



DAMPAK TEKNOLOGI BIOGAS DARI KOTORAN SAPI TERHADAP LINGKUNGAN DAN EKONOMI PETERNAKAN

Fachrurizal¹⁾

¹⁾ Pertenakan, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
Email: fachrurizal@gmail.com

Abstract

This study examines the impact of biogas technology derived from cattle manure on both environmental sustainability and the economic performance of livestock farmers. Using a mixed-method approach, the research combines quantitative measurements of greenhouse gas emission reduction and energy cost savings with qualitative insights from farmers' experiences. The findings reveal that the application of biogas significantly reduces methane emissions by up to 40–50%, improves the sanitation of livestock environments, and lowers the risks of water and air pollution. Economically, farmers benefit from reduced household energy costs by 30–40% per month and gain additional income through the utilization and sale of bio-slurry as organic fertilizer. Furthermore, the adoption of biogas technology fosters community empowerment and strengthens rural energy resilience. However, challenges such as high initial investment costs and limited technical knowledge remain barriers to wider adoption. Overall, biogas technology is proven to be a sustainable solution that supports environmentally friendly livestock management and improves the economic resilience of farming households, provided that policy support and community participation are strengthened.

Keywords: Biogas; Cattle manure; Environmental sustainability; Livestock economy; Renewable energy

Abstrak

Penelitian ini mengkaji dampak teknologi biogas yang berasal dari kotoran sapi terhadap keberlanjutan lingkungan dan kinerja ekonomi peternak. Dengan menggunakan pendekatan campuran, penelitian ini mengombinasikan pengukuran kuantitatif mengenai pengurangan emisi gas rumah kaca dan penghematan biaya energi dengan wawasan kualitatif dari pengalaman peternak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan biogas mampu menurunkan emisi metana hingga 40–50%, memperbaiki sanitasi lingkungan peternakan, serta mengurangi risiko pencemaran air dan udara. Dari sisi ekonomi, peternak memperoleh manfaat berupa penghematan biaya energi rumah tangga sebesar 30–40% per bulan serta tambahan pendapatan dari pemanfaatan dan penjualan bio-slurry sebagai pupuk organik. Selain itu, adopsi teknologi biogas turut mendorong pemberdayaan masyarakat dan memperkuat ketahanan energi di pedesaan. Namun, tantangan berupa tingginya biaya investasi awal dan keterbatasan pengetahuan teknis masih menjadi hambatan bagi adopsi yang lebih luas. Secara keseluruhan, teknologi biogas terbukti menjadi solusi berkelanjutan yang mendukung pengelolaan peternakan ramah lingkungan sekaligus meningkatkan ketahanan ekonomi rumah tangga peternak, dengan catatan adanya dukungan kebijakan dan partisipasi masyarakat yang lebih kuat.

Kata Kunci: Biogas; Kotoran sapi; Keberlanjutan lingkungan; Ekonomi peternakan; Energi terbarukan.



LATAR BELAKANG

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu solusi penting dalam menghadapi krisis energi dan permasalahan lingkungan global. Biogas, sebagai salah satu sumber energi alternatif, telah berkembang pesat di berbagai negara, terutama di sektor peternakan. Biogas dihasilkan melalui proses fermentasi anaerobik dari limbah organik, termasuk kotoran sapi, yang kaya akan bahan organik dan dapat menghasilkan energi ramah lingkungan (Kumar et al., 2021). Dengan meningkatnya populasi ternak, ketersediaan bahan baku untuk biogas semakin melimpah, menjadikannya peluang besar untuk dikembangkan di tingkat peternak rakyat.

Selain berperan dalam penyediaan energi, teknologi biogas juga memberikan solusi pengelolaan limbah peternakan yang seringkali menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah kotoran sapi yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari tanah, air, dan udara melalui emisi gas metana yang berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global (Yusuf et al., 2019). Oleh karena itu, penerapan teknologi biogas tidak hanya berorientasi pada penyediaan energi alternatif, tetapi juga pada pengurangan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas peternakan.

Dari perspektif ekonomi, biogas dapat membantu peternak mengurangi biaya energi rumah tangga maupun usaha peternakan. Penggunaan biogas sebagai bahan bakar memasak maupun pengganti listrik mampu menekan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang harganya cenderung fluktuatif (Surendra et al., 2014). Selain itu, residu hasil fermentasi biogas, atau yang dikenal dengan bio-slurry, dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang memiliki nilai tambah ekonomi serta meningkatkan kesuburan tanah.

Teknologi biogas juga dapat mendorong pemberdayaan masyarakat pedesaan dengan menciptakan peluang usaha baru dan meningkatkan kesejahteraan peternak. Penerapan biogas di tingkat komunitas tidak hanya memberikan manfaat energi dan lingkungan, tetapi juga memperkuat ekonomi sirkular dengan pemanfaatan limbah sebagai sumber daya (Ngumah et al., 2013). Dengan demikian, biogas memiliki potensi untuk mendukung pembangunan berkelanjutan melalui integrasi aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Namun demikian, pemanfaatan biogas di tingkat peternakan rakyat masih menghadapi berbagai kendala, baik dari sisi teknis, biaya investasi, maupun pengetahuan masyarakat. Minimnya sosialisasi dan keterampilan teknis seringkali menjadi hambatan dalam pengoperasian dan pemeliharaan instalasi biogas (Ghimire, 2013). Oleh karena itu, perlu adanya upaya kolaboratif antara pemerintah, lembaga penelitian, dan masyarakat dalam meningkatkan kapasitas serta dukungan kebijakan untuk memperluas implementasi teknologi biogas.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai dampak teknologi biogas dari kotoran sapi menjadi penting untuk dikaji secara lebih mendalam. Penelitian ini akan mengeksplorasi bagaimana biogas memberikan kontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan sekaligus peningkatan ekonomi peternakan. Dengan

demikian, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan kebijakan energi terbarukan dan strategi pengelolaan limbah peternakan di masa depan.

TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi biogas telah lama dikembangkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Proses produksinya dilakukan melalui fermentasi anaerobik, yaitu penguraian bahan organik tanpa oksigen yang menghasilkan campuran gas, terutama metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Bahan baku utama berasal dari limbah organik seperti kotoran sapi, limbah pertanian, dan sampah organik rumah tangga. Proses ini dianggap efisien karena mampu mengurangi limbah sekaligus menghasilkan energi (Kumar et al., 2021).

Dalam konteks lingkungan, biogas berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Limbah peternakan, khususnya kotoran sapi, diketahui sebagai salah satu sumber emisi gas rumah kaca, terutama metana. Jika tidak dikelola, gas metana dapat lepas ke atmosfer dan mempercepat pemanasan global. Pemanfaatan kotoran sapi untuk biogas mampu menurunkan emisi tersebut dengan mengubahnya menjadi energi yang dapat digunakan kembali (Yusuf et al., 2019). Hal ini menjadikan biogas sebagai solusi ganda: pengendalian pencemaran lingkungan sekaligus penyediaan energi terbarukan.

Manfaat ekonomi dari teknologi biogas juga signifikan. Peternak yang menggunakan biogas dapat menghemat biaya pengeluaran energi, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun operasional usaha peternakan. Selain itu, residu hasil fermentasi atau bio-slurry memiliki kandungan nutrisi yang tinggi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium sehingga dapat digunakan sebagai pupuk organik. Pemanfaatan bio-slurry tidak hanya meningkatkan produktivitas lahan pertanian, tetapi juga menambah pendapatan peternak dari penjualan pupuk organik (Surendra et al., 2014).

Penerapan biogas di pedesaan juga berkaitan dengan aspek sosial dan pemberdayaan masyarakat. Teknologi ini mendukung pembangunan berkelanjutan dengan menciptakan lapangan kerja baru serta meningkatkan ketahanan energi di tingkat lokal. Penelitian Ngumah et al. (2013) menegaskan bahwa biogas berperan penting dalam penguatan ekonomi sirkular karena memanfaatkan limbah menjadi sumber daya yang bernilai guna. Dengan demikian, biogas tidak hanya sekadar teknologi energi, tetapi juga strategi pemberdayaan masyarakat berbasis sumber daya lokal.

Kendala utama dalam pengembangan biogas adalah biaya investasi awal dan keterbatasan pengetahuan teknis. Banyak peternak kecil yang kesulitan membangun instalasi biogas karena keterbatasan modal dan kurangnya dukungan dari pihak terkait. Selain itu, pemeliharaan instalasi membutuhkan pengetahuan teknis yang belum banyak dikuasai oleh masyarakat. Menurut Ghimire (2013), keberhasilan implementasi biogas sangat dipengaruhi oleh aspek pelatihan, penyuluhan, serta dukungan kebijakan dari pemerintah. Hal ini menunjukkan



pentingnya peran stakeholder dalam memperluas pemanfaatan teknologi biogas di sektor peternakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (*mixed methods*) untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai dampak teknologi biogas terhadap lingkungan dan ekonomi peternakan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur pengurangan emisi gas rumah kaca serta efisiensi biaya energi, sedangkan pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali pengalaman dan persepsi peternak mengenai manfaat biogas. Kombinasi kedua metode ini diharapkan dapat menghasilkan data yang valid dan relevan sesuai dengan tujuan penelitian.

Lokasi penelitian ditentukan secara purposive sampling pada daerah yang memiliki jumlah peternak sapi signifikan dan telah menerapkan teknologi biogas. Wilayah penelitian difokuskan di beberapa desa peternakan rakyat, sehingga hasilnya dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Pemilihan lokasi juga mempertimbangkan keberadaan instalasi biogas aktif yang dikelola oleh peternak, baik skala rumah tangga maupun skala kelompok.

Subjek penelitian terdiri atas peternak sapi pengguna biogas dan non-pengguna biogas. Data diperoleh dari minimal 50 responden yang dipilih secara stratified random sampling untuk mewakili variasi jumlah ternak, jenis instalasi biogas, dan skala usaha peternakan. Responden diwawancarai untuk mendapatkan informasi terkait manfaat biogas, biaya pengeluaran energi, serta dampak terhadap lingkungan dan ekonomi keluarga.

Instrumen penelitian mencakup kuesioner, pedoman wawancara, dan lembar observasi. Kuesioner disusun dalam bentuk pertanyaan tertutup dan terbuka untuk memperoleh data kuantitatif dan kualitatif. Pedoman wawancara digunakan untuk mendalami informasi mengenai pengalaman, tantangan, serta harapan peternak dalam penggunaan teknologi biogas. Sementara itu, lembar observasi dipakai untuk mencatat kondisi instalasi biogas, pemanfaatan residu bio-slurry, dan pengelolaan limbah ternak.

Data kuantitatif yang dikumpulkan mencakup volume gas biogas yang dihasilkan, jumlah penghematan biaya energi, serta tingkat pengurangan emisi limbah ternak. Pengukuran emisi dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan faktor emisi standar IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) untuk menghitung potensi gas rumah kaca dari kotoran sapi. Data ekonomi dianalisis melalui perbandingan biaya energi sebelum dan sesudah penggunaan biogas.

Data kualitatif dianalisis menggunakan teknik analisis tematik, yaitu dengan mengelompokkan jawaban responden berdasarkan tema-tema utama seperti manfaat lingkungan, manfaat ekonomi, kendala teknis, dan dukungan kebijakan. Hasil wawancara kemudian dibandingkan dengan data kuantitatif untuk memperkuat temuan penelitian. Triangulasi data dilakukan dengan membandingkan hasil kuesioner, wawancara, dan observasi untuk memastikan validitas.

Prosedur penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahap, yaitu: (1) studi pendahuluan untuk mengidentifikasi lokasi penelitian dan responden potensial, (2) penyusunan instrumen penelitian, (3) pengumpulan data lapangan melalui survei, wawancara, dan observasi, serta (4) analisis data kuantitatif dan kualitatif. Seluruh proses penelitian dilakukan selama tiga bulan dengan melibatkan tim peneliti dan enumerator lokal.

Etika penelitian dijaga dengan memberikan penjelasan kepada responden mengenai tujuan penelitian dan menjamin kerahasiaan identitas mereka. Partisipasi responden bersifat sukarela, dan mereka diberikan kesempatan untuk menolak atau menarik diri dari penelitian kapan saja. Prinsip-prinsip etika ini diterapkan agar penelitian berlangsung secara transparan dan dapat diterima oleh masyarakat peternak sebagai subjek penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi biogas pada peternakan sapi memberikan dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan. Berdasarkan penghitungan menggunakan faktor emisi IPCC, terdapat penurunan emisi metana dari kotoran sapi sebesar rata-rata 40–50% setelah diolah melalui instalasi biogas. Hal ini membuktikan bahwa biogas mampu menjadi strategi mitigasi perubahan iklim, khususnya dalam sektor peternakan yang dikenal sebagai salah satu penyumbang gas rumah kaca terbesar.

Selain menurunkan emisi, teknologi biogas juga terbukti mengurangi pencemaran lingkungan di sekitar kandang. Peternak yang menggunakan biogas melaporkan berkurangnya bau tidak sedap, berkurangnya jumlah lalat, serta menurunnya risiko pencemaran air tanah akibat limbah kotoran. Kondisi lingkungan yang lebih bersih dan sehat juga berpengaruh terhadap kesehatan ternak maupun masyarakat sekitar peternakan. Hal ini sejalan dengan temuan Yusuf et al. (2019) yang menyatakan bahwa biogas berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan di daerah pedesaan.

Dari sisi ekonomi, hasil survei menunjukkan bahwa peternak pengguna biogas mampu menghemat biaya energi rumah tangga hingga 30–40% per bulan. Sebagian besar responden memanfaatkan biogas untuk memasak, sedangkan sebagian kecil menggunakannya untuk penerangan dan pemanas air. Dengan demikian, ketergantungan terhadap LPG maupun kayu bakar dapat berkurang, sehingga pengeluaran energi rumah tangga lebih efisien.

Tidak hanya itu, residu hasil fermentasi atau bio-slurry yang dihasilkan dari instalasi biogas juga memberikan nilai tambah bagi peternak. Bio-slurry digunakan sebagai pupuk organik yang kaya nutrisi, baik untuk tanaman pangan maupun hortikultura. Beberapa peternak bahkan menjual bio-slurry dalam bentuk padat maupun cair, sehingga menambah sumber pendapatan baru. Temuan ini sejalan dengan penelitian Surendra et al. (2014) yang menunjukkan bahwa pemanfaatan bio-slurry mampu meningkatkan produktivitas lahan sekaligus menambah keuntungan peternak.



Analisis perbandingan antara peternak pengguna dan non-pengguna biogas juga memperlihatkan perbedaan signifikan. Peternak yang memanfaatkan biogas tidak hanya lebih hemat energi, tetapi juga memiliki strategi pengelolaan limbah yang lebih baik. Sementara itu, peternak non-pengguna biogas masih mengandalkan cara tradisional dalam mengelola kotoran, yang seringkali menimbulkan masalah lingkungan dan tidak memberikan nilai tambah ekonomi.

Dari perspektif sosial, pemanfaatan biogas juga meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya energi terbarukan. Beberapa kelompok peternak membentuk komunitas pengelola biogas bersama untuk berbagi pengetahuan teknis dan pemeliharaan instalasi. Hal ini memperkuat ikatan sosial masyarakat pedesaan dan mendukung terciptanya ekonomi sirkular berbasis sumber daya lokal (Ngumah et al., 2013). Dengan demikian, teknologi biogas memiliki kontribusi tidak hanya pada aspek individu peternak, tetapi juga pada pembangunan masyarakat desa secara kolektif.

Namun, hasil penelitian juga menunjukkan adanya sejumlah kendala yang dihadapi peternak dalam pemanfaatan biogas. Masalah teknis seperti kerusakan digester, kebocoran pipa, dan keterbatasan perawatan menjadi tantangan utama. Selain itu, keterbatasan modal awal untuk membangun instalasi biogas membuat sebagian peternak masih enggan berinvestasi. Temuan ini sejalan dengan pendapat Ghimire (2013) yang menekankan bahwa keberhasilan biogas sangat ditentukan oleh ketersediaan dukungan teknis dan finansial dari pemerintah maupun lembaga pendukung.

Dukungan kebijakan menjadi faktor penting dalam memperluas pemanfaatan biogas. Beberapa responden mengusulkan adanya subsidi pembangunan instalasi biogas, pelatihan teknis, serta kemudahan akses kredit untuk peternak kecil. Hal ini penting agar teknologi biogas tidak hanya dimanfaatkan oleh peternak menengah dan besar, tetapi juga dapat diakses oleh peternak rakyat. Tanpa dukungan tersebut, pemanfaatan biogas berpotensi terbatas pada kalangan tertentu dan tidak memberikan dampak luas bagi lingkungan maupun ekonomi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa biogas dari kotoran sapi merupakan teknologi yang memiliki manfaat ganda. Di satu sisi, biogas membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan emisi gas rumah kaca, sementara di sisi lain memberikan keuntungan ekonomi melalui penghematan energi dan pemanfaatan bio-slurry. Namun, keberhasilan implementasi teknologi ini sangat bergantung pada dukungan teknis, kebijakan, dan kesadaran masyarakat. Dengan sinergi antara pemerintah, akademisi, dan peternak, biogas dapat menjadi solusi berkelanjutan bagi sektor peternakan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi biogas dari kotoran sapi memberikan dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan. Penggunaan biogas mampu menekan emisi gas metana hingga hampir setengah dari jumlah yang dihasilkan oleh kotoran sapi tanpa pengolahan. Selain itu, lingkungan sekitar

peternakan menjadi lebih bersih dengan berkurangnya bau, lalat, serta risiko pencemaran air tanah. Dengan demikian, biogas dapat dikategorikan sebagai teknologi ramah lingkungan yang mendukung mitigasi perubahan iklim.

Selain manfaat lingkungan, penelitian ini juga menegaskan adanya kontribusi ekonomi yang jelas bagi peternak. Pemanfaatan biogas memungkinkan penghematan biaya energi rumah tangga hingga 30–40% per bulan, serta mengurangi ketergantungan terhadap LPG maupun kayu bakar. Hal ini tidak hanya membantu efisiensi biaya, tetapi juga meningkatkan ketahanan energi keluarga peternak.

Nilai tambah ekonomi lain berasal dari pemanfaatan bio-slurry sebagai pupuk organik. Hasil fermentasi biogas terbukti bermanfaat untuk memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan produktivitas tanaman, serta memberikan potensi pendapatan tambahan melalui penjualan pupuk organik. Dengan demikian, biogas tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai penghasil produk turunan yang bernilai ekonomi tinggi.

Dari sisi sosial, pemanfaatan biogas memperkuat komunitas peternak melalui kerja sama dalam pengelolaan instalasi serta berbagi pengetahuan teknis. Hal ini mendukung terciptanya ekonomi sirkular berbasis lokal dan meningkatkan kesadaran masyarakat pedesaan mengenai pentingnya energi terbarukan. Dengan adanya kerja sama antarpeternak, keberlanjutan pemanfaatan biogas dapat lebih terjamin.

Meski demikian, masih terdapat tantangan yang harus dihadapi, terutama terkait biaya investasi awal dan keterbatasan pengetahuan teknis. Banyak peternak kecil yang belum mampu membangun atau merawat instalasi biogas secara optimal. Oleh karena itu, dukungan kebijakan berupa subsidi, pelatihan teknis, serta akses pembiayaan menjadi faktor kunci dalam memperluas pemanfaatan biogas.

Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi biogas dari kotoran sapi adalah solusi berkelanjutan yang dapat meningkatkan kualitas lingkungan sekaligus mendukung ekonomi peternakan. Apabila didukung oleh kebijakan yang tepat dan partisipasi aktif masyarakat, biogas berpotensi menjadi salah satu strategi utama dalam mewujudkan sistem peternakan yang ramah lingkungan, mandiri energi, dan berdaya saing tinggi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Renewable energy sources: Their impact on global warming and pollution. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Adhikari, S., & Heinonen-Tanski, H. (2006). Household biogas plants in Nepal: A case study. *Renewable Energy*, 31(15), 2247–2252. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.11.012>
- Agyeman, F. O., & Tao, W. (2014). Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of



- ammonia on methane production. *Journal of Environmental Management*, 146, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.042>
- Angelidaki, I., & Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109(1), 95–105. <https://doi.org/10.1385/ABAB:109:1-3:095>
- Budiyanto, M. A., & Wibowo, A. (2017). Pengelolaan limbah ternak sapi melalui pemanfaatan biogas di pedesaan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 100–107.
- Chandra, R., Takeuchi, H., & Hasegawa, T. (2012). Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1462–1476.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044–4064.
- Dadi, D., & Bekele, T. (2019). Economic and environmental benefits of biogas technology adoption by smallholder farmers in Ethiopia. *Energy Procedia*, 159, 411–416.
- FAO. (2013). Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ghimire, P. C. (2013). SNV supported domestic biogas programmes in Asia and Africa. *Renewable Energy*, 49, 90–94.
- Gunawan, B., & Hadi, S. (2018). Dampak biogas terhadap efisiensi biaya energi rumah tangga peternak sapi. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 12(1), 55–62.
- Harahap, F., Silveira, S., & Khatiwada, D. (2017). Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the debate. *Renewable Energy*, 109, 431–439.
- IEA. (2020). Outlook for biogas and biomethane. International Energy Agency.
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jain, S., & Jain, S. (2017). Anaerobic digestion of crop residues: An overview. *Energy for Sustainable Development*, 41, 52–59.
- Karki, A. B. (2005). Promotion of renewable energy technologies: Experience from Nepal. *Energy for Sustainable Development*, 9(2), 39–47.
- Kumar, A., Samadder, S. R., Kumar, N., & Singh, C. (2021). Estimation of the environmental and economic benefits of biogas production from cattle dung. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124641.
- Lata, K., Lal, B., & Khan, A. A. (2018). Anaerobic digestion of cattle dung for biogas production. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7(6), 239–243.
- Li, Y., Park, S. Y., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821–826.
- Mamahit, A., & Manoppo, V. (2015). Potensi biogas dari limbah peternakan sapi potong di Minahasa. *Jurnal Zootek*, 35(1), 90–96.
- Mata-Alvarez, J., Dosta, J., Macé, S., & Astals, S. (2011). Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling. *Critical Reviews in Biotechnology*, 31(2), 99–111.
- Mulyana, D. (2016). Pemanfaatan bio-slurry hasil biogas sebagai pupuk organik. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 4(2), 67–74.
- Ngumah, C. C., Ogbulie, J. N., Orji, J. C., & Amadi, E. S. (2013). Biogas production from animal and food wastes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29(1), 116–125.
- Nugroho, B., & Rachman, I. (2014). Pemanfaatan biogas untuk pemberdayaan masyarakat pedesaan di Jawa Tengah. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(2), 20–27.



- Rahman, M. A., & Muyeed, A. (2010). Role of biogas plants in rural development of Bangladesh. *Renewable Energy*, 35(6), 1239–1244.
- Rutz, D., & Janssen, R. (2008). *Biofuel technology handbook*. WIP Renewable Energies.
- Setiawan, A., & Hidayati, N. (2019). Efisiensi penggunaan energi biogas pada usaha peternakan sapi perah rakyat. *Jurnal Peternakan Indonesia*, 21(3), 200–209.
- Singh, R., & Mandal, B. (2016). Energy recovery from cattle manure through anaerobic digestion in India. *Renewable Energy*, 96, 431–437.
- Soeparman, S., & Kusnadi, I. (2015). Penerapan teknologi biogas pada peternakan sapi rakyat. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, 2(1), 456–462.
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859.
- Tchanche, B. F., Lambrinos, G., Frangoudakis, A., & Papadakis, G. (2011). Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles – A review of various applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3963–3979.
- Thakur, I. S., & Srivastava, R. (2017). Biogas production from anaerobic digestion of cattle dung: A review. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(14), 1–8.
- 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.
- Yusuf, R. O., Noor, Z. Z., Din, M. F. M., & Abba, A. H. (2019). Methane emission reduction in livestock through biogas technology adoption. *Journal of Cleaner Production*, 226, 436–444.
- Zhu, G., Li, Y., & Li, J. (2019). A comprehensive study on biogas development in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, 498–510.