



Perbandingan Efisiensi Energi Genset Menggunakan Bahan Bakar Biogas dan LPG pada Berbagai Tingkat Beban Listrik

Kunlestiowati Hadiningrum¹, Ratu Fenny Muldiani², Defrianto Pratama^{3*}

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

*E-mail : kunlestiowati@polban.ac.id^{*1}, ratu.fenny@polban.ac.id², defrianto.pratama@polban.ac.id³

Alamat : Jl. Gegerkalong Hilir Ds Ciwaruga Kec. Parongpong Kab. Bandung Barat – 40559

Korespondensi penulis : defrianto.pratama@polban.ac.id

Abstract. *Biogas is an alternative energy source that is environmentally friendly, cheap, easy to obtain and renewable. In general, all types of organic materials can be processed to produce biogas, however only homogeneous organic materials (solid and liquid) such as manure and urine (urine) of livestock are suitable for a simple biogas system. Biogas can be burned like LPG and on a large scale can be used to generate electricity, so that biogas can be used as an alternative energy source that is environmentally friendly and renewable. To determine the performance of biogas as an alternative energy source, in this research the method used is to compare the performance of Biogas with LPG gas as a source of electrical energy. Analysis of trial data per minute (RPM), with varying load levels, shows that the RPM of generators using LPG only decreases slightly as the electrical load increases, which shows that the generator is able to maintain more consistent performance. The RPM produced by LPG, which ranges from 2358 to 2420 RPM, indicates that the engine is running faster and more efficiently, while biogas has a lower RPM, ranging from 1715 to 1820 RPM, which indicates slower operation. LPG efficiency ranges from 89.60% to 98.12%, while biogas efficiency ranges from 74.67% to 89.60%. Even though biogas shows less stable performance than LPG, biogas still has potential as an alternative fuel, especially in areas that have limited access to LPG but have abundant sources of biogas raw materials. The use of biogas can reduce dependence on fossil fuels and reduce greenhouse gas emissions. Even though LPG is more efficient, biogas has significant potential to be developed as a more environmentally friendly alternative energy source because LPG relies on non-renewable fossil fuels and has a negative impact on the environment in the long term.*

Keywords: *Biogas, Efficiency, LPG, RPM.*

Abstrak. Biogas merupakan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, murah, mudah diperoleh dan dapat diperbaharui. Pada umumnya semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas, namun demikian hanya bahan organik (padat dan cair) homogen seperti kotoran dan urin (air kencing) hewan ternak yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Biogas dapat dibakar seperti elpiji dan dalam skala besar dapat digunakan sebagai pembangkit energi Listrik, sehingga Biogas dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbaharukan. Untuk mengetahui performa biogas sebagai sumber energi alternatif, dalam penelitian ini metoda yang digunakan membandingkan performa Biogas dengan gas LPG sebagai sumber energi Listrik. Analisis data uji coba putaran per menit (RPM), dengan variasi tingkat pembebanan memperlihatkan, RPM genset yang menggunakan LPG hanya menurun sedikit seiring dengan peningkatan beban listrik, yang menunjukkan bahwa genset mampu mempertahankan kinerja yang lebih konsisten. RPM yang dihasilkan LPG, yang berkisar antara 2358 hingga 2420 RPM, menunjukkan bahwa mesin berjalan lebih cepat dan efisien, sementara biogas memiliki RPM yang lebih rendah, berkisar antara 1715 hingga 1820 RPM, yang menunjukkan operasi yang lebih lambat. Efisiensi LPG berkisar antara 89.60% hingga 98.12%, sedangkan efisiensi biogas berkisar antara 74.67% hingga 89.60%. Meskipun biogas menunjukkan performa yang kurang stabil dibandingkan LPG, biogas masih memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif, terutama di daerah-daerah yang memiliki akses terbatas ke LPG namun memiliki sumber bahan baku biogas yang melimpah. Penggunaan biogas dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Meskipun LPG lebih efisien, biogas memiliki potensi yang signifikan untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan karena LPG bergantung pada bahan bakar fosil yang tidak terbaharukan dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dalam jangka Panjang.

Kata kunci: Biogas, Efisiensi, LPG, RPM.

1. LATAR BELAKANG

Krisis energi yang terjadi akhir-akhir ini telah membawa dilakukan inovasi-inovasi baru yang bertujuan untuk menemukan sumber energi baru yang terbarukan. Selain itu, sumber energi baru tersebut diharapkan berbiaya terjangkau serta tidak memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu energi alternatif ramah lingkungan sebagai pengganti energi fosil yaitu biogas. Biogas termasuk dalam bioenergi karena berasal dari biomassa yang merupakan produk dari material organik berusia relatif muda seperti limbah peternakan dan peternakan serta material organik lainnya. Indonesia, dengan iklim tropik, mempunyai sumber daya organik melimpah yang jika diolah secara optimum, dapat digunakan untuk menghasilkan biogas sebagai energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan (Prihutama et al., 2017). Biogas merupakan salah satu jenis energi yang terbentuk melalui proses fermentasi bahan-bahan limbah organik, seperti kotoran ternak, sampah organik, serta bahan-bahan lainnya oleh bakteri metanogenik dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen). Pengelolaan limbah kotoran ternak ataupun tanaman akan menjadikan masyarakat mandiri energi, sehingga menghemat biaya pemeliharaan.

Di sisi lain ketergantungan masyarakat Indonesia pada pasokan listrik dari PLN masih tinggi, dengan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik konvensional berbahan bakar fosil. Hal ini disebabkan oleh persepsi bahwa biaya investasi untuk beralih ke energi terbarukan masih dianggap mahal, sehingga masyarakat lebih memilih listrik PLN yang dianggap lebih ekonomis (Janardana & Wijaya, 2021). Sementara itu, ketersediaan kotoran ternak, sampah organik, serta bahan-bahan lainnya sebagai bahan baku biogas cukup memadai hanya saja belum menjadi perhatian. Terlihat dari masih banyaknya kotoran ternak yang tidak terurus dan menumpuk, akibatnya banyak persoalan muncul seperti sungai menjadi dangkal, merusak pemandangan, bau yang tidak sedap, merusak ekosistem sungai, dan ditambah lagi dengan bibit penyakit yang dibawa oleh kotoran tersebut. Padahal jika kotoran hewan tersebut dimanfaatkan dengan baik akan mendatangkan keuntungan yang besar diantaranya mengurangi ketergantungan terhadap BBM (bahan bakar minyak) yang mahal dan terbatas ketersediaannya, dan juga mengurangi pencemaran lingkungan (Samnur & Andi Muhammad Irfan, 2011).

Berdasarkan uraian permasalahan di atas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui performa LPG biogas sumber energi terbarukan. Dalam penelitian ini pembuatan biogas tidak merupakan bagian dari penelitian, karena yang akan di lihat adalah

performanya. Untuk mengetahui performa dari biogas, digunakan sebagai sumber energi yang dibandingkan dengan sumber energi gas LPG.

2. KAJIAN TEORITIS

Untuk mengetahui performa biogas sebagai sumber Energi listrik, maka sumber biogas dihubungkan dengan generator DC yang akan menghasilkan putaran (ω) yang dinyatakan dalam RPM (Rotasi Per Menit). Arus yang mengalir pada rotor menimbulkan medan magnet yang berputar. Medan magnet ini terimbas tegangan induksi pada rotor. Karena rotor dihubungkan singkat, maka akan timbul arus pada rotor. Interaksi antara medan stator dan arus rotor ini yang menyebabkan timbulnya gaya Lorentz sehingga motor berputar. Kemudian motor tersebut dihubungkan dengan beban, yang akan menghasilkan tegangan (terbaca pada Voltmeter) dan kuat arus (terbaca pada Amperemeter) listrik.

Cara kerja motor Listrik/generator secara sederhana yaitu dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, sehingga dapat melaju layaknya motor yang memakai bahan bakar. Tegangan yang dihasilkan (V) oleh generator dapat dihitung dengan persamaan berikut (von Meier, 2020):

$$V = k \Phi n \quad (1)$$

di mana:

k = konstanta yang tergantung pada desain generator,

Φ = adalah fluks magnetik,

n= kecepatan putaran dalam RPM.

Hubungan daya listrik (PL) dengan daya mekanik (PM) tergantung pada efisiensi generator (η), yaitu :

$$P_L = \eta P_M \quad (2)$$

Efisiensi generator cenderung optimal pada RPM tertentu yang direkomendasikan oleh pabrikan. Operasi pada RPM yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi, peningkatan konsumsi bahan bakar, dan penurunan umur pakai komponen generator (von Meier, 2020).

3. METODE PENELITIAN

Untuk menemukan atau mengetahui kinerja biogas sebagai sumber energi Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Eksperimen. Dalam pelaksanaan penelitian, untuk besaran kuat arus, tegangan pada beban baik sebagai daya input maupun daya output merupakan data yang diperoleh secara langsung dari hasil pengukuran menggunakan peralatan yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Alat Pengambilan Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh putaran generator terhadap efisiensi sistem, dengan memasukkan besaran-besaran fisis yang berpengaruh terhadap efisiensi baik untuk sumber energi biogas maupun gas LPG.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kinerja dari biogas sebagai sumber energi, telah dilakukan uji coba perbandingan putaran yang dihasilkan generator DC dengan menggunakan sumber energi Gas LPG dan Biogas.

Hasil Uji coba menggunakan Biogas sebagai sumber energi dengan variasi beban, menghasilkan Tegangan listrik (terbaca pada Voltmeter), kuat arus listrik (terbaca pada Amperemeter dan putaran(terbaca pada Tachometer) dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Coba sumber energi Biogas

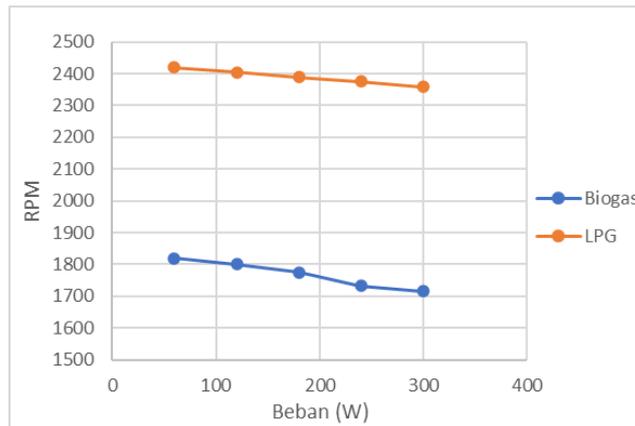
Data ke	Pembebanan (Watt)	Tegangan (Volt)	Kuat Arus (Ampere)	Daya Listrik (Watt)	Putaran (RPM)	Efisiensi (%)
1	60	224	0,2	44,8	1820	74,7
2	120	224	0,4	89,6	1800	74,7
3	180	224	0,6	134,4	1775	74,7
4	240	224	0,9	201,6	1733	84
5	300	224	1,2	268,8	1715	89,6

Hasil Uji coba menggunakan LPG sebagai sumber energi dengan variasi beban, menghasilkan Tegangan listrik (terbaca pada Voltmeter), kuat arus listrik (terbaca pada Amperemeter dan putaran(terbaca pada Tachometer) dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Coba sumber energi LPG

Data ke	Pembebanan (Watt)	Tegangan (Volt)	Kuat Arus (Ampere)	Daya Listrik (Watt)	Putaran (RPM)	Efisiensi (%)
1	60	224	0,250	56,0	2420	93,3
2	120	224	0,480	107,5	2405	89,6
3	180	224	0,760	170,2	2390	94,6
4	240	224	1,050	235,2	2375	98,0
5	300	224	1,320	294,4	2358	98,1

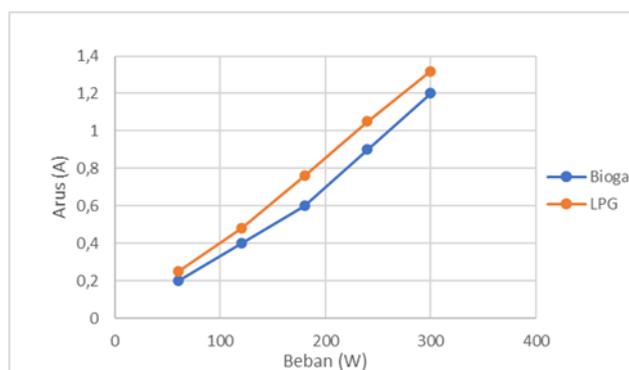
Analisis data putaran per menit (RPM) performa generator menggunakan biogas dan LPG sebagai bahan bakar dengan variasi tingkat pembebanan dapat di lihat pada grafik Gambar 2, yang memperlihatkan perbandingan RPM antara Biogas dengan LPG pada saat pembebanan yaitu RPM genset yang menggunakan LPG hanya menurun sedikit seiring dengan peningkatan beban beban listrik, yang menunjukkan bahwa genset mampu mempertahankan kinerja yang lebih konsisten.



Gambar 2. Grafik Perbandingan RPM Genset antara biogas dan LPG terhadap pembebanan

Sebaliknya, penggunaan biogas menunjukkan penurunan RPM yang lebih tajam, yang dapat mengindikasikan bahwa biogas tidak mampu menghasilkan tenaga sebesar LPG pada kondisi yang sama. Meskipun biogas menunjukkan performa yang kurang stabil dibandingkan LPG, biogas masih memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif, terutama di daerah-daerah yang memiliki akses terbatas ke LPG namun memiliki sumber bahan baku biogas yang melimpah. Penggunaan biogas dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Meskipun LPG lebih efisien, biogas memiliki potensi yang signifikan untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan.

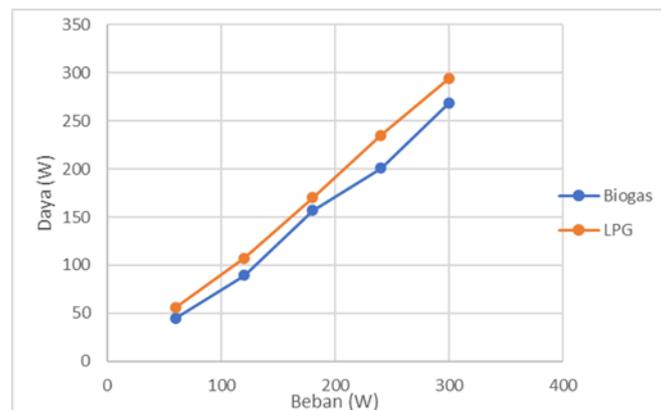
Arus listrik yang dihasilkan oleh biogas merupakan indikator penting dalam memahami efisiensi dan performa konversi energi dari biogas menjadi listrik. Perbandingan arus listrik yang dihasilkan biogas dan LPG dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan arus listrik yang dihasilkan biogas dan LPG terhadap pembebanan

Secara keseluruhan, arus yang dihasilkan oleh biogas meningkat seiring dengan peningkatan beban. Sistem pembangkit listrik biogas menunjukkan peningkatan efisiensi yang signifikan pada beban menengah hingga tinggi, dengan efisiensi tertinggi mencapai 89.6% pada pembebanan 300 watt. Meskipun pada beban rendah efisiensinya lebih rendah, sistem ini menunjukkan kinerja yang stabil dan peningkatan efisiensi yang progresif pada beban yang lebih tinggi. LPG menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal arus yang dihasilkan pada semua tingkat pembebanan. Namun, biogas memiliki keunggulan sebagai sumber energi terbarukan yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan.

Grafik perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh genset dengan menggunakan bahan bakar biogas dan LPG terhadap beban Listrik dapat di lihat pada Gambar 4. Dari grafik, dapat di amati berapa efisien masing-masing bahan bakar dalam mengkonversi energi bahan bakar menjadi energi listrik pada berbagai tingkat beban.



Gambar 4. Grafik Perbandingan daya yang dihasilkan

Pada variasi beban, daya yang dihasilkan oleh LPG lebih tinggi daripada biogas. Hal ini disebabkan kandungan energi dalam LPG lebih tinggi atau proses pembakaran lebih lengkap dan efisien. Secara keseluruhan, LPG menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi pada variasi pembebanan yang diuji. Efisiensi LPG berkisar antara 89.60% hingga 98.12%, sedangkan efisiensi biogas berkisar antara 74.67% hingga 89.60%. Perbedaan efisiensi ini menunjukkan bahwa LPG sebagai bahan bakar memiliki konversi energi yang lebih efektif dibandingkan dengan biogas. Meskipun biogas menunjukkan efisiensi yang lebih rendah, masih ada potensi untuk meningkatkan kinerjanya melalui teknologi yang lebih baik dalam proses pembakaran dan pengolahan biogas.

Berdasarkan analisis data mengenai arus, efisiensi, dan RPM yang dihasilkan oleh biogas dan LPG pada variasi pembebanan, bahwa LPG menunjukkan efisiensi konversi energi yang lebih tinggi dibandingkan biogas. Efisiensi LPG berkisar antara 89.60% hingga 98.12%, sedangkan efisiensi biogas meningkat dari 74.67% pada beban rendah hingga 89.6% pada beban tinggi (Shakoor et al., 2020). Dalam hal arus listrik yang dihasilkan, LPG juga menunjukkan performa yang lebih baik dengan arus yang lebih besar pada semua tingkat pembebanan (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). RPM yang lebih tinggi pada LPG, yang berkisar antara 2358 hingga 2420 RPM, menunjukkan bahwa mesin berjalan lebih cepat dan efisien, sementara biogas memiliki RPM yang lebih rendah, berkisar antara 1715 hingga 1820 RPM, yang menunjukkan operasi yang lebih lambat (Weyant et al., 2019).

LPG menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi dan performa mesin yang lebih cepat dan stabil. Namun, LPG bergantung pada bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dalam jangka panjang (Sudrajat & Haryanto, 2019). Di sisi lain, biogas adalah sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan membantu dalam pengelolaan limbah organik. Meskipun efisiensi dan arus yang dihasilkan biogas lebih rendah dibandingkan LPG, biogas tetap memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan, terutama jika teknologi pembangkit listrik biogas terus dikembangkan untuk meningkatkan performa (Haryanto et al., 2019).

Menggabungkan penggunaan biogas dan LPG sebagai sistem bahan bakar hibrid dapat memanfaatkan kelebihan dari kedua sumber energi ini untuk mencapai performa optimal dan keberlanjutan energi. Sistem hibrid ini dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dengan memanfaatkan biogas sebagai sumber energi utama, terutama pada beban menengah hingga tinggi di mana efisiensi biogas meningkat. Sementara itu, LPG dapat digunakan sebagai cadangan energi yang efisien dan stabil, terutama pada beban rendah hingga menengah atau saat pasokan biogas tidak mencukupi atau tidak stabil. Sistem hibrid ini juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan memanfaatkan biogas sebagai sumber energi terbarukan dan menggunakan LPG sebagai bahan bakar cadangan yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil lainnya (Dalpaz et al., 2020).

Keandalan suplai energi dapat ditingkatkan dengan sistem hibrid ini, karena LPG dapat berfungsi sebagai cadangan yang dapat diandalkan, memastikan kontinuitas suplai listrik. Selain itu, investasi dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik biogas dapat meningkatkan efisiensi dan performa, sehingga biogas dapat digunakan lebih luas dalam sistem hibrid. Dengan demikian, penggunaan sistem hibrid biogas dan LPG sangat direkomendasikan

untuk mencapai tujuan energi berkelanjutan dan performa optimal, memanfaatkan keunggulan masing-masing bahan bakar, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa data, Efisiensi LPG lebih tinggi dibandingkan dengan sumber energi biogas yaitu, berkisar antara 89.60% hingga 98.12%, untuk LPG. Sedangkan efisiensi biogas meningkat dari 74.67% pada beban rendah hingga 89.6% pada beban tinggi. Jika pengaruh lingkungan dan kondisi peralatan di optimumkan, maka investasi dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik biogas dapat meningkatkan efisiensi dan performa, sehingga biogas dapat digunakan lebih luas dalam sistem hibrid.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini memperoleh pendanaan dari Politeknik Negeri Bandung (POLBAN) pada tahun 2024. Kami menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya atas dukungan yang diberikan, yang memungkinkan penelitian ini berjalan dengan lancar.

DAFTAR REFERENSI

- Ahamed, J., Saidur, R., & Masjuki, H. H. (2011). A review on exergy analysis of internal combustion engine (ICE) based cogeneration systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4185-4192. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.06.020>
- Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.08.002>
- Dalpaz, R., Konrad, O., da Silva Cyrne, C. C., Barzotto, H. P., Hasan, C., & Guerini Filho, M. (2020). Using biogas for energy cogeneration: An analysis of electric and thermal energy generation from agro-industrial waste. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40, 100774. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100774>
- Haryanto, A., Nindhia, T. G., Rahmawati, W., Hasanudin, U., Saputra, T. W., Santosa, A. B., & Triyono, S. (2019). Effect of load on the performance of a family scale biogas-fuelled electricity generator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 355(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012078>
- Janardana, G. N., & Wijaya, I. W. A. (2021). Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya sebagai catu daya listrik pada kelompok usaha pertanian. *SPEKTRUM*, 8(3), 54. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i3.877>
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Technologies for biogas to electricity

- conversion. *Energy Reports*, 8, 774-786. <https://doi.org/10.1016/j.egypr.2021.12.030>
- Kumar, S., Samadder, S. R., & Choudhury, P. (2021). Biogas production from organic waste and its utilization: Recent trends and challenges. *Renewable Energy*, 168, 672-688. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.020>
- Prihutama, F. A., et al. (2017). Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif ramah lingkungan daerah Desa Monggol, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta. SNITT - Politeknik Negeri Balikpapan.
- Rao, P. K., Kumar, R., & Bhaskar, T. (2019). Biomass-derived biogas: Future perspectives and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 285-297. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.004>
- Samnur, & Andi Muhammad Irfan. (2011). Analisis kesetaraan nilai kalor LPG dengan biogas dari biodigester skala rumah tangga. *Jurnal Teknik Mesin Teknologi*, 14(2), 103-110.
- Shakoor, U., Ali, S. A., Rashid, M., Irfan, M., Hussain, M., & Usman, M. (2020). Performance evaluation and adaptation of biogas plant users among rural households of Pakistan. *Performance Evaluation*, 14(12), 1097-1116. <https://doi.org/10.1007/s10635-020-00904-z>
- Sudrajat, A., & Haryanto, H. (2019). Improved performance of CS 100l LPG fuel generator with the addition of biogas. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012113>
- von Meier, A. (2020). *Electric power systems: A conceptual introduction*. Wiley-IEEE Press.
- Weyant, C. L., Thompson, R., Lam, N. L., Upadhyay, B., Shrestha, P., Maharjan, S., ... Pokhrel, A. K. (2019). In-field emission measurements from biogas and liquified petroleum gas (LPG) stoves. *Atmosphere*, 10(12), 729. <https://doi.org/10.3390/atmos10120729>
- Yadav, M., Kumar, P., & Singh, R. (2020). Comparative study of energy efficiency between biogas and LPG as fuel for rural households. *Energy Procedia*, 158, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.110>