

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK SISTEM *HYBRID* MENGGUNAKAN PLTS DAN PLTB BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK PENERANGAN JALAN UMUM

Sandy Triansyah Putra; Hasyim Asy' ari, S.T., M.T
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas
Teknik, Universitas Muhammadiyah
Surakarta

Abstrak

Kebutuhan listrik yang terus bertambah dan ketergantungan terhadap jaringan listrik tradisional untuk Penerangan Jalan Umum (PJU) sering kali mengalami masalah dengan gangguan daya, terutama di daerah yang sulit dijangkau. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pembangkit listrik *hybrid* yang menggabungkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB). Sistem ini dilengkapi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang berbasis pada *mikrokontroler* ESP32 serta aplikasi Blynk untuk memantau parameter listrik secara langsung melalui ponsel pintar. Metode penelitian yang digunakan mencakup kajian pustaka, desain perangkat keras yang memanfaatkan panel surya 50 WP dan turbin angin vertikal DC 12V, serta pengujian sistem secara menyeluruh. Komponen utama dalam sistem ini adalah sensor INA219 untuk memantau arus dan tegangan, serta sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya. Energi yang dihasilkan dari sistem *hybrid* disimpan pada satu unit aki 12V12Ah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *hybrid* dapat menghasilkan daya yang lebih konsisten dibandingkan dengan sumber energi tunggal. Panel surya menghasilkan rata-rata tegangan 13,76 V, arus 1,10 A, dan daya 15,42 W dengan nilai intensitas cahaya rata-rata 52,09 lux. Turbin generator menghasilkan tegangan rata-rata 8,30 V, arus 0,54 A, dan daya 4,63 W dengan kecepatan angin yang diterima rata-rata 3,10 m/s. Pada sistem *hybrid* peningkatan tegangan yang dihasilkan rata-rata 13,57 V, arus 1,43 A, dan daya 19,58 W. nilai daya tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB sebesar 24,69 W saat intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin berada pada kondisi optimal. Penggunaan *IoT* terbukti sangat efektif dalam memantau keadaan sistem dengan tingkat akurasi sensor yang memuaskan (rata-rata kesalahan di bawah 1%). Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi PLTS dan PLTB adalah solusi strategis untuk menjaga stabilitas pasokan energi listrik pada infrastruktur penerangan jalan.

Kata Kunci: Hybrid, PLTS, PLTB, IoT, Penerangan Jalan Umum, Monitoring.

Abstract

The increasing demand for electrical energy and dependence on conventional power grids for Public Street Lighting (PSL) often lead to power supply issues, especially in remote areas. This study aims to design a hybrid power generation system that combines Solar Power Plants (SPP) and Wind Power Plants (WPP). The system is integrated with Internet of Things (IoT) technology based on an ESP32 microcontroller and the Blynk application to monitor electrical parameters in real time via mobile devices. The research methodology includes literature review, hardware design using a 50 WP solar panel and a vertical wind turbine DC 12V, and comprehensive system testing. The main components used are the INA219 sensor for voltage and current measurement and the BH1750 sensor for light intensity measurement. The energy generated by the hybrid system is stored in a single 12V 12Ah battery unit. The test results show that the hybrid system produces more stable power compared to single energy sources. The solar panel generates an average voltage of 13.76 V, current of 1.10 A, and power of 15.42 W, with an average light intensity of 52.09 lux. Meanwhile, the wind turbine produces an average voltage of 8.30 V, current of 0.54 A, and power of 4.63 W, with an average wind speed of 3.10 m/s. The

hybrid system shows improved performance with an average voltage of 13.57 V, current of 1.43 A, and power of 19.58 W. The maximum power output of 24.69 W occurs at 13:00 WIB when solar intensity and wind speed reach optimal conditions. The implementation of IoT has proven effective in monitoring system performance in real time, with sensor accuracy showing an average error of less than 1%. Therefore, the combination of solar and wind energy is a promising and sustainable solution for maintaining stable electricity supply in public street lighting systems.

Keywords: Hybrid, Solar, Wind Power, IoT, Public Street Lighting, Monitoring.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Manusia hampir tidak dapat melakukan pekerjaan yang ada dengan baik ataupun memenuhi kebutuhannya. Kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia. Oleh sebab itu kesinambungan dan ketersediaan energi listrik harus dipertahankan. Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan kemajuan teknologi serta informasi. Penerangan jalan umum (PJU) memainkan peran penting dalam keselamatan dan kenyamanan publik. Namun sistem PJU tradisional yang bergantung pada jaringan listrik PLN seringkali mengalami gangguan daya, terutama di daerah terpencil atau rawan pemadaman. Oleh karena itu, diperlukan solusi kelistrikan yang lebih handal, efisien, dan ramah lingkungan (Kurniawan & Aribowo, 2025; Prasetyo & Ulinuha, 2018; Sutikno et al., 2023).

Kombinasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) dalam satu sistem *hybrid* memungkinkan pemanfaatan potensi energi terbarukan yang saling melengkapi. Panel surya menghasilkan listrik siang hari, sedangkan PLTB beroperasi saat malam atau saat pencahayaan surya rendah. Hal ini meningkatkan kontinuitas dan stabilitas suplai listrik. Konsep serupa telah dikaji dalam literatur seperti ulasan tentang *complementarity* pada sumber energi terbarukan (e.g., solar–hydro hybrid) sebagai strategi efektif dalam memenuhi permintaan energi (Prasetyo & Ulinuha, 2018; Kurniawan & Aribowo, 2025).

Penggunaan IoT dalam sistem hibrida dapat meningkatkan keamanan, proteksi, dan efisiensi operasi. Sistem IoT ini mampu mengatur sumber daya listrik dengan cerdas misalnya, dapat memantau hasil tegangan dan arus dari PV dan Turbin yang dapat dipantau dari *smartphone*. Studi terkait penggunaan IoT pada sistem tenaga surya telah menunjukkan bahwa sistem lebih efisien dan lebih mudah untuk monitoring dari jarak jauh (Fatahillah & Roza, 2022; Sutikno et al., 2023).

Pembangunan sistem *hybrid* PLTS–PLTB dengan IoT sangat relevan dalam implementasi, terutama di wilayah yang minim infrastruktur jaringan listrik. Contoh literatur terkait aplikasi *hybrid* dalam PJU mencakup penggunaan ATS (*Automatic Transfer Switch*) berbasis sensor tegangan untuk menjaga kontinuitas lampu jalan. Konsep *hybrid* ini dapat ditingkatkan dengan penambahan IoT

untuk efisiensi lebih baik (Kurniawan & Aribowo, 2025; Sutikno et al., 2023).

2. METODE

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan melaksanakan kajian pustaka dengan bersumber dari artikel jurnal ilmiah, dan laporan peneliti terdahulu untuk mencari berbagai sumber referensi yang sesuai. Proses ini bertujuan untuk memberikan landasan teori untuk menyusun penelitian, juga membantu dalam menentukan pemilihan alat dan bahan yang tepat. Melakukan perancangan sistem dan menetapkan pengumpulan data yang akan digunakan.

Penelitian selanjutnya perancangan alat dan mengimplementasikan sistem berdasarkan dari kajian pustaka dan artikel jurnal yang dikumpulkan. Pada tahap selanjutnya alat dan bahan yang digunakan diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh dan fungsional. Dengan memperhatikan spesifikasi alat dan bahan yang digunakan secara teliti agar mendapatkan satu sistem yang optimal dan sesuai yang diharapkan.

Penelitian terakhir dengan melaksanakan pengujian menyeluruh dari sistem yang telah dikerjakan dengan proses akusisi data eksperimental. Jika sistem yang dikerjakan terdapat masalah atau gangguan dalam masa pengujian, maka akan dilakukan perbaikan ulang sampai sistem dapat beroperasi sesuai dengan yang diinginkan.

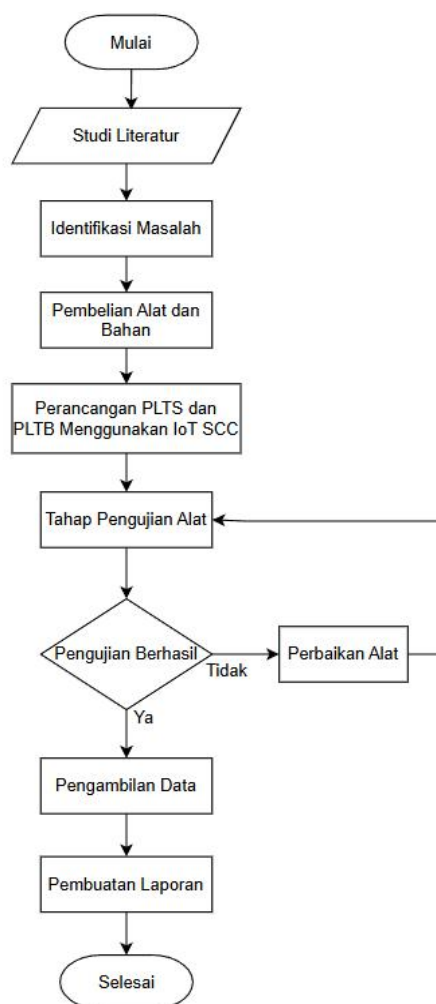
2.2 Alat dan Bahan

Pada perancangan penelitian alat dan bahan yang akan digunakan penulis disiapkan dengan penuh ketelitian. Pemilihan alat dan bahan dilakukan secara teliti berdasarkan kebutuhan penelitian dan spesifikasi. Berikut daftar alat dan bahan yang digunakan.

Tabel 1. Alat dan Bahan

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1	Panel Surya 50 wp	1
2	Turbin Angin Vertikal	1
3	Generator DC	1
4	ESP 32	1
5	SCC 20A	1
6	Watt Meter DC	1
7	Aki 12V12Ah	1
8	Lampu 12V 15W	1
9	Box Panel	1
10	Kabel NYAF 1.25 mm	Secukupnya
11	Skun	Secukupnya
12	Terminal Block	2
13	Mcb DC	3
14	Sensor INA 219	1
15	Sensor BH1750	1

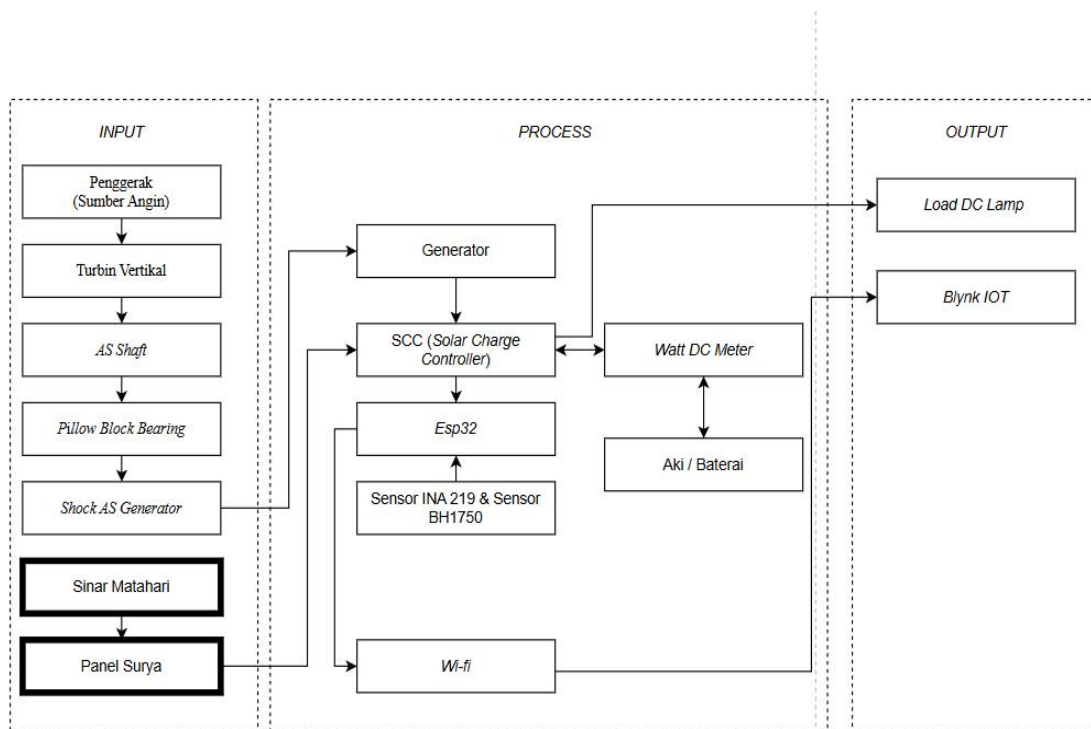
2.3 Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pada gambar 1. menunjukkan gambar *Flowchart* Penelitian, metode penelitian yang digunakan dalam perancangan alat dimulai dengan tahap studi literatur. Studi literatur digunakan untuk mencari referensi dari jurnal artikel atau para peneliti terdahulu, kemudian mengidentifikasi masalah dari jurnal ilmiah yang didapatkan. Dilanjutkan dengan pembelian alat dan bahan yang sudah ditentukan spesifikasi dan kebutuhan dalam penelitian, tahap selanjutnya melakukan perancangan dari PLTS dan PLTB dengan menggunakan seluruh alat dan bahan sesuai dengan desain dari sistem yang sudah direncanakan. Setelah melakukan perancangan sistem selesai dibuat melakukan pengujian alat secara menyeluruh apakah sistem sudah berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Jika terdapat perbaikan alat dari komponen yang digunakan maka akan dilakukan perbaikan pada sistem yang mengalami kendala, apabila alat sudah berhasil dapat dilakukan pengambilan data dan dilanjutkan dengan pembuatan laporan penelitian.

2.4 Blok Diagram Sistem

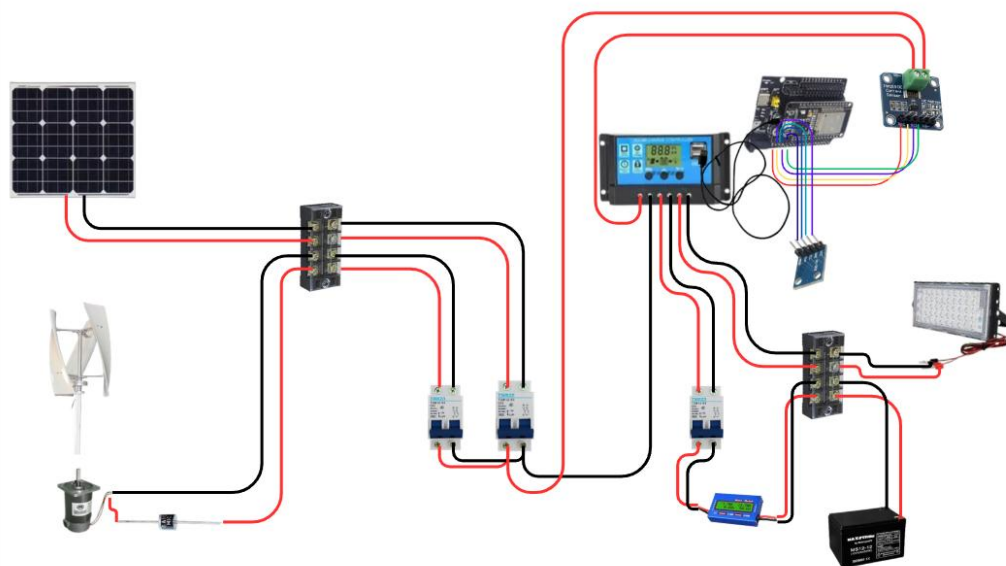


Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Pada gambar 2 menjelaskan blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga *hybird*. Sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* terdiri dari *Input*, *Process*, dan *Output*. Pada bagian *Input* terdiri dari Turbin Vertikal yang digunakan untuk menangkap angin dari berbagai arah, dan panel surya yang digunakan untuk menangkap sinar cahaya matahari. Dalam *Process* pada turbin

menggunakan generator DC untuk menghasilkan listrik, dioda digunakan untuk menahan tegangan balik yang dihasilkan dari panel surya. Dari turbin dan panel surya menuju SCC (*Solar Charge Controller*) yang digunakan untuk mengelola pengisian baterai yang dapat melihat nilai tegangan, arus, dan watt dari beban menggunakan tampilan dari watt meter, serta menghubungkan sistem aplikasi ke *Blynk*. Esp 32 mengontrol sensor INA 219 yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya dan mengontrol sensor BH-1750 yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya (lux). Untuk aplikasi *Blynk* IoT digunakan untuk memonitoring tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya(lux).

2.5 Perancangan Hardware



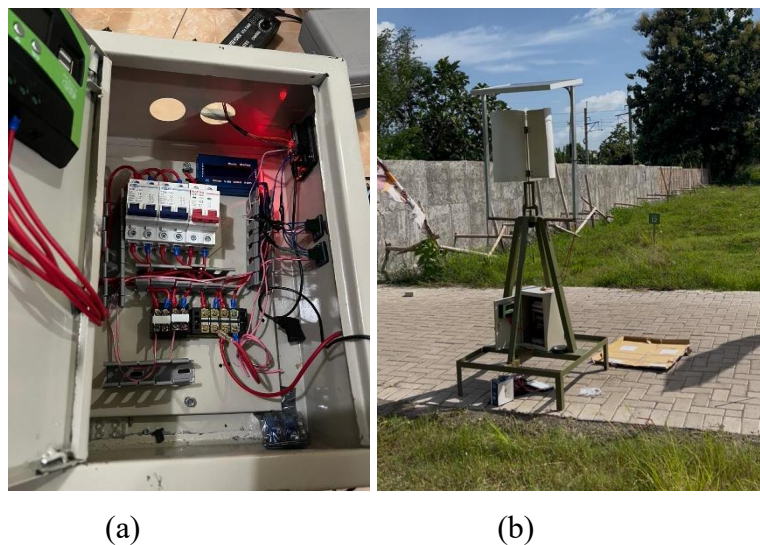
Gambar 3. Perancangan Hardware

3. HASIL DAN PEMBAHASAN (STYLE HEADING)

3.1 Pembuatan Alat

Pada perancangan desain *hardware* sistem dibuat untuk mengetahui alur kelistrikan dari sistem pembangkit listrik tenaga *Hybrid* yang telah dikerjakan. Dengan menggunakan turbin vertikal yang dapat menerima angin dari segala arah, kemudian generator DC akan menghasilkan listrik DC yang akan disatukan dengan hasil dari panel surya dan disimpan ke aki/baterai. Menggunakan panel surya dengan kapasitas 50 wp untuk menangkap sinar

matahari yang akan menghasilkan listrik secara stabil. Dengan menggunakan mcb DC untuk melindungi sirkuit arus searah dari kerusakan akibat beban berlebihan (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*) dengan memutus aliran listrik secara otomatis. Kemudian menuju ke SCC (*Solar Charge Controller*) yang berkerja untuk mengatur pengisian daya menuju ke aki/baterai dengan efisien yang lebih optimal. Untuk menampilkan Tegangan, Arus, dan Watt menggunakan watt meter DC yang dihubungkan sebelum ke aki/baterai. Beban yang digunakan menggunakan lampu DC 12V. komponen seperti SCC, watt meter DC, mcb DC, terminal akan dirapikan didalam box panel supaya komponen terlihat rapi dan lebih aman. IoT digunakan untuk monitoring tegangan, arus, daya dan intensitas cahaya yang dihasilkan dari sinar matahari.



Gambar 4. (a) Rangkaian elektrik, (b) Rangkaian mekanik

3.2 Sistem program IoT (Internet of Things)

Sistem program IoT menggunakan *mikrokontroller* ESP32 untuk menyimpan data yang dihasilkan dari sensor INA219 dan sensor BH-1750. Sensor INA219 digunakan untuk mendeteksi tegangan, arus, dan daya, sensor BH-1750 digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari. Sistem monitoring menggunakan ESP32 yang dihubungkan dengan aplikasi *Blynk* untuk mengontrol dan monitoring jarak jauh. Aplikasi *Blynk* digunakan untuk monitoring data keluaran dari sistem *hybrid* seperti tegangan, arus, daya, dan lux.

```

sketch_apr14a.ino
1  #define BLYNK_PRINT Serial
2
3  #include <Wire.h>
4  #include <Adafruit_INA219.h>
5  #include <BH1750.h>
6  #include <WiFi.h>
7  #include <BlynkSimpleEsp32.h>
8
9  // ===== BLYNK =====
10 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6X9k-eM90"
11 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "POPONOKE123"
12 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "iIP4gm6_fyBl8qXxPRx3XP8ks5SSdkhg"
13
14 char ssid[] = "Ardama";
15 char pass[] = "serangkai";
16
17 // ===== SENSOR =====
18 Adafruit_INA219 ina_hybrid(0x40);
19 BH1750 lightMeter;
20
21 // ===== TIMER =====

```

(a)



(b)

Gambar 5. (a) Program Monitoring IoT (b) Tampilan Aplikasi *Blynk*

3.3 Hasil Pengamatan Data

3.3.1 Pengujian Sensor dengan Alat Ukur

Pengujian sensor dengan alat ukur dilakukan untuk menguji nilai keluaran dari sensor dan alat ukur apakah sudah akurasi atau masih ada selisih nilai dari hasil pengukuran dari sensor dan alat ukur. Sensor yang digunakan untuk perbandingan menggunakan sensor INA219 dan sensor BH-1750 yang digunakan untuk mendeteksi tegangan, arus, daya, dan cahaya matahari.

3.3.1.1 Kalibrasi Sensor INA219

Tabel 2. Kalibrasi sensor INA219 dengan alat ukur

Data	Alat Ukur			Sensor			Error(%)		
	Teganga	Arus	Daya	Teganga	Aru	Daya	Tegangan	Arus	Daya
	n (V)	(A)	(W)	n (V)	s (A)	(W)	(V)	(A)	(W)
1.	12,05	0,25	3,01	12,03	0,25	2,99	0,17	0,31	0,66
2.	12,65	0,42	5,31	12,63	0,41	5,27	0,15	0,24	0,75
3.	13,05	0,66	8,61	13,02	0,65	8,55	0,23	0,15	0,69
4.	13,90	0,70	9,73	13,87	0,69	9,67	0,21	0,14	0,62
5.	14,20	0,77	10,93	14,17	0,76	10,87	0,21	0,13	0,55
6.	14,40	0,82	11,81	14,37	0,81	11,75	0,21	0,12	0,50
Rata	13,38	0,60	8,23	13,35	0,59	8,18	0,20	0,18	0,63

$$Presentase\ Error = \left| \frac{Nilai\ Alat\ ukur - Nilai\ sensor\ INA219}{Nilai\ Alat\ ukur} \right| \times 100\%$$

Pada tabel 2. Kalibrasi sensor INA219 diperoleh perbandingan nilai tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang menunjukkan hasil pengukuran yang hampir sama. Dari hasil perhitungan rata-rata nilai tegangan dari alat ukur 13,38 V, tegangan dari sensor rata-rata 13,35 V. Pada pengukuran arus rata-rata dari alat ukur 0,60 A dan dari sensor 0,59 A. Pengukuran daya pada alat ukur 8,23 W dan dari sensor 8,18 W. perbandingan yang dihasilkan antara alat ukur dan sensor hanya kecil, rata-rata error tegangan dengan nilai 0,20%, error arus dengan nilai 0,18%, dan error daya dengan nilai 0,63%. nilai error yang masih dibawah angka 1% menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dalam melakukan pengukuran parameter listrik. Sensor INA219 dapat digunakan untuk monitoring tegangan, arus, dan daya pada sistem pembangkit listrik yang dirancang. Perbedaan nilai yang kecil antara alat ukur dan sensor disebabkan oleh faktor toleransi dari komponen, kondisi rangkaian, dan sensitivitas sensor terhadap perubahan beban listrik selama pengujian.

3.3.1.2 Kalibrasi Sensor BH-1750

Tabel 3. Kalibrasi sensor BH-1750 dengan alat ukur

Data	Alat Ukur	Sensor	Error(%)
------	-----------	--------	----------

1.	25,240	25,190	0,20
2.	18,460	18,430	0,16
3.	30,870	30,810	0,19
4.	26,950	26,910	0,15
5.	35,680	35,620	0,17
6.	39,240	39,190	0,13
Rata-rata	29,407	29,358	0,17

$$Presentase\ Error = \left| \frac{Nilai\ Alat\ ukur - Nilai\ sensor\ BH1750}{Nilai\ Alat\ ukur} \right| \times 100\%$$

Pada tabel 3. Kalibrasi sensor BH-1750 diperoleh perbandingan antara alat ukur dan sensor yang hampir mendekati. Nilai *error* pada setiap pengujian berada pada 0,13% - 0,20% dengan nilai rata-rata yang dihasilkan 0,17%. perbedaan nilai antara alat ukur dan sensor hanya kecil, hal ini menunjukkan bahwa sensor BH-1750 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam mendeteksi intensitas cahaya matahari. Perbedaan nilai antara alat ukur dan sensor disebabkan oleh faktor kondisi lingkungan, posisi sensor terhadap intensitas cahaya matahari, dan sensitivitas sensor terhadap perubahan intensitas cahaya matahari. Dengan nilai *error* yang masih dibawah 0,25%, sensor BH-1750 dapat digunakan dalam sistem monitoring intensitas cahaya matahari dalam penelitian.

3.3.2 Pengujian Panel Surya

Tabel 4. Pengujian Panel Surya

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Intensitas (Lux)	Suhu (° C)
09.00	11,25	0,73	8,09	16,401	29
10.00	12,73	0,97	12,26	34,874	31
11.00	13,48	1,09	14,69	54,372	33
12.00	14,10	1,27	17,90	71,691	34
13.00	14,84	1,34	19,88	84,196	35
14.00	14,05	1,16	16,29	77,426	34
15.00	13,65	1,12	15,28	49,816	33

16. 00	12, 70	0, 91	11, 55	27, 910	31
Rata- rata	13, 39	1, 02	13, 88	50, 60	32. 5

Pada tabel 4. pengujian panel surya dapat dilihat nilai dari tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang dihasilkan panel surya mengalami peningkatan dari pagi ke siang hari. Pada pukul 09.00 tegangan yang dihasilkan 11,25 V dengan arus 0,73 A dan daya 8,09 W. nilai pengujian akan terus meningkat dengan bertambahnya intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya dan ditunjukkan nilai nya oleh lux. Puncak performa pada panel surya terjadi pada pukul 13.00 nilai tegangan mencapai 14,84 V, arus 1,34 A dan daya sebesar 19,88 W. setelah melewati puncak performa pada panel nilai tegangan, arus, dan daya mengalami penurunan pada pukul 14:00 – 16:00, penurunan dikarenakan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh permukaan panel surya. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan suhu dilingkungan pengujian.

3.3.3 Pengujian Turbin Generator

Tabel 5. Pengujian Turbin Generator

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kecepatan (m/s)	Putaran (Rpm)
09. 00	7, 64	0, 44	3, 32	2, 5	302, 3
10. 00	8, 10	0, 50	4, 05	3, 0	339, 9
11. 00	8, 90	0, 60	5, 34	3, 5	381, 2
12. 00	8, 30	0, 55	4, 56	3, 2	359, 5
13. 00	9, 40	0, 65	6, 11	4, 2	422, 1
14. 00	8, 00	0, 52	4, 16	3, 0	328, 6

15. 00	7, 20	0, 45	3, 24	2, 6	301, 7
16. 00	8, 80	0, 60	5, 28	3, 8	401, 4
Rata-rata	8, 16	0, 54	4, 50	3, 22	342, 07

Pada tabel 5. Pengujian turbin generator dapat dilihat nilai dari tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang dihasilkan dari turbin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin (m/s) dan putaran turbin (RPM). Pada pukul 09.00 tegangan yang dihasilkan 7,64 V, arus 0,44 A dan daya 3,32 W dengan kecepatan angin 2,5 m/s putaran turbin 302,3 RPM. Seiring dengan meningkatnya kecepatan angin dan putaran turbin nilai dari tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan akan semakin meningkat. Nilai daya tertinggi yang dihasilkan pada pukul 13.00 dengan kecepatan angin 4,2 m/s dan putaran turbin 422,1 RPM menghasilkan nilai tegangan 9,40 V, arus 0,65 A, dan daya 6,11 W. pada beberapa waktu menunjukkan terjadi ketidakstabilan nilai daya dikarenakan perubahan kecepatan angin yang tidak stabil. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja dari turbin generator sangat bergantung pada kondisi kecepatan angin yang ada pada lokasi penelitian. Pada data hasil pengujian diatas hasil yang didapatkan dari turbin generator tidak dapat digunakan untuk melakukan pengisian aki, dikarenakan nilai yang dihasilkan masih dibawah nilai yang dibutuhkan untuk pengisian aki kapasitas 12V12Ah. Minimal tegangan yang dibutuhkan untuk pengisian 11,5- 13,5. Maka dari itu dilakukan penggabungan antara turbin dan pv agar dapat melakukan pengisian dengan baik.

3.3.4 Pengujian Hybrid

Tabel 6. Pengujian Hybrid

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Kecepatan (m/s)	Putaran (Rpm)	Intensitas (Lux)	Suhu (° C)
09. 00	12, 25	1, 25	15, 44	2, 3	305	29, 850	28
10. 00	12, 82	1, 35	17, 31	2, 7	355	41, 720	29
11. 00	13, 55	1, 45	19, 64	3, 1	412	53, 860	31
12. 00	14, 21	1, 57	22, 29	3, 8	512	74, 680	33
13. 00	15. 05	1, 64	24, 69	3, 9	537	80, 383	34

14.00	14,13	1,55	21,90	3,5	475	68,920	33
15.00	13,72	1,38	18,93	3,0	405	51,470	32
16.00	12,86	1,28	16,49	2,5	338	34,120	30
Rata-rata	13,57	1,43	19,58	3,10	417	54.375	31,25

Pada tabel pengujian hybrid dapat dilihat nilai dari tegangan (V), arus (A), dan daya (W) dihasilkan dari penggabungan sumber panel surya dan turbin, dari penggabungan kedua sumber dapat menghasilkan nilai tegangan, arus, dan daya yang stabil dibandingkan dengan masing masing energi yang terpisah. Pada pukul 09.00 sistem menghasilkan tegangan 12,25V, arus 1,25 A, dan daya 15,44 W dengan kecepatan angin 2,3 m/s dan intensitas cahaya 28,402 lux. Nilai ini menunjukkan dari pagi sistem *hybrid* dapat menghasilkan daya yang cukup baik. Pada pukul 12.00 nilai tegangan, arus, dan daya mengalami peningkatan daya yang dihasilkan 22,29 W dengan tegangan 14,21 V, dan arus 1,64 A yang dipengaruhi oleh meningkatnya intensitas cahaya matahari 74,680 lux serta kecepatan angin 3,8 m/s dengan putaran turbin yang dihasilkan 512 RPM. Nilai daya tertinggi terjadi pada pukul 13.00 nilai tegangan 15,05 V, arus 1,64 A, dan daya 24,69 W dengan nilai intensitas cahaya mencapai 80,383 dan kecepatan angin 3,9 m/s. Pada pukul 14.00 – 16.00 nilai daya mengalami penurunan hal ini disebabkan berkurangnya intensitas cahaya matahari dan kecepatan angin yang mempengaruhi kinerja turbin. Sistem *hybrid* mampu menghasilkan daya yang relatif stabil dibandingkan hanya satu sumber, karena sistem *hybrid* menggunakan dua sumber energi yang dapat melengkapi untuk menghasilkan energi listrik. Panel surya berperan sebagai sumber energi utama pada saat intensitas matahari tinggi, sedangkan turbin membantu menambah suplai energi ketika dapat kecepatan angin yang cukup. Nilai dari kecepatan, putaran, dan intensitas dari sistem *hybrid* mencakup dalam pengukuran pengujian SCC ke baterai dan SCC ke beban.

3.3.4.1 Pengujian SCC ke Baterai

Tabel 7. Pengujian SCC ke Baterai

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09.00	12,02	0,17	2,03
10.00	12,24	0,28	3,39
11.00	12,56	0,43	5,28

tabel SCC	12. 00	12, 98	0, 58	7, 53	Pada hasil data pengujian (Solar
	13. 00	13, 32	0, 74	9, 72	
	14. 00	13, 56	0, 55	7, 39	
	15. 00	13, 82	0, 35	4, 69	
	16. 00	14, 05	0, 21	2, 85	
	Rata-rata	13, 07	0, 41	5, 36	

Charge Controller) ke baterai dari pukul 09:00-16:00 dapat dilihat nilai dari tegangan (V), arus (A), dan daya (W) proses pengisian baterai normal dan stabil. tegangan baterai meningkat secara bertahap dari tegangan 12,02 V sampai 14,05 V, menunjukkan kapasitas baterai terus bertambah selama proses pengisian. Pada awal pengujian, arus pengisian baterai masih besar sekitar 0,17 A dengan daya 2,03 W karena baterai masih dalam kondisi awal pengisian. Dengan bertambahnya waktu arus pengisian baterai menurun hingga 0,21 A dan daya menurun menjadi 2,85 W, hal ini dikarenakan semakin pengisian baterai mendekati penuh SCC akan mengurangi arus untuk mencegah *overcharging*. Awal pengisian baterai menerima energi lebih cepat, sedangkan pada saat pengisian mendekati penuh proses pengisian menjadi lebih lambat. SCC berkerja dengan baik dalam mengatur tegangan, arus, dan daya pengisian sehingga proses pengisian baterai berlangsung aman dan efisien. Setelah proses *charging* selesai, tegangan baterai yang sebelumnya 10,7 V meningkat menjadi 12, 1 V. Baterai menyimpan energi yang digunakan untuk penerangan jalan umum menyuplai lampu DC 12V 15W mulai pukul 17:30 WIB sampai pukul 05:00 WIB. Setelah penggunaan untuk penerangan jalan umum tegangan baterai mengalami penurunan menjadi 10,1 V dikarenakan untuk menyuplai kebutuhan beban selama malam hari. Penurunan tegangan menunjukkan proses *discharging* baterai barjalan normal sesuai kapasitas baterai 12V12Ah yang digunakan pada sistem *hybrid*.

3.3.4.2 Pengujian SCC ke Beban

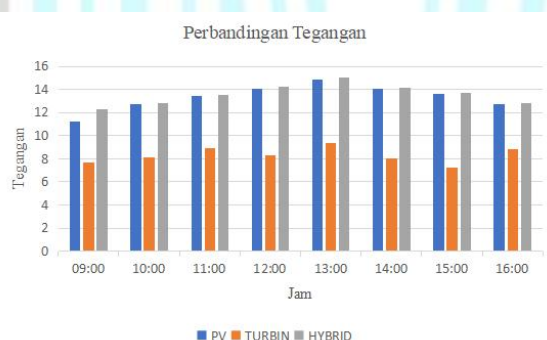
Tabel 8. Penujian SCC ke beban

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09. 00	12, 08	1, 11	13, 41
10. 00	12, 16	1, 14	13, 69
11. 00	12, 24	1, 17	14, 32
12. 00	12, 40	1, 19	14, 75

13.00	12,56	1,18	14,79
14.00	12,49	1,16	14,34
15.00	12,35	1,15	14,13
16.00	12,12	1,12	13,42
Rata-rata	12,30	1,15	13,84

Pada hasil tabel pengujian SCC (Solar Charge Controller) ke beban dari pukul 09:00 – 16:00 tegangan (V), arus (A), dan daya (W) yang dialirkan ke beban mengalami peningkatan dari pagi hari hingga siang hari, kemudian mengalami sedikit penurunan pada sore hari. Tegangan meningkat pada pukul 09:00, dari 10,12 V menjadi 14,46 V pada pukul 15:00, sedangkan arus naik dari 0,88 A – 1,10 A mencapai nilai tertinggi pada pukul 14:00. peningkatan tegangan dan arus menyebabkan daya yang dihasilkan juga meningkat dari 8,90 W menjadi 15,53 W pada pukul 14:00, hal ini menunjukkan sistem berkerja paling optimal pada saat intensitas cahaya matahari berada pada kondisi terbaik. Setelah pukul 14:00 nilai tegangan, arus, dan daya mulai menurun dikarenakan penurunan intensitas cahaya matahari. Rata rata nilai yang dihasilkan tegangan 12,77 V, arus 1,00 A, dan daya 12,81 W. hasil pengujian menunjukkan SCC mampu menyalurkan energi listrik ke beban dengan baik dan stabil.

3.4 Perbandingan Pengaruh Sistem Panel Surya, Turbin Generator, dan *Hybrid*

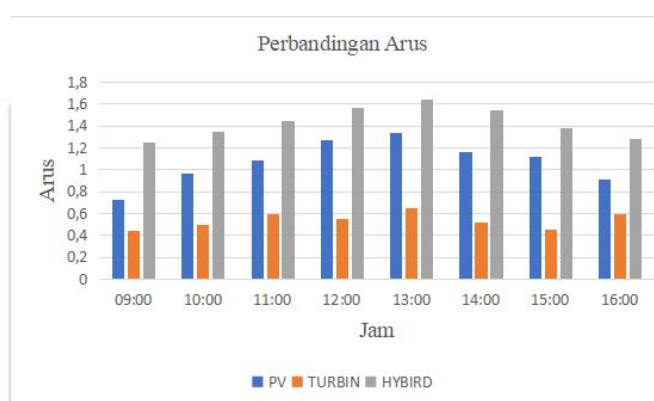


Gambar 6. Perbandingan Sistem Tegangan (V)

Gambar grafik menunjukkan bahwa mulai pukul 09.00 WIB, sistem *hybrid* menunjukkan kelebihan dengan tegangan yang paling stabil di angka 12,25V. Sementara itu, panel surya (PV) baru mencapai 11,25V dan turbin tetap rendah di sekitar 7,64V. Ini

mengindikasikan bahwa di pagi hari, kombinasi dari keduanya sudah cukup siap digunakan. Pukul 10.00 hingga 11.00 WIB meningkatnya cahaya matahari, tegangan PV naik dari 12,73V menjadi 13,48V. Sistem *hybrid* tetap mengikuti perkembangan dengan stabil, menjaga tegangan di rentang 12,85V hingga 13,55V. Meskipun turbin angin juga menunjukkan peningkatan, namun tetap berada di bawah 9V. Pada pukul 12.00 hingga 13.00 WIB tegangan PV mencapai puncaknya di 14,84V. Sistem *hybrid* tidak ikut meloncat setinggi PV melainkan tetap stabil di 15,05V. Ini sebenarnya positif karena tegangan yang sangat tinggi bisa berpotensi berbahaya jika tidak dikelola, sedangkan sistem *hybrid* berfungsi menjaga tegangan tetap dalam batas aman.

Di antara pukul 14.00 hingga 15. 00 WIB, ketika matahari mulai miring, tegangan PV menurun menjadi 13,65V. Turbin sempat mengalami penurunan performa dengan angka 7,2V. Namun, sistem *hybrid* tetap stabil dengan nilai tegangan 13,72V. Fungsi *hybrid* digunakan untuk menyeimbangkan saat sumber energi utama (PV) mulai melemah. Pukul 16. 00 WIB, tegangan PV turun ke 12,7V sistem *hybrid* masih menampilkan nilai tegangan 12,86V, bahkan lebih tinggi dari PV murni pada waktu yang sama. Hal ini mungkin terjadi berkat kontribusi energi dan turbin yang tetap aktif menyuplai daya meskipun intensitas cahaya matahari sudah menurun. Jadi, sistem *hybrid* menunjukkan kelebihanannya dengan tegangan yang paling stabil di angka 12,25 V. PV baru mulai memberikan hasil di angka 11,25V, sementara turbin masih relatif rendah di kisaran 7,64V. Ini menunjukkan bahwa di pagi hari, kombinasi dari keduanya memberikan performa yang lebih baik.

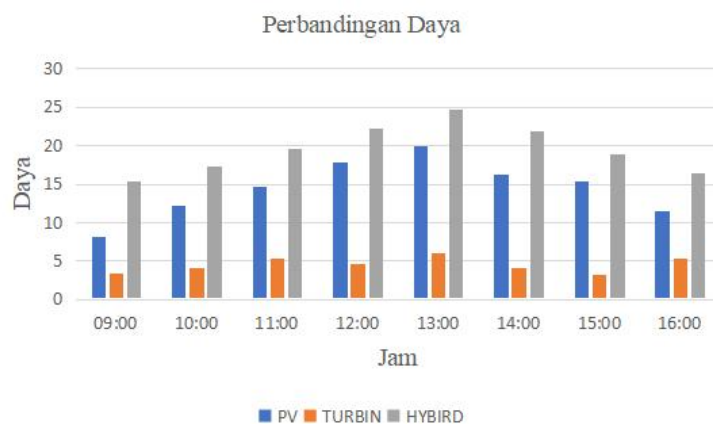


Gambar 7. Perbandingan Sistem Arus (A)

Pada Gambar 4. Perbandingan Sistem Arus, terlihat perbedaan nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya, turbin, dan hybrid. Sistem panel surya arus yang dihasilkan meningkat dari 0,73 A sampai 1,34 A pada pukul 09.00 – 13.00, peningkatan ini dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang di terima oleh panel surya. Setelah melebihi jam 13.00

nilai arus mengalami penurunan hingga 0,91 A pada pukul 16.00 karena penurunan intensitas cahaya matahari. Pada arus yang dihasilkan oleh turbin angin memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan panel surya, yang terendah 0,44 pada pukul 09.00 dan yang tertinggi 0,65 A pada pukul 13.00. nilai arus pada turbin cenderung tidak stabil karena dipengaruhi oleh kondisi kecepatan angin yang berubah ubah selama proses pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa sumber energi angin tidak terlalu cocok dibandingkan dengan energi matahari di daerah pengujian.

Pada sistem *hybrid* arus yang dihasilkan merupakan hasil dari kombinasi dari arus panel surya dan turbin angin. Nilai arus yang dihasilkan sistem *hybrid* berkisaran 1,25 A hingga 1,64 A dan terlihat lebih stabil dibandingkan dengan hasil sistem turbin saja. Hal ini disebabkan karena sistem *hybrid* menggunakan beban lampu sebesar 15W pada saat pengujian, sehingga arus yang dihasilkan dapat digunakan langsung oleh beban dan menghasilkan tegangan yang lebih stabil, berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa sistem *hybrid* mampu menstabilkan tegangan dalam pengisian baterai dan penerangan, yang dihasilkan karena memanfaatkan dua sumber energi terbarukan secara bersamaan.



Gambar 8. Perbandingan Sistem Daya (W)

Pada jam 09. 00 sampai 10. 00 WIB, produksi daya masih tergolong rendah. Energi PV mulai meningkat seiring dengan terbitnya matahari. Pada pukul 09:00, daya sistem Hybrid lebih tinggi daripada PV dan Turbin masing-masing, menandakan bahwa sistem gabungan berfungsi dengan baik saat sumber tunggal masih dalam kondisi lemah. Pada jam 11:00 hingga 12:00 WIB, PV mengalami peningkatan yang signifikan. Di pukul 13:00, PV hampir mencapai angka 20 Sementara itu, Turbin menunjukkan sedikit penurunan di jam 12:00 setelah sebelumnya naik di jam 11:00. Puncak kinerja terjadi pada pukul 13:00 WIB, yang merupakan waktu yang bagus. PV mencapai titik maksimum (sekitar 22-23 unit). Pada saat bersamaan, Turbin juga mencapai nilai tertingginya (sekitar 6 unit). Namun, daya *hybrid*

menunjukkan penurunan kecil dibandingkan dengan pukul 12:00, kemungkinan disebabkan oleh adanya sistem pembatas atau efisiensi dari alat konversi daya.

Pada jam 14:00 hingga 15:00, daya PV mulai menurun karena pergeseran posisi matahari. Produksi Turbin juga mengalami penurunan yang signifikan pada pukul 15:00. Sistem *hybrid* berusaha untuk mempertahankan stabilitas daya. Pukul 16:00 WIB menunjukkan semua sumber daya mengalami penurunan. Daya PV hampir setara dengan daya *hybrid*, sementara turbin menunjukkan sedikit peningkatan akibat hembusan angin di sore hari. Sistem *hybrid* memanfaatkan dua sumber energi terbarukan secara bersamaan ketika salah satu sumber mengalami penurunan produksi, sumber energi lain masih dapat membantu menyuplai daya ke sistem.

4. PENUTUP

Pada hasil pengamatan dan pengujian sistem pembangkit listrik tenaga *Hybrid* yang sudah dilaksanakan selama beberapa hari (pengujian PLTS dan PLTB), dapat disimpulkan bahwa pembangkit listrik tenaga surya lebih baik digunakan pada daerah pengujian dari pada pembangkit listrik tenaga bayu (angin), pembangkit listrik tenaga surya dapat memanfaatkan intensitas cahaya matahari lebih optimal dibandingkan angin di lokasi pengujian. Pada pengujian diperoleh perbandingan nilai tegangan, arus, dan daya yang menunjukkan karakteristik dari masing masing sumber energi. Pengujian pembangkit listrik tenaga surya selama waktu pengamatan sekitar pukul 09:00 hingga 16:00, tegangan yang dihasilkan kisaran 13,39 V, dengan nilai arus 1,02 A, daya yang dihasilkan berkisaran 13,88 W. Performa pada panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang diterima dari permukaan panel. Nilai dari tegangan, arus, dan daya akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya matahari pada siang hari dan akan penurunan ketika sore hari.

Pada pengujian pembangkit listrik tenaga bayu (Angin) nilai yang dihasilkan lebih tidak stabil dibandingkan oleh pembangkit listrik tenaga surya karena perubahan kecepatan angin yang tidak stabil. tegangan yang dihasilkan kisaran 8,16 V, dengan arus sekitar 0,54 A. Daya yang dihasilkan kisaran 4,50 W. Hasil nilai dari tegangan, arus, dan daya menunjukkan kecepatan angin mempengaruhi nilai dari tegangan dan arus, ketika kecepatan angin meningkat nilai yang dihasilkan tegangan dan arus akan meningkat, tetapi ketika kecepatan angin menurun maka daya yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Pada pengujian pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PV dan Turbin) nilai yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan dari kedua sumber yang terpisah. Tegangan yang dihasilkan sistem kisaran 13,57 V, dengan nilai arus 1,43 A, dan daya yang dihasilkan kisaran 19,58W. Hasil nilai ini

menunjukkan kombinasi kedua sumber energi mampu meningkatkan total daya yang dihasilkan dan menjaga kestabilan tegangan ketika salah satu sumber mengalami penurunan produksi energi.

PERSANTUNAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada orang tua saya Ibu Tri Winarni Bapak Subiyantoro Ibu Nanik Suparni dan Alif Fakhrol saudara kandung saya atas doa dan dukungan secara materi dan non materi. Kepada Bapak Hasyim Asy'ari, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing, penulis banyak berterima kasih atas bimbingan dan arahnya selama penulis melakukan proses penelitian dalam pengerjaan tugas akhir. Tak dilupakan penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Nabila Diva Putri yang sudah menemani penulis hingga dititik ini, semangat dan bantuan dukungan yang sudah diberikan kepada penulis. Serta kepada Khoiru Adi Nugroho, Akbar Ahmad Tahrir dan teman-teman elektro angkatan 22 yang telah memberikan banyak dukungan kepada penulis. Penulis juga menghargai setiap bentuk bantuan baik dalam diskusi dan kerja sama selama masa pengerjaan tugas akhir. Tidak dilupakan untuk tim sepak bola yang berada di liga 1 Persija Jakarta yang sudah mengontrol emosi dan kebahagiaan bagi penulis selama pengerjaan tugas akhir. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas kehadiran dan dukungan semuanya yang menjadi bagian penting dalam proses penyelesaian pengerjaan tugas akhir. Semoga segala bentuk kebaikan yang sudah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

- AMANDA, N. Analisa Konsumsi Daya Penerangan Jalan Umum Hybrid PLTS dan PLTB Berbasis IoT.
- AZIZAH, A. H. B., & ANGGRAINI, D. I. A. R. (2022). Hycos: Perancangan Hybrid Charge Controller System Sebagai Sinkronisasi Penyelaras Daya Pada PLTS, PLTB, Dan PLTMH.
- Dwipayana, I. (2024). Analisis dan Perencanaan Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (Pjuts) di Jalan Dewi Sartika Kota Singaraja (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Fatahillah, M. P., & Roza, I. (2022). Perancangan monitoring cuaca berbasis IoT tenaga matahari menggunakan panel surya 20 Wp. *MeSTERl Journal*, 1(1), 26-32.
- Kurniawan, A. A., & Aribowo, W. (2025). Perancangan dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Untuk Penerangan Jalan Umum. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 14(2), 102-107.
- Prasetyo, S. D., & Agus Ulinuha, S. T. (2018). Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin Dan Sel Surya Untuk Penerangan Jalan Raya (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Sampe, R. S. (2024). PERANCANGAN KENDALI SISTEM HYBRID UNTUK PENYALURAN DAYA KE BEBAN PADA DAERAH TERISOLIR= Design of a Hybrid Control System for

- Power Distribution to Loads in Isolated Areas (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Saragih, F., Buaton, R., & Simanjuntak, M. (2024). Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT). *Router: Jurnal Teknik Informatika dan Terapan*, 2(3), 239-252.
- Sutikno, T., Alfahri, J., & Purnama, H. S. (2023). Monitoring tegangan dan arus pada panel surya menggunakan IoT. *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, 22(1), 153.
- SYUHADAH, R. A. (2024). *ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA ATAP TERPUSAT* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau).