

SISTEM PLTS DENGAN *SINGLE AXIS SOLAR TRACKER* UNTUK SUPLAJ DAYA PADA PENERANGAN JALAN UMUM (PJU) DILENGKAPI IOT

Alfarizi Winar Ramadhan¹, Rizki Nurilyas Ahmad²

^{1,2,3,4}Universitas Muhammadiyah Surakarta, Pabelan, Kab.Sukoharjo , Indonesia

 Email korespondensi: d400210028@student.ums.ac.id

Abstrak. Kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan seiring bertambahnya populasi manusia. Saat ini, pasokan listrik Indonesia masih berbasis energi fosil, sehingga perlu dikembangkan teknologi berbasis energi terbarukan. Indonesia memiliki rata-rata penyinaran matahari selama 10 jam/hari menghasilkan potensi panas matahari sebesar 112.000 GWp. Potensi ini dapat menjadi peluang besar sebagai suplai energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem *single axis solar tracker* untuk suplai daya pada penerangan jalan (PJU). PJU memiliki peranan penting untuk menunjang mobilitas manusia saat malam. Lokasi penelitian di Desa Banjaranyar, Randudongkal, Pemalang, Jawa Tengah. Pada penelitian ini dilakukan komparasi antara sistem PLTS dengan menggunakan *tracker single axis* dengan sistem PLTS statis. Sistem PLTS dilengkapi dengan *Internet of Things* (IoT) yang dapat diakses menggunakan aplikasi Blynk untuk memantau tegangan, arus, daya serta energi dari panel surya dan baterai. Berdasarkan hasil kalibrasi antara Blynk dengan Multimeter pada sensor PZEM-017, hasil error pengukurannya dibawah 1 % artinya pembacaan pada IoT sesuai dengan pengukuran langsung. Efektivitas panel surya dengan *single axis tracker* lebih tinggi daripada sistem statis. Secara berturut-turut rata-rata daya yang dihasilkan sistem dengan *single axis tracker* selama tiga hari pengujian sebesar 30,99 Watt; 31,73 Watt dan 35,35 Watt, puncak dayanya melebihi 50 Watt. Pada sistem statis rata rata dayanya secara berturut-turut selama tiga hari adalah 27,57 Watt; 26,43 Watt dan 26,03 Watt, puncak dayanya 49-50 Watt. Pengujian saat malam menunjukkan tegangan awal baterai sekitar 13 V turun menjadi sekitar 12,7 V selama 12 jam, konsumsi energi beban sebesar 168 Wh, menandakan sistem mampu menyuplai beban tanpa paparan sinar matahari.

Kata kunci: IoT, PJU, PLTS, *Single Axis, Tracker*.



PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat krusial saat ini untuk mendukung semua lini kehidupan mulai dari kebutuhan rumah tangga, pembangunan infrastruktur, pengembangan teknologi hingga ekonomi. Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia, namun saat ini sebagian besar energi listrik utamanya di Indonesia masih berbasis energi fosil seperti batu bara. Mengingat jumlah energi fosil yang terbatas, maka perlu adanya energi alternatif yang jumlahnya memadai dan mudah diperbarui, contohnya energi dari matahari, angin serta reaksi nuklir [1]. Diperkirakan, bumi menerima radiasi matahari sebesar 1 kW/m² ketika siang hari [2]. Energi yang besar ini jika dapat ditampung dan dimanfaatkan secara bijak dapat memenuhi kebutuhan listrik setiap negara yang ada di dunia [3]. Posisi Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa menjadikan Indonesia sebagai negara tropis dengan rata-rata penyinaran matahari berkisar 10 jam/hari. Kondisi ini menghasilkan potensi panas matahari yang begitu besar yakni 112.000 GWp, namun hanya sekitar 10 MWp saja yang telah dimanfaatkan[4]. Potensi ini membuka peluang besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) untuk dikembangkan sebagai penghasil energi listrik terbarukan. PLTS menggunakan panel surya atau *photovoltaic* (PV) sebagai komponen utama utama, PV digunakan untuk mengubah foton yang berasal dari matahari menjadi energi listrik DC atau searah [5]. PV menjadi sebuah penemuan yang sangat inovatif sehingga saat ini manusia tidak hanya mendapatkan energi dari dalam bumi namun juga memanfaatkan energi dari luar yakni sinar matahari.

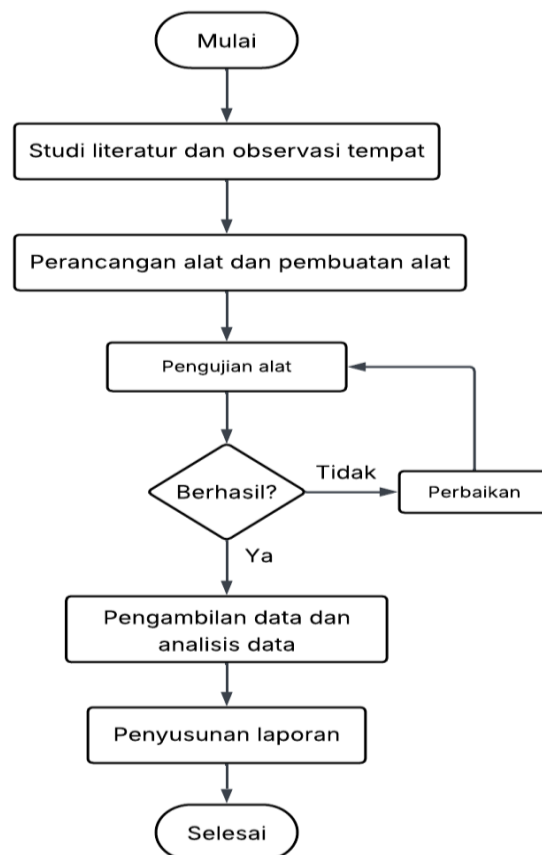
Aktivitas manusia di berbagai belahan dunia terus berlangsung selama 24 jam sepanjang siang dan malam. Upaya yang dilakukan untuk memfasilitasi kegiatan manusia pada malam hari adalah penggunaan penerangan di berbagai fasilitas pribadi hingga umum. Penerangan jalan umum (PJU) merupakan sebuah layanan publik yang krusial untuk mengakomodasi mobilitas manusia serta mengurangi resiko adanya tindak kriminal atau kejahatan pada malam hari [6]. Hingga saat ini, kebanyakan PJU masih menggunakan energi listrik konvensional berbasis energi fosil sebagai suplai dayanya. Penelitian ini bertujuan merancang, meningkatkan efisiensi dari sistem *single axis solar tracker* sebagai suplai daya pada PJU serta mengintegrasikannya dengan *Internet of Thing* (IoT). Penggunaan *tracker* PLTS bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem dengan menjadikan PV selalu bergerak mengikuti arah datang sinar matahari sepanjang hari [7]. *Single axis tracker* pada PLTS memungkinkan PV bergerak satu arah, bisa jadi ke arah utara-selatan maupun arah timur-barat [8], pada penelitian ini PV digerakkan pada arah timur-barat sesuai arah datang matahari dari pagi hingga sore. *Single-axis solar tracker* banyak diimplementasikan di negara-negara tropis seperti Indonesia karena posisi



matahari relatif stabil sepanjang tahun [9]. IoT merupakan sebuah inovasi yang memungkinkan benda-benda (*things*) dapat terhubung dengan internet serta mengumpulkan dan bertukar data. Tujuan dasar dari IoT adalah untuk menghubungkan berbagai hal dimana saja dan kapan saja menggunakan jaringan internet [10]. IoT telah banyak digunakan pada berbagai bidang mulai dari pertanian, transportasi hingga bisnis. Inovasi ini memberikan banyak dampak positif dalam kehidupan modern ini, sehingga menjadi salah satu alasan untuk mengimplementasikannya dalam pemantauan PLTS untuk PJU yang merupakan fasilitas umum. Penelitian ini memanfaatkan IoT untuk mendapatkan beberapa data yakni berupa daya, tegangan, arus dan energi pada baterai dan panel surya secara *real time* dan *update* secara mudah dan singkat melalui *smartphone user*.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Desa Banjaranyar, Kecamatan Randuungkal Pematang, Jawa Tengah. Terdapat beberapa tahapan penelitian dalam pembuatan alat Sistem PLTS dengan *Single Axis Solar Tracker* untuk Suplai Daya pada Penerangan Jalan Umum (PJU) Dilengkapi IoT seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

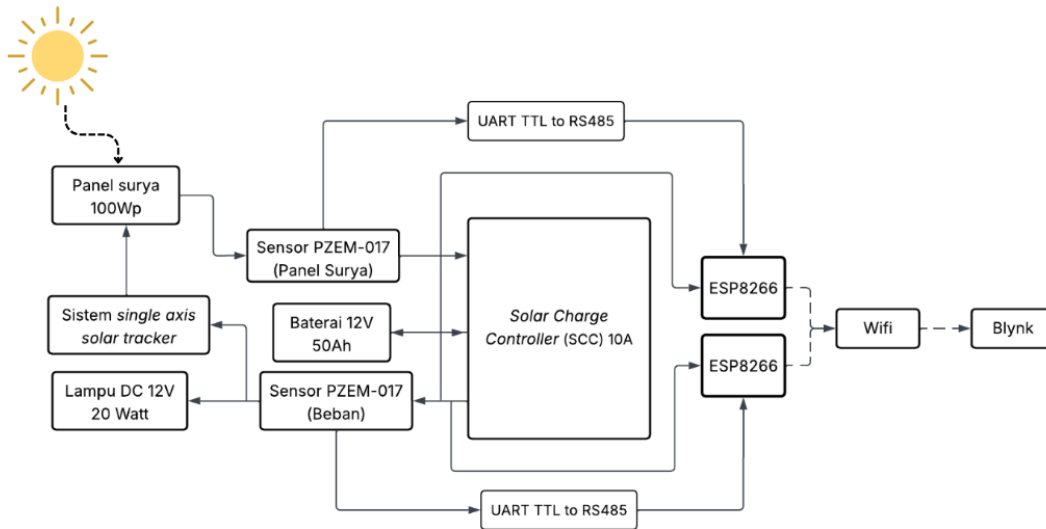
Dalam proses realisasi penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan dengan rinciannya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat dan Bahan	Jumlah
ESP8266	2
Sensor PZEM-017	2
Sensor LDR XH-M131 12V 10A	2
Relay LY2N 12V	1
Baterai 12 V 50Ah	1
Panel Surya 100WP	1
Solar Charge Controller (SCC) 10A	1
Digital Timer CN101A 12V	2
Lampu DC 12V 20 watt	2
MCB DC 10A	2
MCB DC 6A	1
MCB DC 3A	1
Modul UART TTL to RS485	2
Tiang lampu PJU 2m	2
Kap lampu PJU Diameter 18cm	2
Panel Box outdoor 40x50cm	1
Kerangka Solar Tracker	1
Aktuator motor linear 18 inch 12-36V	1

Alur kerja perancangan sistem PLTS disajikan secara ringkas dalam blok diagram sistem yang ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan blok diagram sistem, beban mendapatkan suplai dari PLTS, dalam sistem PLTS terdapat 2 sensor PZEM-017 yang berfungsi untuk memonitoring tegangan, arus, daya, dan energi yang dihasilkan dari panel surya serta juga keluaran baterai menuju lampu DC. Selain itu, juga terdapat UART TTL to RS485 yang digunakan untuk komunikasi antara PZEM-017 dengan ESP8266 sehingga memungkinkan terjadinya transfer data menuju ESP8266. Dengan demikian, ESP8266 dapat menampilkan data untuk *user* melalui aplikasi *blynk*.

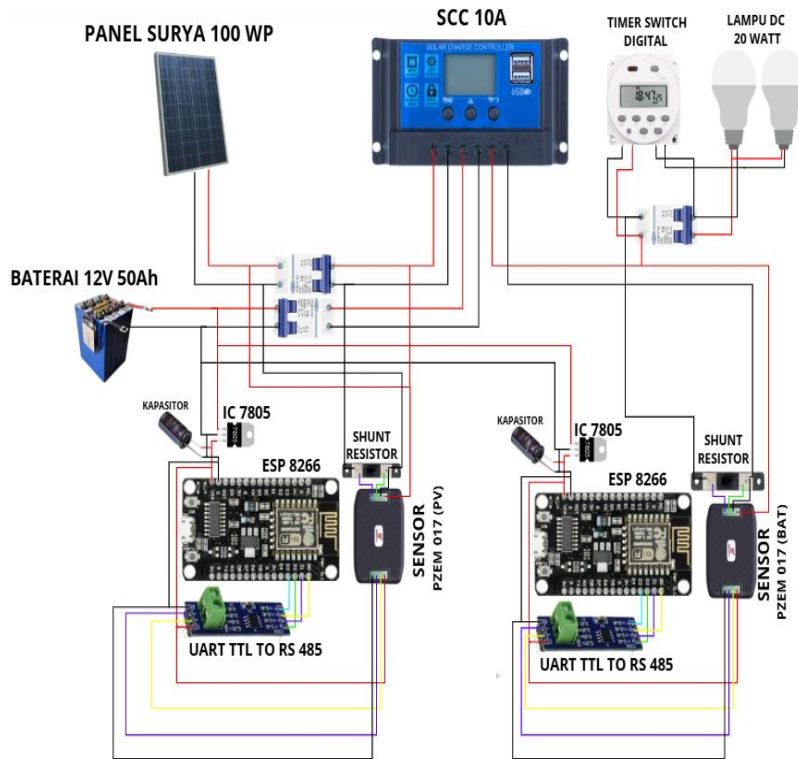




Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Wiring diagram perancangan sistem disajikan pada Gambar 3. *Wiring* diagram menjelaskan sistem yang bekerja pada PV, mekanisme lampu DC hingga proses pembacaan data dari sensor PZEM-017 Berdasarkan *wiring* diagram perancangan sistem, prinsip kerja PV yakni mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC. Dalam sistem ini terdapat 3 MCB DC yang masing-masing dipasang diantara PV ke SCC, SCC ke baterai, dan SCC ke lampu DC yang berfungsi sebagai pengaman sekaligus saklar. Kemudian dari SCC menuju lampu DC terdapat Digital *Timer Switch* untuk mengatur waktu *ON-OFF* lampu DC secara otomatis dengan mengatur kondisi *ON* pada pukul 18:00 dan kondisi *OFF* pada pukul 06:00 keesokan harinya sehingga kondisi lampu dapat berubah secara otomatis. Dalam sistem ini juga terdapat IC 7805 yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari baterai menuju UART TTL to RS485, serta terdapat kapasitor untuk menstabilkan tegangan *output* dari IC 7805. Untuk keperluan pembacaan data yang akan ditampilkan pada *blynk*, dua buah ESP8266 dihubungkan dengan dua buah sensor PZEM-017. Sensor PZEM-017 yang pertama digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan energi dari panel surya menuju SCC, sementara itu sensor PZEM-017 yang kedua digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya dan energi dari SCC menuju ke lampu DC. *Shunt resistor* pada sistem ini dihubungkan sensor PZEM-017 untuk mengukur arus listrik.



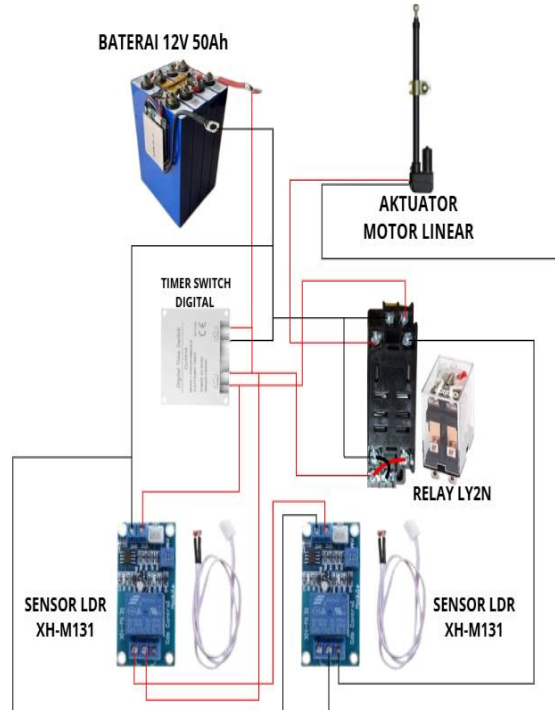


Gambar 3. *Wiring Diagram* Perancangan Sistem PLTS

Wiring diagram Tracker Single Axis disajikan pada Gambar 4. *Wiring diagram* ini merupakan bagian pelengkap dari Gambar 3, bagian ini menjelaskan mekanisme *tracker single axis* dalam menggerakkan PV agar selalu mengikuti arah gerak matahari. Berdasarkan *wiring diagram tracker single axis*, digital timer switch dihubungkan dengan suplai baterai untuk mengatur kondisi ON-OFF secara otomatis akan ON ketika pukul 07:00 dan akan OFF pada pukul 18:00 di setiap harinya. Pada sistem ini, terdapat dua buah modul sensor LDR XH-M131 yang memiliki peran berbeda, sensor LDR XH-M131 yang pertama digunakan untuk mendeteksi kondisi cuaca mendung, sementara itu sensor LDR XH-M131 kedua digunakan untuk mendeteksi arah datang cahaya matahari. Ketika sensor pertama mendeteksi cuaca mendung maka ia akan mematikan sensor LDR XH-M131 yang kedua sehingga linear aktuator tidak bergerak. Sementara itu, sensor kedua akan terus mencari arah sumber cahaya matahari, sehingga ketika terdeteksi cahaya matahari yang mulai meredup sensor ini akan mengaktifkan linear aktuator untuk menggerakkan PV ke arah sumber cahaya matahari supaya mendapatkan cahaya yang optimal. Linear aktuator akan berhenti bergerak saat sensor sudah mendeteksi adanya sumber cahaya yang lebih optimal daripada kondisi sebelumnya. Pada saat timer dalam kondisi OFF, linear aktuator akan bergerak kembali menuju posisi awal PV, kondisi ini dapat terjadi karena linear aktuator dihubungkan dengan relay LY2N yang berperan untuk membalikkan



polaritas tegangan DC. Pada linear aktuator terdapat *limit switch* yang berfungsi untuk memaksa berhenti pergerakan linear aktuator walaupun sensor LDR XH-M131 yang kedua aktif untuk memerintahkan linear aktuator bergerak terus ke arah barat.



Gambar 4. Wiring Diagram Tracker Single Axis

HASIL

Sebelum melakukan tahapan realisasi, perlu dilakukan tahapan perhitungan sebagai salah satu bentuk perancangan untuk mengurangi resiko kesalahan. Hasil perhitungan awal yang dilakukan ditujukan untuk menghitung kebutuhan beban, kapasitas panel surya, kapasitas baterai serta kapasitas SCC [11].

a.) Kebutuhan beban yang digunakan

$$\text{Beban pemakaian} = \text{Jumlah beban} \times \text{daya beban} \times \text{pemakaian beban}$$

$$\text{Beban pemakaian} = 2 \text{ lampu DC} \times 20 \text{ Watt} \times 12 \text{ Jam}$$

$$\text{Beban pemakaian} = 480 \text{ Wh}$$

(1)

Beban pemakaian pada penelitian ini yaitu sebesar 480 Wh

b.) Kapasitas panel surya

Secara umum rata-rata konversi energi matahari secara maksimal di Indonesia berlangsung selama 5 jam dimulai dari jam 09.00 hingga 14.00. Dengan demikian, perhitungan kapasitas panel surya dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2 berikut ini.



$$\begin{aligned}
 \text{Panel surya} &= \frac{\text{Beban pemakain}}{\text{Jam efektif PLTS}} \\
 \text{Panel surya} &= \frac{480 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} \\
 \text{Panel surya} &= 96 \text{ Wp}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Dengan menyesuaikan panel surya yang terdapat di pasaran maka pada penelitian ini menggunakan panel surya dengan kapasitas 100 Wp.

c.) Kapasitas baterai

Selanjutnya, dilakukan perhitungan kapasitas baterai yang akan digunakan pada penelitian ini. Perhitungan kapasitas baterai dilakukan dengan menggunakan persamaan 3 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas baterai} &= \frac{\text{Beban pemakaian}}{\text{Tegangan baterai}} \\
 \text{Kapasitas baterai} &= \frac{480 \text{ Wh}}{12 \text{ Volt}} \\
 \text{Kapasitas Baterai} &= 40 \text{ Ah}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Untuk mempertahankan kualitas baterai agar dapat bertahan lama, maka perlu mempertimbangkan usia baterai, oleh karena itu perlu mempertimbangkan faktor DoD (*Depth of Discharge*) pada baterai, nilainya sebesar 80% dari kapasitas maksimum baterai. Sehingga didapatkan nilai kapasitas baterai (Ah) yang akan digunakan yaitu $40 : 80\% = 50 \text{ Ah}$. Jadi, baterai yang digunakan pada penelitian ini yaitu 12 Volt 50Ah.

d.) Kapasitas SCC (*Solar Charge Controller*)

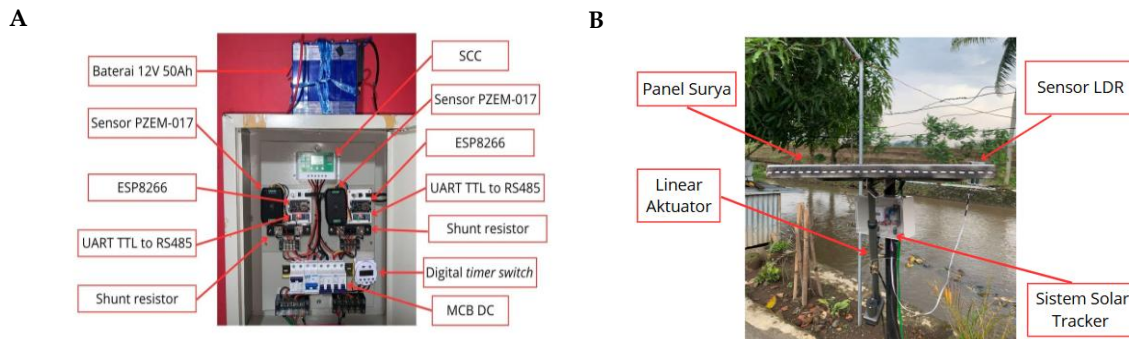
Agar baterai tetap bekerja dengan optimal, baterai harus diperhatikan agar tidak mengalami *over-discharging* dan *overcharging*, cara yang bisa dilakukan yaitu dengan menggunakan SCC. Perhitungan kapasitas SCC dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{SCC} &= I_{sc} \text{ panel surya} \times \text{jumlah panel} \\
 \text{SCC} &= 4,94 \text{ A} \times 1 \\
 \text{SCC} &= 4,94 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Dengan I_{sc} merupakan arus yang terdapat pada panel surya. Karena menyesuaikan ketersediaan SCC yang terdapat di pasaran maka pada penelitian ini SCC yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 12/24V 10A.



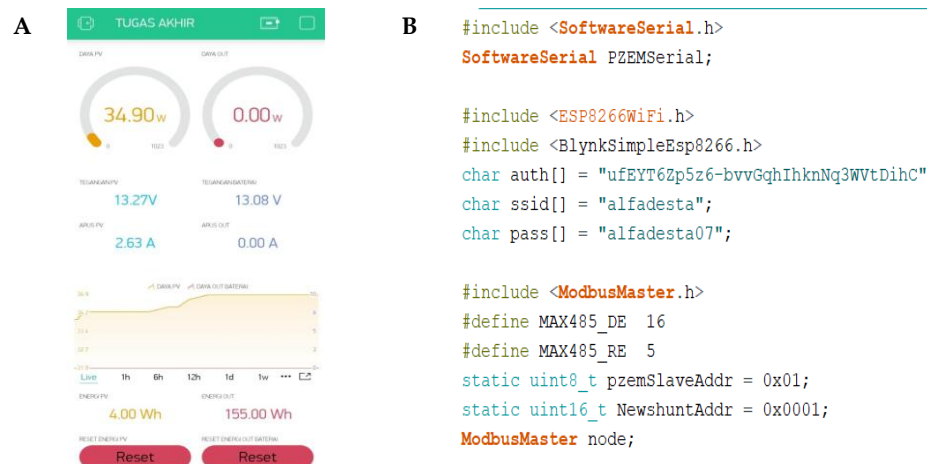
Tahap selanjutnya adalah realisasi *hardware* dan implementasi IoT. *Hardware* pada penelitian ini terdiri dari panel *box* serta bagian *solar tracker*, daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS digunakan untuk menyuplai dua buah lampu DC 20 Watt yang ditempatkan di tepi jalan arah menuju desa. Detail *hardware* pada penelitian ini disajikan dalam Gambar 5, tampilan monitoring pada sistem IoT disajikan dalam Gambar 7.



Gambar 5. (A) Komponen elektrikal dalam panel *box*, dan (B) *Solar Tracker*



Gambar 6. Lampu DC 20 Watt untuk PJU



Gambar 7. (A) Tampilan monitoring pada aplikasi *blinky*, dan (B) Cuplikan program Arduino IDE

Dua buah sensor PZEM-017 digunakan pada penelitian ini, Kalibrasi sensor PZEM-017 dilakukan untuk memastikan serta menjaga keakuratan pembacaan nilai tegangan, arus, dan daya oleh sensor. Hasil kalibrasi sensor PZEM-17 pertama dan kedua disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil kalibrasi sensor PZEM-017 Pertama

No	Multimeter			Pembacaan Sensor			Persentase Error		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (%)	Arus (%)	Daya (%)
1	13,46	3,11	41,86	13,46	3,11	41,86	0	0	0,00
2	13,56	3,33	45,15	13,56	3,33	45,15	0	0	0,00
3	13,79	3,46	47,71	13,78	3,45	47,54	0,07	0,29	0,36
4	13,48	0,49	6,60	13,47	0,49	6,60	0,07	0,00	0
5	13,49	0,64	8,63	13,48	0,63	8,49	0,07	1,56	1,62
Rata-rata persentase error							0,04	0,37	0,40

Tabel 3. Hasil kalibrasi sensor PZEM-017 Kedua

No	Multimeter			Hasil Pengujian			Persentase Error		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (%)	Arus (%)	Daya (%)
1	13,03	1,05	13,68	13,03	1,06	13,81	0	0,95	0,95
2	13,02	1,05	13,67	13,02	1,06	13,80	0	0,95	0,95
3	13,01	1,05	13,66	13,01	1,06	13,79	0	0,95	0,95
4	13,00	1,05	13,65	13,00	1,06	13,78	0	0,95	0,95
5	12,91	1,04	13,43	12,91	1,04	13,42	0	0,00	0,07
Rata-rata persentase error							0	0,76	0,78

Tahapan pengujian dilakukan pada dua sistem yaitu sistem dengan *single axis solar tracker* dan sistem statis. Pengujian berlangsung selama enam hari dengan rincian tiga hari



pengujian pada sistem dengan *single axis tracker* dan tiga hari pengujian untuk sistem statis. Detail data pengujian disajikan pada Tabel 4 hingga Tabel 15.

Tabel 4. Hasil pengujian di siang hari sistem *single axis solar tracker* hari pertama

Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Hari ke-1									
			Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	244,505	13,03	1,47	19,15	12,84	1,1	14,12	12,84	0,36	4,62	0
08:00:00	55	762,508	13,25	2,12	28,09	13,13	1,76	23,11	13,13	0,36	4,73	4
09:00:00	55	876,9	13,36	2,29	30,59	13,17	1,92	25,29	13,17	0,36	4,74	8
10:00:00	65	1294,02	13,51	3,08	41,61	13,33	2,72	36,26	13,33	0,36	4,80	13
11:00:00	89	1395,93	13,59	3,22	43,76	13,4	2,86	38,32	13,4	0,36	4,82	19
12:00:00	91	1428,32	13,63	3,53	48,11	13,31	3,17	42,19	13,31	0,36	4,79	25
13:00:00	92	1525,49	13,65	3,69	50,50	13,43	3,33	44,72	13,43	0,36	4,83	29
14:00:00	92	709,025	13,46	1,73	23,29	13,32	1,38	18,38	13,32	0,36	4,80	34
15:00:00	108	316,79	13,4	1,14	15,28	13,27	0,78	10,35	13,27	0,36	4,78	39
16:00:00	108	253,59	13,36	0,71	9,49	13,25	0,36	4,77	13,25	0,36	4,77	43
Average					30,99			25,75			4,77	
Max					50,50			44,72			4,83	
Total Konsumsi Energi												43 Wh

Tabel 5. Hasil pengujian di siang hari sistem *single axis solar tracker* hari kedua

Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Hari ke-2									
			Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	244,031	12,99	1,4	18,19	12,81	1,02	13,07	12,81	0,36	4,61	0
08:00:00	55	973,28	13,28	2,42	32,14	13,12	2,06	27,03	13,12	0,36	4,72	4
09:00:00	55	1193,69	13,42	2,78	37,31	13,26	2,42	32,09	13,26	0,36	4,77	8
10:00:00	60	1271,9	13,51	3	40,53	13,33	2,64	35,19	13,33	0,36	4,80	13
11:00:00	80	1404,62	13,59	3,37	45,80	13,36	3,01	40,21	13,36	0,36	4,81	19
12:00:00	95	1430,69	13,62	3,56	48,49	13,39	3,2	42,85	13,39	0,36	4,82	25
13:00:00	100	1508,9	13,67	3,66	50,03	13,42	3,29	44,15	13,42	0,36	4,83	30
14:00:00	105	705,075	13,45	1,69	22,73	13,29	1,3	17,28	13,29	0,36	4,78	35
15:00:00	110	304,545	13,35	1,01	13,48	13,2	0,63	8,32	13,2	0,36	4,75	39
16:00:00	110	239,37	13,25	0,65	8,61	13,19	0,36	4,75	13,19	0,36	4,75	43
Average					31,73			26,49			4,77	
Max					50,03			44,15			4,83	
Total Konsumsi Energi												43 Wh



Tabel 6. Hasil pengujian di siang hari sistem *single axis solar tracker* hari ketiga

Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Hari ke-3									
			Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	464,52	13,04	1,50	19,56	12,37	1,13	13,98	12,37	0,36	4,45	0
08:00:00	55	951,95	12,23	2,51	30,70	12,5	2,15	26,88	12,5	0,36	4,50	4
09:00:00	55	1224,5	13,35	2,98	39,78	13,09	2,61	34,16	13,09	0,36	4,71	8
10:00:00	63	1387,24	13,37	3,24	43,32	13,16	2,88	37,90	13,16	0,36	4,74	13
11:00:00	74	1401,46	13,47	3,38	45,53	13,25	3,02	40,02	13,25	0,36	4,77	18
12:00:00	95	1465,45	13,46	3,60	48,46	13,37	3,23	43,19	13,37	0,36	4,81	24
13:00:00	101	1503,37	13,65	3,69	50,37	13,42	3,3	44,29	13,42	0,36	4,83	28
14:00:00	126	1286,12	13,65	3,15	43,00	13,46	2,79	37,55	13,46	0,36	4,85	34
15:00:00	141	697,096	13,49	1,65	22,26	13,34	1,25	16,68	13,34	0,36	4,80	40
16:00:00	141	278,08	13,38	0,79	10,57	13,27	0,37	4,91	13,27	0,36	4,78	44
Average					35,35			29,95			4,72	
Max					50,37			44,29			4,85	
Total Konsumsi Energi												44 Wh

Tabel 7. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem *single axis solar tracker* hari pertama

Waktu	Hari ke-1						
	Baterai			E (Wh)	Beban		
	V (V)	I (A)	P (W)		V (V)	I (A)	P (W)
18:00:00	13,07	1,27	16,60	0	13,05	1,27	16,57
19:00:00	13,05	1,27	16,57	14	13,03	1,27	16,55
20:00:00	13,04	1,27	16,56	28	13,02	1,27	16,53
21:00:00	13,01	1,27	16,52	42	12,99	1,27	16,50
22:00:00	12,99	1,27	16,50	56,00	12,97	1,27	16,48
23:00:00	12,96	1,26	16,33	70	12,94	1,26	16,30
00:00:00	12,94	1,26	16,30	84	12,91	1,26	16,27
01:00:00	12,9	1,26	16,25	98	12,88	1,26	16,23
02:00:00	12,87	1,26	16,22	112	12,85	1,26	16,19
03:00:00	12,85	1,26	16,19	126	12,82	1,26	16,15
04:00:00	12,8	1,23	15,74	140	12,77	1,23	15,71
05:00:00	12,76	1,22	15,57	154	12,73	1,22	15,53
06:00:00	12,78	0,21	2,68	168	12,78	0,21	2,68
Average			15,23				15,21
Max			16,60				16,57
Total Konsumsi Energi				168 Wh			



Tabel 8. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem *single axis solar tracker* hari

kedua

Waktu	Hari ke-2						
	Baterai			Beban			
	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)	V (V)	I (A)	P (W)
18:00:00	13,06	1,27	16,59	0	13,04	1,27	16,57
19:00:00	13,04	1,27	16,56	14	13,02	1,27	16,54
20:00:00	13,02	1,27	16,54	28	13,00	1,27	16,51
21:00:00	13	1,26	16,38	42	12,98	1,26	16,35
22:00:00	12,96	1,26	16,33	56,00	12,94	1,26	16,30
23:00:00	12,94	1,26	16,30	70	12,91	1,26	16,26
00:00:00	12,9	1,26	16,25	84	12,87	1,26	16,22
01:00:00	12,87	1,26	16,22	98	12,84	1,26	16,18
02:00:00	12,83	1,26	16,17	112	12,80	1,26	16,13
03:00:00	12,79	1,23	15,73	126	12,76	1,23	15,69
04:00:00	12,74	1,21	15,42	140	12,71	1,21	15,38
05:00:00	12,7	1,21	15,37	154	12,66	1,20	15,19
06:00:00	12,72	0,21	2,67	168	12,72	0,21	2,67
Average			15,12				15,08
Max			16,59				16,57
Total Konsumsi Energi				168 Wh			

Tabel 9. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem *single axis solar tracker* hari

ketiga

Waktu	Hari ke-3						
	Baterai			Beban			
	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)	V (V)	I (A)	P (W)
18:00:00	13,11	1,27	16,65	0	13,09	1,27	16,62
19:00:00	13,08	1,27	16,61	14	13,06	1,27	16,59
20:00:00	13,05	1,27	16,57	28	13,02	1,27	16,54
21:00:00	13,01	1,27	16,52	42	12,98	1,27	16,48
22:00:00	12,98	1,27	16,48	56,00	12,95	1,27	16,45
23:00:00	12,93	1,26	16,29	70	12,90	1,26	16,25
00:00:00	12,87	1,26	16,22	84	12,85	1,26	16,19
01:00:00	12,82	1,26	16,15	98	12,80	1,26	16,13
02:00:00	12,79	1,23	15,73	112	12,77	1,23	15,71



03:00:00	12,76	1,22	15,57	126	12,74	1,22	15,54
04:00:00	12,73	1,21	15,40	140	12,71	1,21	15,38
05:00:00	12,7	1,20	15,24	154	12,68	1,20	15,22
06:00:00	12,73	0,21	2,67	168	12,73	0,21	2,67
Average			15,09				15,06
Max			16,65				16,62
Total Konsumsi Energi				168 Wh			

Tabel 10. Hasil pengujian di siang hari sistem statis hari pertama

Hari ke-1												
Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	406,85	13,06	1,43	18,68	12,92	1,19	15,37	12,92	0,21	2,71	0
08:00:00		901,39	13,27	2,63	34,90	13,06	2,41	31,47	13,06	0,21	2,74	2
09:00:00		1204,75	13,4	3,3	44,22	13,18	3,09	40,73	13,18	0,21	2,77	4
10:00:00		1371,44	13,51	3,52	47,56	13,28	3,31	43,96	13,28	0,21	2,79	6
11:00:00		1467,82	13,59	3,65	49,60	13,39	3,29	44,05	13,39	0,21	2,81	9
12:00:00		916,4	13,58	2,29	31,10	13,4	2,08	27,87	13,4	0,21	2,81	11
13:00:00		501,413	13,45	1,12	15,06	13,32	0,78	10,39	13,32	0,21	2,80	13
14:00:00		277,843	13,4	0,79	10,59	13,29	0,22	2,92	13,29	0,21	2,79	15
15:00:00		73,3357	13,38	0,57	7,63	13,27	0,21	2,79	13,27	0,21	2,79	17
16:00:00		38,5125	13,34	0,37	4,94	13,25	0,21	2,78	13,25	0,21	2,78	19
Average					26,43			22,23			2,78	
Max					49,60			44,05			2,81	
Total Konsumsi Energi												19 Wh

Tabel 11. Hasil pengujian di siang hari sistem statis hari kedua

Hari ke-2												
Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	244,505	13,09	1,44	18,85	13	1,21	15,73	13	0,21	2,73	0
08:00:00		762,508	13,28	2,36	31,34	13,1	2,14	28,03	13,1	0,21	2,75	2
09:00:00		876,9	13,44	3,3	44,35	13,22	3,08	40,72	13,22	0,21	2,78	4
10:00:00		1294,02	13,57	3,5	47,50	13,36	3,14	41,95	13,36	0,21	2,81	6
11:00:00		1395,93	13,6	3,68	50,05	13,45	3,47	46,67	13,45	0,21	2,82	9
12:00:00		1428,32	13,43	2,74	36,80	13,48	2,52	33,97	13,48	0,21	2,83	11



13:00:00	1525,49	13,41	2,03	27,22	13,46	1,82	24,50	13,46	0,21	2,83	13
14:00:00	709,025	13,45	1,04	13,99	13,33	0,25	3,33	13,33	0,21	2,80	15
15:00:00	316,79	13,32	0,27	3,60	13,22	0,21	2,78	13,22	0,21	2,78	17
16:00:00	253,59	13,3	0,15	2,00	13,22	0,21	2,78	13,22	0,21	2,78	19
Average				27,57			24,05			2,79	
Max				50,05			46,67			2,83	
Total Konsumsi Energi											19 Wh

Tabel 12. Hasil pengujian di siang hari sistem statis hari ketiga

Waktu	Sudut (derajat)	Irradiasi (W/m ²)	Hari ke-3									
			Panel			Baterai			Beban			
			V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)
07:00:00	55	291,036	12,98	1,13	14,67	12,85	0,8	10,28	12,85	0,21	2,70	0
08:00:00		418,305	13,17	1,70	22,39	13,01	1,48	19,25	13,01	0,21	2,73	2
09:00:00		508,207	13,23	2,13	28,18	13,06	1,91	24,94	13,06	0,21	2,74	4
10:00:00		908,5	13,26	2,40	31,82	13,2	2,19	28,91	13,2	0,21	2,77	6
11:00:00		1477,3	13,44	3,72	50,00	13,22	3,51	46,40	13,22	0,21	2,78	9
12:00:00		974,07	13,59	2,88	39,14	13,39	2,67	35,75	13,39	0,21	2,81	11
13:00:00		924,3	13,59	2,76	37,51	13,38	2,54	33,99	13,38	0,21	2,81	13
14:00:00		425,415	13,51	1,67	22,56	13,36	1,45	19,37	13,36	0,21	2,81	15
15:00:00		216,776	13,4	0,81	10,85	13,29	0,22	2,92	13,29	0,21	2,79	17
16:00:00		65,9571	13,33	0,24	3,20	13,24	0,21	2,78	13,24	0,21	2,78	19
Average					26,03			22,46			2,77	
Max					50,00			46,40			2,81	
Total Konsumsi Energi											19 Wh	

Tabel 13. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem statis hari pertama

Waktu	Hari ke-1							
	Baterai				Beban			
	V (V)	I (A)	P (W)	E (Wh)	V (V)	I (A)	P (W)	
18:00:00	13,11	1,27	16,65	0	13,09	1,27	16,62	
19:00:00	13,05	1,27	16,57	14	13,03	1,27	16,55	
20:00:00	13,04	1,27	16,56	28	13,02	1,27	16,54	
21:00:00	13,03	1,27	16,55	42	13,01	1,27	16,52	
22:00:00	12,99	1,27	16,50	56,00	12,96	1,27	16,46	
23:00:00	12,95	1,26	16,32	70	12,93	1,26	16,29	
00:00:00	12,92	1,26	16,28	84	12,9	1,26	16,25	
01:00:00	12,88	1,26	16,23	98	12,86	1,26	16,20	
02:00:00	12,86	1,26	16,20	112	12,84	1,26	16,18	
03:00:00	12,82	1,26	16,15	126	12,80	1,26	16,13	
04:00:00	12,77	1,22	15,58	140	12,75	1,22	15,56	



05:00:00	12,72	1,21	15,39	154	12,7	1,21	15,37
06:00:00	12,77	0,21	2,68	168	12,77	0,21	2,68
Average			15,20				15,18
Max			16,65				16,62
Total Konsumsi Energi				168 Wh			

Tabel 14. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem statis hari kedua

Waktu	Hari ke-2						
	Baterai			E (Wh)	Beban		
	V (V)	I (A)	P (W)		V (V)	I (A)	P (W)
18:00:00	13,08	1,27	16,61	0	13,06	1,27	16,59
19:00:00	13,02	1,27	16,54	14	13,00	1,27	16,51
20:00:00	12,96	1,26	16,33	28	12,94	1,26	16,30
21:00:00	12,94	1,26	16,30	42	12,92	1,26	16,28
22:00:00	12,9	1,26	16,25	56,00	12,87	1,26	16,22
23:00:00	12,87	1,26	16,22	70	12,85	1,26	16,19
00:00:00	12,84	1,26	16,18	84	12,81	1,26	16,14
01:00:00	12,78	1,23	15,72	98	12,76	1,23	15,69
02:00:00	12,73	1,21	15,40	112	12,70	1,21	15,37
03:00:00	12,69	1,21	15,35	126	12,67	1,21	15,33
04:00:00	12,66	1,20	15,19	140	12,64	1,20	15,17
05:00:00	12,64	1,20	15,17	154	12,62	1,20	15,14
06:00:00	12,7	0,21	2,67	168	12,70	0,21	2,67
Average			14,92				14,89
Max			16,61				16,59
Total Konsumsi Energi				168 Wh			

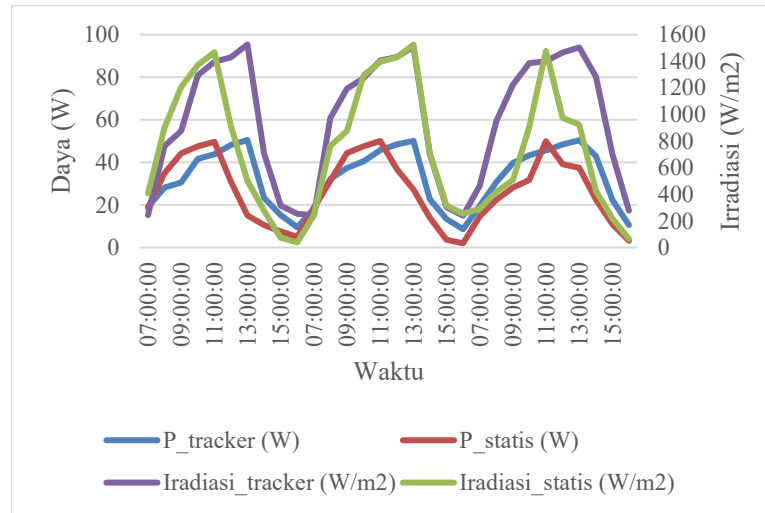
Tabel 15. Hasil penggunaan baterai dan beban di malam hari sistem statis hari ketiga

Waktu	Hari ke-3						
	Baterai			E (Wh)	Beban		
	V (V)	I (A)	P (W)		V (V)	I (A)	P (W)
18:00:00	13,13	1,27	16,68	0	13,11	1,27	16,65
19:00:00	13,05	1,27	16,57	14	13,03	1,27	16,55
20:00:00	13,02	1,27	16,54	28	13,00	1,27	16,51
21:00:00	12,98	1,27	16,48	42	12,95	1,27	16,45
22:00:00	12,93	1,26	16,29	56,00	12,91	1,26	16,27
23:00:00	12,89	1,26	16,24	70	12,87	1,26	16,22
00:00:00	12,86	1,26	16,20	84	12,84	1,26	16,18
01:00:00	12,82	1,26	16,15	98	12,80	1,26	16,13
02:00:00	12,78	1,23	15,72	112	12,76	1,23	15,69
03:00:00	12,74	1,22	15,54	126	12,72	1,22	15,52
04:00:00	12,67	1,20	15,20	140	12,65	1,20	15,18
05:00:00	12,65	1,20	15,18	154	12,63	1,20	15,16
06:00:00	12,71	0,21	2,67	168	12,71	0,21	2,67
Average			15,04				15,01



Max	16,68	16,65
Total Konsumsi Energi	168 Wh	

Grafik hubungan antara intensitas cahaya matahari dengan daya yang dihasilkan pada kedua buah sistem disajikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan daya pada sistem dengan *tracker* dan statis

PEMBAHASAN

Data pada Tabel 2 dan Tabel 3 menyajikan data kalibrasi sensor PZEM-017. Proses kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan dari sensor PZEM-017 dengan multimeter digital HABOTEST HT206D sebagai acuan.

$$\text{Persentase error} = \left| \frac{\text{Nilai sensor PZEM017} - \text{Nilai Multimeter}}{\text{Nilai Multimeter}} \right| \times 100 \quad (4)$$

Tabel 2 dan Tabel 3 menyajikan hasil kalibrasi beserta persentase error antara sensor PZEM-017 dengan multimeter. Kedua sensor PZEM-017 diberikan perlakuan yang sama dan dilakukan lima kali pengukuran. Data hasil kalibrasi sensor PZEM-017 pertama disajikan pada Tabel 2, berdasarkan data yang diperoleh, diketahui rata-rata persentase error sebesar 0,04% pada pengukuran tegangan, 0,37% pada pengukuran arus, dan 0,40% pada pengukuran daya. Sementara itu, hasil kalibrasi sensor kedua disajikan pada Tabel 3, rata-rata persentase error pada sensor PZEM-017 kedua sebesar 0% pada pengukuran tegangan, 0,76% pada pengukuran arus, dan 0,78% pada pengukuran daya. Perhitungan persentase error dilakukan dengan menggunakan persamaan 4. Dengan hasil rata-rata



persentase error yang kecil menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 pertama maupun kedua dapat bekerja dengan baik dalam hal pembacaan data sehingga data yang terbaca pada aplikasi *blynk* memiliki tingkat akurasi tinggi jika dibandingkan dengan pengukuran langsung. [12] Melakukan pengujian kinerja sensor PZEM-017 untuk PLTS, kalibrasi pada penelitian tersebut dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan pada sensor PZEM-017 dengan multimeter. Hasilnya menunjukkan kinerja PZEM-017 memiliki rata-rata persentase ketepatan sebesar 99,33% yang artinya rata-rata nilai errornya sebesar 0,67%. Selain itu [13] juga melakukan kalibrasi pengukuran tegangan dan arus pada sensor PZEM-017 dibandingkan dengan avometer. Hasil kalibrasi yang dilakukan menunjukkan rata-rata ketepatan pembacaan tegangan sebesar 99,49% artinya persentase errornya sebesar 0,51%.

Tahapan pengujian selanjutnya dilakukan pada sistem dengan *single axis solar tracker* dan sistem statis. Parameter yang diukur diantaranya adalah tegangan, arus, dan daya, serta lux cahaya matahari yang kemudian dikonversi menjadi irradiansi matahari (W/m^2) berdasarkan rumus pada persamaan 5 [14].

$$\text{Irradiansi matahari} = \text{Lux} \times 0,0079 \text{ (} W/m^2 \text{)} \quad (5)$$

Hasil data yang didapatkan digunakan untuk mengetahui perbandingan efisiensi antara panel surya yang menggunakan sistem *tracker single axis* dengan panel surya sistem statis. Pada sistem *tracker single axis* terjadi perubahan sudut pada panel surya karena panel selalu bergerak mengikuti sinar matahari. Sedangkan pada sistem statis, posisi panel surya tidak mengikuti pergerakan sinar matahari sehingga sudut pemasangan panel surya selalu tetap. Pengambilan data dilakukan dalam dua sesi yaitu sesi siang dan malam, sesi siang digunakan untuk mengukur kinerja *output* panel surya, pengukuran baterai (tegangan, arus, dan daya), serta juga pengukuran beban (tegangan, arus, daya, dan energi). sementara itu sesi malam dilakukan untuk mengukur tegangan *output* baterai dan energi mulai beban dinyalakan hingga beban dimatikan. Pengukuran pada sesi siang dilakukan setiap 1 jam sekali dari pukul 07:00 WIB sampai dengan 16:00 WIB selama 3 hari. Pengukuran parameter seperti tegangan, arus, dan daya yang berada di *output* panel surya dan beban dilakukan dengan menggunakan sensor PZEM-017 yang dipantau di aplikasi *blynk* pada *smartphone*.

Secara keseluruhan, data hasil pengukuran sistem PLTS dengan *tracker single axis* pada sesi pagi hingga sore hari selama tiga hari disajikan pada tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6. Kondisi cuaca pada saat pengambilan data selama tiga hari dapat dikategorikan hampir sama yakni kondisi cerah dan berawan pada waktu tertentu. Pengukuran pada siang hari ini dilakukan pada baterai, panel dan beban. Berdasarkan hasil pengukuran pada panel



surya secara berturut-turut didapatkan nilai rata-rata daya dari hari pertama hingga ketiga yaitu 30,99 Watt; 31,7 Watt dan 35,35 Watt dengan nilai puncak daya pada hari pertama sebesar 50,50 Watt, pada hari kedua sebesar 50,03 Watt dan pada hari ketiga sebesar 50,37 Watt. Data pengukuran dari hari pertama hingga ketiga menunjukkan tren yang sama, daya yang dihasilkan dari panel surya mengalami peningkatan dari pukul 07.00 hingga puncaknya pada pukul 13.00, setelahnya daya yang dihasilkan menurun hingga pukul 16.00. Selama proses pengambilan data dari pagi hingga sore daya panel selalu berubah-ubah mengikuti irradiasi matahari, variasi daya yang dihasilkan oleh panel berimplikasi pada hasil arus dari panel sekaligus memberikan dampak pada baterai dan beban. Total arus yang dihasilkan oleh panel pada siang hari terbagi untuk menyuplai baterai dan beban. PLTS yang digunakan pada penelitian ini adalah PLTS *off grid*, sehingga semua suplai energi dihasilkan secara mandiri dari PLTS ini sendiri. Dengan demikian, suplai arus untuk mengaktifkan sistem monitoring dan sistem *tracker* pada PLTS ini didapatkan dari arus panel. sistem monitoring dan sistem *tracker* inilah yang disebut sebagai beban pada kondisi ini. Secara konstan besarnya arus yang digunakan untuk suplai beban sebesar 0,36 Ampere dengan konsumsi energi total sebesar 43 Wh. Karena hal ini, besarnya arus yang masuk ke baterai setara dengan arus total yang dihasilkan oleh panel dikurangi dengan arus yang diperlukan untuk menggerakkan beban.

Data hasil pengujian sistem *single axis solar tracker* pada sesi malam disajikan pada Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9 secara berturut-turut. Beban yang digunakan yaitu dua buah lampu dc 20 Watt yang dinyalakan selama 12 jam mulai pukul 18.00 WIB hingga 06.00 WIB keesokan harinya. Lampu PJU otomatis menyala pada pukul 18.00 WIB dan otomatis mati pada pukul 06.00 WIB. Pada awal dinyalakan tepatnya pukul 18.00 WIB tegangan baterai terisi penuh, secara berturut-turut nilai tegangan awal baterai dari hari pertama hingga ketiga adalah 13,07 Volt; 13,06 Volt dan 13,11 Volt dengan rata-rata daya yang keluar menuju beban sebesar 15,23 Watt; 15,12 Watt; 15,09 Watt, sedangkan daya keluaran baterai maksimal pada jam 18:00 yaitu 16,60 Watt; 16,59 Watt; 16,65 Watt. Nilai tegangan pada baterai dengan nilai tegangan pada beban sedikit berbeda, hal ini bisa saja dikarenakan karena terdapat adanya resistansi pada rangkaian. Selama 12 jam dinyalakan, tegangan baterai mengalami penurunan setiap waktunya, sisa tegangan baterai pada pukul 06.00 WIB keesokan harinya dari hari pertama hingga ketiga adalah 12,78 Volt; 12,72 Volt dan 12,73 Volt. Total konsumsi energi yang terpakai selama untuk menyalakan lampu selama 12 jam sebesar 168 Wh. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa baterai 12 Volt 50 Ah mampu menyalakan dua buah lampu DC 20 Watt selama 12 jam.



Tabel 10, Tabel 11, dan Tabel 12 menunjukkan data sistem statis yakni sistem panel surya yang diposisikan dalam kondisi tetap tidak mengikuti sinar matahari, pemasangan panel surya tetap pada sudut 55 derajat dari pagi hingga sore. Pengambilan data dilakukan setiap satu jam sekali dari pukul 07.00 WIB hingga dengan 16.00 WIB. Tabel 10 menunjukkan data hari pertama sistem statis dengan kondisi cuaca cerah dan berawan. Pada hari pertama diperoleh hasil daya rata-rata sebesar 27,57 Watt dan daya tertinggi pada pukul 11:00 sebesar 50,05 Watt. Tabel 11 menunjukkan data sistem statis hari kedua dengan kondisi cuaca yang hampir sama dengan pada hari pertama. Pada hari kedua memperoleh hasil daya rata-rata sebesar 26,43 Watt dan daya tertinggi pada pukul 11:00 sebesar 49,60 Watt. Tabel 12 menunjukkan data sistem statis hari ketiga dengan kondisi cuaca yang hampir sama pada hari pertama dan kedua. Pada hari ketiga memperoleh hasil daya rata-rata sebesar 26,03 Watt dan daya tertinggi sebesar 50 Watt. Daya yang dihasilkan dari sistem statis ini setara dengan nilai irradiansi matahari yang terukur. Gambar 10 (a), (b), dan (c) menunjukkan gambar grafik perubahan tegangan, arus dan daya yang dihasilkan. Secara umum terjadi perubahan daya dari pagi hingga sore hari, daya yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan dari pukul 07.00 WIB hingga puncaknya berada pada pukul 11.00 WIB, setelah melewati pukul 11.00 WIB terjadi penurunan daya hingga pukul 16.00 WIB. Hal ini dikarenakan kondisi panel surya tidak bergerak mengikuti sinar matahari, berbeda dengan sistem *single axis solar tracker* yang selalu bergerak mengikuti sinar matahari. Daya yang dihasilkan pada panel surya tergantung pada irradiansi matahari yang dihasilkan. Ketika dalam kondisi saing hari suplai arus untuk mengaktifkan sistem monitoring pada PLTS ini didapatkan dari arus panel. sistem monitoring inilah yang disebut sebagai beban pada kondisi ini, namun ketika arus yang dihasilkan panel surya sangat kecil maka beban akan disuplai oleh baterai. Secara konstan besarnya arus yang digunakan untuk suplai beban sebesar 0,21 Ampere dengan konsumsi energi total sebesar 19 Wh. Karena hal ini, besarnya arus yang masuk ke baterai setara dengan arus total yang dihasilkan oleh panel dikurangi dengan arus yang diperlukan untuk menggerakkan beban.

Tabel 13, Tabel 14, dan Tabel 15 menunjukkan data sistem statis pada malam hari. Perlakuan yang sama dilakukan seperti pada sistem *single axis solar tracker*. Jenis beban yang digunakan sama seperti sebelumnya. Sistem *on off* otomatis juga sama diberlakukan pada sistem statis ini. Dikarenakan jumlah bebannya sama, total konsumsi energi yang diperlukan selama 12 jam juga sama yakni sebesar 168 Wh. Secara umum, data pada sesi malam hari tidak jauh berbeda antara sistem *tracker* dengan sistem statis karena pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran *output* baterai untuk menyalakan beban. Tegangan awal baterai pada pukul 18.00 WIB pada hari pertama hingga ketiga pada



sistem statis secara berturut-turut adalah 13,11 Volt; 13,08 Volt dan 13,13 Volt dengan nilai rata-rata daya sebesar 15,20 Watt; 14,92 Watt; 15,04 Watt, sedangkan daya maksimal keluaran baterai sebesar 16,65 Watt; 16,61 Watt; 16,68 Watt. Sementara itu, nilai akhir tegangan pada baterai setelah 12 jam beban dinyalakan pada hari pertama hingga ketiga adalah 12,77 Volt; 12,70 Volt dan 12,71 Volt.

Perbandingan hasil pengukuran daya antara PLTS dengan *tracker* dan PLTS statis selama tiga hari disajikan pada Gambar 9. Selama proses pengukuran, irradiasi matahari cenderung sama pada sistem dengan *tracker* maupun sistem statis. Namun, daya yang dihasilkan oleh kedua sistem berbeda. Daya yang dihasilkan oleh sistem dengan *tracker* disajikan dengan garis grafik berwarna biru. Dari hari pertama hingga ketiga, daya yang dihasilkan oleh sistem dengan *tracker* memiliki tren yang serupa. Daya yang dihasilkan mulai mengalami peningkatan dari pukul 07:00 hingga pukul 13:00, setelah pukul 13:00 daya dari PLTS dengan *tracker* mengalami penurunan hingga pukul 16:00. Pada sistem statis, juga terjadi tren yang sama namun puncak daya yang dihasilkan berbeda. Pada sistem statis, daya yang dihasilkan mengalami peningkatan dari pukul 07:00 hingga pukul 11:00, kemudian setelah pukul 11:00 dayanya terus menurun hingga pukul 16:00. Irradiasi matahari meningkat dan memuncak pada pukul 12:00 hingga pukul 13:00. Sistem PLTS statis menempatkan posisi panel surya dengan sudut yang tetap yakni 55° sehingga ketika pukul 12:00 hingga 13:00 irradiasi matahari yang seharusnya sangat besar tidak dapat diserap secara maksimal oleh panel surya. Hal ini diakibatkan arah datang irradiasi matahari tidak tepat mengenai seluruh permukaan panel surya. Dengan demikian, penggunaan *tracker* dapat lebih meningkatkan efektivitas PLTS untuk menghasilkan daya yang lebih besar karena dengan menggunakan *tracker*, panel surya akan terus bergerak mengikuti arah matahari, sehingga sangat memungkinkan seluruh permukaan panel menerima irradiasi matahari secara maksimal sepanjang hari.

KESIMPULAN

Sistem *single axis solar tracker* ini dilengkapi dengan *Internet Of Things* (IoT) untuk pemantauan jarak jauh untuk mengetahui tegangan, arus, daya serta energi yang masuk maupun yang keluar dari baterai. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, alat sistem PLTS dengan *single axis solar tracker* untuk suplai daya pada penerangan jalan umum (PJU) dilengkapi IoT dapat bekerja sesuai yang diinginkan. Hal ini dibuktikan dengan *single axis solar tracker* pada panel panel surya yang selalu dapat mengikuti pergerakan sinar matahari dari timur ke barat sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari yang lebih maksimal dibandingkan dengan sistem statis. Perbandingan efisiensi dari kedua sistem dibuktikan dari hasil pengambilan data dengan



parameter pengukuran berupa tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Pada sistem *single axis solar tracker* hasil rata-rata daya melebihi 30 Watt, pada hari pertama sebesar 30,99 Watt dengan daya tertinggi sebesar 50,50 Watt, pada hari kedua didapatkan rata-rata daya sebesar 31,73 Watt dengan daya tertinggi sebesar 50,03 Watt, dan pada hari ketiga didapatkan rata-rata daya sebesar 35,35 Watt dengan daya tertinggi sebesar 50,37 Watt. Sedangkan pada sistem statis didapatkan hasil rata-rata daya dibawah 30 Watt, pada hari pertama sebesar 27,57 Watt dengan daya tertinggi sebesar 50,05 Watt, pada hari kedua diperoleh hasil rata-rata daya sebesar 26,43 Watt dengan daya tertinggi sebesar 49,60 Watt, dan pada hari ketiga diperoleh hasil rata-rata daya sebesar 26,03 Watt dengan daya tertinggi sebesar 50 Watt. Pada siang hari, PLTS menggunakan energi yang dihasilkan untuk mengaktifkan sistem monitoring dan sistem tracker. Total energi yang diperlukan pada sistem PLTS dengan *single axis tracker* sebesar 43 Wh hingga 44 Wh, sementara pada sistem statis hanya memerlukan energi sebesar 19 Wh. Dikarenakan terdapat beban dan sistem PLTS yang digunakan pada penelitian ini merupakan sistem PLTS *off grid* maka arus yang dihasilkan oleh panel tidak sepenuhnya masuk ke baterai, namun sebagian arus digunakan untuk operasional beban. Pada sistem *solar tracker single axis* arus yang diperlukan oleh beban sebesar 0,36 Ampere, sementara pada sistem statis arus yang diperlukan beban sebesar 0,21 Ampere. Sehingga, arus yang masuk ke baterai merupakan arus yang tersisa dari arus total panel dikurangi arus beban. *Output* dari kedua sistem digunakan untuk menyalakan beban yang berupa dua buah lampu DC 20 Watt. Secara umum, kedua sistem mampu digunakan untuk menghidupkan lampu selama 12 jam. Selain itu, juga terdapat hasil pengukuran yang menunjukkan tegangan baterai awal dan akhir pada sistem statis sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *single axis solar tracker*, hal ini dikarenakan pada sistem *single axis solar tracker* perlu suplai daya dari baterai untuk menyalakan sistem *single axis solar tracker*. Total energi yang diperlukan untuk menyalakan beban sepanjang malam baik pada sistem dengan *single tracker* maupun sistem statis besarnya sama yaitu 168 Wh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik. Terima kasih kepada diri sendiri yang telah berjuang dari awal perkuliahan hingga akhir. Terima kasih kepada kedua orang tua, serta keluarga besar yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non-materiil. Terima kasih kepada Bapak Rizki Nurilyas Ahmad, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu memberikan masukan, serta memberikan dukungan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan tepat waktu. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen teknik elektro Universitas



Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan serta memberikan bekal hidup setelah selesai masa kuliah nanti. Terima kasih kepada teman-teman teknik elektro angkatan 21 yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah banyak memberikan motivasi dan dukungan selama proses penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Utomo, H. Johan, and R. W. Wardana, "Analisis Potensi Daya Listrik dari Cahaya Matahari Menggunakan Panel Surya Jenis Polycrystalline di Kawasan Pesisir dan Dataran Tinggi Provinsi Bengkulu," *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 5, no. 3, pp. 181–186, Jan. 2023, doi: 10.33369/jkf.5.3.181-186.
- [2] B. D. Verma, M. Pandey, and A. Gour, "A Review Paper on Solar Tracking System for Photovoltaic Power Plant," *International Journal of Engineering Research & technology (IJERT)*, vol. 9, no. 2, 2020, [Online]. Available: www.ijert.org
- [3] W. K. Raharja and D. Kennedy, "Optimalisasi Daya Sistem Sel Surya Menggunakan Solar Tracker Dual Axis," *Jurnal Ilmu KOMPUTASI*, vol. 18, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2019.
- [4] A. Edward, T. Dewi, and Rusdianasari, "The effectiveness of Solar Tracker Use on Solar Panels to the Output of the Generated Electricity Power," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/347/1/012130.
- [5] M. A. Rahmanta, A. Syamsuddin, F. Tanbar, and N. Damanik, "Analisis Perkembangan Teknologi Modul Photovoltaic (PV) Untuk Meningkatkan Penetrasi Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia," *Jurnal Offshore : Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, vol. 7, no. 1, Jun. 2023.
- [6] J. M. Tambunan, A. G. Hutajulu, and H. Husada, "Perancangan Dan Penataan Penerangan Jalan Umum Dengan Aplikasi Dialux evo 8.2 Di Jalan Depok Cilodong," *Energi & Kelistrikan*, vol. 12, no. 2, pp. 111–120, Dec. 2020, doi: 10.33322/energi.v12i2.982.
- [7] S. A. Hidayatullah and Styawati, "Rancang Bangun Single-Axis Solar Tracker untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Kecil," *Jurnal Pepadun*, vol. 5, no. 1, pp. 64–71, 2024.



- [8] E. R. A. Larico and A. C. Gutierrez, "Solar Tracking System with Photovoltaic Cells: Experimental Analysis at High Altitudes," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 3, pp. 630–639, Aug. 2022, doi: 10.14710/ijred.2022.43572.
- [9] M. Efendi, R. I. Mainil, and A. Aziz, "Comparison of the Efficiency of Solar PV Fixed, Single-Axis, and Dual-Axis Solar Trackers: A Review," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, pp. 84–93, Jan. 2025, doi: 10.21009/JKEM.10.1.9.
- [10] S. Kumar, A. Kumar, P. Agarwal, and H. Maurya, "INTERNET OF THINGS (IOT) APPLICATIONS AND CHALLENGES: A REVIEW," 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/374845811>
- [11] P. Gunoto and S. Sofyan, "PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA 100 Wp UNTUK PENERANGAN LAMPU DI RUANG SELASAR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU KEPULAUAN," *Sigma Teknika*, vol. 3, no. 2, pp. 96–106, 2020.
- [12] M. F. Majid, I. Isdawimah, and N. Nadhiroh, "Pengujian Kinerja Sensor PZEM-004 & PZEM-017 Pada Sistem PLTS," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2024, pp. 88–92.
- [13] A. Mubarak 'aafi, J. Jamaaluddin, and I. Anshory, "Implementasi Sensor Pzem-017 Untuk Monitoring Arus, Tegangan dan Daya Pada Instalasi Panel Surya dengan Sistem Data Logger Menggunakan Google Spreadsheet dan Smartphone," in *SNESTIK*, Mar. 2022, p. 191. doi: 10.31284/p.snestik.2022.2718.
- [14] Z. Muhamad, R. Muhida, and O. S. Putra, "RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DI POS BATAS SECURITY PT. GULA PUTIH MATARAM KABUPATEN LAMPUNG TENGAH," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, vol. 9, no. 2, Apr. 2022.

