




---

**Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi sebagai Energi Biogas Terbarukan: Program Pemberdayaan bagi Warga Binaan di Lembaga Pemasyarakatan Kelas I Malang**

---

***Utilization of Cow Dung Waste as Renewable Biogas Energy: An Empowerment Program for Inmates at Class I Malang Penitentiary***

**Febiola Sabrina<sup>1\*</sup>, Fadhil Arifiyan Ekaputra<sup>2</sup>, Sigit Dwi Kurniawan<sup>3</sup>, Tasya Lifiana<sup>4</sup>, Randika Akbar Faariz Afandi<sup>5</sup>, Raihan Wahyu Pratama<sup>6</sup>, Tri Wahyu Hardaningrum<sup>7</sup>**

<sup>1-7</sup> Universitas Negeri Malang, Indonesia

[febiola.sabrina.2205317@students.um.ac.id](mailto:febiola.sabrina.2205317@students.um.ac.id)<sup>1\*</sup>, [fadhil.arifiyan.2205157@students.um.ac.id](mailto:fadhil.arifiyan.2205157@students.um.ac.id)<sup>2</sup>,  
[sigit.dwi.2205127@students.um.ac.id](mailto:sigit.dwi.2205127@students.um.ac.id)<sup>3</sup>, [tasya.lifiana.2206216@students.um.ac.id](mailto:tasya.lifiana.2206216@students.um.ac.id)<sup>4</sup>,  
[randika.akbar.2206216@students.um.ac.id](mailto:randika.akbar.2206216@students.um.ac.id)<sup>5</sup>, [raihan.wahyu.2205227@students.um.ac.id](mailto:raihan.wahyu.2205227@students.um.ac.id)<sup>6</sup>,  
[tri.wahyu.fe@um.ac.id](mailto:tri.wahyu.fe@um.ac.id)<sup>7</sup>

Alamat: Jl. Cakrawala No.5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

Korespondensi Penulis: [febiola.sabrina.2205317@students.um.ac.id](mailto:febiola.sabrina.2205317@students.um.ac.id)<sup>\*</sup>

---

**Article History:**

Received: Mei 31, 2025

Revised: Juni 14, 2025

Accepted: Juni 28, 2025

Published: Juni 30, 2025

**Keywords:** Alternative energy, Biogas, Cow dung

**Abstract:** The correctional facility SAE L'SIMA in Malang is confronted with two major challenges: the environmental impact of accumulated cow manure and the need to provide meaningful vocational training for inmates to support rehabilitation and reintegration. This community service program was designed to address both issues simultaneously through the introduction and application of biogas technology. The primary objective was to manage livestock waste as an alternative renewable energy source while equipping inmates with practical technical skills applicable beyond the correctional setting. The implementation method employed a participatory approach that involved several stages, including program socialization, site survey, biogas unit design, assembly of a small-scale digester, and subsequent monitoring and evaluation. The results demonstrated that the biogas unit was successfully constructed and operational; however, gas production levels remained below optimal standards. Key challenges identified included unstable temperature conditions, which negatively affected the fermentation process, and technical problems such as leakage in the piping system. These obstacles limited the overall effectiveness of gas generation. Despite these limitations, the project provided significant outcomes. First, it created a working model of sustainable energy generation within the correctional environment. Second, it delivered valuable vocational training for inmates, offering them both theoretical knowledge and hands-on experience in renewable energy technology. Furthermore, the program encouraged inmate participation, fostering teamwork, responsibility, and problem-solving skills that are essential for personal development. In conclusion, although technical barriers remain, this initiative succeeded in establishing the foundation for sustainable waste management and renewable energy application within a correctional facility. More importantly, it highlights the potential of biogas technology not only as an environmental solution but also as a rehabilitative vocational training tool. Continued monitoring, process optimization, and technical refinements are essential for achieving long-term success and scalability of this model in similar institutional contexts.

---

**Abstrak**

Lembaga Pemasyarakatan SAE L'SIMA di Malang menghadapi dua tantangan utama: pencemaran lingkungan akibat penumpukan kotoran sapi dan kebutuhan akan program vokasional yang efektif bagi para narapidana. Program pengabdian masyarakat ini dirancang untuk mengatasi kedua masalah tersebut melalui penerapan teknologi biogas. Tujuan utama kegiatan ini adalah mengelola limbah ternak menjadi sumber energi alternatif sekaligus memberikan keterampilan praktis yang bermanfaat bagi narapidana. Metode yang digunakan

melibatkan pendekatan partisipatif, yang mencakup penyampaian program, survei lokasi, perancangan, perakitan digester skala kecil, serta kegiatan monitoring. Hasil pelaksanaan program menunjukkan bahwa unit biogas berhasil dibangun, namun produksi gas masih kurang optimal. Hal ini disebabkan oleh beberapa kendala, di antaranya suhu yang tidak stabil yang menghambat proses fermentasi serta masalah teknis seperti kebocoran pada pipa. Meskipun demikian, program ini mampu memberikan dasar yang kuat untuk solusi energi berkelanjutan sekaligus menjadi model pelatihan vokasional yang bernilai. Dari pelaksanaan program ini dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan teknologi biogas tidak hanya berkontribusi pada pengelolaan limbah ternak secara ramah lingkungan, tetapi juga mendukung pengembangan keterampilan bagi narapidana yang dapat berguna setelah mereka kembali ke masyarakat. Selain itu, keberhasilan jangka panjang program ini sangat bergantung pada pengendalian proses yang tepat serta pemeliharaan berkelanjutan dari unit biogas. Dengan demikian, program ini tidak hanya menjawab persoalan lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat sosial melalui pemberdayaan dan peningkatan kapasitas narapidana.

**Kata Kunci:** Biogas, Energi alternatif, Kotoran sapi

## 1. PENDAHULUAN

Lembaga Pemasyarakatan (Lapas) merupakan institusi yang memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai tempat pelaksanaan hukuman pidana sekaligus sebagai pusat pembinaan bagi Warga Binaan Pemasyarakatan (WBP) (Budiyono et al., 2010). Salah satu fokus utama pembinaan adalah pengembangan kemandirian melalui program-program produktif yang dapat membekali WBP dengan keterampilan untuk reintegasi sosial setelah bebas. Lapas Kelas I Malang – SAE L'SIMA, sebagai subyek pengabdian, menjalankan program pembinaan kemandirian di bidang peternakan sapi. Program ini, meskipun bertujuan positif, menghasilkan konsekuensi lingkungan yang signifikan berupa akumulasi limbah kotoran sapi dalam jumlah besar (Gerardi, 2003). Penumpukan limbah ini tidak hanya menimbulkan polusi udara berupa bau tidak sedap yang mengganggu kenyamanan, tetapi juga membawa risiko pencemaran lingkungan yang lebih serius.

Secara ilmiah, limbah kotoran sapi yang tidak terkelola merupakan sumber pencemaran yang berbahaya. Limbah ini melepaskan gas rumah kaca seperti metana ( $\text{CH}_4$ ), yang memiliki potensi pemanasan global 21 kali lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), serta amonia ( $\text{NH}_3$ ) yang bersifat toksik dan dapat menyebabkan iritasi pada sistem pernapasan manusia (Chynoweth et al., 2001). Selain itu, rembesan limbah ke badan air dapat merusak ekosistem perairan secara drastis. Studi menunjukkan bahwa limbah kotoran sapi mengandung konsentrasi polutan organik yang sangat tinggi, yang tercermin dari nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang jauh melampaui baku mutu yang ditetapkan pemerintah. Sebagai contoh, penelitian menemukan rata-rata nilai BOD<sub>5</sub> sebesar 171,817 mg/L dan COD sebesar 605,675 mg/L, sementara baku mutu untuk limbah peternakan masing-masing adalah 100 mg/L dan 200 mg/L. Tingginya kadar polutan ini, ditambah dengan keberadaan bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, menunjukkan potensi ancaman serius

terhadap kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan di sekitar Lapas (Kotsopoulos et al., 2018).

**Table 1.** Dampak Lingkungan Limbah Kotoran Sapi Tidak Terolah

Parameter	Konsentrasi Rata-rata pada Limbah Sapi	Baku Peternakan	Mutu Limbah
BOD5 (mg/L)	171.8 - 18000	100 – 1600	
COD (mg/L)	605.6 - 66300	200 – 3000	
pH	7.3 – 8.07	6 - 9	
<i>E. coli</i> (MPN/100ml)	> 20.000.000		

Di tengah tantangan ganda ini kebutuhan akan pengelolaan limbah yang efektif dan program pembinaan WBP yang bermakna teknologi biogas hadir sebagai sebuah solusi sinergis. Biogas adalah teknologi tepat guna yang mengonversi limbah organik, seperti kotoran sapi, menjadi energi terbarukan melalui proses dekomposisi anaerobik (tanpa oksigen) oleh mikroorganisme (Matheri et al., 2017).

Dengan demikian, implementasi teknologi biogas di Lapas Kelas I Malang tidak dipandang sebagai intervensi teknis semata, melainkan sebagai sebuah program sosio-teknis yang komprehensif (Nopharatana at el., 2007). Pelibatan WBP secara aktif dalam proses perencanaan, perakitan, dan operasional reaktor biogas menjadi bentuk pelatihan vokasional praktis yang relevan dan dapat diaplikasikan. Hal ini sejalan dengan tujuan Lapas untuk "mengedukasi sebelum kembali ke masyarakat" dan memberikan "manfaat pendidikan/ilmu pengetahuan" serta meningkatkan rasa produktivitas di antara WBP. Perubahan sosial yang diharapkan dari program pengabdian ini adalah terciptanya sebuah model pengelolaan Lapas yang berkelanjutan, di mana masalah lingkungan diubah menjadi peluang untuk pemberdayaan manusia, menciptakan lingkungan yang lebih bersih, mandiri secara energi, dan menghasilkan WBP yang lebih terampil dan siap kembali ke masyarakat.

Berdasarkan analisis situasi tersebut, program pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk:

- Mengelola limbah kotoran sapi di Lapas Kelas I Malang untuk mengurangi pencemaran lingkungan, khususnya polusi udara (bau tidak sedap) dan potensi pencemaran air.
- Menghasilkan energi alternatif terbarukan (biogas) untuk memenuhi sebagian kebutuhan energi memasak di lingkungan Lapas, sehingga berpotensi mengurangi biaya operasional.
- Memberikan pengalaman dan pelatihan keterampilan teknis (teknologi tepat guna) kepada WBP sebagai bagian dari program pembinaan kemandirian.

## 2. METODE

Metode pelaksanaan program pengabdian ini dirancang dengan menggunakan pendekatan riset aksi partisipatif (*participatory action research*). Pendekatan ini menempatkan tim mahasiswa Kuliah Kerja Nyata (KKN) sebagai fasilitator teknologi, sementara pihak Lembaga Pemasyarakatan (Lapas) dan Warga Binaan Pemasyarakatan (WBP) bertindak sebagai mitra dan subyek utama pengabdian. Keterlibatan aktif dari subyek dampingan menjadi kunci, terutama dalam tahap implementasi, untuk memastikan transfer pengetahuan dan keterampilan dapat terjadi secara efektif.

Tahapan-tahapan tersebut diuraikan sebagai berikut:

- a. Perencanaan Aksi Bersama Komunitas: Tahap awal dimulai dengan presentasi program kerja "Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi" kepada pimpinan dan staf Lapas Kelas I Malang. Tujuannya adalah untuk menyosialisasikan ide, mendapatkan persetujuan, serta membangun kemitraan dan dukungan institusional.
- b. Survei dan Desain: Tim melakukan survei langsung ke area peternakan sapi untuk mengidentifikasi lokasi yang paling strategis untuk penempatan reaktor biogas. Berdasarkan survei, tim membuat desain teknis reaktor skala kecil yang sederhana dan dapat direplikasi. Desain ini kemudian dikonsultasikan kembali dengan pihak Lapas untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi dan kebutuhan lapangan.
- c. Persiapan dan Perakitan: Setelah desain disetujui, tim melakukan survei harga dan pembelian material yang dibutuhkan, seperti drum bekas, pipa PVC, dan sambungan-sambungannya. Proses perakitan reaktor dilakukan secara partisipatif di area posko KKN dan lokasi peternakan, dengan melibatkan WBP dalam proses pelubangan tong dan penyambungan pipa.
- d. Implementasi dan Uji Coba: Reaktor yang telah selesai dirakit kemudian diisi dengan bahan baku, yaitu campuran kotoran sapi segar dan air. Setelah pengisian, reaktor ditutup rapat untuk memulai proses fermentasi anaerobik. Tahap ini dilanjutkan dengan periode *testing* dan *monitoring* untuk mengamati tanda-tanda produksi gas.
- e. Evaluasi: Selama dan setelah tahap uji coba, tim melakukan tinjauan kembali terhadap kinerja reaktor untuk mengidentifikasi hasil, kendala yang muncul, serta merumuskan solusi awal terhadap permasalahan tersebut.

Reaktor biogas yang dibangun merupakan model skala kecil tipe *fixed dome* yang dimodifikasi dari bahan-bahan berbiaya rendah dan mudah didapat. Berdasarkan deskripsi kegiatan "pelubangan tong" dan "pembelian pipa", komponen utama reaktor terdiri dari drum bekas yang berfungsi sebagai digester (tabung pencerna), pipa PVC sebagai saluran masuk

(*inlet*) untuk bahan baku dan saluran keluar (*outlet*) untuk sisa olahan (*slurry*), serta sistem penampungan gas yang terhubung ke kompor. Pilihan desain ini sejalan dengan berbagai literatur tentang reaktor biogas skala rumah tangga yang mengutamakan kemudahan pembuatan dan biaya yang terjangkau, sehingga mudah direplikasi untuk tujuan edukasi dan pemberdayaan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan program kerja ini berhasil mencapai target luaran fisik yang telah ditetapkan. Hasil utama dari kegiatan ini adalah terwujudnya satu unit "Media biogas dari kotoran sapi" yang berhasil dirakit dan dipasang di area peternakan Lapas Kelas I Malang – SAE L'SIMA. Pembangunan reaktor ini merupakan langkah awal yang krusial dalam memperkenalkan teknologi energi terbarukan di lingkungan Lapas. Meskipun target fisik tercapai, pada tahap uji coba fungsional, program ini menghadapi beberapa kendala teknis dan proses yang signifikan. Laporan pelaksanaan kegiatan secara transparan mengidentifikasi dua permasalahan utama :

- a. Kegagalan Proses Fermentasi: Uji coba media biogas tidak memberikan hasil yang diharapkan. Produksi gas teramat sangat minim atau tidak optimal. Analisis awal tim pelaksana menyimpulkan bahwa hal ini disebabkan oleh "suhu dalam media biogas tidak stabil" yang secara langsung "menghambat proses fermentasi kotoran sapi".
- b. Kegagalan Komponen dan Perakitan: Ditemukan adanya "kebocoran pada sambungan pipa biogas". Kebocoran ini mengindikasikan masalah pada integritas struktural reaktor yang menyebabkan kondisi anaerobik tidak tercapai secara sempurna.

Selain kendala teknis, tim juga menghadapi tantangan non-teknis berupa "keterbatasan dana" dalam menjalankan program. Masalah ini berhasil diatasi melalui inisiatif internal tim KKN dengan menyisihkan sebagian dana konsumsi untuk menutupi kekurangan anggaran.

Kegagalan utama yang teridentifikasi, yaitu "suhu tidak stabil", merupakan faktor penentu dalam proses fermentasi anaerobik. Produksi gas metana dilakukan oleh kelompok bakteri metanogenik yang sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, terutama suhu(M. Zhafran Zharif Amrin et al., 2025). Literatur membedakan dua rentang suhu kerja optimal untuk bakteri ini: mesofilik (20°C - 40°C) dan termofilik (50°C - 60°C) (Tangko et al., 2019). Untuk reaktor sederhana skala kecil tanpa sistem pemanas eksternal seperti yang dibangun dalam program ini, kondisi operasional yang realistik adalah pada rentang mesofilik, dengan suhu optimum berada di sekitar 27°C - 35°C (M. Zhafran Zharif Amrin et al., 2025). Fluktuasi suhu harian yang ekstrem, di mana reaktor terpapar panas matahari di siang hari dan

suhu dingin di malam hari tanpa adanya insulasi yang memadai, dapat menyebabkan stres pada populasi mikroba, menghambat metabolisme mereka, dan pada akhirnya menghentikan produksi gas secara signifikan (Parawira, 2009).

Meskipun tidak diukur secara langsung dalam program ini, faktor biokimia lain seperti pH dan rasio Karbon-Nitrogen (C/N) sangat mungkin turut berkontribusi pada rendahnya produksi gas.

- 1) Derajat Keasaman (pH): Proses fermentasi biogas terdiri dari beberapa tahapan. Tahap awal, asidogenesis, menghasilkan asam-asam organik yang dapat menurunkan pH substrat. Jika bakteri metanogenik pada tahap selanjutnya tidak dapat bekerja secara efisien (misalnya karena suhu yang tidak optimal), asam akan terakumulasi dan menyebabkan pH turun di bawah 6.5. Kondisi asam ini bersifat toksik bagi bakteri metanogen, menciptakan lingkaran setan yang menghambat produksi biogas. pH ideal untuk metanogenesis adalah antara 6.8 hingga 8.0(M. Zhafran Zharif Amrin et al., 2025).
- 2) Rasio C/N: Rasio C/N yang optimal bagi mikroba anaerobik adalah sekitar 20:1 hingga 30:1. Kotoran sapi murni umumnya memiliki rasio C/N yang mendekati ideal, yaitu sekitar 24:1 hingga 28:1 , sehingga secara teoritis bahan baku yang digunakan sudah cukup baik. Namun, pengenceran yang berlebihan atau kontaminasi dengan bahan lain dapat mengubah rasio ini dan mengganggu keseimbangan nutrisi bagi mikroba.

Di luar aspek teknis, keberhasilan sebuah program pengabdian di lingkungan Lapas diukur dari dampak sosialnya, yaitu sejauh mana program tersebut mampu memberdayakan WBP. Tujuan program ini adalah memberikan "pembinaan kemandirian" dan "keterampilan teknologi tepat guna". Keterlibatan WBP dalam proses perakitan reaktor telah memberikan mereka pengalaman praktis (*hands-on*) dalam bidang pertukangan dan instalasi pipa, yang sejalan dengan model pemberdayaan di Lapas yang berfokus pada pelatihan vokasional (Ward et al., 2008). Program ini juga berpotensi menciptakan lingkungan kerja yang lebih bersih dan sehat, yang secara tidak langsung meningkatkan kualitas hidup dan moral di dalam Lapas (Risnoyatiningssih et al., 2021).

Namun, potensi pemberdayaan terbesar dari proyek ini justru muncul dari kegagalan yang dialaminya. Kegagalan teknis dan proses menciptakan sebuah kebutuhan nyata untuk melakukan diagnosis masalah, pemantauan, dan pemeliharaan—keterampilan yang jauh lebih kompleks dan berharga daripada sekadar perakitan awal (Sitorus et al., 2018). Jika WBP dilatih tidak hanya untuk membangun, tetapi juga untuk mengelola dan memperbaiki sistem—misalnya, dengan mengajarkan cara memeriksa kebocoran menggunakan air sabun, memonitor

suhu dengan termometer sederhana, atau menyesuaikan campuran bahan baku—maka kegagalan tersebut bertransformasi menjadi kurikulum pelatihan vokasional yang dinamis dan berkelanjutan (Suriawiria, 2005). Pendekatan ini akan mengubah peran WBP dari sekadar penerima pasif teknologi menjadi pengelola aktif sistem, sebuah pergeseran paradigma yang merupakan inti dari pemberdayaan sejati. Dengan demikian, keberlanjutan program tidak hanya bergantung pada alat yang berfungsi, tetapi pada kapasitas manusia yang terbangun untuk menjaga agar alat tersebut terus berfungsi.

#### **4. KESIMPULAN**

Program pengabdian masyarakat melalui pembuatan biogas dari kotoran sapi di Lapas Kelas I Malang – SAE L'SIMA telah berhasil dilaksanakan dan mencapai tujuan utamanya dalam aspek pembangunan fisik dan inisiasi program sosial. Satu unit reaktor biogas skala kecil berhasil dibangun dan dipasang di lokasi, menjadi bukti nyata penerapan teknologi tepat guna di lingkungan pemasyarakatan. Program ini juga berhasil memulai sebuah platform untuk pelatihan vokasional bagi Warga Binaan Pemasyarakatan (WBP).

Namun demikian, dari segi fungsional, reaktor belum dapat beroperasi secara optimal untuk menghasilkan gas. Analisis mendalam menunjukkan bahwa kegagalan produksi gas kemungkinan besar disebabkan oleh kombinasi faktor proses, yaitu suhu fermentasi yang tidak stabil, dan faktor teknis berupa kebocoran pada sistem perpipaan. Akar dari kedua masalah ini dapat ditelusuri pada faktor manusia selama tahap perencanaan dan perakitan. Meskipun menghadapi kendala, proyek ini telah berhasil memetakan potensi besar pemanfaatan limbah ternak sebagai sumber energi terbarukan di Lapas, sekaligus menyoroti tantangan-tantangan krusial dalam implementasi teknologi di lingkungan yang non-ideal.

#### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penyusun mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga laporan pengabdian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih yang tulus kami sampaikan kepada Dr. Tri Wahyuhardaningrum, S.E., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Lapangan yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama pelaksanaan program Kuliah Kerja Nyata (KKN). Terima kasih juga kami sampaikan kepada pimpinan dan seluruh jajaran staf Lembaga Pemasyarakatan Kelas I Malang – SAE L'SIMA atas izin, kerja sama, dan fasilitas yang telah diberikan. Terakhir, terima kasih kepada seluruh rekan-rekan tim KKN Reguler UM 2025 atas kerja sama, solidaritas, dan dukungannya dalam menukseskan seluruh program kerja yang telah direncanakan.

## DAFTAR REFERENSI

- Amrin, M. Z. Z., Rosalina, R., & Supriadi, E. (2025). Pengaruh sistem sirkulasi terhadap produksi biogas dari kotoran sapi dan limbah cair tahu. *Student Research Journal*, 3(1), 161–175. <https://doi.org/10.55606/srj-yappi.v3i1.1712>
- Budiyono, Widiasa, I. N., Johari, S., & Sunarso. (2010). The kinetic of biogas production rate from cattle manure in batch mode. *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 3(1), 39–44. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1088345>
- Chynoweth, D. P., Owens, J. M., & Legrand, R. (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable Energy*, 22(1–3), 1–8. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00019-7)
- Gerardi, M. H. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471468967>
- Kemausuor, F., Adaramola, M. S., & Morken, J. (2018). A review of commercial biogas systems and lessons for Africa. *Energies*, 11(11), 2984. <https://doi.org/10.3390/en11112984>
- Kotsopoulos, T. A., Martzopoulos, G. G., & Gkotsis, E. A. (2008). The impact of different temperature levels on the anaerobic digestion of pig manure. *Renewable Energy*, 33(1), 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.02.027>
- Matheri, A. N., Belaid, M., & Seodigeng, T. (2017). Influence of substrate-to-inoculum ratio on biogas yield using pig manure and grass clippings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1207–1212. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.017>
- Nopharatana, A., Pullammanappallil, P. C., & Clarke, W. P. (2007). Kinetics and dynamic modelling of batch anaerobic digestion of municipal solid waste in a stirred reactor. *Waste Management*, 27(5), 595–603. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.03.001>
- Parawira, W. (2009). Biogas technology in sub-Saharan Africa: Status, prospects and constraints. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 8, 187–200. <https://doi.org/10.1007/s11157-009-9148-0>
- Risnoyatiningbih, S., Sutaryo, S., & Budiyono, B. (2021). Pengaruh rasio C/N terhadap produksi biogas dari campuran limbah sayuran dan kotoran sapi. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 22(1), 41–48. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2021.022.01.6>
- Sitorus, T., Harahap, A. R., & Ginting, M. (2018). Pemanfaatan limbah kotoran sapi sebagai energi alternatif biogas di Desa Suka Maju. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 6(1), 13–20. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v6i1.27015>
- Suada, I. K., & Tenaya, I. W. M. (2023). Analisis limbah sapi yang berpotensi mencemari lingkungan dan menularkan penyakit pada masyarakat. *Buletin Veteriner Udayana*, 1012. <https://doi.org/10.24843/bulvet.2023.v15.i05.p38>
- Suriawiria, U. (2005). Mikrobiologi air limbah. Penerbit Alumni.
- Tangko, J., Sonong, S., S, M. A. C., & Salam, J. (2019). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biogas dari limbah ternak di Kec. Baroko Kab. Enrekang. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 16(1), 63–69. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v16i1.1203>
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928–7940. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044>