling rendah secara konsisten, dengan puncak hanya sekitar 1,6–1,8 kPa, lalu mengalami penurunan yang lebih cepat.

Penurunan tekanan pada proses fermentasi biogas dari kotoran sapi dan enceng gondok dapat disebabkan oleh adanya fluktuasi pH yang memengaruhi aktivitas mikroorganisme, terutama pada tahap metanogenesis. pH yang tidak stabil dapat mengganggu proses fermentasi anaerobik, sehingga mengurangi produksi gas dan menyebabkan penurunan tekanan (Iriani et al., 2017). Selain itu, akumulasi asam lemak volatil akibat dekomposisi bahan organik yang tidak seimbang juga dapat menyebabkan penurunan pH secara drastis, yang pada akhirnya menekan aktivitas bakteri metanogenik.

Kesesuaian rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) juga berperan penting. Rasio C/N yang tidak ideal dapat membatasi pertumbuhan mikroorganisme penghasil gas metana, sehingga berpotensi menyebabkan penurunan volume dan tekanan biogas. Rasio C/N yang terlalu tinggi akibat dominasi bahan berserat seperti enceng gondok menyebabkan proses dekomposisi menjadi lambat, sedangkan rasio yang terlalu rendah berisiko menyebabkan akumulasi amonia yang bersifat toksik bagi mikroba.

Penambahan ragi sebagai bahan tambahan dapat meningkatkan hasil biogas lebih baik dibandingkan menggunakan kotoran sapi saja, karena membantu mempercepat proses fermentasi awal dan menyediakan enzim tambahan untuk hidrolisis substrat. Selain itu, perubahan komposisi dan kualitas bahan baku, termasuk kandungan selulosa dan hemiselulosa dari enceng gondok, merupakan faktor lain yang memengaruhi tekanan produksi biogas (Nugroho, 2020; Siswanto & Susanto, 2018). Dengan demikian, keberhasilan proses produksi biogas sangat bergantung pada pengelolaan kondisi lingkungan fermentasi serta pemilihan dan perlakuan bahan baku yang tepat.

Hasil pengamatan suhu dan tekanan selanjutnya dianalisis menggunakan SPSS ver 15 untuk mengetahui pengaruh dari campuran kotoran sapi dan enceng gondok. Berikut hasil analisisnya (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil perhitungan MANOVA dengan SPSS ver 15

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Noncent. Parameter	Observed Power <sup>a</sup>
Corrected Model	Tekanan	22,391 <sup>b</sup>	3	7,464	18,642	,000	55,926	1,000
	T_Dalam	94,573 <sup>c</sup>	3	31,524	13,495	,000	40,486	1,000
Intercept	Tekanan	191,890	1	191,890	479,276	,000	479,276	1,000
	T_Dalam	106208,025	1	106208,025	45466,917	,000	45466,917	1,000
Perlakuan	Tekanan	22,391	3	7,464	18,642	,000	55,926	1,000
	T_Dalam	94,573	3	31,524	13,495	,000	40,486	1,000
Error	Tekanan	30,428	76	,400				
	T_Dalam	177,532	76	2,336				
Total	Tekanan	244,710	80					
	T_Dalam	106480,130	80					
Corrected Total	Tekanan	52,820	79					
	T_Dalam	272,105	79					

a. Computed using alpha = ,05

b. R Squared = ,424 (Adjusted R Squared = ,401)

c. R Squared = ,348 (Adjusted R Squared = ,322)

Hasil analisis MANOVA menunjukkan bahwa perlakuan variasi campuran antara feses sapi dan enceng gondok berpengaruh signifikan terhadap tekanan biogas dan suhu dalam digester. Hal

ini ditunjukkan oleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,000 untuk kedua variabel (tekanan dan suhu dalam), yang lebih kecil dari 0,05, sehingga hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak. Dengan kata lain, terdapat pengaruh nyata perlakuan terhadap variabel yang diamati. Nilai F yang tinggi (18,642 untuk tekanan dan 13,495 untuk suhu dalam) mengindikasikan bahwa perbedaan antar perlakuan cukup besar dibandingkan variasi dalam kelompok. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,424 untuk tekanan dan 0,348 untuk suhu menunjukkan bahwa perlakuan mampu menjelaskan masing-masing 42,4% dan 34,8% variasi yang terjadi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wang et al., (2024) yang menyatakan bahwa komposisi substrat dan suhu sangat mempengaruhi efisiensi produksi biogas dalam sistem fermentasi anaerobik mesofilik.

### KESIMPULAN

Kombinasi kotoran sapi dan enceng gondok berpengaruh signifikan terhadap tekanan dan suhu dalam proses fermentasi anaerobik untuk produksi biogas. Perlakuan P1 (85% kotoran sapi dan 15% enceng gondok) menghasilkan tekanan 2,4 kPa pada hari ke 10. Peningkatan proporsi enceng gondok menurunkan efisiensi produksi. Fermentasi mesofilik dengan rentang suhu optimal 30–40°C memberikan hasil yang terbaik dalam memproduksi biogas dan nutrisi substrat sangat diperlukan untuk meningkatkan hasil biogas.

### 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>
- Aliah, N., & Wirawan, A. R. (2022). Pemanfaatan Eceng Gondok Dalam Pembuatan Pupuk Di Puri Taman Sari Kec. Tamalate Kota Makassar. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Terbuka*, 1. <https://doi.org/10.33830/prosidingsenmaster.v1i1.94>
- Atidhira, Y., Noviansyah, A., & Taufany, F. (2018). Pengembangan Metode Pretreatment Melalui Proses Fisik dan Kimia untuk Optimasi Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Alternatif Energi Listrik – Biogas. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24604>
- BPS Kutai Timur. (2024). *Kabupaten Kutai Timur Dalam Angka 2023*. Badan Pusat Statistik Kab. Kutai Timur.
- 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), 012068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1097/1/012068>
- Diskominfo kutim. (2024). *Harga 'Gas Melon' di Sejumlah Warung di Sangatta Jauh Melebihi HET, Ini Kata Disperindag Kutim*. Sangattaku, Kutai Timur Dalam Berita. <https://www.sangattaku.com/2024/06/harga-gas-melon-di-sejumlah-warung-di-sangatta-jauh-melebihi-het-ini-kata-disperindag-kutim/>
- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap Dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v1i1.16>
- Nugroho, A. S. (2020). Upaya Meningkatkan Kapasitas Hasil Biogas dengan Penambahan Stater Ragi. *Infotekmesin*, 11(2), 119–124. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v11i2.242>

- Putra, I. K. P., & Seniari, N. M. (2024). Analisis Potensi Limbah Kotoran Sapi Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 18(3), 348–353. <https://doi.org/10.23960/elc.v18n3.2738>
- Rahim, M. Z. A., Djafar, R., Djamalu, Y., & Liputo, B. (2023). Studi Eksperimen Biodigester Menggunakan Kombinasi Eceng Gondok dan Kotoran Sapi. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 8(1), 34–38. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v8i1.1166>
- Riyanti, F. (2015). Pembuatan Instalasi untuk Biogas dari Enceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) yang Efisien untuk Lahan Kecil. *Jurnal Pengabdian Sriwijaya*, 3(1), 215–221. <https://doi.org/10.37061/jps.v3i1.2144>
- Saputra, N. T., Kalsum, L., & Junaidi, R. (2023). Pemurnian Biogas dari Co-Digestion Limbah Cair Industri Tahu dengan Kotoran Sapi Menggunakan Absorben MEA Pada Kolom Isian. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3). <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6490>
- Siswanto, J. E., & Susanto, A. (2018). Analisa Biogas Berbahan Baku Enceng Gondok dan Kotoran Sapi. *CHEMPUBLISH JOURNAL*, 3(1), 11–20. <https://doi.org/10.22437/chp.v3i1.4806>
- Wang, Z., He, H., Yan, J., Xu, Z., Yang, G., Wang, H., Zhao, Y., Cui, Z., & Yuan, X. (2024). Influence of temperature fluctuations on anaerobic digestion: Optimum performance is achieved at 45 °C. *Chemical Engineering Journal*, 492, 152331. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.152331>
- Wawrzyniak, A., Przybylak, A., Sujak, A., & Boniecki, P. (2022). Neural Modelling in the Exploration of the Biomethane Potential from Cattle Manure: A Case Study on Herds Structure from Wielkopolskie, Podlaskie, and Mazowieckie Voivodeships in Poland. *Sensors*, 23(1), 164. <https://doi.org/10.3390/s23010164>
- Wembe, D. B., Djomi, R., Konai, N., Nkadeu, G., & Ntamack, G. E. (2023). Experimental study of biogas production from water hyacinth. *Science and Technology for Energy Transition*, 78, 14. <https://doi.org/10.2516/stet/2023010>
- Wicaksono, H., Sofian, E. A., Huda, N., Pujiwat, R., & Pradhani, F. A. (2024). Peningkatan Kapasitas Masyarakat dalam Pengelolaan Limbah Kotoran Hewan di Desa Galih. *Jurnal Kreativitas Dan Inovasi (Jurnal Kreanova)*, 4(3), 79–85. <https://doi.org/10.24034/kreanova.v4i3.6857>
- Yunindanova, M. B., Supriyono, S., & Hertanto, B. S. (2020). Pengolahan Gulma Invasif Enceng Gondok Menjadi Pupuk Organik Layak Pasar Sebagai Solusi Masalah Rawa Pening. *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, 4(2), 78. <https://doi.org/10.20961/prima.v4i2.42053>