



Utilization of cow dung as a biogas raw material for alternative energy in Buddagan 1 Hamlet, Kabupaten Pamekasan

Willyanto Anggono, Ivan Christian Hernando✉, Arihta Lintu Tulistyantoro
Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia

✉ ivan.hernando@petra.ac.id

 <https://doi.org/10.31603/ce.12543>

Abstract

Buddagan 1 Hamlet, Pamekasan Regency, faces the problem of cow dung waste piling up around the house, causing an unpleasant odor and unhygienic kitchen conditions. The proximity of the cow shed to the kitchen, coupled with the status of a heritage village that requires a solution without changing the building structure, demands an innovative approach. Therefore, this community service aims to apply biogas technology to utilize cow dung waste as an alternative energy source, improve environmental cleanliness, and reduce household expenses. Community service activities include socialization of biogas technology, training on use and maintenance, as well as installation and evaluation assistance. As a result, biogas technology was successfully implemented, meeting cooking gas needs, reducing household costs, and producing organic fertilizer. Socialization, training, and ongoing assistance ensure the operational success of biogas technology. Buddagan 1 Hamlet is now an inspiring example of environmentally friendly livestock waste management.

Keywords: Biogas; Cow dung; Alternative energy

Pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas untuk energi alternatif pada Dusun Buddagan 1, Kabupaten Pamekasan

Abstrak

Dusun Buddagan 1, Kabupaten Pamekasan, menghadapi masalah penumpukan limbah kotoran sapi di sekitar rumah, menyebabkan bau tidak sedap dan kondisi dapur yang tidak higienis. Kedekatan kandang sapi dengan dapur, ditambah status desa heritage yang mengharuskan solusi tanpa mengubah struktur bangunan, menuntut pendekatan inovatif. Oleh karena itu, pengabdian masyarakat ini bertujuan menerapkan teknologi biogas untuk memanfaatkan limbah kotoran sapi sebagai sumber energi alternatif, meningkatkan kebersihan lingkungan, dan mengurangi beban pengeluaran rumah tangga. Kegiatan pengabdian meliputi sosialisasi teknologi biogas, pelatihan penggunaan dan perawatan, serta pendampingan instalasi dan evaluasi. Hasilnya, teknologi biogas berhasil diterapkan, memenuhi kebutuhan gas memasak, mengurangi biaya rumah tangga, dan menghasilkan pupuk organik. Sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan berkelanjutan memastikan keberhasilan operasional teknologi biogas. Dusun Buddagan 1 kini menjadi contoh inspiratif pengelolaan limbah ternak yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: Biogas; Kotoran sapi; Energi alternatif

Contributions to
SDGs

7 AFFORDABLE AND
CLEAN ENERGY



13 CLIMATE
ACTION



Article History

Received: 25/10/24

Revised: 28/11/24

Accepted: 08/12/24

1. Pendahuluan

Madura, sebuah pulau di Provinsi Jawa Timur, memiliki Dusun Buddagan 1 yang terletak di Desa Larangan Luar, Kecamatan Larangan, Kabupaten Pamekasan, sekitar 15 KM dari Kota Pamekasan. Dusun perbukitan ini, khususnya di Kecamatan Larangan, diberkahi dengan beberapa mata air yang mendukung kesuburan tanaman. Mayoritas penduduk Dusun Buddagan 1 berprofesi sebagai petani ladang, dengan tanaman utama berupa jagung, ketela pohon, cabai, dan tembakau. Jagung menjadi tanaman yang paling dominan dihasilkan dan merupakan bahan makanan pokok sekaligus komoditas penting untuk penyimpanan dan penjualan. Masyarakat umumnya menanam dua jenis jagung: jagung lokal yang lebih tahan lama dan jagung BISI yang menghasilkan panen lebih melimpah meskipun kurang tahan simpan (Kuntowijoyo, 2017). Selain jagung, cabai jamu (*Piper retrofractum*) merupakan komoditas unggulan lain dengan kualitas yang diyakini lebih baik dibandingkan dari daerah lain. Setelah dikeringkan, cabai jamu ini dipasarkan ke industri jamu di Jawa dan Kalimantan. Tembakau, yang hanya ditanam saat musim kemarau, juga menjadi andalan dengan varietas tembakau gunung dan tembakau tegal, sejalan dengan reputasi tembakau Pamekasan yang berkualitas baik (Pemerintah Kabupaten Pamekasan, 2010).

Selain pertanian, peternakan juga menjadi bagian penting dari mata pencaharian masyarakat Dusun Buddagan 1. Sapi merupakan hewan ternak yang paling umum dipelihara, hasil perkawinan antara banteng (*Bos sondaicus*) dan sapi India (*Bos indicus*) yang menghasilkan karakteristik fisik unik seperti tanduk, gelambir, punuk, postur baik, dan dada bidang. Sapi seringkali berfungsi sebagai aset investasi yang dapat dicairkan saat dibutuhkan. Madura sendiri dikenal sebagai sentra peternakan sapi skala perorangan di Jawa Timur. Selain sapi, budidaya unggas, terutama ayam buras, juga berkembang sebagai usaha sampingan (Tulistyantoro, 2019).

Di sisi lain, biogas, yang dihasilkan dari proses anaerobik oleh bakteri dalam digester (Anggono et al., 2023; Anggono, Suprianto, et al., 2016; Anggono, Wardana, et al., 2016), meskipun mengandung metana (CH₄) yang bermanfaat, kualitasnya seringkali terganggu oleh gas inhibitor (Anggono et al., 2019). Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ dan tekanan dalam sistem biogas dapat menurunkan kecepatan pembakaran laminar campuran metana-udara, yang selanjutnya mempengaruhi laju pembakaran laminar dan panjang Markstein (Anggono et al., 2021).

Pengembangan ilmu biogas sangat penting, terutama dalam meningkatkan stabilitas dan efisiensinya. Biogas berpotensi dimanfaatkan dalam sel bahan bakar untuk menghasilkan listrik dan dalam produksi hidrogen sebagai langkah menuju energi berkelanjutan (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Selain itu, biogas dapat dicampurkan dengan LPG untuk penyimpanan dan pemanfaatan yang fleksibel, sangat relevan sebagai sumber energi rumah tangga, seperti memasak, bagi kelompok kecil di dusun. Berbagai bahan baku tersedia untuk produksi biogas, termasuk sampah TPA Cilowong (Annur et al., 2020), enceng gondok dan rumen sapi dengan penambahan EM4 (Megawati, 2014), limbah tahu dengan kotoran sapi dan rumput gajah (Haryanto et al., 2019), kulit nanas dengan kotoran sapi (Suanggana et al., 2022), serta kotoran sapi dengan jerami jagung (Arianingsih et al., 2021).

Waktu produksi biogas bervariasi, antara 23 hingga 36 hari (untuk limbah tahu) pada suhu 35-40°C (Kurniati et al., 2021), yang juga dikonfirmasi oleh penelitian Artanti et al.

(2012). Selain sebagai sumber energi, biogas juga berdampak positif pada kesejahteraan petani, dengan penelitian Paulus et al. (2022) menunjukkan peningkatan hasil panen padi sawah hingga 62,5% dibandingkan tanpa penggunaan biogas. Produksi biogas dari kotoran kambing juga telah berhasil diterapkan di Desa Sukasari (Sutadiwiria et al., 2023).

Di Dusun Buddagan 1, dengan rata-rata kepemilikan dua ekor sapi per rumah, kotoran sapi saat ini hanya dimanfaatkan sebagai pupuk kandang dan seringkali dibiarkan menumpuk, menimbulkan masalah bau dan lalat. Lokasi dapur yang berdekatan dengan kandang memperburuk kondisi kebersihan. Pengelolaan yang lebih baik memungkinkan pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku biogas, yang berpotensi mengatasi masalah kebersihan dan menyediakan sumber energi bagi masyarakat. Pola hunian tradisional dengan dapur dan kandang bersebelahan, serta status desa *heritage*, mengharuskan solusi yang tidak mengubah struktur bangunan.

Pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi biogas menawarkan solusi bersih dan meningkatkan nilai higienis lingkungan. Limbah feses, urine, dan sisa makanan dari peternakan sapi di Dusun Buddagan 1, yang tersedia dalam jumlah melimpah, merupakan bahan baku potensial untuk produksi biogas. Program pengabdian masyarakat ini sejalan dengan aspirasi masyarakat Dusun Buddagan 1 untuk berinovasi dan memanfaatkan limbah kotoran sapi. Diharapkan, biogas dapat memenuhi kebutuhan gas memasak, mengurangi ketergantungan pada LPG, dan residu biogas dapat dimanfaatkan sebagai pupuk.

2. Metode

Pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Dusun Buddagan 1, Kabupaten Pamekasan, dengan mitra Kelompok Tani Sumber Nyato dan masyarakat setempat, dari Agustus hingga November 2024. Kegiatan ini terdiri dari tiga tahap. *Pertama*, tahap persiapan. Tahap persiapan meliputi identifikasi permasalahan pengelolaan kotoran sapi melalui observasi lapangan dan wawancara semi-terstruktur dengan perwakilan Kelompok Tani Sumber Nyato dan tokoh masyarakat. Selanjutnya, dilakukan analisis kondisi lingkungan dan kebiasaan masyarakat. Berdasarkan analisis tersebut, disusun materi sosialisasi yang komprehensif mengenai manfaat teknologi biogas, meliputi aspek ekonomi (potensi penghematan biaya bahan bakar), lingkungan (peningkatan kebersihan dan pengurangan emisi), serta praktis (pemeliharaan dan perawatan sistem biogas) (Greene et al., 2024; Kimutai et al., 2025; Pawlak, 2013; Sakka, 2025). Materi sosialisasi dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik sosio-kultural masyarakat setempat.

Kedua, tahap pelaksanaan. Sosialisasi teknologi biogas dilaksanakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan manfaatnya. Kegiatan ini dilanjutkan dengan pelatihan dua tahap yaitu penggunaan teknologi biogas (dari persiapan bahan baku hingga pemanfaatan) serta pemeliharaan dan perawatan sistem. Pendampingan intensif dilakukan selama instalasi biogas di rumah-rumah warga untuk memastikan kemandirian dalam pengoperasian. *Ketiga*, tahap evaluasi. Evaluasi dilakukan untuk mengukur keberhasilan program melalui penghematan biaya rumah tangga akibat penggunaan biogas dan tingkat kepuasan masyarakat. Evaluasi juga menilai keberlanjutan program melalui peran serta masyarakat dalam penggunaan dan

penyebaran teknologi biogas ke dusun lain, serta semangat gotong royong dalam pemeliharaan dan pengembangan teknologi ini.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Persiapan kegiatan

Kegiatan diawali dengan tahap persiapan yang meliputi perencanaan pelatihan yang diberikan kepada masyarakat mengenai cara penggunaan dan pemeliharaan teknologi biogas. Pelatihan ini dirancang untuk memastikan bahwa masyarakat dapat memanfaatkan teknologi ini dengan baik dan memahami setiap tahapan yang diperlukan, mulai dari persiapan bahan baku hingga pemeliharaan sistem biogas. Selain itu, persiapan ini juga mencakup pendampingan yang diberikan kepada masyarakat selama proses implementasi, agar mereka dapat merasa yakin dan mampu mengoperasikan teknologi tersebut secara mandiri setelah pelatihan selesai. Melalui tahapan persiapan ini, diharapkan masyarakat sudah siap secara mental dan praktis untuk menerima teknologi biogas dan memanfaatkannya dalam kehidupan sehari-hari.

3.2. Penyuluhan

Pada September 2024, penyuluhan teknologi biogas dilaksanakan di Dusun Buddagan 1. Penyuluhan ini bertujuan meningkatkan kesadaran masyarakat akan potensi pemanfaatan kotoran sapi, menjelaskan manfaat biogas sebagai energi ramah lingkungan dan ekonomis, serta menunjukkan bagaimana pupuk organik (*slurry*) hasil biogas dapat meningkatkan kesuburan tanah. Setelah kegiatan, yang meliputi penyuluhan tentang bahaya memasak dengan kayu bakar dan alternatif energi terbarukan, masyarakat Dusun Buddagan 1 menyetujui penggunaan biogas.

3.3. Pelatihan dan instalasi biogas

Pelatihan ini dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama berfokus pada penggunaan teknologi biogas mulai dari persiapan bahan baku hingga proses penggunaan hasil biogas. Tahap kedua berfokus pada pemeliharaan dan perawatan sistem biogas agar dapat beroperasi dengan baik dalam jangka panjang. Selain itu, selama proses instalasi biogas di rumah-rumah masyarakat, dilakukan pendampingan intensif yang bertujuan agar masyarakat benar-benar memahami cara kerja teknologi tersebut, serta dapat beradaptasi dan mengoperasikannya secara mandiri. Dengan adanya pelatihan dan pendampingan ini, masyarakat dapat mengelola sistem biogas dengan baik dan memanfaatkannya sesuai kebutuhan. Pelatihan dan instalasi ini dilakukan pada bulan September hingga Oktober 2024, di Dusun Buddagan 1, dengan masyarakat setempat.



Gambar 1. Proses (a) pengerukan tanah dan (b) pembuatan fondasi

Setelah pelatihan, tim pengabdian bersama mitra membangun fasilitas biogas. Proses instalasi biogas dimulai dengan tahapan pengerukan. Pada tahapan penggalian tanah ini, tanah dikeluarkan sehingga terdapat rongga yang cukup untuk membuat sistem instalasi biogas di dalamnya ([Gambar 1a](#)). Setelah itu, dilanjutkan dengan tahapan pembuatan fondasi. Pada tahapan ini bata dipasang satu persatu sesuai dengan gambar kerja yang telah disepakati dan dibuat ([Gambar 1b](#)). Jika plester sudah kering, dilanjutkan dengan pembuatan kubah penutup digester. Kubah ini dilengkapi dengan pipa besi untuk jalur keluar dari biogas yang sudah siap digunakan. Pada tahapan ini perlu untuk memastikan bahwa kubah dan digester tersambung secara sempurna dan tidak ada celah sama sekali ([Gambar 2a](#)). Tahapan selanjutnya setelah sistem digester selesai adalah tahapan pembuatan saluran keluar dari sisa proses biogas. Keluaran ini dapat digunakan untuk pupuk. Model tempat keluaran sisa biogas dapat dilihat pada [Gambar 2b](#).



[Gambar 2](#). Proses (a) pembuatan kubah yang bagian atasnya dilengkapi pipa besi dan (b) pembuatan saluran keluar sisa proses biogas (*slurry*)



[Gambar 3](#). Proses pemasangan sistem perpipaan

Setelah tempat keluaran sisa produk biogas (*slurry*) dibuat maka dilanjutkan dengan proses instalasi perpipaan ([Gambar 3](#)). Setelah sistem perpipaan dipastikan aman, maka dilanjutkan dengan proses pemasangan manometer sebagai indikator seberapa besar tekanan gas yang ada di dalam digester dan pemasangan selang kompor. Setelah beberapa hari, maka biogas akan membuat jarum indikator pada manometer naik ([Gambar 4](#)). Jika sudah naik maka biogas selanjutnya dapat digunakan. Hasil dari kompor biogas dapat dilihat pada [Gambar 5](#). Dapat dilihat bahwa warna api yang dihasilkan biru dan api yang dihasilkan dapat stabil dan tidak berbau.



Gambar 4. Pemasangan manometer



Gambar 5. Nyala kompor hasil biogas

Keberhasilan pembuatan dan pemanfaatan biogas di Dusun Buddagan I tidak hanya terlihat dari infrastruktur yang terpasang, tetapi juga dari perubahan perilaku masyarakat yang semakin sadar akan potensi limbah ternak sebagai sumber daya berharga. Kemampuan mereka untuk menghasilkan energi bersih dan pupuk organik secara mandiri menumbuhkan rasa tanggung jawab terhadap lingkungan dan mendorong praktik yang lebih berkelanjutan dalam kehidupan sehari-hari (Fentie & Sime, 2022; Yasmin & Grundmann, 2019). Dengan adanya transfer pengetahuan dan keterampilan melalui pelatihan dan pendampingan, diharapkan keberlanjutan sistem biogas ini dapat terjamin dalam jangka panjang (Rocha-Meneses et al., 2023; Uhunamure et al., 2019). Pengalaman sukses Dusun Buddagan I menjadi inspirasi bagi desa-desa lain untuk mengeksplorasi potensi sumber daya lokal mereka dalam rangka mencapai kemandirian energi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Pengabdian masyarakat di Dusun Buddagan 1 berhasil mendukung pengelolaan limbah kotoran sapi secara inovatif dan bermanfaat. Teknologi biogas yang diterapkan memenuhi kebutuhan gas memasak, mengurangi pengeluaran rumah tangga, dan menghasilkan pupuk organik untuk pertanian. Sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan memastikan pengoperasian teknologi yang efektif dan berkelanjutan.

Dusun Buddagan 1 kini menjadi pionir pemanfaatan limbah ternak ramah lingkungan, menginspirasi dusun lain, meningkatkan kesejahteraan serta kelestarian lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Universitas Kristen Petra Surabaya terkhusus LPPM Universitas Kristen Petra, Kelompok Tani Sumber Nyato yang berlokasi di Dusun Buddagan 1, Kabupaten Pamekasan, Jawa Timur.

Kontribusi Penulis

Pelaksana kegiatan: WA, ICH, LT; Penyiapan artikel: WA, ICH; Analisis dampak pengabdian: WA, LT; Penyajian hasil pengabdian: WA, LT; Revisi artikel: ICH.

Konflik Kepentingan

Seluruh penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan finansial atau non-finansial yang terkait dengan artikel ini.

Pendanaan

Kegiatan dan publikasi dibiayai melalui program hibah KEMENDIKBUD, dalam bentuk pemberdayaan kemitraan masyarakat dengan nomor hibah 002/SP2H/PKM-BATCH.2/LL7/2024.

Daftar Pustaka

- Anggono, W., Hayakawa, A., Okafor, E. C., & Gotama, G. J. (2019). Experimental and Numerical Investigation of Laminar Burning Velocities of Artificial Biogas Under Various Pressure and CO₂ Concentration. *E3S Web of Conferences*, 130, 1037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913001037>
- Anggono, W., Hayakawa, A., Okafor, E. C., Gotama, G. J., & Wongso, S. (2021). Laminar Burning Velocity and Markstein Length of CH₄/CO₂/Air Premixed Flames at Various Equivalence Ratios and CO₂ Concentrations Under Elevated Pressure. *Combustion Science and Technology*, 193(14), 2369–2388. <https://doi.org/10.1080/00102202.2020.1737032>
- Anggono, W., Suprianto, F. D., Purnomo, K., Hartanto, T. I., & Wijaya, T. P. (2016). The Effect of Nitrogen on Flame Characteristics in Biogas External Premixed Combustion. *Applied Mechanics and Materials*, 836, 265–270. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.836.265>
- Anggono, W., Sutrisno, Tanoto, Y., Hernando, I. C., Waskito, C., & Laksana, G. B. (2023). Pemanfaatan Energi Biogas dan Pupuk Organik Berbahan Kotoran Sapi Oleh Peternak Sapi Aditoya Sebagai Energi Alternatif dan Substitusi Kebutuhan Pupuk Pertanian Masyarakat. *Surya Abdimas*, 7(4), 633–640. <https://doi.org/10.37729/abdimas.v7i4.3189>

- Anggono, W., Wardana, I. N. G., Lawes, M., Hughes, K. J., Wahyudi, S., Hamidi, N., & Hayakawa, A. (2016). The influence of CO₂ in biogas flammability limit and laminar burning velocity in spark ignited premix combustion at various pressures. *SUSTAINABLE ENERGY AND ADVANCED MATERIALS : Proceeding of the 4th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials 2015 (ICE-SEAM 2015)*, 1717(1), 30001. <https://doi.org/10.1063/1.4943425>
- Annur, S., Kusmasari, W., Wulandari, R., & Sumiati. (2020). Pengembangan Biogas Dari Sampah Untuk Energi Listrik Dan Bahan Bakar Kompor Di Tpa Cilowong, Kota Serang, Banten. *KUAT: Keuangan Umum Dan Akuntansi Terapan*, 2(1), 48–51. <https://doi.org/10.31092/kuat.v2i1.823>
- Arianingsih, E., Mirdhayati, I., & Harahap, A. E. (2021). Kualitas Biogas Berbahan Feses Sapi dan Jerami Jagung (*Zea mays L.*) pada C/N Rasio dan Lama Fermentasi yang Berbeda. *JURNAL TRITON*, 12(1), 58–67. <https://doi.org/10.47687/jt.v12i1.155>
- Artanti, D. D., Saputro, R. R., & Budiyo, B. (2012). Biogas Production from Cow Manure. *International Journal of Renewable Energy Development*, 1(2), 61–64. <https://doi.org/10.14710/ijred.1.2.61-64>
- Fentie, H., & Sime, G. (2022). Biogas technology adoption and its potential of replacing biomass fuels, kerosene, and chemical fertilizer in rural Gonder, Northern Ethiopia. *Sustainable Environment*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2022.2066811>
- Greene, J. M., Wallace, J., Williams, R. B., Leytem, A. B., Bock, B. R., McCully, M., Kaffka, S. R., Rotz, C. A., & Quinn, J. C. (2024). National Greenhouse Gas Emission Reduction Potential from Adopting Anaerobic Digestion on Large-Scale Dairy Farms in the United States. *Environmental Science and Technology*, 58(28), 12409–12419. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c00367>
- 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. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.41125>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. (2022). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*, 10, 1–43. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>
- Kimutai, S. K., Kimutai, I. K., & Manirambona, E. (2025). Impact of biogas adoption on household energy use and livelihood improvement in Kenya: an overview on a roadmap toward sustainability. *International Journal of Energy Sector Management*, 19(3), 551–568. <https://doi.org/10.1108/IJESM-07-2024-0053>
- Kuntowijoyo. (2017). *Perubahan Sosial Dalam Masyarakat Agraris Madura 1850-1940*. IRCiSoD.
- Kurniati, Y., Rahmat, A., Malianto, B. I., Nandayani, D., & Pratiwi, W. S. W. (2021). Review Analisa Kondisi Optimum Dalam Proses Pembuatan Biogas. *Rekayasa*, 14(2), 272–281. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i2.11305>
- Megawati. (2014). Pengaruh Penambahan Em4 (Effective Microorganism-4) Pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok Dan Rumen Sapi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2). <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3696>
- Paulus, J., Lengkey, L. C. C. E., & Najooan, J. (2022). Penerapan Teknologi Biogas sebagai Sumber Bahan Bakar dan Pupuk Organik untuk Meningkatkan Kesejahteraan Petani di Desa Pinaling Minahasa Selatan. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian*

- Kepada Masyarakat*, 8(2), 220–227. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.8.2.220-227>
- Pawlak, J. (2013). Biogas technology transfer as an important factor of rural development. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 44(4), 20–22.
- Pemerintah Kabupaten Pamekasan. (2010). *Ensiklopedi Pamekasan Alam, Masyarakat, dan Budaya*. Pemerintah Kabupaten Pamekasan dan Fakultas Ilmu Budaya UGM.
- Rocha-Meneses, L., Luna-delRisco, M., González, C. A., Moncada, S. V., Moreno, A., Sierra-Del Rio, J., & Castillo-Meza, L. E. (2023). An overview of the socio-economic, technological, and environmental opportunities and challenges for renewable energy generation from residual biomass: a case study of biogas production in Colombia. *Energies*, 16(16), 5901.
- Sakka, S. (2025). Optimizing biogas production from household waste: an economical approach to energy and environmental sustainability in rural areas. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 106422. <https://doi.org/10.1007/s41207-025-00769-3>
- Suanggana, D., Haryono, H. D., Djafar, A., & Irawan, J. (2022). Potensi Produksi Biogas Dari Anaerobic Digestion Kotoran Sapi Dan Kulit Nanas Sebagai Sumber Energi Rice Cooker Biogas. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i1.1246>
- Sutadiwiria, Y., Herdyanti, M. K., Meirawaty, M., Yuda, H. F., Rendy, R., Mahendra, R. K., Ardikasa, G., & Letlora, I. (2023). Biogas from goat waste as a green energy source. *Community Empowerment*, 8(5), 610–614. <https://doi.org/10.31603/ce.8371>
- Tulistyantoro, L. (2019). Taneyan Lanjhang Buddagan I Sebagai Aset Pariwisata Heritage di Pamekasan Madura. *Prosiding Seminar Nasional Budaya Madura V: Membangun Pariwisata Madura Berbasis Budaya Lokal*. <https://doi.org/10.21107/budayamadura.2019.3>
- Uhunamure, S. E., Nethengwe, N. S., & Tinarwo, D. (2019). Correlating the factors influencing household decisions on adoption and utilisation of biogas technology in South Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.006>
- Yasmin, N., & Grundmann, P. (2019). Pre- And post-adoption beliefs about the diffusion and continuation of biogas-based cooking fuel technology in Pakistan. *Energies*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/en12163184>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)