

Optimalisasi Penggunaan Energi Terbarukan untuk Desa Mandiri Energi dan Ramah Lingkungan

Nizar Amir^{1*}, Makhfud Efendy², Sabarudin Akhmad¹, Fiki Milatul Wahyu¹, Rafly Firman Surya Putra¹

¹Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura

²Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura

Jl. Raya Telang No 02 Kamal Bangkalan Madura 69162 Jawa Timur

*nizar.amir@trunojoyo.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i1.19119>

Abstrak

Desa Waru Barat Pamekasan, terkenal dengan jumlah sapi yang cukup banyak yang dipelihara oleh penduduknya. Hal ini menyebabkan jumlah kotoran sapi yang setiap hari nya terus meningkat dan mencemari lingkungan. Sehingga diperlukan sebuah solusi untuk memanfaatkan kotoran sapi tersebut dan mampu mengurangi cemaran terhadap lingkungan. Salah satu solusinya adalah mengkonversikan kotoran sapi menjadi energi dengan teknologi biogas generator. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengoptimalkan rancangan instalasi pembangkit listrik menggunakan biogas generator untuk mensuplai energi listrik di Desa Waru Barat, Pamekasan. Software HOMER digunakan untuk mensimulasikan serta mengoptimasikan rancangan yang paling optimal dalam penggunaan energi terbarukan di Desa Waru Barat, Pamekasan. Indikator teknis, ekonomi dan lingkungan menjadi parameter utama sebagai output dari penelitian ini. Biaya energi per 1 kWh dari penggunaan energi terbarukan tersebut adalah Rp. 1.076/kWh, dan biaya energi ini lebih murah dari biaya energi listrik PLN sebesar Rp. 1.500/kWh. Dari hasil penelitian ini dapat digunakan oleh seluruh stake holder dalam perancangan pembangkit listrik energi terbarukan di desa Waru Barat, Pamekasan secara khusus dan untuk desa di seluruh Indonesia secara umum.

Kata Kunci : biogas, sapi, energi terbarukan, HOMER

Abstract

The residents of West Waru Village, Pamekasan, are renowned for their high numbers of cows, leading to a steadily increasing amount of cow dung that contaminates the environment. To combat this problem, we must find ways to utilize cow manure. There is a potential solution in the form of biogas generator technology, which can convert cow manure into energy. This research seeks to develop and optimize its design in order to provide renewable electricity for Waru Barat Village, Pamekasan. It involves the use of HOMER software to simulate and determine the optimal design. Technical, economic and environmental indicators are used as the main parameters in this research's output. The cost per kWh of generated energy stands at Rp. 1,076/kWh - a far cheaper alternative than electricity from PLN (Rp. 1,500/kWh) - making it highly beneficial for all stakeholders when constructing renewable energy power plants in rural Indonesia.

Keywords : biogas, cow, renewable energy, HOMER

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki 83.843 desa yang tersebar di 34 provinsi pada tahun 2021. Akan tetapi, sebanyak 3.299 desa masih dalam kategori desa tertinggal (Kemendesa, 2021) Salah satu indikator desa tertinggal adalah terbatasnya suplai energi yang dapat digunakan

oleh masyarakat. Selain itu pemerintah Indonesia memiliki program desa mandiri energi yang bertujuan agar desa mampu mensuplai energinya secara mandiri dan tidak bergantung terhadap suplai listrik negara.

Suplai energi yang diharapkan berasal dari sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Suplai energi listrik dari jaringan listrik negara mayoritas berasal dari pembangkit listrik tenaga bahan bakar fosil dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan (Widiatmoko, 2021) Sehingga penggunaan sumber energi terbarukan akan menjadi solusi atas permasalahan yang ada. Energi terbarukan memiliki sumber energi yang melimpah

Article History:

Received: February 21st, 2023; **Accepted:** April 4th, 2023

Cite this as:

Amir, N., Efendy, M., Akhmad, S., Wahyu, FM., Putra, R.F.S. (2023). *Optimalisasi penggunaan energi terbarukan untuk desa mandiri energi dan ramah lingkungan*. *Rekayasa*. Vol 16(3) 42-48.

dan terus menerus tersedia. Sumber energi terbarukan seperti energi matahari, energi angin, dan biomasa sangat berpotensi sebagai sumber energi di Indonesia. Indonesia memiliki potensi energi matahari, energi angin dan biomasa sebesar 4,80 kWh/m²/hari, 3-6 m/detik, dan 50GW (Kementrian ESDM, 2008).

Sumber energi terbarukan memiliki potensi yang besar sebagai solusi energi berkelanjutan dan rendah emisi (Nag & Sarkar, 2018). Energi terbarukan juga memiliki kelemahan seperti intermitensi yang tinggi. Dalam sistem *standalone*, energi terbarukan tidak dapat di andalkan sepenuhnya karena ketersediaan sumber energi yang dapat berubah (Sharma & Goel, 2015). Biomassa merupakan salah satu energi terbarukan yang ketersediannya tidak selalu ada setiap saat. Sebagai alternatif disarankan menggunakan sistem *on grid* yang terhubung dengan jaringan listrik yang disediakan PLN (Mustafa Kamal *et al.*, 2022).

Biogas yang dihasilkan akan di gunakan oleh biogas generator untuk di konversikan menjadi energi listrik (Al-Najjar *et al.*, 2022). Sehingga banyak sekali peneliti berusaha mencari solusi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk suplai energi listrik ke desa di Indonesia. Kotoran hewan tersebut, jika tidak dimanfaatkan, akan menjadi masalah terhadap pencemaran lingkungan dan meningkatkan potensi penyakit yang ada di daerah tersebut (Paolini *et al.*, 2018).

Teknologi energi terbarukan saat ini sudah banyak tersedia secara komersial yang dapat digunakan, dan beban biayanya dapat diturunkan dengan cara melakukan optimasi antara konfigurasi teknologi energi terbarukan dengan suplai energi listrik dari jaringan listrik negara (PLN) (Fathi *et al.*, 2019). Sistem energi terbarukan merupakan solusi alternatif yang layak digunakan untuk daerah pedesaan dibandingkan dengan jaringan listrik yang bergantung pada energi fosil (Ramesh & Saini, 2020).

Penelitian yang dilakukan (Tiam Kapen *et al.*, 2022) membahas mengenai studi kelayakan dari penerapan sistem hibrida energi terbarukan, salah satunya penggunaan biogas generator sebagai pendukung dalam proses produksi listrik. Shahzad *et al.*, (2017) meneliti tentang studi kelayakan dari sistem biomassa dan energi surya untuk elektrifikasi di Pakistan menggunakan software HOMER. Pada penelitian ini listrik dari biogas

diperoleh dari kotoran sapi, terdapat 26 ekor sapi dan 19 kerbau, untuk 1 ekor sapi memproduksi kotoran sebanyak 9 Kg/hari dan kerbau 12 Kg/hari, untuk sapi mampu memproduksi biogas sebesar 204 m³/ton dengan dry matter content 0,18 dan organic matter content 0,86. Dari hasil tersebut setiap 1 m³ biogas mampu menghasilkan listrik sebesar 3,8 kWh.

Pada penelitian ini sumber energi dari biomassa dikonversikan menjadi energi dengan teknologi biogas generator. Dibanding diesel generator, biogas generator mampu menghasilkan energi listrik dengan emisi karbon dioksida, sulfur dioksida dan nitrogen monoksida yang lebih rendah (Kabeyi & Olanrewaju, 2022). Selain itu, biogas generator mempunyai biaya bahan bakar yang lebih murah dari pada diesel generator karena dapat menggunakan kotoran hewan dan limbah rumah tangga. Kotoran hewan dan limbah rumah tangga di gunakan untuk menghasilkan biogas dari proses pencernaan anaerob (*anaerobic digestion*) (Hoang *et al.*, 2020). Proses yang dibutuhkan untuk pembuatan biogas yaitu terdapat beberapa tahap yang mana terdapat proses pencampuran, proses penampungan, proses penyaringan hingga pengkonversian energi (Kougias & Angelidaki, 2018).

METODE PENELITIAN

Lokasi yang dijadikan studi kasus yaitu desa Waru barat, kecamatan Waru, kabupaten Pamekasan. Berdasarkan BPS Kabupaten Pamekasan tahun 2021, Desa Waru Barat terletak sekitar 26 Km dari kota Pamekasan. Terdapat 4.044 rumah tangga dan dengan 13.714 penduduk. Kebanyakan rumah di Desa Waru barat memiliki peralatan elektrik seperti TV, kipas, lampu, pompa air dan kulkas dan sebagian besar masih dalam rumah sederhana dengan khas pedesaan.

Ketersediaan sumber energi terbarukan biomassa yang berasal kotoran sapi tersedia melimpah di desa Waru Barat karena hampir setiap rumah tangga memiliki beberapa ekor sapi. Kotoran sapi ini bisa di ubah menjadi biogas dan dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan biogas generator. Listrik yang diproduksi dapat digunakan untuk mensuplai kebutuhan listrik yang ada di desa Waru Barat. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Das *et al.*, 2021) bahwa rata-rata satu ekor sapi menghasilkan kotoran 15 Kg setiap harinya.

Sebanyak 15 Kg kotoran sapi ini mampu dirubah menjadi 0,036 m³ biogas per hari (Obileke, 2022). Desa Waru Barat memiliki 4.000 ekor sapi, mempertimbangkan jumlah sapi yang ada maka potensi biogas di Desa Waru Barat sebesar 2.160 m³/hari yang dapat dihasilkan dan dikonversikan menjadi energi listrik. Biogas terdiri dari 50-70% CH₄, 30-50% CO₂, dan sebagian kecil terdapat kandungan H₂S.

Modeling dan Kriteria Evaluasi

Skema hybrid dengan menggunakan biogas generator yang terhubung dengan jaringan listrik PLN merupakan salah satu cara aplikasi yang handal dalam mensuplai kebutuhan energi listrik untuk Desa Waru Barat.

Biogas Generator

Bahan bakar biogas generator didapatkan dari kotoran sapi yang sudah melalui proses produksi *anaerobic digestion*. Energi listrik yang dihasilkan dari konversi biogas menggunakan biogas generator di hitung dengan persamaan (1) sebagai berikut :

$$E_{BG} = \frac{Ketersediaan\ Biogas\ \left(\frac{kg}{tahun}\right) \times CV_{BG} \times \eta_{BG} \times \Delta t}{365 \times 860 \times h_{BG}}$$

- CV_{BG} : nilai kalor biogas (MJ)
- η_{BG} : efisiensi konversi energi (%)
- Δt : time step (1 jam)
- h_{BG} : lama waktu operasi dalam 1 hari (jam/hari)

Penelitian ini menggunakan spesifikasi biogas generator dengan maksimal jam kerja selama 20.000 jam dan *minimum load ratio* 30%. biaya modal Rp. 9.117.156/kW, biaya pemasangan 6.837.866,59/kW, dan biaya operasi/perawatan Rp. 379.8/jam, yang telah digunakan sebelumnya oleh (Kaur et al., 2020).

Kriteria Evaluasi

Kinerja sistem hybrid biogas dengan terkoneksi ke jaringan listrik PLN dievaluasi untuk masa pakai proyek 25 tahun dengan tingkat diskonto 8%. Evaluasi ekonomi sistem hybrid biogas-jaringan listrik PLN dilakukan dengan menentukan parameter ekonomi seperti NPC, dan COE. NPC adalah total biaya semua sistem selama umur proyek dikurangi total pendapatan. NPC dihitung menggunakan persamaan berikut (Vendoti et al., 2020) :

$$NPC = \frac{C_{tot}}{CRF(D_r,p)} \dots\dots\dots(2)$$

C_{tot} merupakan total biaya semua sistem selama umur proyek dalam Rp/tahun, CRF adalah faktor pemulihan modal, Dari adalah tingkat diskonto dalam %, dan p adalah umur proyek dalam tahun. CRF dihitung menggunakan persamaan berikut (Vendoti et al., 2020):

$$CRF = \frac{D_r(1+D_r)^p}{(1+D_r)^p-1} \dots\dots\dots(3)$$

COE didefinisikan sebagai total biaya per kilowatt yang berguna dari energi listrik yang dihasilkan, dan dihitung menggunakan Persamaan berikut (Vendoti et al., 2020):

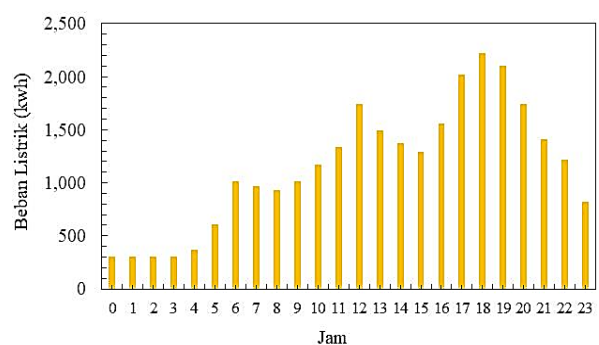
$$COE = \frac{C_{tot}}{E_r} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana C_{tot} adalah total biaya semua sistem selama umur proyek dalam rupiah/tahun, dan E_r adalah total energi yang dilayani dalam kWh/tahun.

HASIL PEMBAHASAN

Konsumsi Energi Listrik

Sistem hybrid biogas-jaringan listrik PLN dikonfigurasi untuk memasok listrik yang cukup ke daerah pedesaan yang sedang dikembangkan yaitu Desa Waru Barat, Kecamatan Waru, Kabupaten pamekasan. Gambar 1 menunjukkan profil beban listrik harian untuk lokasi Desa Waru Barat. Lebih dari 90% konsumsi listrik digunakan untuk aplikasi beban perumahan di wilayah studi (PLN, 2020), dan kebutuhan beban perumahan untuk desa Waru Barat ditentukan sekitar 27,620.52 kWh/hari. Detail kebutuhan energi dalam 1 unit rumah di Desa Waru Barat disajikan pada Tabel 1.



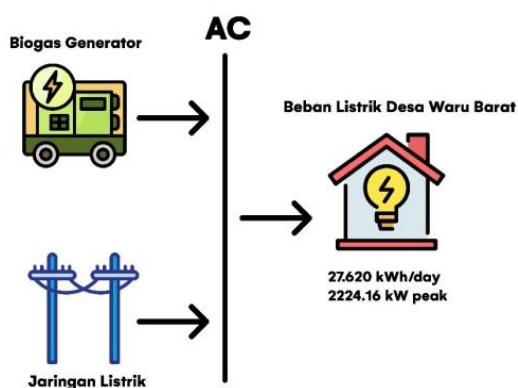
Gambar 1. Kebutuhan Listrik Harian Desa Waru Barat

Tabel 1. Data Kebutuhan listrik

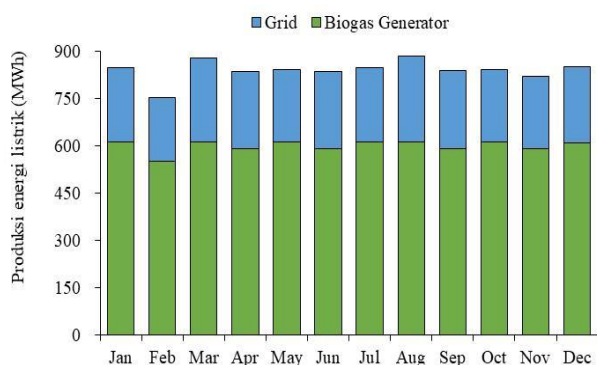
Peralatan	Total Unit	Power (W)	Durasi (jam)	Energi/hari (kWh)
TV	4044	100	3	1213.2
Kipas Angin	8088	85	5	3437.4

Peralatan	Total Unit	Power (W)	Durasi (jam)	Energi/hari (kWh)
Lampu	28308	20	4	2264.64
Kulkas	4044	175	24	16984.8
Pompa Air	4044	200	4	3235.2
Charger Hp	4044	20	6	485.28

Hasil optimasi dengan simulasi software HOMER menyajikan hasil optimal untuk penggunaan kebutuhan energi Desa Waru Barat adalah dengan menggunakan 1.400 kW biogas generator, seperti pada Tabel 1. Dalam setahun energi listrik Desa Waru Barat disuplai oleh biogas generator sebesar 7.205.220 kWh dan 2.882.152 kWh dari jaringan listrik PLN. Sistem ini mensuplai sekitar 27.620 kWh/hari dengan *peak* (puncak) daya sebesar 2.225 kW. Detail produksi energi listrik dari biogas generator dan jaringan listrik PLN tersajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Skema Konfigurasi Biogas Generator- Jaringan Listrik PLN



Gambar 3. Produksi Energi Listrik dari Biogas dan Jaringan Listrik PLN (Grid)

Dalam setahun, biogas generator mampu bekerja selama lebih dari 18 jam sehari, dan selebihnya disupport oleh listrik dari jaringan PLN.

Fraksi energi terbarukan mampu mensupport hingga lebih dari 70% energi listrik pada desa Waru Barat. *Excess energy* pada system konfigurasi ini sangat rendah menunjukkan Biogas generator cukup mumpuni dalam mendukung suplai energi listrik untuk daerah pedesaan. Hasil penelitian ini didukung dari penelitian (Mishra *et al.*, 2016), dimana biogas generator sangat handal dan optimal dalam mensupport energi listrik di daerah pedesaan. Dalam hal sisi ekonomi, biaya energi listrik per kWh cukup ekonomis sekitar 1.168 rupiah. Hal ini lebih rendah dari biaya listrik PLN sebesar 1.550 per kWh untuk biaya rumah tangga (Tabel 2).

Tabel 2. Analisa Tekno-Ekonomi

Konfigurasi	Satuan	Biogas- Jaringan Listrik PLN
Teknis		
Biogas Generator	kW	1400
Waktu Operasional	Jam/Tahun	6,568
Produksi Listrik Biogas	kWh/Tahun	7,205,220
Produksi Listrik Grid	kWh/Tahun	2,882,152
Total Produksi Listrik	kWh/Tahun	10,087,372
Konsumsi Listrik	kWh/Tahun	10,081,300
<i>Excess Energy</i>	kWh/Tahun	0
<i>Renewable Fraction</i>	%	71.4
Listrik tersalurkan ke grid	kWh/Tahun	6,072
Ekonomi		
NPC	Rp.	153.142.970.400
Biaya Instalasi	Rp/Tahun	12.742.800.000
Biaya Biogas	Rp/Ton	0
COE (<i>Cost of Energy</i>)	Rp.	1.168
Biaya Operasional & perawatan	Rp/Tahun	3,489,348,520

Biaya instalasi untuk teknologi biogas generator untuk daerah pedesaan pada area studi kasus sebesar 12.742.800.000 rupiah. NPC pada proyek ini sebesar 140.336.361.519 rupiah dengan biaya perawatan sebesar 3,489,348,520 rupiah dalam setahun. Kemudian, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa penggunaan konfigurasi ini mampu mengurangi emisi Gas rumah kaca dibandingkan dengan sistem jaringan listrik PLN murni. Emisi yang dihasilkan dari sistem tersebut mencapai 6.371.382 kg/tahun yang mana dihasilkan dari konsumsi listrik sebesar 10.081.300 kWh dalam 1 tahun. Sedangkan konfigurasi menggunakan biogas generator menghasilkan 1,825,467 kg/tahun CO₂, sangat jauh dibandingkan dengan sistem dengan jaringan listrik murni. Hal

ini disebabkan karena konfigurasi ini mampu mensupport hingga lebih dari 70% menggunakan energi terbarukan dari biogas generator. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Mishra *et al.*, 2016) yang menyebutkan bahwa penggunaan energi terbarukan menggunakan biogas generator mampu mengurangi emisi negatif terhadap lingkungan. Detail emisi yang dihasilkan oleh konfigurasi antara biogas generator dengan bantuan jaringan listrik PLN untuk mensupport Desa Waru barat, Pamekasan disajikan Tabel 4.

Tabel 4. Analisa Lingkungan

Polusi	Jumlah	Satuan
Carbon Dioxide	1,825,467	kg/tahun
Carbon Monoxide	43.8	kg/tahun
Sulfur Dioxide	7,897	Kg/tahun
Nitrogen Oxides	6,600	kg/tahun

KESIMPULAN

Konfigurasi energi terbarukan yang dikembangkan melalui penelitian ini akan membantu menyediakan energi listrik untuk desa Waru Barat yang memiliki potensi besar terhadap energi biogas. Sistem ini menggunakan teknologi biogas generator yang disupport oleh jaringan listrik PLN, yang dioptimalisasi dan dianalisis menggunakan *software* HOMER. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi ini layak secara teknis, ekonomi dan lingkungan untuk diterapkan. Konfigurasi ini terdiri dari generator biogas 1.400 kW yang terhubung ke jaringan listrik PLN, dengan nilai investasi sebesar Rp. 12.742.800.000 dan biaya energi sebesar Rp. 1.168/kWh. Biaya energi per kWh dari konfigurasi ini lebih murah dibandingkan dengan harga listrik yang disediakan oleh PLN, yaitu sebesar Rp. 1.550 /kWh. Analisis lingkungan menunjukkan bahwa konfigurasi ini dapat menghasilkan pengurangan emisi CO₂ yang signifikan, yaitu sebesar 4.545.915 kg/tahun. Pada akhirnya, konfigurasi ini layak diterapkan untuk mensuplai energi listrik untuk desa Waru Barat, Pamekasan secara khusus dan desa – desa di seluruh Indonesia secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

Almashakbeh, A. S., Arfoa, A. A., & Hrayshat, E. S. (2019). Techno-economic evaluation of an off-grid hybrid PV-wind-diesel-battery system with various scenarios of system's renewable energy fraction. *Energy Sources, Part A: Recovery,*

Utilization and Environmental Effects. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1673515>

Al-Najjar, H., Pfeifer, C., al Afif, R., & El-Khozondar, H. J. (2022). Performance Evaluation of a Hybrid Grid-Connected Photovoltaic Biogas-Generator Power System. *Energies, 15*(9). <https://doi.org/10.3390/en15093151>

Benti, N. E., Mekonnen, Y. S., Asfaw, A. A., Lerra, M. D., Woldegiyorgis, T. A., Gaffe, C. A., & Aneseyee, A. B. (2022). Techno-economic analysis of solar energy system for electrification of rural school in Southern Ethiopia. *Cogent Engineering, 9*(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.2021838>

Das, B. K., Hassan, R., Tushar, M. S. H. K., Zaman, F., Hasan, M., & Das, P. (2021). Techno-economic and environmental assessment of a hybrid renewable energy system using multi-objective genetic algorithm: A case study for remote Island in Bangladesh. *Energy Conversion and Management, 230*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113823>

Fathi, M., Mehrabipour, A., Mahmoudi, A., Mohd Zin, A. A. bin, & Ramli, M. A. M. (2019). Optimum Hybrid Renewable Energy Systems Suitable For Remote Area. *Smart Science, 7*(2), 147–159. <https://doi.org/10.1080/23080477.2019.1600111>

Hoang, D. L., Davis, C., Moll, H. C., & Nonhebel, S. (2020). Impacts of biogas production on nitrogen flows on Dutch dairy system: Multiple level assessment of nitrogen indicators within the biogas production chain. *Journal of Industrial Ecology, 24*(3), 665–680. <https://doi.org/10.1111/jiec.12956>

Jahangir, M. H., & Cheraghi, R. (2020). Economic and environmental assessment of solar-wind-biomass hybrid renewable energy system supplying rural settlement load. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 42*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100895>

Jahangiri, M., Haghani, A., Alidadi Shamsabadi, A., Mostafaeipour, A., & Pomares, L. M. (2019). Feasibility study on the provision of electricity and hydrogen for domestic purposes in the

- south of Iran using grid-connected renewable energy plants. *Energy Strategy Reviews*, 23, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.12.003>
- 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.egy.2022.11.007>
- Kaur, M., Dhundhara, S., Verma, Y. P., & Chauhan, S. (2020). Techno-economic analysis of photovoltaic-biomass-based microgrid system for reliable rural electrification. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(5). <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12347>
- Kirim, Y., Sadikoglu, H., & Melikoglu, M. (2022). Technical and economic analysis of biogas and solar photovoltaic (PV) hybrid renewable energy system for dairy cattle barns. *Renewable Energy*, 188, 873–889. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.08>
- Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities—A review. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s11783-018-1037-8>
- Kumar, P., Pal, N., & Sharma, H. (2022). Optimization and techno-economic analysis of a solar photo-voltaic/biomass/diesel/battery hybrid off-grid power generation system for rural remote electrification in eastern India. *Energy*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123560>
- Li, C., Zhang, L., Qiu, F., & Fu, R. (2022). Optimization and enviro-economic assessment of hybrid sustainable energy systems: The case study of a photovoltaic/biogas/diesel/battery system in Xuzhou, China. *Energy Strategy Reviews*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100852>
- Mustafa Kamal, M., Asharaf, I., & Fernandez, E. (2022). Optimal renewable integrated rural energy planning for sustainable energy development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102581>
- Nag, A. K., & Sarkar, S. (2018). Modeling of hybrid energy system for futuristic energy demand of an Indian rural area and their optimal and sensitivity analysis. *Renewable Energy*, 118, 477–488. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.047>
- Obileke, K., Makaka, G., Nwokolo, N., Meyer, E. L., & Mukumba, P. (2022). Economic Analysis of Biogas Production via Biogas Digester Made from Composite Material. *ChemEngineering*, 6(5), 67. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/chemengineering6050067>
- Odoi-Yorke, F., Abaase, S., Zebilila, M., & Atepor, L. (2022). Feasibility analysis of solar PV/biogas hybrid energy system for rural electrification in Ghana. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2034376>
- Paolini, V., Petracchini, F., Segreto, M., Tomassetti, L., Naja, N., & Cecinato, A. (2018). Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 53(10), 899–906. <https://doi.org/10.1080/10934529.2018.1459076>
- Rajbongshi, R., Borgohain, D., & Mahapatra, S. (2017). Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER. *Energy*, 126, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.056>
- Ramesh, M., & Saini, R. P. (2020). Demand Side Management based techno-economic performance analysis for a stand-alone hybrid renewable energy system of India. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1851820>
- Shahzad, M. K., Zahid, A., Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy*, 106, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.033>
- Sharma, R., & Goel, S. (2015). Stand-alone hybrid energy system for sustainable development in rural India. *Environment, Development and*

- Sustainability*, 18(6), 1601–1614. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9705-3>
- Tiam Kapen, P., Medjo Nouadje, B. A., Chegnimonhan, V., Tchuen, G., & Tchinda, R. (2022). Techno-economic feasibility of a PV/battery/fuel cell/electrolyzer/biogas hybrid system for energy and hydrogen production in the far north region of cameroon by using HOMER pro. *Energy Strategy Reviews*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100988>
- Vendoti, S., Muralidhar, M., & Kiranmayi, R. (2020). Techno-economic analysis of off-grid solar/wind/biogas/biomass/fuel cell/battery system for electrification in a cluster of villages by HOMER software. *Environment, Development and Sustainability*, 23(1), 351–372. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00583-2>
- Wassie, Y. T., & Adaramola, M. S. (2020). Analysing household biogas utilization and impact in rural Ethiopia: Lessons and policy implications for sub-Saharan Africa. *Scientific African*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00474>
- Widiatmoko, K. A. (2021). Optimalisasi Operasi Ekonomis PLTMG Pada Kawasan Industri Dengan Metode Monte Carlo. *ENERGI & KELISTRIKAN*, 13(2), 123–130. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1222>

