



Kevin Panggabean¹
Michael Devando
Sembiring Meliala²
Johanes Ndruru³
I Nyoman Setiawan⁴
I Gusti Agung Putu
Raka Agung⁵

RANCANG BANGUN PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA POLA ATAP DILENGKAPI SISTEM MONITOR BERBASIS IOT DI TRANS STUDIO MALL DENPASAR

Abstrak

Di Indonesia, sebagian besar pasokan energi listrik masih bergantung pada sumber tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara, yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Pengembangan energi terbarukan (EBT) menjadi solusi penting untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis kinerja sistem PLTS melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan dalam kondisi tanpa beban dan setelah diberi beban lampu 18 W dan micro USB B 5 W. Hasil kajian ekonomis juga dihitung berdasarkan perbandingan dari nilai investasi dan nilai keuntungan yang didapatkan. Pengukuran dilakukan dengan mengatur sudut kemiringan panel surya sebesar 13° , serta mengukur beberapa parameter, seperti tegangan pada panel surya, tegangan baterai, tegangan keluaran DC, dan perhitungan daya output dari modul surya. Selain itu, dilakukan monitor pada output AC dengan mengukur tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan menggunakan sistem IoT serta mengukur tingkat error sensor menggunakan rumus APE dan MAPE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa purwarupa PLTS ini mampu menghasilkan rata-rata tegangan sebesar 24,76 V DC dan 223,7 V AC sebelum diberi beban. Pengujian pengaruh pembebanan dengan memasang lampu 18 W dan micro USB B 5 W menghasilkan rata-rata tegangan 23,56 V DC dan 218 V AC, dengan rata-rata arus 0,085 A dan daya 18,57 Watt. Perhitungan MAPE pada sensor PZEM-004T menunjukkan nilai sebesar 0,18%. Berdasarkan analisis data, purwarupa ini menunjukkan kinerja yang baik dalam menghasilkan energi listrik dari sumber surya, serta mampu mendukung kebutuhan listrik di lokasi penelitian dengan kestabilan tegangan yang minimal. Nilai investasi yang diperlukan sebesar Rp. 1,847,988,851. Dalam 1 tahun, keuntungan yang didapatkan sebesar Rp. 412.206.475, sehingga dapat balik modal di tahun ke 7.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, PLTS, Internet of Things (IoT).

Abstract

In Indonesia, the majority of electricity supply still relies on non-renewable sources such as petroleum and coal, which have negative impacts on the environment and public health. The development of renewable energy (RE) is an essential solution to reduce greenhouse gas emissions. Solar, wind, hydropower, and geothermal energy offer sustainable alternatives. Solar Power Plants (PLTS) are promising technologies for harnessing solar energy. This research aims to design and build a prototype of a solar power plant based on the Internet of Things (IoT) on the roof of Trans Studio Mall Bali. This study employs a quantitative method to analyze the performance of the PLTS system by measuring voltage, current, and power generated under no-load conditions and after applying loads of an 18 W light bulb and a 5 W adapter. The economic feasibility study is also conducted by comparing investment costs and the profit generated. Measurements were taken by setting the solar panel tilt angle to 13° and measuring several parameters, such as the voltage at the solar panel, battery voltage, DC output voltage, and the output power of the solar module. Additionally, monitoring of the AC output was conducted by measuring voltage, current, and power using the IoT system, and the sensor error rate was measured using the APE and MAPE formulas. The results of the study show that the PLTS

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
 email michaeldevando2002@gmail.com, setiawan@unud.ac.id, rakaagung@unud.ac.id

prototype was able to generate an average voltage of 24.76 V DC and 223.7 V AC before loading. The testing of load effects by attaching an 18 W light bulb and a 5 W adapter resulted in an average voltage of 23.56 V DC and 218 V AC, with an average current of 0.085 A and power of 18.57 Watts. The MAPE calculation on the PZEM-004T sensor showed a value of 0.18%. Based on the data analysis, the prototype demonstrated good performance in generating electrical energy from solar sources and was able to support the electricity needs at the research location with minimal voltage instability. The required investment value is IDR 1,847,988,851. In one year, the profit generated is IDR 412,206,475, allowing the investment to break even in the 7th year.

Keywords: Renewable Energy, Solar Power Plant (PLTS), Internet of Things (IoT).

PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu kebutuhan vital manusia terutama pada sektor kebutuhan rumah tangga dan industri. Energi listrik bisa diperoleh dari dua jenis energi yakni energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara masih digunakan sebagai sumber energi listrik di Indonesia yang secara langsung atau tidak langsung hal ini mengakibatkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup karena sisa pembakaran energi fosil ini menghasilkan zat-zat pencemar yang berbahaya. Untuk itu, pemerintah terus mengembangkan energi alternatif diantaranya energi terbarukan. Energi Baru dan Terbarukan (EBT) merupakan energi yang bersumber dari alam dan dapat digunakan secara berkelanjutan. EBT dapat bersumber dari tenaga surya, tenaga panas bumi, tenaga laut, dan tenaga air. Sumber-sumber energi ini diperoleh dari sumber daya alam yang dapat diperbarui dalam periode waktu yang relatif singkat atau memiliki siklus yang panjang sehingga dapat diandalkan untuk jangka waktu yang lama. Salah satu cara pemanfaatan energi terbarukan adalah pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Bali yang terletak di wilayah tropis, memiliki cahaya matahari yang melimpah sepanjang tahun, menjadikannya lokasi yang ideal untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Terutama selama musim kemarau, intensitas sinar matahari di Bali sangat tinggi, mendukung produksi energi surya yang optimal. Pemerintah Provinsi Bali dan pemerintah daerah secara aktif mendukung perkembangan PLTS. Banyak resort, hotel, mal, dan fasilitas pariwisata lainnya telah memasang panel surya untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan listrik mereka. Tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan sektor pariwisata. Menurut RUEN, Provinsi Bali memiliki target untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 8,62%, atau setara dengan 108,2 MW dari total potensinya yang mencapai 1.254 MW sedangkan menurut Dewan Energi Nasional (DEN) pada tahun 2025, Provinsi Bali diperkirakan hanya berhasil memanfaatkan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebanyak 11,15%, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 20,50% pada tahun 2050 (DEN, 2019). Saat ini, kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang telah terpasang di Bali masih mencapai 3,44%, yang merupakan persentase dari target yang ditetapkan oleh Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sebesar 108 MW pada tahun 2025. Bali memiliki potensi energi surya sebesar 5,3 kWh/m²/hari, yang membuatnya salah satu provinsi di Indonesia yang diharapkan dapat mengembangkan pemanfaatan energi surya. Agar Provinsi Bali dapat mencapai target tersebut, Pemerintah Bali perlu memprioritaskan pembangunan PLTS dengan total kapasitas sebesar 17,38 MWp per tahun hingga mencapai tahun 2025 (Pawitra, dkk. 2020). Demi mewujudkan hal tersebut, peneliti merencanakan pembangkit listrik tenaga surya dengan memanfaatkan lokasi di Trans Studio Mall Denpasar.

Trans Studio Mall Bali terletak di Jalan Imam Bonjol, Pemecutan Klod, Denpasar Barat. Trans Studio Mall Bali dimiliki dan dikembangkan oleh CT Corp melalui salah satu anak perusahaannya. Trans Studio Mall menyuguhkan beberapa hiburan dan tempat perbelanjaan guna menyediakan keperluan masyarakat di Provinsi Bali. Bangunan atap TSM Bali memiliki volume atap dengan luas 10.895 m² yang dilengkapi dengan insulation. Dilihat dari bentuk atap Trans Studio Mall Denpasar, atap mall ini sangat efisien untuk dilakukan pemasangan panel surya karena bentuknya yang miring dan datar serta tidak ada penghalang di sekitar gedung. Maka dari itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian Rancang Bangun Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pola Atap dengan Sistem Berbasis IoT pada Trans Studio Mall Denpasar guna mendukung pembangunan PLTS dalam mencapai target RUEN pada tahun 2025 sekaligus untuk mengurangi biaya operasional di Trans Studio Mall Denpasar setiap bulannya.

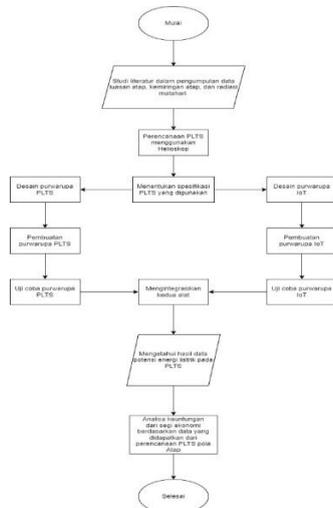
Dalam penelitian ini, peneliti fokus pada pengembangan PLTS Berkendali Internet of Things (IoT) serta pembuatan perencanaan PLTS berdasarkan pola atap menggunakan Helioskop. Tujuan utamanya adalah meningkatkan efisiensi waktu pada pembangkit listrik yang bisa dimonitoring secara langsung menggunakan nirkabel. Dengan perencanaan pola atap PLTS, peneliti berharap bisa mengetahui potensi daya energi terbarukan yang bisa dibangkitkan di Trans Studio Mall Denpasar. Sedangkan melalui IoT, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kemudahan dalam memonitor kinerja PLTS yang dapat dipantau secara online. Penelitian ini sejalan dengan penerapan dari pengembangan teknologi di era revolusi industri 4.0 yang bertema Internet of Things di mana saat ini IoT tengah dikembangkan di hampir semua aspek kehidupan masyarakat (Firdaus, dkk 2020).

Berdasarkan penjelasan di atas, upaya untuk menerapkan EBT di Trans Studio Mall Bali, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan atap yang terbuka dengan rencana pembuatan purwarupa PLTS dilengkapi sistem monitor berbasis IoT yang didesain pada Software Helioscope. Panel yang digunakan yaitu panel 100 WP yang terhubung ke SCC, Baterai, dan inverter dengan output beban 23 Watt. Dalam monitor sendiri, digunakan mikrokontroler ESP 32 yang terhubung dengan PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus dan daya yang dapat dipantau melalui aplikasi blynk melalui jaringan internet.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis kinerja sistem PLTS melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan dalam kondisi tanpa beban dan setelah diberi beban lampu 18 W dan micro USB B 5 W. Sumber data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah dengan melakukan metode observatif, kepustakaan, serta kuantitatif. Penelitian secara observatif akan dilakukan dengan melakukan survei ke lokasi penelitian yaitu di Trans Studio Mall Denpasar untuk mengetahui data beban energi serta kemiringan atap. Menggunakan Software Helioscope untuk mengetahui berapa banyak panel surya serta spesifikasi yang cocok dipasang pada lokasi penelitian.

Tahapan Penelitian



Gambar 1. Flowchart Rancangan Penelitian Capstone Project

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Software Helioscope

Perhitungan Potensi PLTS Atap Di Gedung Trans Studio Mall Denpasar Menggunakan Software Helioscope

Dalam menghitung potensi PLTS Atap di gedung Trans Studio Mall Denpasar maka ditentukan terlebih dahulu titik atap yang ditentukan. Pada Trans Studio Mall Denpasar ini menggunakan atap sebelah barat yang di mana memiliki elevasi kemiringan yang cukup memungkinkan untuk penggunaan PLTS. Selain itu juga akan mempermudah maintenance ketika terjadinya kerusakan. Setelah menentukan daerah luas, lalu memasukan modul PLTS yang akan digunakan. PLTS yang dipilih untuk project ini yaitu modul surya Zhejiang Ganghang Solar, GH200P48 (200WP). Pemilihan Modul panel 200 WP ini didasari dari segi efisiensi yang baik dan dimensi 1.636 m persegi sehingga bisa memaksimalkan nilai energi yang dihasilkan serta memaksimalkan luas atap dari Trans Studio Mall Denpasar. Selain itu, Software Helioscope tidak memiliki library panel 100 WP sehingga panel yang dipilih adalah

panel 200 WP.

Dari hasil running didapatkan daya puncak (Watt-peak) yaitu sebesar 240 kW dengan menggunakan modul sebanyak 1200 buah. Digunakan 2 buah inverter dengan total sebesar 150 kW dan load ratio 0.96. Maka didapatkan produksi tahunan dari PLTS ini yaitu sebesar 355 MWh dengan performance ratio sebesar 73%.

Pengukuran Purwarupa PLTS

Data Hasil Observasi

Tercatat radiasi matahari sebesar 1.918 kWh per tahun atau setara dengan 5.256 W/m² per hari atau 751 W/m² per jam.

Pengujian PLTS Tanpa Beban

Tabel 1. Rata – Rata Pengujian PLTS Tanpa Beban

Hari ke-	Rata – Rata Pengujian	
	Tegangan DC (V)	Tegangan AC (V)
1	24,74	223,7
2	24,74	223,6
3	24,76	223,7
Rata - rata	24,75	223,7

Hasil pengukuran menunjukkan tegangan tertinggi yaitu 225 VAC dan terendah 222 VAC dengan rata-rata tegangan yaitu 223,7 VAC. Terlihat bahwa tegangan pada sistem PLTS mengalami fluktuasi berdasarkan tabel data pengujian di atas. Hal ini disebabkan karena terjadinya perubahan suhu di mana semakin rendah suhu, maka semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya, di mana semakin tinggi suhu maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan. Selain itu, sudut elevasi matahari juga berpengaruh pada fluktuasi tegangan karena beban puncak radiasi matahari berada pada pukul 12.00 – 15.00. Hal ini terbukti dengan tegangan tertinggi berada pada jam 12.00 – 15.00.

Pengujian PLTS Berbeban

Tabel 2. Rata – Rata Parameter Pengujian

Rata – Rata Pengujian				
Hari ke-	Tegangan DC Panel (V)	Tegangan AC Inverter (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	23,56	218	0,084	18,3
2	23,53	218,14	0,084	18,4
3	23,6	218	0,087	19
Rata – rata	23,56	218	0,085	18,57

Tegangan pada PLTS dan tegangan pada inverter mengalami penurunan setelah dihubungkan dengan beban. Hal ini disebabkan oleh hukum dasar kelistrikan yaitu hukum Ohm dan hukum kelistrikan. Menurut hukum Ohm, tegangan (V) berbanding terbalik dengan resistansi (R) dan berbanding lurus dengan arus (I) yang mengalir di rangkaian ($V = I \times R$). Saat beban meningkat, resistansi efektif dalam rangkaian juga dapat meningkat, menyebabkan tegangan pada resistor tersebut meningkat. Namun, karena Hukum Ohm menetapkan hubungan terbalik antara tegangan dan resistansi, peningkatan resistansi akan menurunkan tegangan. Oleh karena itu, dengan bertambahnya beban dalam rangkaian, tegangan cenderung menurun dan arus cenderung meningkat, efek ini dipengaruhi oleh hukum Ohm dan hukum kelistrikan dalam kelistrikan. Hasil pengukuran menunjukkan data tegangan, arus dan daya tertinggi yaitu 219 VAC dengan arus sebesar 0,09 A dan daya sebesar 19,71 W sedangkan tegangan, arus dan daya terendah yang didapatkan yaitu 216 VAC dengan arus sebesar 0,09 dan daya sebesar 19,44 W.

Pengujian Baterai Tanpa Beban

Tegangan pada baterai mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena baterai dihubungkan ke inverter sehingga terjadi pergerakan ion-ion dalam elektrolit untuk menghasilkan listrik. Seiring penggunaannya, kapasitas energi yang disimpan semakin berkurang. Penurunan energi ini yang menyebabkan tegangan baterai berkurang.

Pengujian Baterai Berbeban

Tabel 3. Pengujian Baterai Tanpa Beban

Waktu	Tegangan DC ACCU (V)	Tegangan AC Inverter (V)	Arus (I)	Daya (W)
18.00	23,8	221	0,08	17,68
19.00	23,6	221	0,08	17,68
20.00	22,4	220	0,08	17,6
21.00	21,7	220	0,08	17,6
22.00	21,2	219	0,09	19,71
23.00	20,4	218	0,09	19,62
Rata – Rata	22,8	219,8	0,08	18,32

Berdasarkan tabel 3 hasil pengukuran di atas, terlihat bahwa tegangan pada baterai mengalami penurunan. Penurunan tegangan cenderung lebih signifikan dibanding tidak terhubung dengan beban. Selain itu, durasi waktu baterai yang terhubung ke beban hanya mampu bertahan selama 6 jam. Berbeda dengan baterai yang tidak terhubung dengan beban yang mampu bertahan hingga 7 jam. Hal ini disebabkan karena baterai harus menyediakan energi dalam bentuk arus listrik untuk menjalankan beban tersebut. Pergerakan ion-ion dalam elektrolit untuk menghasilkan listrik bekerja lebih ekstra. Seiring penggunaannya, kapasitas energi yang disimpan semakin berkurang. Hal ini bisa dilihat seiring menurunnya tegangan pada inverter.

Analisis Perhitungan PLTS Berdasarkan Hasil Uji Coba

Dari hasil pengujian sistem PLTS yang sudah dilakukan di lokasi penelitian, selanjutnya dilakukan analisis perhitungan hasil pengujian purwarupa PLTS. Hasil perhitungan menunjukkan daya keluaran panel yaitu sebesar 53,4 Watt. Energi yang dapat dihasilkan yaitu sebesar 0,373 kWh selama 7 jam. Kemudian didapatkan jumlah modul surya yang akan digunakan pada PLTS Trans Studio Mall ini sekitar 2.044 buah modul. Namun, hal ini belum dikurangi jarak yang diperlukan antar panel untuk mempermudah ketika adanya perbaikan atau perawatan panel surya. Dan juga, ukuran yang dipakai pada jumlah modul surya ini adalah panel surya 200 wp atau yang sesuai berdasarkan perhitungan Helioscope.

Perbandingan Hasil Software Helioscope dengan Hasil Uji Coba Sistem PLTS

PLTS yang peneliti rencanakan hanya mampu mencatu sekitar 2,69% dari kebutuhan daya bulanan Trans Studio Mall Bali. Sehingga, PLTS peneliti dapat digunakan sebagai sebagian kecil dari kebutuhan listrik tertentu, seperti penerangan atau sistem pendukung lainnya.

Pengujian Prototype Sistem Monitor dan Kendali PLTS Berbasis IoT di Lokasi Penelitian

A. Pengujian dan pembahasan ESP 32, Sensor PZEM-004T dan Aplikasi Blynk

Hasil uji konektivitas ESP 32 dengan jaringan Wi-Fi dapat dilihat pada gambar 2, pada proses ini ESP 32 mencari jaringan Wi-Fi yang tersedia dan mencoba terhubung ke jaringan yang telah dikonfigurasi (dengan SSID dan kata sandi yang sesuai) dapat dilihat pada gambar 3, Setelah tersambung dengan jaringan WiFi, LCD akan menampilkan "WiFi Connected" lalu dilanjut menampilkan "Sistem ON" yang artinya sistem sudah menyala.



Gambar 2. Koneksi Wifi



Gambar 3. Konektivitas pada Jaringan Wifi dengan ESP 32

Hasil pengujian konektivitas ESP32 ke Blynk berhasil tersambung ke Wi-Fi, aplikasi Blynk menampilkan notifikasi yang menunjukkan status offline atau online lengkap dengan tanggal dan waktu. Ini menandakan bahwa koneksi antara ESP32 dan server Blynk berhasil terjalin. Koneksi ini menggunakan protokol TCP/IP melalui port 8080, memungkinkan ESP32 dan Blynk bertukar data dengan lancar dan tepat. Dengan demikian, setiap perubahan status atau data sensor yang dikirim oleh ESP 32 dapat dipantau melalui aplikasi Blynk, memastikan sistem berfungsi dengan baik.

Setelah ESP 32 dan Blynk terhubung, dilanjutkan dengan pengujian respon waktu ESP32 dalam mentransmisikan data sensor PZEM-004T ke aplikasi Blynk. Pada pengujian ini didapat hasil bahwa interval waktu ESP32 dalam mentransmisikan data dari sensor PZEM-004T ke aplikasi Blynk adalah setiap 1 detik, hal ini dapat dilihat pada nilai dan grafik pada aplikasi Blynk yang selalu berubah – ubah. Hasil ini sesuai dengan code program yang telah dibuat yaitu sebagai berikut:



```
(timer.setInterval(1000, bacaPzem);)
```

Bagian ini mengatur timer untuk memanggil fungsi bacaPzem() setiap 1000 milidetik (1 detik). Ini memastikan bahwa data sensor diperbarui dan dikirim ke Blynk setiap detik.

B. Pengujian dan Pembahasan LCD I2C

LCD dapat menampilkan data terkait tegangan, arus, daya serta energi yang diukur melalui sensor PZEM-004T. Hasil pembacaan LCD juga sesuai dengan apa yang ditampilkan pada Blynk. Hal ini menunjukkan bahwa LCD dapat dipakai untuk memonitor sistem PLTS secara langsung dilapangan.

C. Pengujian Data Logger

Data logger mampu merekam dan menampilkan informasi mengenai tegangan (kolom C), arus (kolom D), daya (kolom E), serta energi (kolom F) yang diukur menggunakan sensor PZEM-004T. Data yang ditampilkan oleh data logger sesuai dengan yang ditampilkan pada aplikasi Blynk. Hal ini membuktikan bahwa data logger dapat digunakan untuk memantau informasi terkait sistem PLTS.

Pengukuran Prototype Sistem Monitor Tanpa Beban

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan pada Sensor PZEM-004T Tanpa Beban Hari ke-3

Waktu	Tegangan (V)
09.00	222,3
10.00	222,5
11.00	223,7
12.00	224,3

13.00	225,3
14.00	225,5
15.00	225,3
Rata – Rata	224,1

Tabel 5. Rata – Rata Parameter Pengujian

Hari ke-	Rata – Rata Pengujian
	Tegangan AC (V)
1	224,1
2	224,2
3	224,1
Rata - rata	224,12

Terjadi fluktuasi tegangan yang tidak terlalu signifikan. Fluktuasi ini disebabkan oleh ketidakstabilan tegangan pada saat pengukuran karena perubahan radiasi matahari yang mempengaruhi hasil pembacaan sensor terhadap tegangan. Suhu ruangan juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran sensor karena sensor PZEM 004T terbilang sensitif terhadap perubahan suhu ruangan.

Pengukuran Prototype Sistem Monitor Berbeban

Tabel 8. Rata – Rata Parameter Pengujian

Hari ke-	Tegangan AC (V)	Arus (I)	Daya (W)
1	218,3	0,084	18,41
2	218,5	0,083	18,11
3	218,4	0,083	18,10
Rata – rata	218,4	0,083	18,30

Dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi tegangan, arus dan daya yang tidak terlalu signifikan. Fluktuasi ini disebabkan oleh ketidakstabilan tegangan pada saat pengukuran karena perubahan beban yang variatif yang mempengaruhi hasil pengukuran sensor. Selain itu, tingkat radiasi matahari yang berubah – ubah mempengaruhi hasil pembacaan sensor terhadap tegangan yang mempengaruhi juga pada stabilitas arus dan daya. Suhu ruangan juga dapat mempengaruhi hasil pengukuran sensor karena sensor PZEM-004T terbilang sensitif terhadap perubahan suhu ruangan.

Analisis Perbandingan Hasil Pengujian Sistem PLTS dengan Hasil Pengujian Sistem Monitor

Tabel 9. Hasil Perbandingan Sensor dan AVO Meter

Waktu	Pengukuran Tegangan Tanpa Beban		Selisih	APE
	AVO Meter	Sensor PZEM-004T		
09.00	222	222,4	0,4	0,18
10.00	222	222,5	0,5	0,23
11.00	223	223,5	0,5	0,22
12.00	224	224,3	0,3	0,13
13.00	225	225,3	0,3	0,13
14.00	225	225,5	0,5	0,22
15.00	225	225,3	0,3	0,13
Rata-rata	223,7	224,1	0,4	0,18

Berdasarkan data tabel 9, hasil uji coba terhadap tegangan listrik antara sensor dengan pengukuran manual didapatkan persentase kesalahan sensor (MAPE) sebesar 0.18%. Persentase nilai kesalahan disebabkan oleh perbedaan suhu dan kelembapan yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran karena sensor PZEM-004T terbilang sensitif terhadap perubahan suhu ruangan sehingga terdapat selisih pengukuran antara sensor dengan AVO Meter. Rata - rata Persentase kesalahan dalam pengujian pengukuran pembacaan tegangan yang terbaca pada

sensor adalah sebesar 0.18%. Nilai kesalahan tersebut masih dalam batas toleransi karena kurang dari 5 (Rizky, 2021). Artinya, sensor dianggap cukup baik dalam melakukan pengukuran pada saat dilakukan uji coba.

Analisis Kajian Ekonomi

Tabel 10. Perhitungan Investasi

Th n	Cash In (Rp)	Cash Out ()	NCF (Rp)	DF (10%)	NCFDF (Rp)	Kumulatif NCFDF (Rp)
1	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.952 4	Rp362,937,4 17	Rp362,937,417
2	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.907	Rp345,636,5 37	Rp708,573,954
3	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.863 8	Rp329,174,0 25	Rp1,037,747,979
4	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.822 7	Rp313,511,7 74	Rp1,351,259,752
5	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.783 5	Rp298,573,5 68	Rp1,649,833,321
6	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.746 2	Rp284,359,4 09	Rp1,934,192,730
7	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.710 7	Rp270,831,1 87	Rp2,205,023,917
8	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.676 8	Rp257,912,6 88	Rp2,462,936,605
9	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.644 6	Rp245,642,0 19	Rp2,708,578,624
10	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.613 9	- Rp396,057,034	Rp2,312,521,590
11	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.584 7	Rp222,815,5 27	Rp2,535,337,117
12	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.556 8	Rp212,183,4 88	Rp2,747,520,605
13	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.530 3	Rp202,084,9 56	Rp2,949,605,561
14	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.505 1	Rp192,481,8 24	Rp3,142,087,385
15	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.481	Rp183,297,8 77	Rp3,325,385,262
16	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.458 1	Rp174,571,2 21	Rp3,499,956,483
17	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.436 3	Rp166,263,7 50	Rp3,666,220,233
18	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.415 5	Rp158,337,3 55	Rp3,824,557,588
19	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.395 7	Rp150,792,0 37	Rp3,975,349,625
20	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.376 9	- Rp486,372,204	Rp3,488,977,420
21	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.358 9	Rp136,768,4 16	Rp3,625,745,836
22	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.341 8	Rp130,252,0 05	Rp3,755,997,841
23	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.325 6	Rp124,078,5 63	Rp3,880,076,403

24	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.310 1	Rp118,171,8 74	Rp3,998,248,2 78
25	415,724,316. 70	34,647,650.0 0	Rp381,076,6 67	0.295 3	Rp112,531,9 40	Rp4,110,780,2 17

Berdasarkan tabel 10 diatas, dapat dilihat bahwa nilai investasi pada PLTS ini akan kembali modal pada tahun ke 16 dengan nilai Rp. 3,499,956,483. Nilai energi tiap tahunnya diasumsikan sama yaitu 355 MWh dan untuk harga energi per 1 kWh diasumsikan sama tiap tahunnya yaitu Rp. 1,171.05 / kWh. Pada tabel 4.26 juga nilai keuntungan yang didapatkan di tahun ke 25 yaitu sebesar Rp. 4.110,780,217

SIMPULAN

1. Hasil Perancangan PLTS pada Software Helioscope di Trans Studio Mall Bali diperoleh data yaitu jumlah modul surya yang dapat diaplikasikan sebanyak 1.200 buah dengan menggunakan panel surya 200 WP sehingga memiliki kapasitas daya sebesar 240 kWh sehingga energi yang didapatkan dalam setahun sebesar 355 MWh.
2. Telah dirancang dan dibangun Purwarupa PLTS menggunakan panel 100 WP yang dihubungkan dengan 2 buah baterai ACCU (dihubungkan seri) serta inverter 24 V DC to 220 V AC. PLTS ini mampu menghasilkan rata – rata tegangan sebelum diberi beban sebesar 24,76 V DC dan 223,7 V AC. Dilakukan pula pengujian pengaruh pembebanan dengan memasang lampu 18 W dan micro USB B 5 Watt didapat nilai rata – rata tegangan yang dihasilkan yaitu 23,56 V DC dan 218 V AC dengan rata – rata arus sebesar 0,085 A dan daya sebesar 18,57 Watt.
3. Output daya pada PLTS ini menghasilkan daya sebesar 374,7 Watt dengan jumlah energi yang dihasilkan sebesar 2,6 kWh selama 7 jam dalam 1 hari. Adapun perbandingan antara perancangan PLTS yang menggunakan 100 WP jika berjumlah 1200 buah maka akan menghasilkan daya sebanyak 124,8 kWh dalam kurun waktu 1 bulan. Dikarenakan modul surya yang digunakan pada perancangan ini hanya 100 wp, maka dikalikan 2 agar modul yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pada Software helioskop yaitu 200 wp. Sehingga didapatkan daya sebesar 249,6 kWh. Perbedaan antara hasil simulasi Helioscope sebesar 240 kW dan hasil uji lapangan sebesar 249,6 kWh dengan selisih 9,6 kWh dan perbedaan sebesar 4%.
4. Perbandingan antara pengukuran tegangan menggunakan alat ukur dan pengukuran menggunakan alat monitoring memiliki selisih yang cukup kecil yaitu sebesar 0,4 Volt di mana ketika diukur menggunakan AVO meter memiliki rata-rata 223,7 V, sedangkan nilai yang tertera pada alat monitor sebesar 224,1 V. Dengan demikian hanya memiliki selisih 0,4 V. Tingkat akurasi sensor dihitung menggunakan rumus APE (Absolut Percentage Error) dengan hasil sebesar 0,18%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor dianggap cukup baik dalam melakukan pengukuran pada saat dilakukan uji coba.
5. Skenario untuk balik modal pada perencanaan PLTS di Trans Studio Mall ini adalah 25 tahun. RAB yang diperlukan untuk perencanaan PLTS ini sebesar Rp. 1,683,049,956. Jika ditambah dengan biaya maintenance maka dalam skenario dalam 25 tahun maka total biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp. 1,847,988,851. Adapun keuntungan dalam energi yang didapatkan pada PLTS dalam setahun adalah Rp. 412.206.475. Jika dihitung, maka investasi PLTS ini akan balik modal pada tahun ke 7 dengan nilai Rp. 1,924,855,842.

DAFTAR PUSTAKA

A,B Syafi, (2022), Rancang Bangun Hardware dan Software Monitor PLTS Pada Pendopo Gedung D Teknik Elektro Berbasis Internet of Things Blynk, Jakarta: Civitas Akademika PNJ,

Adiatma C, Tampubolon P, (2019), Laporan Status Energi Bersih Indonesia:Potensi, Kapasitas Terpasang, dan Rencana Pembangunan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2019, Jakarta

Agai, F., dkk, (2011), Desain Optimization and Simulation of The Photovoltaic Systems on Buildings in Southeast Europe, International Journal of Advances in Engineering & Technology, 1:5: 58-68,

Alipudin, A, M, (2018), Rancang Bangun Alat Monitor Biaya Listrik Terpakai Berbasis Internet of Things (IOT), Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro, 1(1),

- Amalina, S., Wahid, F., Satriadi, V., Farhani, F, S., & Setiani, N, (2017), Rancang Purwarupa Aplikasi UniBook Menggunakan Metode Pendekatan Design Thinking, In Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI),
- Amin, Sohrab (2021), A new experimental and modeling strategy to determine asphaltene precipitation in crude oil, 162-173,
- Ashari, M, A., & Lidyawati, L, (2018), IOT Berbasis Sistem Smart Home Menggunakan NodeMcu V3, Jurnal Kajian Teknik Elektro, 3(2), 138–149,
- Dickysosd, (2019), Jenis Kabel Jumper, Retrieved by <https://dickysosd.blogspot.com/2018/01/jenis-kabel-jumper.html>
- Duffie, J, A., Beckman, W, A., & Blair, N, (2020), Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind, In Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind (5th ed.),
- Duka, Eric Timotius Abit; Setiawan, I Nyoman, (2018), Weking, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Area Parkir Gedung Dinas Cipta Karya, Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Badung,”, E- Journal Spektrum,5(5):2,
- Erwanto, D., Widhining K., D, A., & Sugiarto, T, (2020), Sistem Pemantauan Arus Dan Tegangan Panel Surya Berbasis Internet of Things, Multitek Indonesia,14(1), 1,
- Fachri, M, R., Sara, I, D., & Away, Y, (2015), Pemantauan Parameter Panel Surya Berbasis Arduino Secara Real Time, Jurnal Rekayasa Elektrika, 11(4), 123,
- Hasnawiya Hasan (2012), Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi, Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK), (Vol 10, No 2),
- Hutajulu, A, G., Siregar, M, R., & Pambudi, M, P, (2020), Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol, TESLA: Jurnal Teknik Elektro, 22(1), 23-33,
- Hasanah, T, Koerniawan, Dan Yuliansyah, (2018), Kajian Kualitas Daya Listrik PLTS Sistem Off-Grid Di STT-PLN, Jurnal Energi & Kelistrikan, (Vol, 10,No, 2,)
- Jieb, Y, A., & Hossain, E, (2021), Photovoltaic Systems: Fundamentals and Applications, Springer International Publishing,
- Kuongshun, (2023), MAX485 TTL RS485 Converter Modul, Retrieved by <https://id.szkskuongshun.com/uno/uno-board-shield/max485-ttl-to-rs485-Converter-module.html>
- Lez-Arjona, D, G., González, E, R., López-Pérez, G., & P., M, M, D, (2013), An Improved Galvanostat for the Characterization of Commercial Electrochemical Cells, Journal of Laboratory Chemical Education, 1(2), 11–18
- Mardjun, I., Abdussamad, S., & Abdullah, R, K, (2018), Rancang Bangun Solar Tracking Berbasis Arduino Uno, Teknik Elektro, 1(2), 19–24,
- M, Sitohang, (2019), Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Off-Grid System: Riau,
- Muzakir, A, (2023), Sistem Monitor Daya Listrik Internet of Things (IOT) Menggunakan Algoritma Fuzzy Logic Sugeno dan Firebase Berbasis Android, Bachelor's Thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN SyarifHidayatullah Jakarta,
- Nanda, Supriyanto, A., & Maulan, Y, M, (2016), Rancang Bangun Sistem Informasi Monitor Dan Evaluasi Pembangunan Sarana Dan Prasarana Pada Dinas Perhubungan Kota Surabaya, Jsika, 5(7), 7–25,
- Orioli, A., & Di Gangi, A, (2014), Review Of The Energy And Economic Parameters Involved In The Effectiveness Of Grid-Connected PV Systems Installed In Multi-Storey Buildings, Applied Energy, 113, 955-969,
- Pawitra, A, A, G, A., Kumara, I, N, S., & Ariastina, W, G, (2020), Review Perkembangan PLTS di Provinsi Bali Menuju Target Kapasitas 108 MW Tahun 2025, Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 181,
- Putra, R, P, W., Mukhsim, M., & Rofi'i, F, (2019), Sistem Pemantauan dan Pengendalian Modul Automatic Transfer Switch (ATS) Melalui Android Berbasis Arduino, TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol,
- Rafli, Ilham, J., & Salim, S, (2022), Perencanaan dan Studi Kelayakan PLTS Rooftop pada Gedung Fakultas Teknik UNG, Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 4(1), 8–15,
- Rahayuningtyas, A, (2014), Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan dan Energi Terbarukan, Prosiding ANaPP Sains,

- Teknologi, dan Kesehatan, 223–230,
- Ramadhani, B., Suryani, A., Fadhillah, A, P., Saicu, P., & Mubarak, H, (2018), Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ),
- Redweik, P., Catita, C, & Brito, M., (2013), Solar Energy Potential On Roofs And Facades In An Urban Landscape, *Solar Energy*, 97(332–341), SolarGis, SolarGis PVPlanner,
- Rizkasari, D., Wilopo, W., & Ridwan, M, K, (2020), Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Untuk Plts Di Kantor Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan Dan Energi Sumber Daya Mineral (Pup-Esdm) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, *Journal of Appropriate Technology for Community Services*, 1(2), 104-112,
- Rizaldi, R., & Djufri, S, U, (2018), Perancangan ATS (Automatic Transfer Switch) Satu Fase Menggunakan Kontrol Berbasis Relay dan Time Delay Relay (TDR), *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 1(2), 59,
- Rizky, M., Wartana, I., M., Sulistiawati, I., B, Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Dan Biaya Konsumsi Listrik Berbasis ATMEGA2560, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Nasional Malang, Malang,
- Shiddieqy, R, H, A., Saputro, B, A., Dandha, F, O., & Rusdiyana, L, (2020), Automated Pet Feeder Using 3D Printer with Opened Source Control System, *IPTEK, The Journal of Engineering*, Vol, 6, No, 3, 2020 (eISSN: 2337-8557),
- Sumariana, I, K., Kumara, I, N, S., & Ariastina, W, G, (2019), Desain dan Analisa Ekonomi PLTS Atap untuk Villa di Bali, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 18(3), 337-346,
- Usman, M, K, (2020), Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik yang Dihasilkan Panel Surya, *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), 52- 57,
- Wicaksana, M,R., I,N,S, Kumara, I,A,D Giriantari, dan R, Irawati, (2019), Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop 158 KWP pada Kantor Gubernur Bali: Bali