

UJI KARAKTERISTIK *PROTOTYPE* PENERANGAN JALAN UMUM TENAGA SURYA BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Handoko Rusiana Iskandar¹, Agus Gunawan²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani

Jln. Terusan Jenderal Sudirman, Cibeer, Kota Cimahi, Jawa Barat, 40531.

¹ handoko.rusiana@lecture.unjani.ac.id, ² agunawan9967@gmail.com

Abstract

Photovoltaic (PV) system plays an important role as an environmentally sustainable source of renewable energy. Tiny PV power is used in various public facilities. Solar Street Lighting (SSL) is one of them. Currently, SSL which are spread around different areas of public facilities, in particular access to street lighting, is not commonly tracked, so online testing is required to assess the characteristics of the solar panel output on the street light output of the SSL. The approach used to evaluate the performance and characteristics of the SSL device uses PVSyst tools, while the real characteristics and performance measurements are done through online calculation of an IoT based system using a NodeMCU ESP32 microcontroller and a cloud service cloud program on a smartphone. The solar panels' specifications reveal an output power of 50.61 Wp and an efficiency of 14.05%. The IoT-based PJU-TS prototype's test results show that it can record and save data in real time on the blynk cloud server interface. Data charging on the battery is 5% of the capacity of the 35Ah battery, with an average solar panel current of 1.2 A. While the performance of the lamp when operating for 12 hours, the voltage on the battery is reduced by 6% based on the sampling test conducted.

Keywords : Blynk cloud server, internet of things (IoT), nodemcu ESP32, PVSyst, solar street lighting (SSL).

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. PLTS berkapasitas kecil digunakan di berbagai fasilitas publik. Salah satunya adalah Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS). Saat ini PJU-TS yang tersebar diberbagai wilayah fasilitas publik pada umumnya belum terpantau, sehingga *monitoring* secara *online* menggunakan *Internet of Things* (IoT) diperlukan untuk mengetahui karakteristik output panel surya terhadap *output* lampu penerangan jalan umum PJU-TS. Metode yang digunakan untuk menganalisa performa dan karakteristik sistem PJU-TS adalah menggunakan perangkat lunak PVSyst, sedangkan pengujian karakteristik dan performa secara aktual dilakukan pengukuran *online* sistem berbasis IoT menggunakan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan aplikasi *blynk cloud server* pada *smartphone*. Karakteristik panel surya menunjukkan daya *output* 50,61 Wp dengan efisiensi 14,05 %. Hasil pengujian *prototype* PJU-TS berbasis IoT mampu merekam dan menyimpan data secara *realtime* dalam antarmuka *blynk cloud server*. Data *charging* pada baterai sebesar 5% dari kapasitas baterai 35Ah, dengan rata-rata arus panel surya sebesar 1,2 A. Sedangkan performa lampu saat beroperasi selama 12 jam, tegangan pada baterai berkurang sebesar 6% berdasarkan sampling pengujian yang dilakukan.

Kata kunci : Blynk cloud server, internet of things (IoT), nodemcu ESP32, PJU-TS, PVSyst.

1. PENDAHULUAN

Konsep sistem *monitoring* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dikembangkan dengan berbagai metode dan teknologi pemantauan saat ini[1][2]. Umumnya sistem *monitoring* digunakan dengan tujuan untuk mendapatkan data performa fotovoltaiik secara aktual hingga data yang diperoleh mampu

dianalisis karakteristiknya kinerjanya[3]. Lebih lanjut tidak hanya PLTS dalam skala besar yang memerlukan sistem *monitoring*, namun juga beberapa fungsi fasilitas publik berbasis sel *photovoltaic* (PV) salah satunya sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga surya (PJU-TS) juga perlu digunakan[4] mengingat penetrasi penggunaan PJU-TS terus meningkat di seluruh dunia tidak hanya pembangunanya di

Indonesia[5]. Saat ini sistem PJU-TS terpasang dan tersebar di berbagai daerah dan wilayah Indonesia sejak tahun 2018 lalu. Permasalahan yang terjadi saat ini, untuk mendapatkan informasi terkini performa PJU-TS masih sulit dilakukan sehingga diperlukan adanya sistem yang berfungsi untuk memantau secara aktual kondisi lampu PJU-TS. Sistem pemantauan ini dilakukan juga bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dan performa pada sistem PJU-TS.

Makalah ini menjelaskan hasil pengujian yang dilakukan secara eksperimental untuk performa panel surya sehingga simulasi menghasilkan karakteristik dalam kurva I-V dan V-P pada PJU-TS. Sistem PJU-TS dibuat dengan menggunakan perangkat sistem *monitoring* dan *data logger*. Sistem ini bekerja secara *online* mengetahui kondisi aktual seperti (*on/off*) lampu, arus (A) *input* pada baterai dan *output* panel surya. Parameter kelistrikan yang ingin dicapai dapat direkam dan disimpan dalam *cloud* berbasis *Internet of things* (IoT).

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI

2.1. Standarisasi PJU-TS

Analisis karakteristik panel surya dilakukan untuk mendapatkan pengamatan performa Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS) diuji berdasarkan data meteorology titik koordinat PJU-TS, lokasi pengujian optimasi sudut kemiringan, karakteristik baterai hingga energi lampu yang dapat dimanfaatkan sebagai PJU. Beberapa standarisasi terkait dengan penelitian ini adalah Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 27 tahun 2018 tentang Penerangan Jalan Umum [6]. Dijelaskan pula panel surya harus memiliki perlindungan secara total dan menyeluruh terhadap debu, kontak langsung, bahkan tekanan air yang bertekanan rendah seperti pipa air atau keran dengan minimal Indeks Proteksi (IP 65). Pengujian lain adalah merujuk pada beberapa rekomendasi yang ditetapkan[7][8]. Pengujian kualitas harus sesuai dengan ISO 9001 tahun 2008 yang pada umumnya digunakan untuk menjaga konsistensi implementasi *Quality Management System* (QMS) dan penjaminan mutu[9]. Lihat Tabel 1. Beberapa standar lain juga harus memenuhi kesesuaian dengan bidang *Environment, Health, and Safety* (EHS) yang merujuk pada standar RoHS, OHSAS 1800 tahun 2007 (bebas timbal) dan Tes semprotan air garam pada panel surya sesuai rujukkan IEC 61701 terkait [10][11].

Sistem baterai disesuaikan dengan kebutuhan daya lampu dan cadangan waktu otonom. Antara lain memiliki Arus pengisian maksimal 0,5C dimana C merupakan kapasitas

baterai dalam (Ah). Batas tegangan pengisian maksimal baterai adalah 14,4 V – 16,8 V (setiap 4 sel/kelipatannya) dan batas tegangan pengisian minimal 11,2V – 12V (setiap 4 sel/kelipatannya). Karena penempatan baterai ini bersifat *outdoor* maka indeks proteksi minimal yang harus dimiliki adalah IP 54 yang berarti memiliki ketahanan terhadap benda padat dan ketahanan terhadap benda cair. Begitu pula berlaku dengan kendali catu daya listrik merupakan alat proteksi untuk mencegah polarisasi arus listrik balik dari baterai ke panel surya, *overcharging*, *overload*, dan *overheating*.

Bagian utama lain dari sistem PJU-TS adalah lampu. Komponen ini disesuaikan berdasarkan rekomendasi dan standar yang ditunjukkan dalam Tabel 2 antara lain sebagai berikut:

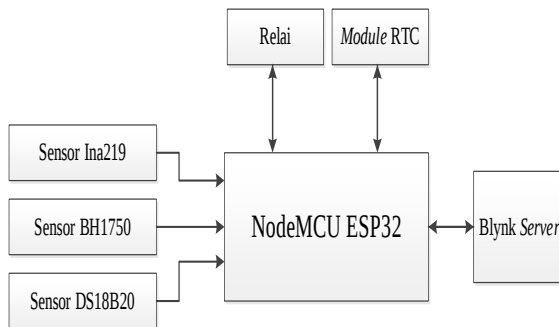
1. Lampu yang digunakan untuk penerangan jalan umum tenaga surya memiliki standar kualitas SNI IEC 60598-2-5-2016[12].
2. Lumener lampu yang mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 21 tahun 2012[13].

TABEL I. KARAKTERISTIK PANEL SURYA

No.	Parameter	Keterangan
1.	Tegangan Maks. (V _{mp})	36 V
2.	Arus Maks (I _{mp})	8 A
3.	Tegangan rangkaian terbuka (V _{oc})	Maks. 40 V
4.	Arus Hub. singkat (I _{sc})	Maks. 10 A
5.	Efisiensi panel dan sel	> 15 %
6.	Temperatur saat STC	40°C - 85°C
7.	Tegangan maksimum sistem	1.000 V DC

TABEL II. SPESIFIKASI LAMPU PJU-TS

No.	Parameter	Keterangan / Nilai / Satuan		
1.	Daya lampu	40 W	60 W	80 W
2.	Kebutuhan daya, 3 malam (36 jam)	1.800 Wh	2.700 Wh	3.600 Wh
3.	DOD baterai 80%	1.440 Wh	2.160 Wh	2.880 Wh
4.	Efikasi	100 lumens/Watt		
5.	Umur operasi	36.000 jam operasi		
6.	Umur pemeliharaan	4.000 jam operasi		
7.	Indeks Proteksi	IP 65		



Gambar 1 Sistem Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJU-TS)

2.2. Perancangan Sistem Monitoring

Penelitian ini tidak terlepas dari beberapa penelitian terkait yang sudah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya yaitu antara lain [14] yang melakukan perhitungan dan pengujian lampu penerangan jalan berbasis *solar system* yang digunakan selama 12 jam pada panel surya PJU 50Wp. Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh [15] melakukan rancang bangun sistem *monitoring* pada PJU-TS menggunakan sensor cahaya sebagai kendali lampu penerangan dan modul *bluetooth* sebagai kendali dari *smartphone* dan dikendalikan dari jarak maksimal 15 meter. Selain itu, pengembangan lain dilakukan pemantauan PJU-TS berbasis notifikasi pesan singkat (SMS) yang dilakukan oleh [16], notifikasi pesan ini bertujuan ini mengetahui kondisi lampu PJU-TS sehingga dapat menghemat pengeluaran biaya operasional dalam satu bulan. Namun sistem ini tidak dapat mendeteksi sumber dari kerusakan lampu penerangan. Tidak dipungkiri perkembangan sistem *monitoring* ini memberi ruang pada teknologi nirkabel berbasis *telemetry* menggunakan antenna untuk memantau aktivitas PLTS secara *point to point* yang dilakukan oleh [17][18] dan juga teknologi *Internet of things* (IoT) yang dilakukan pada sistem PLTS skala besar berbasis *Human Machine Interface* (HMI) dengan kapabilitas antarmuka telepon pintar oleh [19]. Pengembangan yang selanjutnya dipilih dan digunakan dalam penelitian ini adalah sistem pemantauan performa PJU-TS berbasis IoT menggunakan aplikasi *Blynk server* dari *smartphone android* dengan kelebihan data dapat direkam dan disimpan dalam MS. Excel dengan format (CSV) dan bersifat *open source* dan *user friendly*.

Aplikasi *Blynk* merupakan sebuah *platform* dari iOS dan perangkat *android* yang dapat dihubungkan dengan perangkat pengendali elektronik mikro seperti arduino, modul ESP8266, serta beberapa mikrokontroler umum lainnya yang dapat terhubung internet. Aplikasi *Blynk* memiliki fitur dan *widget* yang menarik

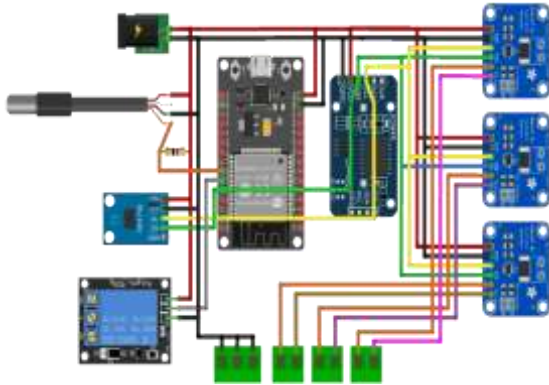
sebagai pelengkap antarmuka. Mislanya, *widget* yang digunakan dapat mengaktifkan dan mematikan atau menampilkan data dari sensor dan memiliki *server* sendiri [20]. Gambar 1 menunjukan *monitoring* PJU-TS secara langsung dalam jalur DC. Sistem PJU-TS memiliki ide dasar perancangan sebagai berikut dalam Tabel 3.

TABEL III. KONSEP PERANCANGAN SISTEM *MONITORING*

No	Digital	Keterangan
1.	Data Parameter Tegangan, Arus, dan Daya	Data parameter tegangan, arus dan daya merupakan kinerja dari sistem panel surya, baterai, dan lampu LED.
2.	Data <i>Irradiance</i> dan <i>Temperature</i>	<i>Irradiance</i> dan <i>temperature</i> adalah jenis data yang dikontrol menggunakan sensor yang terpasang pada panel surya. Perubahan intensitas cahaya dan temperatur sangat mempengaruhi terhadap <i>output</i> dari panel surya.
3.	<i>Data Logger</i>	Data logger digunakan untuk membuat <i>Historical data File</i> pada setiap kejadian untuk keperluan pemeliharaan.
4.	Aplikasi <i>Blynk Server Android</i>	Aplikasi <i>Blynk</i> adalah sebuah <i>platform</i> yang dapat mengendalikan dan <i>monitoring</i> suatu sistem dari jarak jauh yang terkoneksi internet.
5.	Relai	Untuk mengontrol kondisi <i>on/off</i> lampu.

Gambar 2 menunjukkan perancangan perangkat keras untuk memonitoring data dari sistem PJU-TS, dimana data tersebut dibaca oleh sensor-sensor yang terkoneksi pada pin I/O NodeMCU ESP32 yang memiliki fitur *wifi* agar terkoneksi internet dan dapat terhubung dengan *Blynk server*. Sehingga pendukung fasilitas internet dilokasi sangat diperlukan. Gambar 2 menunjukkan rangkaian sistem *monitoring* yang terdiri dari sensor tegangan dan arus yaitu sensor Ina219, Sensor cahaya menggunakan sensor BH1750, Sensor temperatur DS18B20, RTC DS3231, Relai (5V/10A) dan NodeMCU

ESP32. Untuk merealisasikan sistem *monitoring* berbasis IoT digunakan sistem komunikasi *Blynk server* yang bertanggung jawab menangani data secara *relatime* antara *smartphone* android dan *hardware* (lihat Tabel 4).



Gambar 2 Rangkaian Sistem *Monitoring* (PJU-TS)

TABEL IV. KOMPONEN SISTEM *MONITORING* PJU-TS

No.	Unit	Keterangan
1.	Mikrokontroler	NodeMCU ESP32
2.	Sensor Arus dan Tegangan	Sensor Ina219, 3.2 A, 26 V
3.	Sensor Cahaya	Sensor BH1750, 1 – 65535 lux
4.	Sensor Temperatur	Sensor DS18B20, -55 sampai 125°C
5.	Modul RTC	2.3 V - 5.5 V

2.3. Perancangan Sistem PJU-TS

Setelah rancang bangun sistem *monitoring* PJU-TS dibuat. Uji karakteristik PJU-TS dibuat pada tiang menggunakan pipa galvanis berdiameter 40 x40 cm, dengan tinggi 400 cm dan lebar penyangga panel surya dan lampu LED Galvanis berdiameter 52 x 37 cm. Berikut spesifikasi desain PJU-TS ditunjukkan Tabel 5 - 8.

TABEL V. SPESIFIKASI TIANG PJU-TS

No.	Parameter	Keterangan
1.	Tinggi	400 cm
2.	Lebar kaki tiang	40 x 40 cm
3.	Lebar penyangga Panell surya	52 x 37 cm
4.	Panjang tiang lampu	68 cm
5.	Sudut Kemiringan	15°

TABEL VI. SPESIFIKASI PANEL SURYA

No.	Parameter	Keterangan
1.	Rating daya saat STC (Pmp)	50 Watt
2.	Tegangan daya maksimal (Vmp)	17.8 V
3.	Arus daya maksimal (Imp)	2.81 A
4.	Tegangan rangkain terbuka (Voc)	21,8 V
5.	Arus hubung singkat (Isc)	3.03 A

TABEL VII. SPESIFIKASI BATERAI

No.	Parameter	Keterangan
1.	Teg. (V) dan Kap. (Ah)	12 V / 35 Ah
2.	Jenis Baterai	Dry Accu.

TABEL VIII. SPESIFIKASI LAMPU PJU-TS

No.	Parameter	Keterangan
1.	Rating Daya & Teg.	12 W/12 V
2.	Warna Lampu	Putih
3.	Temperatur Warna	6000K – 6500K
4.	<i>Luminous Flux</i>	1050 – 1100lm
5.	Indeks Proteksi	IP 65
6.	Bahan	All. Alloy
7.	Dimensi	350 x 100 x 60mm

2.4. Perhitungan Desain PJU-TS

Besaran energi pada penggunaan lampu LED selama beroperasi dapat diketahui melalui persamaan (1) berikut,

$$E_{load} = P_{load} \times t \quad (1)$$

Dimana E_{load} merupakan beban atau energi yang dibutuhkan dalam (Wh), P_{load} adalah daya beban lampu dalam (W) dan t adalah lama pemakaian beban dalam (jam). Untuk menghitung kapasitas panel surya agar sesuai dengan beban *output* dapat menggunakan persamaan (2).

$$P_{mod} = \frac{ET}{Insulation} \quad (2)$$

Dimana P_{mod} adalah daya panel puncak dalam (Wp) saat kondisi STC, ET merupakan penggunaan energy dalam 1 jam (Wh), *insulasi* adalah waktu efektif sinar matahari per hari yang sampai hingga permukaan bumi[21]. Kemudian untuk menghitung nilai *Fill Factor* (FF) pada sel surya dapat menggunakan persamaan (3). Persamaan ini digunakan agar mudah

menganalisis efisiensi dari panel surya yang digunakan sesuai rujukan [22].

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3)$$

Variasi nilai FF adalah 0.7-0.8, apabila lebih tinggi dari 0.7 maka sel surya memiliki karakteristik yang baik. Untuk menghitung daya maksimal pada suatu panel surya dapat menggunakan persamaan (4). Sedangkan untuk mengetahui nilai efisiensi dari panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$P_{max} = I_{SC} \times V_{OC} \times FF \quad (4)$$

$$Eff(\eta) = \frac{I_{SC} \times V_{OC} \times FF}{1 \text{ kW/m}^2 \times \text{luas PV (m}^2\text{)}} \quad (5)$$

Baterai digunakan dalam sistem PLTS untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya di siang hari yang bersifat sementara, lalu memasok ke beban di malam hari dimana penerangan lampu jalan bekerja diasumsikan kurang lebih 12 Jam. Untuk mengetahui kapasitas baterai agar sesuai dengan daya puncak nominal panel surya dalam (Wp) dan beban *output* dapat dihitung dengan persamaan (6) berikut,

$$E_{Tot}(Ah) = \frac{E_{Tot\text{ perhari}}(Wp)}{Teg_{Bat.}(V)} \quad (6)$$

Energi yang disimpan dalam baterai harus dikeathu dengan mengkonversi Ah menjadi Wh. Perhitungan dapat ditentukan dengan mengalikan kapasitas arus batterai dalam jam(Ah) dengan tegangan nominal baterai (V), antara lain menggunakan persamaan (7) berikut,

$$Daya(Wh) = Arus(Ah) \times Teg_{Bat.}(v) \quad (7)$$

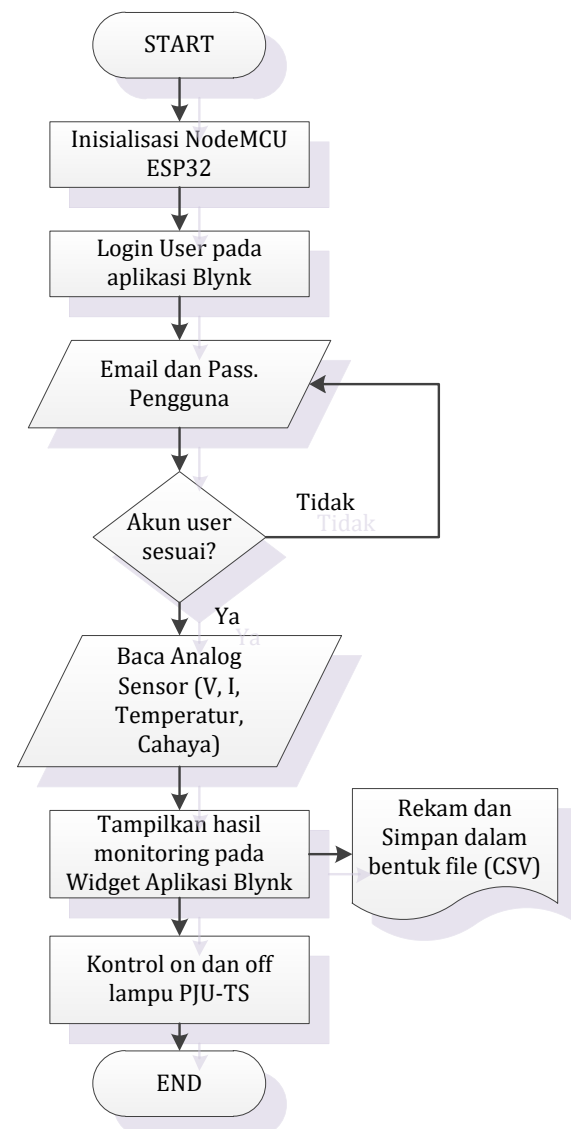
Ukuran kapasitas SCC digunakan dalam *ampere* (A). Perhitungan kapasitas SCC dapat dihitung menggunakan persamaan (8). Dimana I_{SC} merupakan arus SCC dalam (Ampere), I_{SC} adalah arus hubung singkat dari *nameplate* yang terdapat pada panel surya (Ampere), Nilai I_{SC} jauh lebih besar dibandingkan I_{mp} Panel Surya. N_{panel} adalah jumlah panel surya yang digunakan dan 125% merupakan nilai kompensasi sistem panel surya dalam (%). Lihat persamaan (8).

$$I_{SC} = I_{SC\text{ panel}} \times N_{panel} \times 125\% \quad (8)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Alur Penelitian

Uji karakteristik dan performa lampu PJU-TS menggunakan IoT dan aplikasi *smartphone* memiliki beberapa tahapan perancangan yaitu perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, sistem komunikasi, dan perhitungan kebutuhan PJU-TS. Parameter untuk memperoleh data dari sistem PJU-TS terdiri dari 5 *input* antara data tegangan, arus, daya, temperatur dan cahaya. Kemudian 5 parameter tersebut diolah menggunakan NodeMCU ESP32 dan akan menjadi data yang ditampilkan melalui aplikasi *Blynk* pada *smartphone* android. Data tersebut tersimpan di dalam *Blynk Cloud Server* yang kemudian dapat diunduh pada *smartphone* android dalam bentuk MS. Excel (CSV).



Gambar 3 Diagram Alir Monitoring PJU-TS

Gambar 3 menunjukkan tahapan yang diawali adanya proses inisialisasi perangkat NodeMCU ESP32 kemudian adanya verifikasi akun pengguna dan baca parameter *analog* yang terpasang pada sensor tegangan, arus, temperatur, dan cahaya yang berfungsi untuk memantau kinerja dari PJU-TS. Selanjutnya data-data dari sensor tersebut akan tersimpan pada *Blynk server* yang dapat dikirimkan ke email *user*. Nodemcu dapat terhubung ke *smartphone* android menggunakan aplikasi *Blynk* melalui *Blynk server* yang terkoneksi internet. *Blynk* sendiri merupakan sebuah aplikasi *platform* untuk mengontrol NodeMCU ESP32. Untuk *login* pada aplikasi *Blynk* diharuskan memasukkan *username* dan *password* pengguna. Aplikasi ini dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat *hardware*, menampilkan data sensor menyimpan data, visualisasi, dan lain-lain.

3.2. Lokasi dan Data Meteorologi

Pengumpulan data meteorology yang dilakukan dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar memperoleh daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya pada PJU-TS. Titik lokasi tersebut berada di titik koordinat berada pada lintang 6°57'06.6" dan bujur 107°27'19.9" di Jl. Kaum, Cililin, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Setelah titik ditentukan, data meteorology akan didapatkan dari NASA atau *meteonorm* pada perangkat lunak PVSyst dalam satu tahun. Data meteorology yang diperoleh adalah data iradiasi rata – rata yang diterima oleh panel surya (kWh/m²) baik dalam musim kemarau dan musim hujan. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan di titik koordinat sesuai dengan Gambar 4, data meteorology yang dihasilkan akan berbeda sesuai simulasi sudut kemiringan panel surya. Sehingga, dari data tersebut akan diketahui potensi energi mana yang paling maksimum dan akan dijadikan sebagai pilihan uji karakteristik yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 4 Lokasi PJU-TS 50Wp

TABEL IX. DATA IKLIM TAHUNAN DI LOKASI PJU-TS

Plane Tilt Azimuth 0°	Global Collector plane (kWh/m ²)		
	Data Meteo rata-rata Tahunan	(Apr-Sep)	(Okt-Mar)
10°	1832	948	884
15°	1819	921	898
20°	1795	889	906
25°	1760	851	909
30°	1716	809	906
35°	1663	764	898
40°	1600	715	885
45°	1529	661	867

Sudut kemiringan 15° dipilih karena merujuk data iklim tahunan di lokasi PJU-TS yang diambil dari data *meteonorm* adalah yang paling baik namun sudut ini juga lebih mudah dari segi pemeliharaan dan mencegah rugi – rugi akibat debu atau polutan terkonsentrasi di penampang panel surya. Hasil orientasi di sudut ini memiliki 1819 kWh/m² rata – rata per tahun dan memiliki nilai radiasi 921 kWh/m² pada bulan Oktober sampai dengan bulan Maret dan memiliki potensi energi 898 kWh/m² pada bulan April sampai dengan bulan September. Sudut ini memiliki nilai *Global on Collector Plane* lebih dari 1800kWh/m² saat kondisi (STC), yaitu *irradiance* matahari sebesar 1000 W/m² dan temperatur sebesar 25°C. data lain yang perlu dipertimbangkan adalah data potensi energi total yang sudah dikurangi rugi-rugi dari hamburan atau serapan awan di titik koordinat tersebut. Rata-rata satu tahun besar *Horizontal Diffuse Irradiation* (HDI) 75.2 kWh/m², dengan temperatur udara rata – rata 27.3°C, dan kelembapan sebesar 81.3% dalam satu tahun. Lihat Tabel 10 di bawah ini.

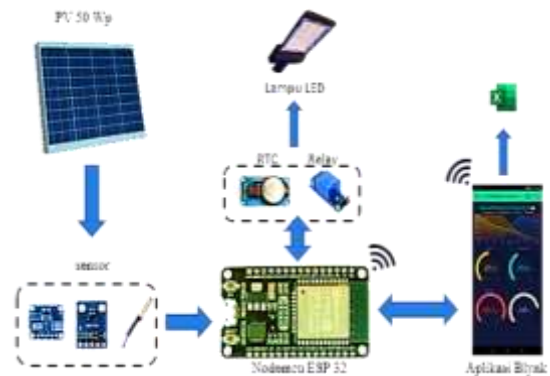
TABEL X. DATA METEO DALAM 1 TAHUN

Bulan	HDI (kWh/m ² /bln)	Temp (°C)	Kelembapan (%)
Jan	67.6	25.5	79.1
Feb	72,0	25.9	79.6
Mar	78.4	26.9	81,0
Apr	67.7	28.1	81.2
Mei	72.1	28.6	81.1
Jun	75.7	27.9	82.7
Jul	76.8	28.1	80.5
Agust	85.3	28,0	80.6
Sep	77.9	27.5	80.6
Okt	82.1	27.4	83.4
Nov	77.3	26.9	83.5
Des	69.4	26.4	82.7
Rata-rata	75.2	27.3	81.3

3.3. Pengujian Monitoring PJU-TS

Skenario pengujian yang dilakukan adalah hasil pembacaan aktual sistem *monitoring* yang di simpan dalam *cloud*. Semua data dan parameter analog hasil pembacaan sensor yang ditampilkan melalui widget pada aplikasi *Blynk* pada *smartphone* pengguna atau operator. Data yang ditampilkan merupakan data pembacaan dari sensor arus, tegangan, temperatur dan intensitas cahaya yang terpasang pada rangkaian sistem PJU-TS. Sedangkan untuk tampilan daya direkayasa berdasarkan algoritma sketch program pada perangkat NodeMCU ESP32. Mikrokontroler ini dapat digunakan sebagai sistem yang dapat dioperasikan pada perangkat pendukung (*host*) dengan modul *wifi*. Tabel 4 menunjukkan beberapa sensor yang digunakan pada pengujian diantaranya modul INA219 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada suatu penghantar dan menghasilkan sinyal analog dan ditampilkan pada *widget smartphone*. Modul sensor ini menggunakan I2C, dengan V_{maks} . 26 VDC, I_{maks} . 3.2 A, dan membutuhkan tegangan 5 VDC. Modul BH1750 digunakan sebagai sensor cahaya yang memiliki sinyal keluaran digital dan dilengkapi *library* sehingga dapat dikembangkan dalam uji karakteristik PJU-TS ini. Tujuannya untuk memverifikasi tingkat *lux* pada saat *Peak Sun Hour* (PSH) dan kondisi charging pada baterai di siang hari. PSH berlangsung 4 – 5 jam, akan berubah secara linear dengan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada sistem PJU-TS. Modul BH1750 ini dapat mengukur keluaran lux

(lx) dengan jangkauan yang cukup lebar yaitu antara 1 – 65535 lux. 1 lux sama dengan cahaya 1 lumen/m². Sensor temperatur yang digunakan dalam *monitoring* ini adalah sensor DS18B20 dengan rentang temperatur -55°C - +125°C ini diuji hanya pada rentang temperatur aktual 20°C - 30°C pada panel PJU-TS sesuai data tahunan yang diperoleh. Skematik pengujian ini ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Skema pengujian PJU-TS

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Perhitungan Desain PJU-TS

Beberapa variabel penentu dalam hasil perhitungan desain PJU-TS yaitu lama pemakaian lampu LED, daya panel surya, kapasitas baterai dan *solar charge controller* (SCC). Dengan menggunakan lampu LED 12V dan daya 12W maka dapat dihitung total energi yang terpakai selama 12 jam. Lihat persamaan (1) sehingga kapasitas E_{load} dapat diketahui sebesar 144Wh. Setelah mengetahui besaran energi dan *insulation* maka kapasitas panel surya ditentukan agar sesuai dengan beban *output* yang dikonsumsi menggunakan persamaan (2) sehingga didapatkan daya panel surya sebesar 28.8 Wp. Kapasitas panel surya 50 Wp dipilih untuk memaksimalkan daya output yang diasumsikan akan mengalami rugi-rugi akibat manufaktur dan lingkungan di lokasi instalasi PJU-TS. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Fill Factor* (FF) atau factor pengisian panel surya menggunakan persamaan (3) menghasilkan 0.78. berbagai sumber rujukan yang digunakan variasi nilai FF adalah 0.7 hingga 0.8, apabila nilai FF ini lebih tinggi dari atau sama dengan 0,7 maka sel surya memiliki karakteristik dan kategori yang baik. Panel surya 50 Wp dapat menghasilkan daya maksimal lebih dari 50 Wp dengan temperatur 25°C dan *irradiance* 1000W/m². Berikut hasil perhitungan daya maksimal Pael Surya (P_{max}) pada panel surya 50,61 Wp dibulatkan $\approx$ 50 Wp. Suatu panel surya bekerja secara optimal maka harus diketahui efiesiensi dari panel surya

tersebut, panel surya berjenis *polycrystalline* adalah 13 – 16 %.

Lihat Tabel 4 untuk spesifikasi panel surya di mana luas penampang panel surya dan intensitas matahari juga mempengaruhi nilai efisiensi. Hasil perhitungan efisiensi panel surya menggunakan persamaan (5) adalah sebesar 14.05% nilai ini masih rating yang baik dan sesuai dengan efisiensi manufaktur yang diizinkan. Sedangkan untuk perhitungan kapasitas baterai agar sesuai dengan panel surya dan beban *output* dihitung menggunakan persamaan (6) dan persamaan (7) sehingga menghasilkan 12 Ah. Karena nilai 12 Ah terlalu kecil dengan spesifikasi baterai yang ada di pasaran sehingga disesuaikan menggunakan kapasitas baterai 35 Ah dengan besar energi dalam (jam) yang bias dimanfaatkan sebesar 420 Wh. Hasil dari perhitungan dengan persamaan (8) menunjukkan arus SCC sebesar 3,8 A, karena nilai arus SCC yang paling kecil adalah 10A maka SCC yang dipakai untuk kebutuhan PJU-TS adalah 10A.

TABEL XII. HASIL PERHITUNGAN DESAIN PJU-TS

No.	Parameter	Keterangan
1.	Kap. Beban Baterai (E_{load})	144 Wh
2.	Kap. Panel Surya	28,8 Wp (50Wp)
3.	<i>Fill Factor</i> (FF)	0,78
4.	Daya Maks. Panel Surya (P_{max})	50,61 Wp $\approx$ 50 Wp
5.	Ef. Panel Surya (η)	14,05%
6.	Kap. <i>Charging</i> Baterai (Ah)	12 Ah (35 Ah)
7.	Daya Baterai (Wh)	420 Wh
8.	Kap. Arus SCC (A)	3,8 A (10 A)

4.2. Hasil Pengujian Karakteristik PJU-TS

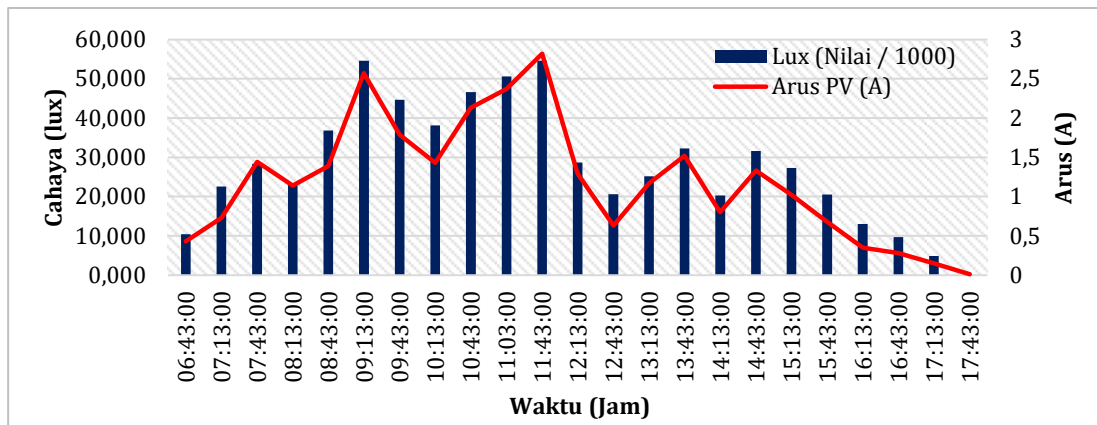
Pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data yang telah tersimpan pada *blynk server* selama 24 jam. Data yang di ambil merupakan data daya, arus, tegangan dari panel surya. Selain itu data yang diambil juga berupa intensitas cahaya pada siang hari dan temperatur lingkungan selama pengujian pada area panel surya. Hasil yang terukur pada data tersebut disampling setiap 30 – 60 menit. Berikut sampling pengujian data ditunjukkan oleh Tabel 12 dengan pilihan waktu sampling setiap 60 menit sekali. Pengujian tersebut menghasilkan data pengukuran PJU-TS selama 24 jam dari mulai siang dan malam hari tanggal pengujian pada Hari Rabu – Kamis Tanggal 28 – 29 Oktober 2020. Dapat dilihat pada pukul 16:43 WIB terjadi penurunan tegangan dan arus dari panel surya karena terjadi penurunan intensitas cahaya akibat dari matahari mulai terbenam pada sore hari. Intensitas cahaya matahari sangat berpengaruh pada arus panel surya dan tidak berpengaruh signifikan pada tegangan operasi panel surya. Perubahan intensitas cahaya berpengaruh terhadap besarnya arus dari panel surya. Besar arus tertinggi terjadi pada pukul 11:43 WIB sebesar 2.82 A saat intensitas cahaya berada pada 54.6125 lux. Sedangkan nilai arus terendah pada pukul 17:13 WIB sebesar 0.01 A di mana matahari mulai terbenam dan menyebabkan arus panel surya menuju nol. Gambar 6 menunjukkan proses pada saat pengujian PJU-TS.

TABEL XI. SAMPLING PENGUJIAN IoT PADA PERFORMA PANEL SURYA PJU-TS

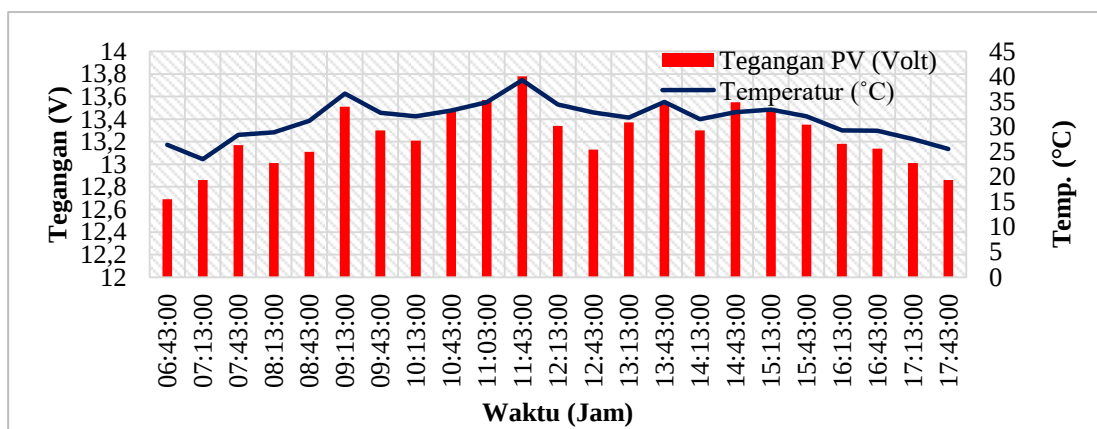
Tanggal	Waktu	Daya PV (W)	Arus PV (A)	Tegangan PV (V)	Lux (Nilai / 1000)	Temperatur (°C)
10/28/2020	6:43:00	5,42	0,43	12,69	10,455	26
10/28/2020	8:43:00	18,19	1,39	13,11	36,800	31
10/28/2020	10:43:00	28,67	2,13	13,48	46,613	33
10/28/2020	11:43:00	38,86	2,82	13,10	54,613	33
10/28/2020	12:43:00	8,33	0,63	13,13	20,604	33
10/28/2020	14:43:00	9,10	1,33	13,55	31,640	33
10/28/2020	16:43:00	0,14	0,28	13,14	9,667	29
10/28/2020	17:43:00	0,13	0,01	12,86	0,090	26
10/28/2020	18:43:00	0	0	0	0,009	25
10/28/2020	20:43:00	0	0	0	0,004	25
10/28/2020	22:43:00	0	0	0	0,006	24
10/29/2020	0:43:00	0	0	0	0,005	24
10/29/2020	2:43:00	0	0	0	0,005	23
10/29/2020	4:43:00	0	0	0	0,005	23
10/29/2020	5:43:00	0	0	0	0,005	25

TABEL XIII. SAMPLING PENGUJIAN IoT PADA PERFORMA BATERAI DAN LAMPU PJU-TS

Tanggal	Waktu	Daya Baterai (W)	Arus Baterai (A)	Tegangan Baterai (V)	Daya Lampu (W)	Arus Lampu (A)	Tegangan Lampu (V)
2020-10-28	06:43:00	4,73	0,37	12,68	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	07:43:00	18,03	1,38	13,06	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	08:43:00	17,41	1,33	13,05	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	09:43:00	22,94	1,73	13,23	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	10:43:00	27,70	2,07	13,38	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	11:43:00	37,47	2,74	13,66	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	12:43:00	7,63	0,58	13,11	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	13:43:00	19,67	1,46	13,46	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	14:43:00	17,14	1,27	13,49	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	15:43:00	8,37	0,63	13,32	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	16:43:00	2,92	0,22	13,13	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	17:43:00	0,81	0,06	12,86	0,00	0,00	0,00
2020-10-28	18:43:00	8,82	0,72	12,17	7,74	0,64	12,09
2020-10-28	19:43:00	8,68	0,71	12,15	7,43	0,62	12,06
2020-10-28	20:43:00	8,40	0,69	12,11	7,32	0,61	12,04
2020-10-28	21:43:00	8,28	0,68	12,09	7,19	0,60	12,02
2020-10-28	22:43:00	8,15	0,67	12,07	7,07	0,59	12,00
2020-10-28	23:43:00	8,01	0,66	12,06	6,94	0,58	11,98
2020-10-29	00:43:00	7,89	0,66	12,04	6,80	0,57	11,96
2020-10-29	01:43:00	7,75	0,65	12,02	6,66	0,56	11,95
2020-10-29	02:43:00	7,59	0,63	12,00	6,53	0,55	11,93
2020-10-29	03:43:00	7,50	0,63	11,98	6,38	0,54	11,91
2020-10-29	04:43:00	7,35	0,61	11,96	6,28	0,53	11,90
2020-10-29	05:43:00	7,22	0,60	11,94	6,10	0,51	11,87



Gambar 7. Pengujian Intensitas Cahaya Terhadap Arus



Gambar 8. Pengujian Temperatur Terhadap Tegangan



Gambar 6. Pengujian PJU-TS; a) siang, b) malam

Variasi temperatur menghasilkan perubahan pada tegangan dari panel surya. Besar tegangan terendah terjadi pada pukul 07:13 WIB di mana temperatur di sekitar panel surya sebesar 24 °C dengan tegangan menunjukan 12.69 V dan nilai tegangan tertinggi ditampilkan pada pukul 11:43 WIB di mana temperatur terbaca oleh sensor sebesar 33 °C dengan tegangan sebesar 13.74 V. Temperatur ini diverifikasi terlebih dahulu secara *online* melalui <https://accuweather.com/> yang menunjukkan rata - rata 33°C pada siang hari dan 23°C - 24 °C

pada malam hari. Pengujian ini ditampilkan dalam *display* antarmuka aplikasi *blinky server* pada perangkat *smartphone*. Data pengukuran baterai dan lampu dapat dilihat pada Tabel 13 sebagai berikut.

4.3. Karakteristik Baterai dan Lampu PJU-TS

Tabel 13 merupakan pengukuran ketika pengisian baterai dan penggunaan lampu LED di mana parameter yang diambil adalah pengujian daya, arus, dan tegangan baterai ketika terjadi pengisian oleh panel surya pada siang hari (kondisi *charging*) dan pengurangan daya, arus, tegangan baterai ketika digunakan untuk beban (*discharging*) lampu LED. Berdasarkan Tabel 13 proses pengisian baterai dimulai pukul 06:43 WIB hingga 14:43 WIB di mana dapat terlihat tegangan awal baterai sebesar 12.68 V menjadi 13.49 V dan arus sebesar 0.37 A menjadi 1.27 A dari data tersebut total tegangan yang bertambah selama proses pengisian sekitar 5% dari kapasitas baterai. Persentase kapasitas baterai diperoleh dari nilai kapasitas akhir baterai dikurangi kapasitas awal baterai (lihat Gambar 7 dan 8).

Selama proses pengisian berlangsung terjadi fluktuasi nilai tegangan, pada jam 11:43 WIB merupakan nilai tertinggi tegangan yang

didapatkan yaitu sebesar 13.66 V atau sekitar 100% dari kapasitas baterai, persentase ini diambil dari nilai maksimum *charging* pada baterai 12 V yaitu sebesar 13.7 V. Tegangan yang diperoleh akan turun kembali untuk mempertahankan kestabilan tegangan dititik 13.2 V – 13.4 V. Hal ini menunjukkan kondisi *float* pada proses pengisian baterai terjadi hanya pada tingkat tegangan yang aman sehingga tidak melebihi batas maksimum pengisian. Dari penjelasan pada hasil analisis pengujian sebelumnya, proses pengisian baterai akan berhenti jika baterai telah mencapai tegangan maksimum yaitu 13.7 V dan dilanjutkan dengan proses *float charging*. Baterai akan mengalami *cut off* terhadap beban ketika tegangan baterai mengalami penurunan hingga 11.5 V. Saat pukul 18:43 WIB lampu LED menyala dengan tegangan 12.15V dan arus 0.67A, daya *output* yang dihasilkan dari nyala lampu tersebut sebesar 8.09 W dan beroperasi selama 12 jam hingga pukul 05:43 WIB. Karakteristik baterai terlihat saat waktu menjelang malam. Berdasarkan Tabel 13, menunjukkan pada pukul 18:13 WIB nilai tegangan baterai terhadap beban lampu LED sebesar 12.23V hingga penggunaan berakhir pada pukul 05:43 WIB dengan tegangan baterai terhadap nyala akhir lampu LED sebesar 11.94V. Dengan demikian total energi baterai yang digunakan untuk penerangan lampu LED dengan durasi satu malam terpakai sebesar 6%. Pengisian terjadi mulai pukul 06:43 WIB sampai 18:43 WIB sedangkan penggunaan baterai terjadi setelah pukul 18:43 WIB sampai 06:43 WIB.

Arus mengalami kenaikan dan penurunan ketika terjadi pada fase pengisian baterai. Kondisi ini terjadi karena arus pengisian dipengaruhi oleh besarnya intensitas cahaya matahari. Arus pengisian tertinggi terjadi pada 11:03 WIB, yaitu ketika intensitas cahaya matahari sangat besar. Tetapi pada saat pukul 12:43 WIB terjadi penurunan arus, hal ini disebabkan karena pada saat pengukuran cahaya matahari tertutup awan yang mengakibatkan penerimaan cahaya matahari pada panel surya berkurang. Arus terendah terjadi ketika pukul 17:13 WIB, yaitu ketika matahari mulai terbenam dan pada saat itu pula arus pengisian mulai berhenti dan baterai mulai digunakan untuk mensuplai beban lampu. Arus penggunaan baterai cenderung stabil yaitu sekitar 0,7 A karena beban yang digunakan tidak berubah. Sedangkan untuk tegangan juga mengalami kenaikan dan penurunan pada fase pengisian. Tegangan cenderung stabil sebesar 12 V ketika baterai mulai digunakan untuk mensuplai lampu yaitu pada pukul 18:43 WIB. Arus dan tegangan bernilai nol pada pukul 06:43 WIB sampai menjelang pukul 18:43 WIB, hal ini terjadi karena pada waktu tersebut lampu dalam

keadaan mati. Arus dan tegangan naik ketika lampu mulai menyala yaitu pada pukul 18:43 WIB dan akan berhenti naik ketika lampu sudah menyala sempurna. Tegangan stabil 12 V pada saat lampu menyala, tetapi pada arus mengalami penurunan karena ketika lampu menyala kapasitas penyimpanan daya listrik pada baterai akan berkurang.

4.4. Tampilan *Display* Antarmuka PJU-TS

Aplikasi blynk pada *smartphone* yang bertujuan untuk menampilkan data performa dari PJU-TS. Sebagai perangkat *monitoring* jarak jauh, aplikasi blynk bersifat *open source* yang terhubung langsung dengan blynk *server*. Gambar 9 menunjukkan pembacaan sensor secara aktual ditampilkan pada *smartphone*. Parameter ini terdiri dari Arus (I), tegangan (V), daya (W), untuk pengujian rating daya panel surya, baterai dan performa lampu LED. *Monitoring* daya PJU-TS diverifikasi menggunakan tampilan data temperatur (°C) dan Cahaya (lx). Lihat *display* antarmuka *monitoring* PJU-TS pada Gambar berikut,



Gambar 9. *Monitoring Display* PJU-TS pada *Smartphone*

Daya lampu pada pukul 06:43 WIB sampai 17:13 WIB bernilai nol karena pada saat itu lampu masih mati, sedangkan daya baterai bernilai fluktuatif karena pada baterai terjadi

pengisian daya listrik dari panel surya. Daya lampu akan muncul ketika lampu menyala yaitu mulai pukul 18:43 WIB. Kenaikan daya lampu dari nol sampai 8 W berlangsung cepat karena untuk menyalakan lampu tidak dibutuhkan waktu lama. Ketika lampu menyala, grafik daya pada lampu cenderung sejajar dengan grafik daya baterai karena daya yang digunakan oleh lampu berasal dari daya listrik yang tersimpan dari baterai.

5. Kesimpulan dan Saran

Simulasi PJU-TS dengan titik koordinat 6°57'06.6" dan bujur 107°27'19.9", memiliki nilai rata-rata *horizontal global irradiation* sebesar 152.2 kWh/m², *horizontal diffuse irradiation* 75.2 kWh/m², temperatur udara 27.3°C, dan kelembapan sebesar 81.3% rata-rata dalam satu tahun di sudut 15°. Hasil perhitungan kebutuhan PJU-TS sebesar 50.61 Wp dengan kapasitas baterai 35Ah. Pengoperasian lampu LED yang digunakan selama 12 jam mengalami penurunan tegangan pada baterai sebesar 6% dari kapasitas baterai. Penggunaan IoT pada penelitian ini sangat berperan penting terutama pada sistem *monitoring* dimana data dari parameter komponen yaitu daya (W), Arus (A), tegangan (V), intensitas cahaya (Lux) dan temperatur (°C) yang ditampilkan secara aktual pada aplikasi *Blynk* untuk mengetahui performa PJU-TS.

Daftar Pustaka:

- [1] M. Saifuzzaman, N. N. Moon, and F. N. Nur, "IoT based street lighting and traffic management system," 2018, doi: 10.1109/R10-HTC.2017.8288921.
- [2] H. R. Iskandar, A. Purwadi, A. Rizqiawan, and N. Heryana, "Prototype development of a low cost data logger and monitoring system for PV application," in *3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2016*, 2017, pp. 171–177, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904864.
- [3] A. Khalil, Z. Rajab, M. Amhammed, and A. Asheibi, "The benefits of the transition from fossil fuel to solar energy in Libya: A street lighting system case study," *Appl. Sol. Energy (English Transl. Geliotekhnika)*, 2017, doi: 10.3103/S0003701X17020086.
- [4] F. S. El-Faouri, M. Sharaiha, D. Bargouth, and A. Faza, "A smart street lighting system using solar energy," 2016, doi: 10.1109/ISGTEurope.2016.7856255.
- [5] R. Ciriminna, F. Meneguzzo, L. Albanese, and M. Pagliaro, "Solar street lighting: a key technology en route to sustainability," *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.*, 2017, doi: 10.1002/wene.218.
- [6] Menteri Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan nomor PM 27 tahun 2018 tentang Alat Penerangan Jalan," *Menteri Perhubungan Republik Indonesia*. Mentri Perhubungan Republik Indonesia, Jakarta, pp. 1–95, 2018, [Online]. Available: <https://dishub.acehprov.go.id/download/p-eraturan-menteri-perhubungan-republik-indonesia-nomor-pm-27-tahun-2018-tentang-alat-penerangan-jalan/>.
- [7] IEC/TC82, *International Standard IEC 61215-1:2016*. 2016.
- [8] International Electrotechnical Commission, "IEC 6173-2 Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification - Part 2 : Requirements for testing." IEC, pp. 1–30, 2016, [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61730-2%7Bed2.0.RLV%7Den.pdf.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, "SNI ISO 9001 : 2008 Sistem manajemen mutu – Persyaratan," *Sistem Manajemen Mutu - Persyaratan*. pp. 1–7, 2008, [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61730-2%7Bed2.0.RLV%7Den.pdf.
- [10] Occupational Health and Safety Assessment Series, "OHSAS 18001 : 2007 Occupational Health and Safety Management Systems Requirements," *Occupational Health and Safety Assessment Series*, vol. 32, no. 1 Suppl A. Occupational Health and Safety Assessment Series, pp. 1–28, 2007, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20518211>.
- [11] IEC 61701, *Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules*. 2011.
- [12] IEC, *Luminaires – Part 1: General requirements and tests Luminaires*. 2008.
- [13] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 21 Tahun 2012." Jakarta, pp. 1–3, 2012, [Online]. Available: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/528e0-13.permen-esdm-21-2012.pdf.
- [14] W. Anhar, B. Basri, M. Amin, R. Randis, and T. Sulisty, "Perhitungan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Solar System," *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–36, 2018, doi: 10.32487/jst.v4i1.449.
- [15] S. R. Hikmawan and E. A. Suprayitno, "Rancang Bangun Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) Menggunakan Solar Panel Berbasis Android (Aplikasi Di Jalan Parkiran Kampus 2 Umsida)," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.)*, vol. 3, no. 1, pp. 9–17, 2018, doi: 10.21831/elinvo.v3i1.15343.

- [16] E. Ihsanto and M. Dawud, "Sistem Monitoring Lampu Penerangan Jalan Umum menggunakan Mikrokontroler Arduino dan Sensor LDR dengan Notifikasi SMS," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 7, no. 2, pp. 101–105, 2016, [Online]. Available: <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jte/article/view/831/695>.
- [17] H. R. Iskandar, A. Purwadi, A. Rizqiawan, and N. Heryana, "Prototype development of a low cost data logger and monitoring system for PV application," 2017, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904864.
- [18] H. R. Iskandar, S. Basuki, M. R. Hidayat, A. Daneraici Setiawan, D. Rukanda, and S. U. Prini, "Wireless Telemetry for Real-time Monitoring of Photovoltaic Application System using Monopole Antenna 3DRobotics Radio 915 MHz," *2019 IEEE 13th Int. Conf. Telecommun. Syst. Serv. Appl.*, pp. 277–281, Oct. 2019, doi: 10.1109/TSSA48701.2019.8985518.
- [19] H. R. Iskandar, S. Sambasri, D. I. Saputra, N. Heryana, A. Purwadi, and Marsudiono, "IoT Application for On-line Monitoring of 1 kWp Photovoltaic System Based on NodeMCU ESP8266 and Android Application," in *Proceedings of the 2nd International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems: Towards Sustainable and Reliable Power Delivery, ICHVEPS 2019*, Oct. 2019, pp. 230–234, doi: 10.1109/ICHVEPS47643.2019.9011154.
- [20] H. R. Iskandar, E. Juniarto, and N. Heryana, "Sistem Monitoring Cerdas pada Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel dan Aplikasi Blynk Server," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 17, no. 2, p. 94, Dec. 2018, doi: 10.26874/jt.vol17no2.82.
- [21] M. Stocks, A. Blakers, C. Cheng, and B. Lu, "Towards 100% renewable electricity for Indonesia: The role for solar and pumped hydro storage," in *2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power and Energy, TPEPE 2019*, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/IEEECONF48524.2019.9102581.
- [22] H. R. Iskandar, *Praktis Belajar Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish, 2020.