



Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* Panel Surya dan Turbin Angin untuk Pembangkit Daya pada Pompa Kolam Budidaya Ikan Mas

Qidam Maulana ¹, Muhammad Hariyadi Sudrajat ², Rifky Reza Saputra ³, Eko Bagus Panutun ⁴, Joko Setiyono ⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : ¹ qidam Maulana5@gmail.com, ² hariyadisudrajat08@gmail.com, ³ rifkyreza147852@gmail.com,
⁴ arshapanuntun07@gmail.com, ⁵ dosen00889@unpam.ac.id

Masuk: 15 Maret 2025

Direvisi: 31 Maret 2025

Disetujui: 16 April 2025

Abstract: The water pump used in goldfish aquaculture ponds must operate continuously to maintain stable water quality. Using paid electricity sources to run the pump requires a significant amount of cost. Therefore, this study aims to design and test the performance of a hybrid power generation system (PLTH) utilizing two types of generators—solar panels and wind turbines—as alternative energy sources to meet the electricity demand of the water pump in goldfish aquaculture ponds. The designed hybrid system employs a 100 Wp solar panel and a four-blade Savonius wind turbine, which can generate a maximum power output of 64.034 W. This system is combined with a 35 Ah/12 V battery to store the electrical energy produced by the generators, enabling the water pump to operate for 4 hours and 52 minutes without recharging. The method used includes an analysis of the power output from the PV and wind systems, as well as an efficiency test of the energy stored in the 35 Ah/12 V battery. The results show that the hybrid system is capable of meeting the power demands of the water pump with high efficiency, especially under sunny weather and moderate to strong wind conditions. The use of this hybrid power generation system can significantly reduce operational costs caused by conventional electricity use and optimize the utilization of renewable energy sources. Thus, the implementation of this system provides an environmentally friendly and cost-effective solution for the goldfish aquaculture sector while supporting the development of renewable energy technologies in the fisheries sector.

Keywords: Hybrid Power Generation, Solar Panel, Wind Turbine, Battery, Water Pump, Goldfish Aquaculture, Renewable Energy.

Abstrak: Pompa air yang digunakan pada kolam budidaya ikan mas harus beroperasi secara terus-menerus untuk menjaga kualitas air tetap stabil. Penggunaan sumber listrik berbayar untuk mengoperasikan pompa memerlukan biaya yang sangat besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji unjuk kerja pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) dengan memanfaatkan dua jenis pembangkit, yaitu panel surya dan turbin angin, sebagai sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik pompa air pada kolam budidaya ikan mas. Sistem *hybrid* yang dirancang menggunakan panel surya berkapasitas 100 Wp dan turbin angin Savonius 4 sudu, yang mampu menghasilkan daya tertinggi sebesar 64,034 W, dikombinasikan dengan baterai 35 Ah/12 V untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit, sehingga dapat mengoperasikan pompa air selama 4 jam 52 menit tanpa pengisian ulang. Metode yang digunakan mencakup analisis pengujian daya yang dihasilkan oleh PLTS dan PLTB, serta pengujian efisiensi penggunaan daya yang disimpan pada baterai 35 Ah/12 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *hybrid* ini mampu memenuhi kebutuhan daya pompa air dengan efisiensi yang sangat baik, terutama pada kondisi cuaca cerah dan angin sedang hingga tinggi. Penggunaan pembangkit listrik *hybrid* ini dapat mengurangi biaya operasional akibat penggunaan listrik konvensional serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Dengan demikian, penerapan sistem ini dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan dan ekonomis untuk sektor budidaya ikan mas, sekaligus mendukung pengembangan teknologi energi terbarukan di sektor perikanan.

Kata kunci: Pembangkit Listrik *Hybrid*, Panel Surya, Turbin Angin, Baterai, Pompa Air, Budidaya Ikan Mas, Energi Terbarukan.

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) adalah sistem pembangkit listrik yang menggabungkan dua atau lebih jenis pembangkit dengan sumber energi yang berbeda. Salah satu contohnya adalah kombinasi antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau Angin (PLTB) [1]. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* yang mengombinasikan energi surya dan angin memiliki keunggulan dalam memanfaatkan potensi sumber daya alam yang melimpah di Indonesia. Panel surya menghasilkan listrik pada siang hari, sedangkan turbin angin dapat beroperasi sepanjang hari, tergantung pada kondisi kecepatan angin [2].

Dalam konteks budidaya ikan mas, dibutuhkan pasokan energi yang berkelanjutan untuk memastikan pompa aerator tetap menyala sepanjang waktu, agar ikan mas memperoleh oksigen yang cukup untuk bertahan hidup. Penerapan sistem *hybrid* energi terbarukan ini dapat mendukung keberlanjutan energi serta mengurangi ketergantungan pada sumber listrik utama [3].

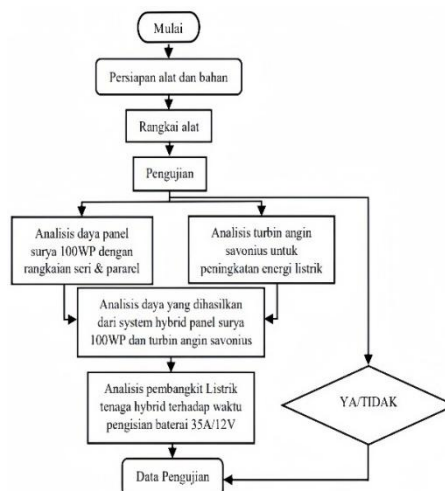
Penelitian ini bertujuan untuk menguji efisiensi dari penggabungan kedua pembangkit tersebut, menentukan rangkaian panel surya yang paling efisien dalam pengisian baterai, menguji sudut kemiringan panel surya yang paling optimal dalam menghasilkan daya, mengevaluasi beberapa variasi turbin angin dalam menghasilkan daya, serta menguji rangkaian PLTH yang paling optimal untuk pengisian baterai dan durasi operasional pompa aerator.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua unit panel surya berkapasitas 50 Wp, masing-masing dengan luas penampang 62,5 cm × 40 cm. Sementara itu, turbin angin tipe Savonius yang digunakan memiliki diameter 0,54 m dan tinggi 0,52 m, baik untuk varian dua sudu maupun empat sudu. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan di sektor budidaya ikan, sekaligus mendukung upaya pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

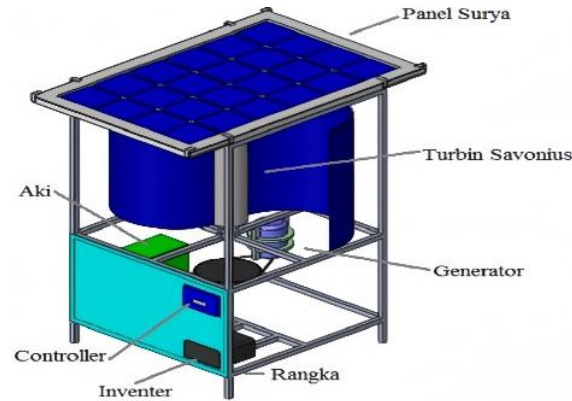
METODOLOGI

Parameter yang diukur dalam pengujian ini meliputi intensitas cahaya (dalam satuan W/m²) yang diukur menggunakan *luxmeter*, serta kecepatan angin (m/s) yang diukur menggunakan *anemometer*. Selain itu, digunakan *multitester* untuk memperoleh nilai tegangan (Volt) dan arus listrik (Ampere) yang dihasilkan oleh panel surya dan turbin angin [1]. Data yang diperoleh dimanfaatkan untuk menghitung daya listrik (dalam satuan Watt) dan efisiensi sistem (dalam persen). Parameter dan variabel yang ditentukan dalam pengujian ini antara lain adalah panel surya dengan spesifikasi total 100 Wp, yang terdiri atas dua unit panel surya 50 Wp. Panel-panel ini dirangkai secara seri dan paralel untuk menguji konfigurasi yang paling efisien. Selain itu, sudut kemiringan panel surya juga divariasikan, yaitu pada sudut 0° dan 25° [4].

Untuk pengujian turbin angin, kecepatan angin divariasikan pada tiga nilai, yaitu 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s, yang dihasilkan dengan bantuan alat berupa *blower*. Jumlah sudu pada rotor turbin juga divariasikan menjadi dua, yaitu 2 sudu dan 4 sudu. Pengambilan data dilakukan mulai pukul 10.00 WIB hingga 15.00 WIB, dengan interval waktu satu jam untuk setiap pengambilan. Seluruh data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik guna mempermudah proses analisis dan pembahasan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Desain Pembangkit Listrik Hybrid

Analisis dan Pengolahan Data

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Intensitas cahaya matahari berperan sebagai input bagi panel surya, yang kemudian dikonversi menjadi arus dan tegangan. Untuk menentukan daya input pada panel surya, digunakan persamaan berikut [5]:

$$P_{in} = I_{rad} \times A \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- P_{in} = daya masukan (Watt)
- I_{rad} = intensitas cahaya matahari (W/m^2)
- A = luas penampang panel surya (m^2)

Sementara itu, output dari panel surya terdiri atas tegangan dan arus listrik. Perhitungan daya keluaran dilakukan dengan rumus [5]:

$$P_{out} = V \times I \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- P_{out} = daya keluaran panel surya (Watt)
- V = tegangan panel surya (Volt)
- I = arus keluaran panel surya (Ampere)

Efisiensi panel surya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [6]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- η = efisiensi panel surya (%)
- P_{out} = daya keluaran (Watt)
- P_{in} = daya masukan (Watt)

2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Energi yang terkandung dalam aliran angin direpresentasikan sebagai energi kinetik, yang dinyatakan dalam persamaan [1]:

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- E_k = energi kinetik (Joule)
- m = massa udara yang mengalir (kg)
- v = kecepatan angin (m/s)

Daya angin yang tersedia dihitung menggunakan persamaan [1]:

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- P_a = daya angin (Watt)
- ρ = massa jenis udara (1,255 kg/m³)
- A = luas sapuan rotor turbin (m²)
- v = kecepatan angin (m/s)

Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh turbin merupakan arus searah (DC), sehingga daya generator dapat dihitung dengan [7]:

$$P_{generator} = V \times I \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- $P_{generator}$ = daya keluaran generator (Watt)
- V = tegangan keluaran (Volt)
- I = arus keluaran (Ampere)

Efisiensi dari turbin angin dihitung dengan rumus [7]:

$$\eta = \frac{P_{generator}}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- η = efisiensi turbin angin (%)
- $P_{generator}$ = daya keluaran generator (Watt)
- P_a = daya angin (Watt)

3. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid

Perangkat PLTH dilengkapi dengan *inverter* yang berfungsi mengubah tegangan DC menjadi AC agar dapat digunakan pada beban AC. Daya keluaran dari inverter dihitung dengan [1]:

$$P_{beban} = V_b \times I_b \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- P_{beban} = daya pada beban (Watt)
- V_b = tegangan beban (Volt)
- I_b = arus beban (Ampere)

Efisiensi sistem PLTH dihitung menggunakan prinsip Hukum Termodinamika II [1]:

$$\eta_{PLTH} = \frac{P_{beban}}{P_a + P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- η_{PLTH} = efisiensi sistem PLTH (%)
- P_{beban} = daya beban (Watt)
- P_a = daya angin (Watt)
- P_{in} = daya masukan dari panel surya (Watt)

4. Baterai

a. Pengujian menggunakan catu daya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengisian dan pengosongan baterai dengan menganalisis parameter arus pengisian (I_{bat}) dan tegangan pengisian (V_{bat}) pada kondisi awal dan akhir pengisian baterai [8].

b. Pengujian menggunakan PLTH

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengisian dan konsumsi daya pada baterai 35 Ah / 12 V saat digunakan untuk mengoperasikan pompa aerator pada kolam budidaya ikan mas. Parameter yang diukur adalah (I_{bat}) dan (V_{bat}), dengan pengambilan data dilakukan pada pukul 10.00–15.00 WIB.

- c. Pengujian pengosongan baterai
Baterai 35 Ah / 12 V dihubungkan dengan *inverter* 200 W untuk mengoperasikan satu buah pompa aerator berdaya 15 W. Parameter yang diamati adalah arus pengosongan dan durasi pengosongan, untuk mengetahui kapasitas aktual baterai [8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan di Pasar Kemis, Kabupaten Tangerang. Data yang diperoleh disusun dalam Tabel 1 dan Tabel 2, yang mencakup hasil pengukuran dari panel surya, turbin angin, baterai, serta keluaran inverter. Data ini merupakan dasar dalam menganalisis efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Pengujian dilakukan dengan konfigurasi panel surya 100 Wp menggunakan rangkaian paralel dengan sudut kemiringan 25°, serta turbin angin Savonius empat sudu dengan kecepatan angin 5 m/s.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Harian

Pukul	Panel Surya		Turbin Angin		Aki		Output Inverter	
	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
10.00	13,2	2,72	1,02	0,33	11,6	0,2	237	0,15
11.00	13,2	2,88	1,02	0,33	12,7	0,2	237	0,15
12.00	13,4	3,1	1,02	0,33	12,8	0,2	237	0,15
13.00	13,2	2,84	1,02	0,33	12,9	0,2	237	0,15
14.00	13,2	2,73	1,02	0,33	13	0,2	237	0,15
15.00	13,1	2,49	1,02	0,33	13,1	0,2	237	0,15

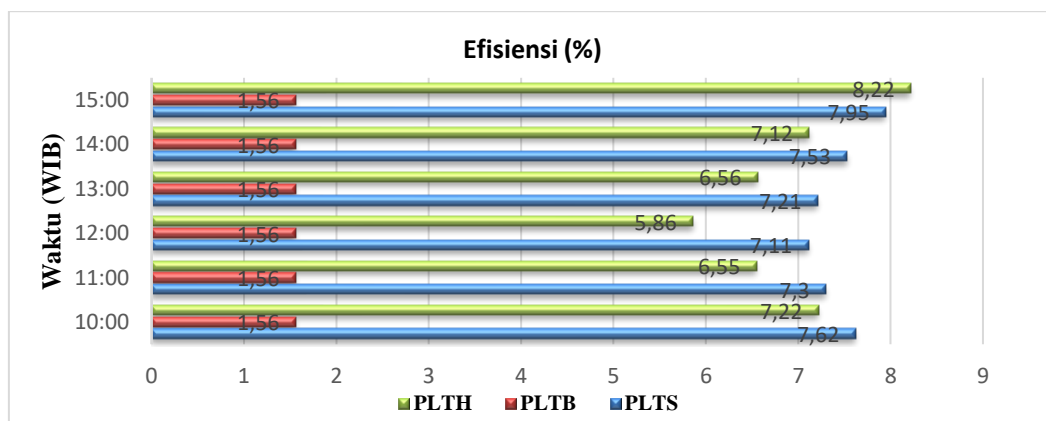
Tabel 2. Data Perhitungan Efisiensi Sistem

Pukul	P _{in} (W)	P _a (W)	Output (W)	Efisiensi PLTS (%)	Efisiensi PLTB (%)	Efisiensi PLTH (%)
10.00	470	21,50	35,5	7,62	1,56	7,22
11.00	520	21,50	35,5	7,3	1,56	6,55
12.00	584	21,50	35,5	7,11	1,56	5,86
13.00	519	21,50	35,5	7,21	1,56	6,56
14.00	477	21,50	35,5	7,53	1,56	7,12
15.00	410	21,50	35,5	7,95	1,56	8,22

Analisis Hasil Pengujian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem energi terbarukan yang terdiri dari panel surya, turbin angin, dan aki sebagai penyimpan energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh panel surya berkisar antara 410 W hingga 584 W, dengan puncak daya tercapai pada pukul 12.00 WIB. Hal ini sejalan dengan intensitas cahaya matahari tertinggi di tengah hari.

Efisiensi panel surya (PLTS) bervariasi antara 7,11% hingga 7,95%, dengan rata-rata sekitar 7,4%. Turbin angin menghasilkan daya konstan sekitar 21,5 W dengan efisiensi tetap sebesar 1,56%, menunjukkan kecepatan angin stabil selama pengujian. Efisiensi sistem *hybrid* (PLTH) berada dalam rentang 5,86% hingga 8,22%, dengan peningkatan signifikan pada pukul 15.00. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi PLTS dan PLTB lebih optimal pada sore hari, dan efisiensi sistem dapat meningkat melalui koordinasi beban, *inverter*, serta manajemen distribusi daya.



Gambar 3. Grafik Efisiensi terhadap Waktu

Grafik menunjukkan bahwa efisiensi PLTS memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan PLTB dan PLTH. Efisiensi PLTB tetap konstan, sedangkan PLTH menunjukkan fluktuasi dan peningkatan efisiensi pada sore hari. Ini menunjukkan pentingnya optimalisasi sistem untuk kondisi waktu yang berbeda.

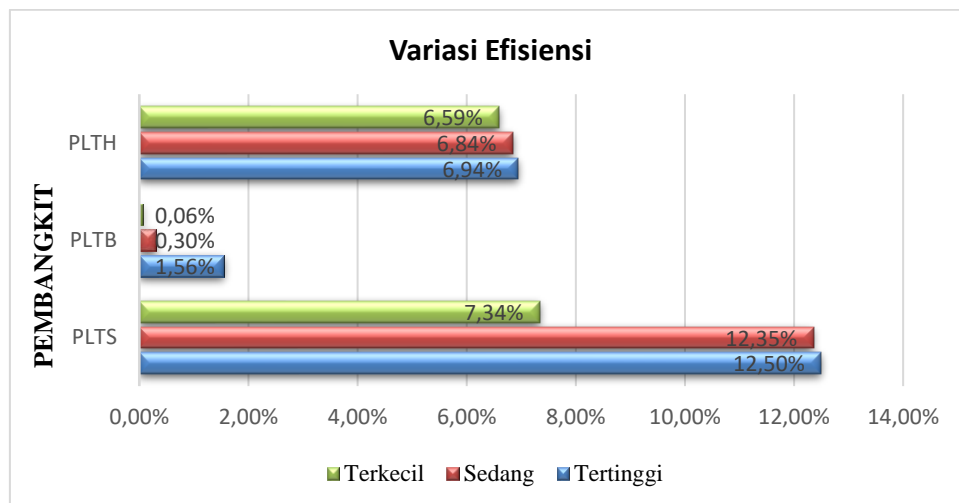
Tabel 3. Data Pengisian Baterai

Rangkaian PLTS	Rangkaian PLTB	Daya Dihasilkan (W)	Waktu Pengisian (menit)
Paralel, 0°	4 sudu, 5 m/s	37,767	56
Paralel, 25°	4 sudu, 5 m/s	37,269	57
Seri, 0°	4 sudu, 5 m/s	64,034	120
Seri, 25°	4 sudu, 5 m/s	61,38	117

Analisis Data Pengisian Baterai

Dari data tersebut, terlihat bahwa konfigurasi rangkaian memengaruhi besar daya dan waktu pengisian baterai. Rangkaian seri menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan paralel, namun waktu pengisian juga lebih lama. Sudut panel juga berpengaruh, tetapi dampaknya tidak signifikan.

Rangkaian seri lebih direkomendasikan untuk daya maksimum, sedangkan paralel lebih cocok untuk pengisian cepat. Pemilihan konfigurasi dapat disesuaikan dengan kondisi sistem dan kebutuhan operasional



Gambar 4. Grafik Variasi Efisiensi Sistem

Grafik efisiensi terhadap variasi parameter menunjukkan kisaran daya dari yang terendah hingga tertinggi. Parameter yang diuji meliputi konfigurasi rangkaian (seri dan paralel), sudut panel (0° dan 25°), jumlah sudu turbin (2 dan 4), serta kecepatan angin (3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s).

Sistem *hybrid* memiliki potensi untuk bekerja terus-menerus, karena panel surya beroperasi pada siang hari, dan turbin angin dapat menyuplai energi sepanjang waktu jika angin tersedia. Namun, pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTH tidak dapat bekerja optimal sepanjang hari, terutama pada malam hari ketika tidak ada sinar matahari dan angin lemah. Meski demikian, kapasitas baterai 35 Ah/12 V cukup untuk menjaga pompa aerator tetap beroperasi hingga pagi hari.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, dapat disimpulkan hal-hal berikut.

1. Rata-rata efisiensi sistem PLTH dengan panel surya 100 Wp (variasi rangkaian seri dan paralel) yang dikombinasikan dengan turbin angin Savonius (variasi 2 dan 4 sudu) adalah sekitar 6%.
2. Rangkaian paralel pada panel surya terbukti lebih efisien dibandingkan rangkaian seri dalam proses pengisian baterai, karena arus listrik (A) yang mengalir pada rangkaian paralel lebih besar dibandingkan rangkaian seri.
3. Kemiringan panel surya memengaruhi daya dan efisiensi. Semakin tepat sudut kemiringan, maka semakin besar daya yang dihasilkan dan efisiensinya.
4. Kecepatan angin yang meningkat berpengaruh langsung terhadap peningkatan daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius.

5. Turbin angin Savonius dengan 4 sudu menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih optimal dibandingkan dengan 2 sudu, pada seluruh variasi kecepatan angin (3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s).
6. Efisiensi tertinggi sistem PLTH diperoleh pada konfigurasi panel surya rangkaian paralel dengan sudut 25° dan turbin angin Savonius 2 sudu dengan kecepatan angin 3 m/s, yaitu sebesar 6,94%.
7. Pengisian baterai tercepat terjadi pada konfigurasi panel surya paralel dengan sudut 0° dan turbin angin Savonius 4 sudu dengan kecepatan angin 5 m/s, dengan waktu pengisian penuh selama 56 menit.
8. Baterai berkapasitas 35 Ah / 12 V mampu mengoperasikan pompa aerator berdaya 15 W selama 4 jam 52 menit tanpa pengisian ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Hidayanti and G. Dewangga, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya," *Eksergi J. Tek. Energi*, vol. 15, no. 3, pp. 93–101, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1784.
- [2] Harmini and T. Nurhayati, "Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar dan Angin," *Elektr. J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 28–32, 2018, doi: 10.26623/elektrika.v10i2.1167.
- [3] N. Nurhaidah *et al.*, "Penerapan Solar Sel untuk Budidaya Ikan Lele sebagai Upaya Penghematan Energi pada Pondok Pesantren Al Mas'udiyah," *J-ABDI J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 2, no. 5, pp. 4807–4812, Oct. 2022, doi: 10.53625/jabdi.v2i5.3549.
- [4] D. Amalia, H. Abdillah, and T. W. Hariyadi, "Analisa Perbandingan Daya Keluaran Panel Surya Tipe Monokristalin 50wp Yang Dirangkai Seri Dan Paralel Pada Instalasi Plts Off-Grid," *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 12–21, May 2022, doi: 10.35143/elementer.v8i1.5187.
- [5] Sulanjari, J. Setiyono, M. A. Rosyahna, A. D. Setyowati, and A. Irawan, "Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Panel terhadap Daya Keluaran Panel Surya," *Ensiklopedia J.*, vol. 5, no. 3, pp. 247–253, 2023, doi: 10.33559/eoj.v5i3.1663.
- [6] F. Baskoro, A. F. Rozi, A. I. Agung, M. Widyartono, and A. C. Hermawan, "Penerapan Pembangkit Hybrid sebagai Penggerak Kincir Air pada Tambak Udang," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 10, no. 1, pp. 91–98, Sep. 2020, doi: 10.26740/jte.v10n1.p91-98.
- [7] I. Irwansyah and M. Anwar, "Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Performa pada Turbin Angin Savonius Tipe U," *Sultra J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, Apr. 2023, doi: 10.54297/sjme.v2i1.440.
- [8] R. Alfanz, F. Maulana K, and H. Haryanto, "Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS-PLTB-PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal," *Setrum Sist. Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 78–86, Mar. 2015, doi: <https://dx.doi.org/10.36055/setrum.v4i2.456>.