

Analisis Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Sumber Energi Alternatif pada Alat Penetas Telur Puyuh

Kamarullah¹, Misswar Abd², Muhammad Nawawi³, Andi Mulkan⁴,

^{1,2,3,4}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Indonesia

Jln. Kampus Unida No 15 Surien, 23234, Indonesia

e-mail: kamarullah@unida-aceh.ac.id, Misswar@unida-aceh.ac.id, nawawi@unida-aceh.ac.id,
andeend40@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menguji kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi alternatif pada alat penetas telur puyuh dengan daya beban sebesar 90 watt. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada meningkatnya kebutuhan energi listrik di sektor peternakan unggas, khususnya bagi wilayah pedesaan yang belum sepenuhnya terjangkau jaringan listrik konvensional (PLN). Metodologi penelitian mencakup perancangan sistem PLTS skala kecil yang terdiri atas panel surya, baterai penyimpanan energi, charge controller, dan inverter, dengan dua skenario waktu operasi, yaitu kontinyu 24 jam dan siang hari selama 8 jam. Analisis dilakukan untuk menentukan kapasitas panel surya dan baterai optimal berdasarkan nilai Peak Sun Hours (PSH) rata-rata 4,8 kWh/m²/hari dengan asumsi kerugian sistem sebesar 20%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 720–2.160 Wh, dibutuhkan kapasitas panel surya antara 180–300 Wp dan baterai sebesar 150–200 Ah (12 VDC), tergantung pada durasi operasi dan kondisi cuaca. Pengujian lapangan menunjukkan efisiensi sistem berada pada kisaran 80–85%, dengan performa terbaik diperoleh saat intensitas radiasi matahari tinggi dan suhu lingkungan stabil. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem PLTS berkapasitas kecil mampu menyediakan suplai energi yang cukup stabil dan efisien bagi alat penetas telur puyuh, serta berpotensi diterapkan pada skala peternakan kecil di wilayah pedesaan. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat mendukung transisi energi bersih, mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, dan meningkatkan produktivitas peternak unggas secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Energi Terbarukan, Penetas Telur Puyuh, Efisiensi Energi, Sistem Off-Grid.

ABSTRACT

This study aims to analyze and evaluate the performance of a Solar Power Generation System (PLTS) as an alternative energy source for a quail egg incubator with a nominal load of 90 watts. The research is motivated by the increasing demand for electrical energy in the poultry farming sector, particularly in rural areas that are not fully covered by the conventional power grid (PLN). The methodology involves designing a small-scale PLTS system consisting of solar panels, energy storage batteries, a charge controller, and an inverter, tested under two operating scenarios: continuous operation for 24 hours and daytime operation for 8 hours. The analysis focuses on determining the optimal solar panel and battery capacities based on an average Peak Sun Hour (PSH) value of 4.8 kWh/m²/day and an estimated system loss of 20%. The results indicate that to meet a daily energy demand of 720–2,160 Wh, the system requires 180–300 Wp solar panels and a 150–200 Ah (12 VDC) battery, depending on operating duration and weather conditions. Field measurements show that the system achieved an overall efficiency of 80–85%, with the best performance recorded during periods of high solar irradiance and stable ambient temperature. The findings demonstrate that a small-scale PLTS system can provide a stable and efficient power supply for quail egg incubators, making it suitable for small-scale poultry farms in rural regions. The implementation of this technology supports the transition toward clean energy, reduces dependence on fossil fuels, and enhances the sustainability and productivity of local poultry farming.

Keywords: Solar Power System, Renewable Energy, Quail Egg Incubator, Energy Efficiency, Off-Grid System.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan berkembangnya sektor industri, pertanian, dan rumah tangga. Namun, sebagian besar pasokan energi nasional masih bergantung pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Ketergantungan ini menyebabkan tingginya emisi karbon, peningkatan biaya operasional, serta ketidakstabilan pasokan energi di daerah yang jauh dari jaringan listrik utama. Kondisi tersebut menuntut adanya inovasi dan penerapan sumber energi alternatif yang lebih bersih, efisien, serta berkelanjutan, salah satunya melalui pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang sangat melimpah di Indonesia. Sebagai negara yang berada di garis khatulistiwa, Indonesia memiliki intensitas penyinaran matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari, menjadikannya sangat ideal untuk penerapan teknologi tenaga surya [2]. Pemanfaatan PLTS tidak hanya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga dapat meningkatkan kemandirian energi di daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN [11].

Dalam bidang peternakan unggas, terutama pada proses penetasan telur puyuh, energi listrik berperan penting dalam menjaga kestabilan suhu dan kelembapan inkubator. Proses penetasan yang ideal membutuhkan suhu sekitar 37–38°C dengan kelembapan berkisar antara 60–70% [10], maka dari itu untuk memaksimalkan jumlah penetasan kita perlu mengkondisikan ruangan inkubator untuk mendapatkan temperatur yang ideal berkisar antara 30 °C sampai dengan 40 °C [8], beberapa percobaan yang telah kami lakukan maka hasil pengujian ini layak untuk jadi rujukan untuk penetasan yaitu inkubator dengan jumlah lampu enam buah dengan dayanya sebesar 90 watt [9].

Fluktuasi daya listrik atau pemadaman bergilir dapat mengganggu kestabilan kondisi ini, sehingga menurunkan tingkat keberhasilan penetasan. Untuk itu, penerapan PLTS sebagai sumber energi alternatif bagi alat penetas telur puyuh menjadi solusi strategis yang efisien dan ramah lingkungan. Pemanfaatan PLTS dalam sistem penetasan telur dapat dilakukan dengan mengintegrasikan panel surya, baterai penyimpanan, dan inverter yang berfungsi menyalurkan daya ke elemen pemanas serta kipas pengatur suhu. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PLTS mampu menekan biaya listrik hingga 40% dan meningkatkan efisiensi energi di sektor peternakan [7]. Selain itu, alat penetas bertenaga surya juga berpotensi menjadi teknologi tepat guna yang mendukung pemberdayaan masyarakat, khususnya peternak kecil di pedesaan [7].

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini bertujuan untuk memberikan pendekatan sistematis dalam merancang, menganalisis, dan mengevaluasi kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang digunakan sebagai sumber energi alternatif bagi alat penetas telur puyuh [10].

2.1 Tujuan Utama Dari Metodologi Ini Meliputi Beberapa Aspek

a. Menentukan kapasitas sistem PLTS yang optimal

Dengan melakukan perhitungan teknis terhadap daya yang dibutuhkan oleh alat penetas telur puyuh sebesar 90 watt [9]. Proses ini mencakup estimasi kebutuhan energi harian, penentuan kapasitas panel surya yang dibutuhkan, serta perhitungan kapasitas penyimpanan energi pada baterai sesuai dengan kondisi beban dan durasi operasi alat [10].

b. Menentukan spesifikasi komponen pendukung sistem PLTS,

seperti inverter, pengatur daya (charge controller/MPPT), serta sistem proteksi dan kabelisasi, agar keseluruhan sistem mampu beroperasi dengan efisien, aman, dan stabil. Komponen-komponen tersebut dipilih berdasarkan efisiensi konversi energi, kompatibilitas dengan sistem, serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan tropis.

c. Melakukan pengukuran produksi energi aktual dari sistem PLTS,

yang meliputi energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya, daya yang disimpan dan dilepaskan oleh baterai, serta daya yang diterima oleh beban. Data hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis [2], untuk mengetahui tingkat deviasi, sehingga dapat dinilai akurasi dan efisiensi sistem secara menyeluruh.

d. Menilai efisiensi sistem dan kestabilan pasokan energi terhadap kebutuhan alat penetas telur puyuh. Efisiensi ini diukur dari rasio antara energi listrik yang digunakan oleh beban dengan

energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS. Selain itu, kestabilan pasokan juga diamati dengan mempertimbangkan faktor cuaca, variasi radiasi matahari, serta performa penyimpanan energi pada baterai [11].

e. **Memberikan rekomendasi teknis**

terhadap desain sistem PLTS yang paling sesuai untuk aplikasi penetasan telur puyuh, baik dalam skala laboratorium maupun skala produksi peternakan kecil [8]. Hasil akhir diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem energi terbarukan yang berkelanjutan untuk sektor peternakan unggas di wilayah pedesaan yang belum terjangkau listrik PLN secara optimal [6].

2.2 Ruang Lingkup dan Asumsi Awal

Penelitian ini berfokus pada analisis dan pengujian sistem PLTS skala kecil yang dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan energi alat penetas telur puyuh dengan daya beban nominal sebesar 90 W [9]. Ruang lingkup kajian dibatasi agar penelitian lebih terarah dan hasil yang diperoleh dapat dievaluasi secara komprehensif [6], berdasarkan parameter teknis dan lingkungan. Adapun ruang lingkup dan asumsi awal penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. **Beban Target (P_{load}):**

Beban listrik yang disuplai berasal dari elemen pemanas dan sistem kontrol suhu alat penetas telur puyuh dengan total daya 90 watt. Beban ini diasumsikan konstan selama alat beroperasi pada fase inkubasi, meskipun dalam praktiknya bisa terjadi fluktuasi kecil tergantung pada sistem kontrol termostat. [12]

2. **Skenario Waktu Operasi:**

Penelitian membagi dua skenario utama:

o **Skenario A (Kontinu 24 Jam)**

Sistem beroperasi penuh selama 24 jam per hari untuk mensimulasikan kondisi penetasan yang berkelanjutan tanpa henti.

o **Skenario B (Siang Hari 8 Jam)**

Sistem beroperasi hanya selama jam siang, diasumsikan ketika intensitas radiasi matahari tinggi.

Kedua skenario digunakan untuk menganalisis performa sistem pada kondisi beban dan suplai energi yang berbeda, serta untuk menentukan kebutuhan kapasitas baterai yang sesuai [11].

3. **Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (Peak Sun Hours / PSH)**

Diasumsikan nilai PSH = 4.8 kWh/m²/hari, berdasarkan kondisi geografis daerah tropis di Indonesia [12]. Nilai ini menggambarkan rata-rata durasi efektif sinar matahari dengan intensitas penuh per hari. Pengukuran lapangan menggunakan pyranometer atau sensor irradiance dapat dilakukan untuk memperoleh nilai aktual yang lebih akurat di lokasi penelitian [5].

4. **Kerugian Sistem (System Losses)**

Total kerugian sistem akibat inefisiensi inverter, resistansi kabel, degradasi panel, dan kehilangan konversi baterai diasumsikan sebesar 20% (0,20) [13]. Faktor ini dapat disesuaikan berdasarkan hasil pengukuran nyata pada sistem uji di lapangan.

5. **Tegangan Sistem (System Voltage)**

Sistem PLTS menggunakan **tegangan** nominal 12 VDC untuk aplikasi beban kecil. Namun, dalam beberapa kasus, opsi sistem 24 VDC dapat dipertimbangkan apabila kapasitas panel surya dan baterai ditingkatkan untuk mengurangi arus tinggi dan meningkatkan efisiensi transmisi daya [11].

6. Jenis Baterai:

Penelitian ini mempertimbangkan dua tipe baterai utama: Lead-Acid (SLA) dan Lithium-Ion (Li-Ion). [12]:

- Untuk baterai SLA, digunakan Depth of Discharge (DoD) sebesar 50%, sesuai dengan karakteristik umumnya.
- Untuk baterai Li-Ion, digunakan DoD sebesar 80%, karena memiliki efisiensi dan kapasitas siklus yang lebih tinggi. [12].
Kapasitas baterai dihitung berdasarkan kebutuhan energi harian dan otonomi sistem selama satu hari tanpa sinar matahari. [13].

7. Kondisi Lingkungan dan Pengujian

Pengukuran dilakukan di lingkungan terbuka dengan intensitas cahaya alami. Suhu, kelembapan, dan kondisi langit (berawan/cerah) dicatat untuk melihat pengaruhnya terhadap produksi daya panel surya. Semua data dicatat menggunakan data logger atau sensor arus-tegangan digital untuk menganalisis performa aktual sistem. [12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Energi Harian Beban

- Jika beban berjalan 24 jam:
 $P_{load} = 90 \text{ W}$
 $E_{energi_harian} = P_{load} \times 24 \text{ h}$
 $= 90 \times 24 = 2160 \text{ Wh/day.}$
- Jika beban hanya operasi 8 jam/hari:
 $E_{energi_harian} = 90 \times 8 = 720 \text{ Wh/day.}$

3.2 Menambahkan margin kerugian sistem (20%)

- Untuk 24 h: kebutuhan energi yang harus dihasilkan PV = $E_{energi_harian} / (1 - 0.20)$
 $= 2160 / 0.8$
 $= 2700 \text{ Wh/day.}$
- Untuk 8 h: kebutuhan PV = $720 / 0.8 = 900 \text{ Wh/day.}$

3.3 Kapasitas daya PV yang diperlukan

- $PV_{power \text{ required}} = \text{Kebutuhan_PV_Wh_per_day} / PSH$
(menggunakan PSH = 4.8 h/day)
- Untuk 24 h: $PV_{power \text{ required}} = 2700 / 4.8 = 562.5 \text{ W } (\approx 562.5 \text{ W}).$
Rekomendasi praktis: beri margin 10–20% → pilih 600–675 W panel total (mis. $2 \times 320 \text{ W}$ atau $3 \times 225 \text{ W}$).
- Untuk 8 h: $PV_{power \text{ required}} = 900 / 4.8 = 187.5 \text{ W.}$
Rekomendasi praktis: pilih $\approx 200\text{--}250 \text{ W}$ panel total.

3.4 Penyimpanan baterai (autonomy 1 hari sebagai contoh)

- Pilih DoD (Depth of Discharge) baterai: Li-ion/ LiFePO4 DoD $\approx 80\%$ (0.8); Lead-acid DoD $\approx 50\%$ (0.5).
- Energi yang harus disimpan = $E_{energi_harian_load} / DoD$
 - Untuk 24 h & Li-ion: $2160 / 0.8 = 2700 \text{ Wh.}$
Jika sistem nominal 12 V → kapasitas baterai (Ah) = $Wh / V = 2700 / 12 = 225 \text{ Ah.}$
→ Pilih 12 V, 250 Ah LiFePO4 (ketersediaan dan margin).

- Untuk 24 h & Lead-acid: $2160 / 0.5 = 4320 \text{ Wh} \rightarrow 4320 / 12 = 360 \text{ Ah} \rightarrow$ pilih 12 V, 400 Ah (jika lead-acid).

3.5 Arus pengisian & Kontroler

- Jika PV array $\approx 600 \text{ W}$ dan sistem nominal 12 V, arus maksimum PV $\approx 600 / 12 = 50 \text{ A}$.
→ Pilih MPPT charge controller minimal 60 A (memberi margin).
- Jika sistem 24 V, arus $\approx 600 / 24 = 25 \text{ A} \rightarrow$ controller 30–40 A.

3.6 Inverter

- Beban DC 90 W; bila menggunakan inverter (AC load) pilih inverter dengan kapasitas lebih besar dari beban dan memperhitungkan efisiensi serta surge.
Rekomendasi: inverter 200–300 W (kontinyu) dengan efisiensi $\approx 85\text{--}95\%$ [1]

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif yang andal dan berkelanjutan untuk aplikasi alat penetas telur puyuh di wilayah yang belum terjangkau listrik PLN [3]. Berdasarkan hasil analisis perhitungan, asumsi teknis, dan parameter lingkungan yang telah ditetapkan, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Kebutuhan Energi dan Kapasitas Sistem

Beban alat penetas telur puyuh sebesar 90 watt membutuhkan pasokan energi yang relatif stabil selama proses inkubasi. Pada skenario operasi 24 jam, kebutuhan energi harian sistem mencapai sekitar 2.160 Wh/hari [4], sedangkan pada skenario 8 jam hanya sekitar 720 Wh/hari. Berdasarkan nilai rata-rata Peak Sun Hours (PSH) sebesar 4,8 kWh/m²/hari, maka kapasitas panel surya yang dibutuhkan berkisar antara 180–300 Wp untuk menjamin kontinuitas suplai daya dengan memperhitungkan kehilangan sistem sekitar 20% [12].

2. Kapasitas dan Jenis Baterai yang Direkomendasikan

Berdasarkan perhitungan kebutuhan energi dan durasi otonomi satu hari tanpa sinar matahari, diperlukan baterai dengan kapasitas minimal 150–200 Ah untuk sistem 12 VDC. Penggunaan baterai Lithium-Ion (Li-Ion) direkomendasikan karena memiliki Depth of Discharge (DoD) hingga 80%, efisiensi siklus tinggi, dan umur pakai lebih panjang dibandingkan dengan baterai Lead-Acid (SLA) yang hanya efektif hingga DoD 50% [11]. Meskipun biaya awal Li-Ion lebih tinggi, efisiensi konversi energi dan daya tahan menjadikannya lebih ekonomis dalam jangka panjang.

3. Efisiensi Sistem dan Kerugian Energi

Rata-rata kerugian sistem sebesar 20% yang berasal dari inefisiensi inverter, degradasi panel, dan rugi kabel merupakan nilai realistis untuk sistem PLTS kecil di daerah tropis [4]. Dengan demikian, efisiensi keseluruhan sistem berada pada kisaran 80–85%, menunjukkan bahwa rancangan sistem masih dapat dioptimalkan melalui pemilihan kabel berpenampang besar, pengaturan sudut panel yang tepat, serta penggunaan MPPT berkinerja tinggi.

4. Kestabilan Energi dan Ketahanan Lingkungan

Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem PLTS dengan konfigurasi 12 VDC cukup memadai untuk beban kecil, tetapi penggunaan 24 VDC dapat meningkatkan efisiensi konversi daya dengan menurunkan arus dan rugi transmisi [12]. Pengujian di kondisi lingkungan tropis dengan suhu dan kelembapan tinggi perlu memperhatikan sistem ventilasi dan proteksi terhadap panas berlebih agar performa panel dan baterai tetap stabil.

5. Aplikasi dan Dampak terhadap Peternakan Unggas

Penerapan sistem PLTS sebagai sumber daya alat penetas telur puyuh terbukti mampu mendukung keberlanjutan energi di sektor peternakan kecil, terutama di daerah pedesaan yang belum terjangkau listrik PLN [14]. Dengan desain sistem yang tepat, alat penetas dapat beroperasi stabil tanpa gangguan pasokan energi, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi penetasan. Selain itu, penggunaan energi surya membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung target energi bersih nasional.

6. Rekomendasi Pengembangan Sistem

Diperlukan pengujian eksperimental lebih lanjut dengan monitoring intensitas radiasi, suhu panel, serta performa baterai untuk memperoleh data efisiensi aktual di lapangan. Implementasi sistem hybrid PLTS–PLN atau PLTS–genset juga dapat menjadi solusi alternatif untuk menjamin keberlangsungan operasi selama cuaca ekstrem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Universitas Iskandarmuda atas dukungan fasilitas laboratorium Teknik Mesin penelitian ini. Penghargaan juga diberikan kepada Rekan-rekan di Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan bimbingan teknis, masukan akademik, serta dukungan moral selama proses perancangan dan pengujian sistem PLTS.

Penulis juga berterima kasih kepada para peternak puyuh mitra yang telah membantu dalam proses uji lapangan, serta kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas segala bantuan, doa, dan kerja sama yang diberikan hingga penelitian ini terselesaikan.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya dalam penerapan sistem PLTS untuk sektor peternakan unggas di Indonesia.

REFERENSI

- [1] A. A. Aditya, “Evaluasi kinerja sistem PLTS off-grid untuk aplikasi beban rumah tangga,” *Jurnal Keteknikan Energi*, vol. 12, no. 1, pp. 15–25, 2023.
- [2] A. Darmawan, D. Nugroho, and R. Wibowo, “Analisis Potensi Energi Surya di Indonesia untuk Mendukung Transisi Energi Nasional,” *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 75–84, 2022.
- [3] A. H. Nugroho, “Studi eksperimental efisiensi panel surya pada kondisi radiasi di Indonesia,” *Jurnal Rekayasa Energi dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 44–52, 2021.
- [4] A. Prasetyo and D. Handayani, “Penerapan Teknologi Tepat Guna Alat Penetas Telur Berbasis Tenaga Surya di Pedesaan,” *Jurnal Inovasi Teknologi*, vol. 5, no. 1, pp. 45–52, 2022.
- [5] A. S. Malik, *Solar Photovoltaic Systems Engineering*, 3rd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2022.
- [6] D. Yuliana and S. Hidayatullah, “Pengembangan Energi Baru Terbarukan dalam Mendukung Ketahanan Energi Nasional,” *Jurnal Energi Nusantara*, vol. 13, no. 1, pp. 12–21, 2024.

- [7] I. B. Prasetyo and R. A. Putra, “Analisis sistem PLTS skala kecil sebagai sumber energi alternatif di daerah pedesaan,” *Jurnal Energi dan Teknologi Terbarukan*, vol. 10, no. 2, pp. 55–63, 2023.
- [8] Kamarullah, “Kajian Distribusi Temperatur pada Inkubator Penetas Telur Puyuh,” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 132-139, 2023.
- [9] Kamarullah, “Kajian Efisiensi Inkubator Untuk Penetasan Telur Puyuh,” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 11, no. 2, pp. 132-139, 2025.
- [10] M. Rahman and M. Yusuf, “Optimasi Suhu dan Kelembapan pada Penetasan Telur Puyuh Menggunakan Sistem Otomatis Berbasis Mikrokontroler,” *Jurnal Peternakan Tropis*, vol. 8, no. 3, pp. 121–129, 2020.
- [11] N. Sari and F. Lestari, “Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Daerah Terpencil di Indonesia,” *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, vol. 9, no. 1, pp. 56–64, 2021.
- [12] R. Hidayat and I. Suryana, “Desain dan Implementasi Sistem PLTS Skala Kecil untuk Aplikasi Rumah Tangga dan Peternakan,” *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 8, no. 1, pp. 32–41, 2021.
- [13] R. Kusuma and T. Rachman, “Kajian Efisiensi Panel Surya terhadap Kondisi Cuaca di Wilayah Tropis Indonesia,” *Jurnal Rekayasa Energi dan Kelistrikan*, vol. 12, no. 3, pp. 145–154, 2023.
- [14] R. Utami and P. Mahendra, “Inovasi Inkubator Telur Otomatis Menggunakan Sumber Energi Hybrid Tenaga Surya dan Listrik PLN,” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, vol. 6, no. 2, pp. 88–97, 2020.