



Desain dan Studi Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga *hybrid* Berbasis Energi Matahari dan Energi Hidro

Heri Suropto^{a,*}, Purwo Subekti^a

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian, Roakn Hulu Riau-Indonesia

INFO ARTIKEL

Tersedia Online 21 Juli 2022

ABSTRAK

Teknologi Energi *hybrid* berbasis energi alternatif terus berlanjut untuk pengembangannya. Pemanfaatan energi *hybrid* dapat meningkatkan efisiensi output daya yang dihasilkan, hemat dalam perakitan dan murah dalam perawatan. Penelitian ini akan mendesain serta menganalisis kelayakan secara ekonomi dari pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang berbasis energi matahari dan energi *hydro*. Analisis ini meliputi perhitungan secara numerik berdasarkan formula yang digunakan untuk menentukan kelayakan teknologi yang telah dikembangkan. Hasil desain dari energi *hybrid* tersebut menghasilkan daya total 2 energi *hybrid* sebesar 1450 watt DC, hasil perhitungan nilai ekonomi dengan biaya investasi awal sebesar Rp.14.400.000 dengan nilai NPV sebesar Rp. 28.498.408 sedangkan nilai IRR pembangkit sebesar 47 %, IRR ini lebih besar dari IRR awal sebesar 12 % maka pembangkit ini layak untuk dikembangkan. Pembangkit ini akan direncanakan beroperasi selama periode 10 tahun

Kata kunci: Energy *hybrid*; daya output; biaya investasi; NPV dan IRR

CONTACT

heri.suroptodotone@gmail.com

ABSTRACT

Hybrid energy technology based on alternative energy continues its development. Utilization of hybrid energy can increase the efficiency of the resulting power output, saving on assembly and cheap in maintenance. This research will design and analyze the economic feasibility of a hybrid power plant based on solar energy and hydro energy. This analysis includes numerical calculations based on the formula used to determine the feasibility of the technology that has been developed. The results of the hybrid energy design produce a total power of 2 hybrid energies of 1450 watt DC, the results of the calculation of the economic value with an initial investment cost of Rp. 14,400,000 with an NPV value of Rp. 28,498,408 while the IRR value of the generator is 47%, this IRR is greater than the initial IRR of 12%, so this plant is feasible to be developed. The plant will be planned to operate for 10 years

Keywords: hybrid Energy; output power; investment costs; NPV and IRR

I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik *hybrid* adalah pembangkit listrik yang menggabungkan antara energi konvensional dengan energi terbarukan menjadi alternatif yang menjanjikan karena menghasilkan emisi rumah kaca yang rendah [1]. Sistem energi *hybrid* seperti PV/angin/diesel atau PV/angin yang disimpan dalam baterai sangat optimal akan

menghemat 2800 ton emisi karbon dioksida setiap tahun [2]. Pengembangan teknologi energi listrik *hybrid* menjadi solusi yang tepat seperti pemanfaatan sekam padi yang diolah menjadi biomasa dan dikombinasikan dengan PV dapat menghemat 90 % jaringan listrik yang digunakan [3].

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi dan peningkatan daya

saing pasar energi terbarukan sistem energi *hybrid*, seperti pembangkit listrik tenaga surya dan angin menghasilkan kondisi yang menguntungkan dengan sistem photovoltaic - battery energy storage [4]. Sistem energi *hybrid* yang terdiri dari operasi terintegrasi dari dua atau lebih jenis sumber energi sebagai solusi hemat dipasang untuk daerah pedesaan atau daerah terpencil [5]. Sistem energi *hybrid* lainnya seperti pengembangan sistem *hybrid* piko hidrolik dan PV menghasilkan pembangkit yang hemat, optimal dan efektif untuk sektor perumahan [6], [7], melalui sistem HOMER (*Hybrid of Multiple Electric Renewables*) yang terdiri beberapa energi terbarukan seperti angin, biomassa, bahan bakar hidrogen, hidro, dengan generator diesel bertenaga bahan bakar fosil dapat meminimalkan biaya energi dan CO₂ [8]. Kajian ekonomi dari pembangkit listrik tenaga *hybrid* terus dikembangkan melalui sistem aplikasi HOMER terintegrasi secara on grid dan off grid yang dapat membaca perilaku operasional sistem dan dampak buruknya terhadap lingkungan [9]. Hasil simulasi energi *hybrid* menggunakan Sistem HOMER terbukti lebih hemat biaya dan ramah lingkungan [10]. Kelayakan ekonomi sistem *hybrid* terhadap kombinasi energi alternatif fotovoltaik, biogas-diesel, baterai menghasilkan pembangkit listrik *hybrid* fotovoltaik/biogas/baterai lebih hemat dan optimal untuk dioperasikan [11]. Sistem energi terbarukan *hybrid* dianggap sebagai solusi bagi masalah lingkungan [12], di negara berkembang kekurangan listrik merupakan hambatan utama bagi pembangunan ekonomi dan sosial [13]. Permintaan energi yang terus meningkat dan menipisnya sumber energi konvensional oleh karena itu perlu pengoptimalan beberapa model energi *hybrid* yang terdiri dari solar PV, generator, diesel, dan grid [14], kerangka energi terbarukan off grid *hybrid* juga dapat digunakan untuk pengurangan ketergantungan pada aset energi tradisional [15] dan teknologi *hybrid* memiliki ketersediaan energi yang cukup untuk menghasilkan beban [16]. Teknologi energi *hybrid* adalah sangat menjanjikan tantangan dan peluang bagi negara maju dan berkembang [17].

II. MATERIAL DAN METODE

Persyaratan yang menjadi kebutuhan deskripsi dari desain dan studi ekonomi akan dibahas di bagian ini.

2.1 Material

1. AutoCad Software

Desain yang digunakan untuk membuat sketsa perancangan adalah software autocad 2012. Sket yang akan dibuat dengan autocad kedalam 3 dimensi.

2. Komponen energi *hybrid*

a. Solar cell

Pembangkit energi listrik melalui photovoltaic surya dapat menghasilkan efisiensi tinggi, listrik yang dihasilkan oleh sel surya kosentrator selama jangka waktu dengan berbagai kondisi cuaca dan suhu sel yang realistis [18]. Dalam penelitian jenis modul surya yang digunakan adalah modul surya polycrystalline 100 Wp sebanyak 3 unit.

b. Energi hidro

Energi hidro yang di rancang adalah energi hidro yang memanfaatkan dari air jatuh mengenai kincir kemudian dinaikan kembali menggunakan pompa [19].

c. Daya dan efisiensi

Sebelum mengetahui daya sesaat yang dihasilkan energi yang diterima harus diketahui terlebih dahulu, dimana energi tersebut adalah perkalian intensitas radiasi yang diterima luasan dengan persamaan [20].

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

dimana : Intensitas radiasi matahari I_r (W/m^2), sedangkan A adalah luas permukaan (m^2)

Sedangkan besarnya daya sesaat yaitu perkalian tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel photovoltaic dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P = V \times I \quad (2)$$

dimana : P adalah Daya (watt), V adalah Beda potensial (volt), dan I adalah Arus (ampere)

d. Efisiensi

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan sel surya dengan energi input yang diperoleh dari sinar matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

Sehingga efisiensi yang dihasilkan [21]:

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana: η adalah Efisiensi (%), P_{out} adalah Daya output (Watt), P_{in} adalah Daya input (Watt)

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (4)$$

Dimana: V_{out} adalah Tegangan rangkaian terbuka (Watt), I_{sc} adalah Arus hubungan singkat (Watt), FF adalah Faktor pengisi

$$FF = \frac{V_{oc} \cdot \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (5)$$

Untuk menentukan daya keluaran maka diawali dengan menghitung luas penampang sel surya tersebut dari itu luas penampangnya adalah sebagai berikut [22].

$$A = P \cdot L \quad (6)$$

Dimana: A adalah Luas penampang (m^2), P adalah Panjang solar cell (meter), L adalah Lebar solar cell (meter)

3. Investasi dan anggaran

Investasi bisa dilakukan jika memiliki profit [23].

$$NPV = a_{n_0} + \frac{a_{n_1}}{1+r} + \frac{a_{n_2}}{(1+r)^{n_2}} \dots \quad (7)$$

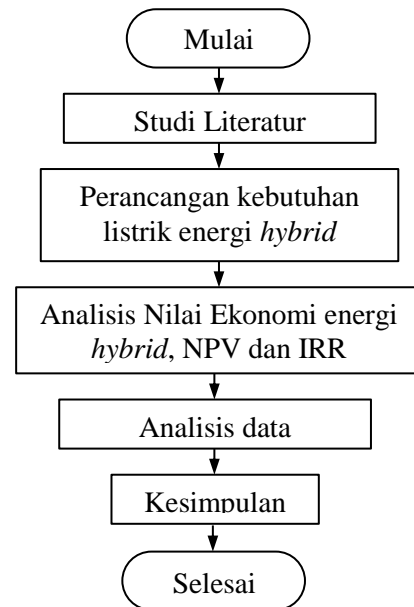
a_n adalah *Cash flow*, n adalah Waktu dalam tahun, r adalah Tingkat bunga Sedangkan penerimaan atau penolakan usulan investasi ini adalah dengan membandingkan IRR dengan tingkat bunga yang disarakan (*required rate of return*). Apabila IRR lebih besar dari pada tingkat bunga yang disarakan maka proyek tersebut dapat diterima. Untuk menghitung IRR dapat menggunakan rumus sebagai berikut [24].

$$NPV(IRR, N) = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

IRR adalah *Internal rate of return*, N adalah Total tahun periode, C_t adalah inisial cash flow, t adalah waktu periode. IRR adalah indikator yang digunakan untuk mengukur profitabilitas sebuah proyek investasi, semangkin tinggi IRR semangkin besar profitabilitas dari sebuah proyek [24].

2.2 Metode

Teknologi yang akan dirancang diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga terkhusus di daerah terpencil.



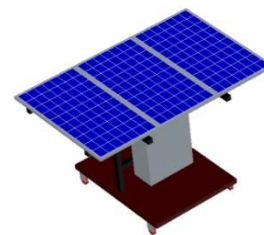
Gambar 1. Diagram Alir penelitian

Metode dari penelitian ini diawali dengan menentukan literatur (referensi) yang akan digunakan, kemudian dilakukan perancangan kebutuhan listrik yang akan digunakan untuk perumahan sederhana, kemudian dilanjutkan dengan dilakukan desain energi *hybrid*, kemudian dilakukan analisis ekonomi (NPV dan IRR), kemudian analisis data, kesimpulan selesai.

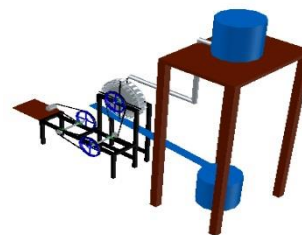
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain alat dan analisis ekonomi akan dibahas dalam bagian ini

3.1 desain alat



Gambar 2. Rangkaian energi matahari



Gambar 3. Rangkaian energi hidro

3.2 Perhitungan energi listrik yang dibutuhkan

Berikut perhitungan energi listrik yang dibutuhkan.

Tabel 1. Kebutuhan energi listrik

No	Parameter	Waktu (jam)	
		Siang	Malam
1	Lampu 3 watt 3 unit		4
2	Lampu 5 watt 1 unit		4
3	Lampu 8 watt 1 unit		5
4	TV 30 watt 1 unit		4
5	Kipas angin 35 watt 1 unit	2	2
6	Setrika 350 watt 1 unit	1	

Berdasarkan tabel 1 maka konsumsi beban pada energi *hybrid* yaitu lampu 3 watt 3 unit 4 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 36 watt, lampu 5 watt 1 unit 4 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 20 watt, lampu 8 watt 1 unit 5 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 40 watt, TV 30 watt 1 unit 4 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 120 watt, kipas angin 35 watt 1 unit 4 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 140 watt, Setrika 350 watt 1 unit 1 jam pengoperasian maka beban listriknya adalah 350 sehingga total beban listrik yang harus disediakan adalah sebesar 706 watt.

3.3 Hasil Pengujian energi matahari kondisi terik

Tabel 2. Tabel Pengujian energi matahari kondisi terik

No	Jam	Radiasi (watt/m ²)	Daya (watt)	Total Daya (watt)
1	10.00	4455	9	27
2	11.00	5080	28	84
3	12.00	5330	45	135
4	13.00	5200	7	21
5	14.00	4500	7	21
Rata-rata		4913	19,2	288

Tabel 3. Tabel Pengujian energi matahari kondisi berawan

No	Jam	Radiasi	Daya	Total
----	-----	---------	------	-------

		(watt/m ²)	(watt)	Daya (watt)
1	10.00	2600,56	6.84	20.52
2	11.00	3121,77	21.28	63.84
3	12.00	4980,58	34.2	102.6
4	13.00	2027,03	5.32	15.96
5	14.00	1834,86	5.32	15.96
Rata-rata		14564.8	14.592	218.88

1. Daya yang dihasilkan oleh modul solar cell sebagai berikut :

$$P_{in} = 4913 \times 0.6834 \\ = 3357 \text{ watt}$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{20 - \ln(20 + 0,72)}{20 + 1} \\ = 0,81$$

Sehingga:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ = 20 \times 5.4 \text{ A} \times 0,81 = 87,48 \text{ watt}$$

Maka besaran efisiensinya adalah:

$$\eta = \frac{87,4}{4913} \times 100\% \\ = 1.7 \%$$

Sehingga daya output per modul adalah:

$$W_{output} = I_r \times \eta \times A \\ = 4913 \times 0.017 \times 0,6834 \\ = 57,1 \text{ watt}$$

Dari perhitungan daya output modul maka jumlah sel surya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan pompa sistem energi *hybrid* adalah:

$$\text{Mencari jumlah modul solar cell} = \frac{706 \text{ Watt}}{57,1 \text{ watt}} = \\ 12,3 \text{ buah atau 12 unit modul sel surya } 100 \text{ Wp}$$

2. Daya yang dihasilkan energi *hydro*

Daya yang dihasilkan oleh energi hidro dari pengujian sebesar 250 watt Dc dengan kondisi bukaan katul penuh, putaran kincir 20 rpm, putaran transmisi 350 rpm dengan 5 transmisi gear dan rantai dan putaran generator sebesar 750 rpm

Dari hasil eksperimen energi *hybrid* berbasis energi alternatif matahari dan energi hidro maka daya yang dihasilkan dapat mensuplai energi listrik yang dibutuhkan sebesar 706 watt. Untuk perancangan modul sel surya 1 unit 100 wp dapat menghasilkan listrik sebesar 400 watt. Jika energi listrik dari hidro sebesar 250 watt maka kekurangan energi listrik akan disuplai oleh energi

matahari. Total kebutuhan energi listrik sebesar 706 watt dikurang 250 watt sehingga energi matahari harus mampu mensuplai kekurangan sebesar 456 watt. Dalam perancangan energi surya yang telah dilakukan energi surya menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi listrik sebanyak 2 unit 50 Ah maka total energi yang dikeluarkan 2 baterai sebesar 1200 watt Dc. Desain Energi *hybrid* ini mampu mensuplai energi listrik sesuai kebutuhan.

3.4 Nilai Ekonomi pembangkit listrik *hybrid*

1. Anggaran biaya energi matahari

Tabel 4. Harga peralatan energi *hybrid* sola dan hidro

No	Komponen	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga total (Rp)
1	Modul surya cell	3 pcs	1.100.000	3.300.000
2	Baterai	2 pcs	700.000	1.400.000
3	SCC	1 unit	500.000	500.000
4	Kerangka	1 paket	300.000	300.000
5	Panel box	1 pcs	250.000	250.000
6	Inverter 1000 watt	1 unit	1.000.000	1.000.000
7	Kincir air	1 uni	500.000	500.000
8	Transmisi Generator	1 paket	500.000	500.000
9	DC 250 watt	1 unit	350.000	350.000
10	Kerangka	1 paket	500.000	500.000
11	Reservoir	2 pcs	1.800.000	1.800.000
Total				10.400.000

Jadi biaya operasional = Biaya investasi + Biaya perawatan modul solar cell dan energi hidro

$$= \text{Rp } 10,400,000 + \text{Rp } 4,000,000$$

$$= \text{Rp } 14,400,000$$

2. Perhitungan investasi

Untuk perancangan sistem energi *hybrid* dengan umur pakai direncanakan 20 tahun ke depan. Biaya investasi sebesar Rp. 10.400.000,00 ditambah biaya perawatan modul solar cell dan energi hidro sebesar Rp. 4000.000,00 sehingga perhitungan NPV dan IRR nya adalah sebagai berikut.

Table 5. Assumption perencanaan biaya

Case of Capital	12%
-----------------	-----

Initial Investment	Rp 14,400,000
Salvage Value	10%
Revenue	Rp 6,545,000
Revenue growth	5%
Inflation	4%
Lama Project (thn)	10

Tabel 6. Opex perencanaan biaya

Manpower	200000
Marketing	10000
Administration	50000
Other Exp	50000
	310000

Table 7. Biaya revenue dan manpower

No	Tahun	Revenue (Rp)	Manpower (Rp)
1	Tahun ke 0		
2	Tahun ke 1	6.545.000	200.000
3	Tahun ke 2	6.872.250	208.000
4	Tahun ke 3	7.215.863	216.320
5	Tahun ke 4	7.576.656	224.973
6	Tahun ke 5	7.955.488	233.971
7	Tahun ke 6	8.353.263	243.330
8	Tahun ke 7	8.770.926	253.063
9	Tahun ke 8	9.209.472	263.186
10	Tahun ke 9	9.669.946	273.713
11	Tahun ke 10	10.153.443	284.662

Tabel 8. Biaya marketing dan administration

No	Tahun	Marketing (Rp)	Administration (Rp)
1	Tahun ke 0		
2	Tahun ke 1	10.000	50.000
3	Tahun ke 2	10.400	52.000
4	Tahun ke 3	10.816	54.080
5	Tahun ke 4	11.249	56.243
6	Tahun ke 5	11.166	58.492
7	Tahun ke 6	12.653	60.832
8	Tahun ke 7	12.653	63.265
9	Tahun ke 8	13.159	65.796
10	Tahun ke 9	13.685	68.428
11	Tahun ke 10	14.233	71.165

Tabel 9. Biaya EBITDA dan Cash flow

No	Tahun	EBITDA (Rp)	Cash Flow (Rp)
1	Tahun ke 0		-14.400.000
2	Tahun ke 1	6.235.000	6.235.000

3	Tahun ke 2	6.549.850	6.549.850
4	Tahun ke 3	6.880.566	6.880.566
5	Tahun ke 4	7.227.947	7.227.947
6	Tahun ke 5	7.592.832	7.592.832
7	Tahun ke 6	7.976.100	7.976.100
8	Tahun ke 7	8.378.677	8.378.677
9	Tahun ke 8	8.801.533	8.801.533
10	Tahun ke 9	9.245.689	9.245.689
11	Tahun ke 10	9.712.216	11.152.216

Dari data hasil perhitungan biaya maka nilai NPV dapat di ketahui dengan menggunakan persamaan 7 adalah:

$$\begin{aligned}
 NPV &= -14.400.000 + \frac{6.235.000}{1+12\%} + \frac{6.549.850}{(1+12\%)^2} + \\
 &= \frac{6.880.566}{(1+12\%)^3} + \frac{7.227.947}{(1+12\%)^4} + \frac{7.592.832}{(1+12\%)^5} \\
 &= \frac{7.976.100}{(1+12\%)^6} + \frac{8.378.677}{(1+12\%)^7} + \frac{8.801.533}{(1+12\%)^8} \\
 &= \frac{9.245.689}{(1+12\%)^9} + \frac{11.152.216}{(1+12\%)^{10}} \\
 &= \text{Rp. } 28.498.408
 \end{aligned}$$

Untuk nilai IRR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 NPV(IRR, N) &= \frac{6.235.000}{1+47\%} + \frac{6.549.850}{(1+47\%)^2} + \\
 &= \frac{6.880.566}{(1+47\%)^3} + \frac{7.227.947}{(1+47\%)^4} + \frac{7.592.832}{(1+47\%)^5} \\
 &= \frac{7.976.100}{(1+47\%)^6} + \frac{8.378.677}{(1+47\%)^7} + \frac{8.801.533}{(1+47\%)^8} \\
 &= \frac{9.245.689}{(1+47\%)^9} + \frac{11.152.216}{(1+47\%)^{10}} = 0
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan investasi dengan umur modul solar cell selama 10 tahun menunjukkan bahwa dari kedua sistem perancangan solar cell bisa di laksanakan karena $IRR > 12\%$ yaitu IRR sebesar 47 % maka pembangkit ini layak untuk dikembangkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan beban pembangkit listrik tenaga *hybrid* menghasilkan daya sebesar 1200 DC energi matahari dan 250 DC energi hidro, biaya investasi sebesar Rp. 14.400.000 dengan nilai NPV sebesar Rp.

28.498.408 sedangkan nilai IRR pembangkit sebesar 47 %, IRR ini lebih besar dari IRR awal sebesar 12 % maka pembangkit ini layak untuk di kerjakan. Pembangkit ini akan direncanakan beroperasi selama periode 10 tahun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Serrano-Sanchez, M. Olmeda-Delgado, and F. Petrakopoulou, "Exergy and economic evaluation of a *hybrid* power plant coupling coal with solar energy," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 5, 2019, doi: 10.3390/app9050850.
- [2] M. A. Baseer, A. Alqahtani, and S. Rehman, "Techno-economic design and evaluation of *hybrid* energy systems for residential communities: Case study of Jubail industrial city," *J. Clean. Prod.*, vol. 237, p. 117806, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.117806.
- [3] S. Bhattacharjee and A. Dey, "Techno-economic performance evaluation of grid integrated PV-biomass *hybrid* power generation for rice mill," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 7, pp. 6–16, 2014, doi: 10.1016/j.seta.2014.02.005.
- [4] M. Bortolini, M. Gamberi, and A. Graziani, "Technical and economic design of photovoltaic and battery energy storage system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 81–92, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.04.089.
- [5] J. Dekker, M. Nthontho, S. Chowdhury, and S. P. Chowdhury, "Economic analysis of PV/diesel *hybrid* power systems in different climatic zones of South Africa," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 40, no. 1, pp. 104–112, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.02.010.
- [6] F. F. Selim, A. Abdelaziz, and I. B. M. Taha, "Economic design of *hybrid* pico-hydraulic/photovoltaic generation system: A case study in Egypt," *Electron.*, vol. 10, no. 23, 2021, doi: 10.3390/electronics10232947.
- [7] O. Krishan and S. Suhag, "Techno-economic analysis of a *hybrid* renewable energy system for an energy poor rural community," *J. Energy Storage*, vol. 23, no. November 2018, pp. 305–319, 2019, doi: 10.1016/j.est.2019.04.002.
- [8] J. Kumari, P. Subathra, J. Edwin Moses, and D. Shruthi, "Economic analysis of *hybrid* energy system for rural electrification using homer," *Proc. IEEE Int. Conf. Innov. Electr. Electron. Instrum. Media Technol.*

- ICIEEIMT 2017, vol. 2017-Janua, no. 978, pp. 151–156, 2017, doi: 10.1109/ICIEEIMT.2017.8116824.
- [9] J. O. Oladigbolu, M. A. M. Ramli, and Y. A. Al-Turki, “Techno-economic and sensitivity analyses for an optimal *hybrid* power system which is adaptable and effective for rural electrification: A case study of Nigeria,” *Sustain.*, vol. 11, no. 18, 2019, doi: 10.3390/su11184959.
- [10] Z. Girma, “Technical and economic assessment of solar PV/diesel *hybrid* power system for rural school electrification in ethiopia,” *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 735–744, 2013.
- [11] C. Li, L. Zhang, F. Qiu, and R. Fu, “Optimization and enviro-economic assessment of *hybrid* sustainable energy systems : The case study of a photovoltaic / biogas / diesel / battery system in,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 41, no. December 2021, p. 100852, 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100852.
- [12] U. B. Baloglu and Y. Demir, “Economic Analysis of *hybrid* Renewable Energy Systems with V2G Integration Considering Battery Life,” *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 242–247, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2016.12.140.
- [13] A. Pina, P. Ferrão, J. Fournier, B. Lacarrière, and O. Le Corre, “ScienceDirect ScienceDirect Techno-economic analysis of *hybrid* system Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor temperature function for a district heat demand forecast for rural electrification in Cambodia,” *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 524–529, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.10.239.
- [14] M. Usman, M. T. Khan, A. S. Rana, and S. Ali, “Techno-economic analysis of *hybrid* solar-diesel-grid connected power generation system,” *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 653–662, 2018, doi: 10.1016/j.jesit.2017.06.002.
- [15] A. Singh and P. Baredar, “Techno-economic assessment of a solar PV, fuel cell, and biomass gasifier *hybrid* energy system,” *Energy Reports*, vol. 2, pp. 254–260, 2016, doi: 10.1016/j.egypr.2016.10.001.
- [16] D. Icaza-Alvarez, F. Jurado, M. Tostado-Véliz, and P. Arevalo, “Design to include a wind turbine and socio-techno-economic analysis of an isolated airplane-type organic building based on a photovoltaic/hydrokinetic/battery,” *Energy Convers. Manag. X*, vol. 14, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100202.
- [17] S. M. Shaahid and M. A. Elhadidy, “Economic analysis of *hybrid* photovoltaic-diesel-battery power systems for residential loads in hot regions-A step to clean future,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 2, pp. 488–503, 2008, doi: 10.1016/j.rser.2006.07.013.
- [18] L. Z. Broderick, B. R. Albert, B. S. Pearson, L. C. Kimerling, and J. Michel, “Design for energy: Modeling of spectrum, temperature and device structure dependences of solar cell energy production,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 136, pp. 48–63, 2015, doi: 10.1016/j.solmat.2014.12.034.
- [19] H. Suripto and S. Anwar, “Pembuatan Mesin Pencacah Single Blade Kapasitas 100 kg/jam dengan Metode Pahl & Beitz,” *heri suripto*, vol. 5, no. 2, p. 221, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.221-230.
- [20] Y. L. Ferederik H, Sumbuyung, “Analisa dan Estimasi Radiasi Konstan Energi Matahari Melalui Variasi Sudut Panel Fotovoltatik SHS 50 WP,” *Univ. Musamus Merauke*, 2012.
- [21] Y. L. Ferederik H, Sumbuyung, “Analisa dan Estimasi Radiasi Konstan Energi Matahari Melalui Variasi Sudut Panel Fotovoltatik SHS 50 WP,” *Univ. Musamus Merauke*, 2012.
- [22] H. Suripto and S. Anwar, “Desain dan Pengembangan Prototipe Alat Uji Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan Back Flow Water System,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 5, no. 2, p. 221, 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.221-230.
- [23] J. L. Herbohn and S. R. Harrison, “Introduction to Discounted Cash Flow Analysis and Financial Functions in Excel,” *Socio-economic Res. methods For. A Train. Man.*, no. January 2002, pp. 109–118, 2002, [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.185.1715&rep=rep1&type=pdf>.
- [24] J. Cardoso, V. Silva, and D. Eusébio, “Techno-economic analysis of a biomass gasification power plant dealing with forestry residues blends for electricity production in Portugal,” *J. Clean. Prod.*, vol. 212, no. 2019, pp. 741–753, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.054.