

RANCANG BANGUN PLTS SEBAGAI SUPLAI TENAGA SMART CONTROL SYSTEM ELEKTROLISIS AIR HUJAN DI SMAN 1 MENGWI

Nyoman Danu Tri Damarta¹, I Gusti Agung Putu Raka Agung²,
I Nyoman Budiastira³, Yoga Divayana⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3,4}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kab. Badung, Bali 80361

danutridamarta22@gmail.com, rakaagung@unud.ac.id, budiastra@unud.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi terbarukan menjadi solusi untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem PLTS sebagai sumber daya bagi *Smart Control System* dalam sistem elektrolisis air hujan di SMAN 1 Mengwi. Pengujian dilakukan terhadap *Peak Sun Hours (PSH)* untuk menilai efektivitas penyerapan energi matahari serta kapasitas daya baterai untuk memastikan keberlanjutan operasional sistem. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai *PSH* sesuai dengan data *Global Solar Atlas*, dengan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* sebesar 6,163%, yang masuk kategori Sangat Baik. Selain itu, sistem mampu menyuplai energi sebesar 27,265 Wh per hari, sehingga memungkinkan operasional selama 10 hari tanpa pengisian ulang. Hal ini membuktikan bahwa PLTS dapat menjadi sumber energi yang andal bagi *Smart Control System*, sekaligus mendukung efisiensi energi dengan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Implementasi sistem ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam penerapan energi hijau di lingkungan sekolah dan memberikan kontribusi terhadap penggunaan energi terbarukan secara lebih luas.

Kata kunci: PLTS, *Smart Control System*, *Peak Sun Hours*, *MAPE*, Baterai

ABSTRACT

The use of Solar Power Plants (PLTS) as a renewable energy source is a solution to support energy efficiency and sustainability. This study aims to design and evaluate a PLTS system as the power source for a Smart Control System in the rainwater electrolysis system at SMAN 1 Mengwi. The evaluation includes Peak Sun Hours (PSH) to assess solar energy absorption efficiency and battery capacity to ensure system continuity. The results indicate that the PSH values align with Global Solar Atlas data, with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 6.163%, categorized as Very Good. Additionally, the system can supply 27.265 Wh per day, allowing 10 days of operation without recharging. These findings confirm that the PLTS system is a reliable energy source for the Smart Control System, supporting energy efficiency while reducing reliance on conventional electricity. The implementation of this system is expected to promote green energy adoption in schools and contribute to broader renewable energy utilization.

Key Words: *Solar Power Plant, Smart Control System, Peak Sun Hours, MAPE, Battery*

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan menjadi perhatian utama dalam upaya global menghadapi perubahan iklim serta mengurangi

ketergantungan pada sumber energi fosil yang terbatas dan cadangan gas bumi yang semakin menipis. Salah satu solusi potensial dalam penyediaan energi

berkelanjutan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Kementerian ESDM menargetkan pemasangan PLTS sebesar 3,6 Giga Watt pada tahun 2025. PLTS memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi yang bersih dan melimpah untuk menghasilkan listrik. Dengan kemajuan teknologi panel surya dan sistem konversi energi, PLTS kini menjadi sumber daya yang efisien dan ramah lingkungan. Penggunaan PLTS semakin luas di berbagai negara, baik untuk pembangkit listrik skala besar maupun pemanfaatan rumah tangga. PLTS memiliki peran krusial dalam diversifikasi sumber energi, menekan emisi karbon, serta mempercepat transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan[1] .

Sistem PLTS ini memanfaatkan sinar matahari yang mana akan diubah menjadi energi listrik karena terdiri dari bahan semikonduktor dimana terdapat sel fotovoltaik [2]. Penggunaan sistem PLTS biasanya digunakan untuk menyediakan daya untuk sistem yang memiliki waktu kerja 24 jam agar menghemat energi sehingga dapat menekan biaya operasional sebuah alat maupun sistem. Salah satunya pemanfaatannya untuk menyediakan daya untuk *Smart Control System* pada SMAN 1 Mengwi yang mana beroperasi selama 24 jam. *Smart Control System* ini merupakan suatu sistem untuk memantau sekaligus mengontrol jalannya panen air hujan sampai menjadi air minum. Kebaruan pada penelitian ini terdapat pada otomatisasi cara memanen air dan penggunaan PLTS sebagai penunjang daya dari sistem *Smart Control System* ini..

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2024 di SMAN 1 Mengwi, Tujuan penelitian ini adalah untuk membangun sistem PLTS untuk *Smart Control System* serta melakukan pengujian pada *Peak Sun Hours (PSH)* dan Pengujian terhadap penggunaan daya terhadap 8 kondisi sistem. Pengukuran PSH dilakukan karena mayoritas waktu kerja alat saat musim hujan sehingga perlu dilakukan pengukuran ulang dengan menggunakan prakiraan di *website global solar atlas*. Selain pengaruh dari iradiasi

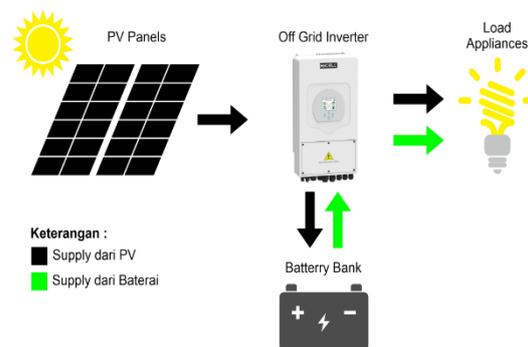
matahari yang mempengaruhi pembangkitan energi, terdapat pengaruh lain dari waktu kerja dari 8 kondisi alat *Smart Control System* hal ini karena kondisi air hujan yang tidak menentu setiap harinya, dimana ini akan mempengaruhi jam operasional setiap kondisi per harinya.

Berdasarkan pertimbangan yang telah dijabarkan pada penelitian ini kami ingin membangun sebuah sistem PLTS yang mampu mendukung kedua kondisi tersebut dimana menggunakan skenario 1 siklus elektrolisis per harinya untuk memenuhi kebutuhan air minum warga SMAN 1 Mengwi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik umum. Seperti Gambar 1 energi matahari yang diserap oleh panel surya dikonversi menjadi listrik dan disimpan dalam baterai untuk digunakan saat dibutuhkan, termasuk saat malam hari atau saat cuaca mendung. Sistem ini umumnya diterapkan di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik PLN atau di lokasi yang memerlukan pasokan listrik independen. PLTS *Off-Grid* menjadi solusi efektif untuk menyediakan energi bersih dan terbarukan di wilayah yang sulit dijangkau listrik konvensional [3].



Gambar 1. Sistem Off-Grid

2.2 Tingkat Penyinaran Matahari

Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar karena letaknya di wilayah tropis. Rata-rata intensitas penyinaran

matahari harian di Indonesia mencapai sekitar 4,5 hingga 4,8 kWh/m² per hari. Berdasarkan data dari *Global Solar Atlas*, di SMAN 1 Mengwi tercatat memiliki tingkat iradiasi harian global sebesar 5,1 kWh/m² per hari seperti Gambar 2, menunjukkan potensi energi surya yang optimal di wilayah tersebut [4].

SITE INFO			
Map data		Per day	
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	4.157	kWh/kWp per day
Direct normal irradiation	DNI	3.982	kWh/m ² per day
<input checked="" type="checkbox"/> Global horizontal irradiation	GHI	5.150	kWh/m ² per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.305	kWh/m ² per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	5.228	kWh/m ² per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	11 / 0	°
Air temperature	TEMP	25.3	°C
Terrain elevation	ELE	N/A	

Gambar 2. Waktu Penyinaran Optimal SMAN 1 Mengwi

2.3 Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan perangkat elektronik yang berperan dalam mengontrol aliran arus searah yang masuk ke baterai serta yang dialirkan ke beban. Alat ini berfungsi untuk mencegah terjadinya kelebihan pengisian (*overcharging*) saat baterai telah penuh serta menghindari lonjakan tegangan berlebih yang berasal dari panel surya atau sel surya tampak alat dapat dilihat pada Gambar 3[5].



Gambar 3. Solar Charge Controller

2.4 Baterai

Dalam sistem PLTS, baterai berfungsi sebagai media penyimpanan sementara untuk energi listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik pada siang hari. Sebagai salah satu komponen utama dalam PLTS *off-grid*, baterai memiliki peran krusial dalam menjaga ketersediaan energi, terutama saat

intensitas cahaya matahari berkurang atau di malam hari. Dibandingkan baterai *lithium ion* biasa, *LifePO4* menawarkan ketahanan lebih baik terhadap *overcharging* dan *overheating*, sehingga meminimalkan risiko kebakaran atau ledakan. Selain itu, baterai ini memiliki umur pakai yang lebih panjang dengan siklus pengisian dan pengosongan mencapai ribuan kali, menjadikannya pilihan yang andal untuk penggunaan jangka panjang, tampak alat bisa dilihat pada Gambar 4 [6].



Gambar 4. Baterai LifePO4

2.5 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan antara nilai aktual (hasil observasi) dan nilai prediksi atau acuan. Nilai *MAPE* dinyatakan dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan dalam mengevaluasi sejauh mana deviasi relatif antara hasil pengukuran dan nilai referensi. Metode ini sering digunakan untuk menilai akurasi model prediksi atau peramalan, rumus perhitungan *MAPE* dapat dilihat pada Persamaan 1[7].

$$\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (1)$$

Setelah mendapatkan nilai *MAPE* pengukuran dibandingkan dengan nilai di *website global solar atlas* maka bisa dilihat pada tabel indikator *MAPE* pada Tabel 1, termasuk ke kategori mana pengukuran yang dilakukan.

Tabel 1. Indikator MAPE [7]

Range MAPE	Arti
------------	------

< 10%	Prakiraan Di <i>Website Global Solar Atlas</i> Sangat Baik
10 - 20 %	Prakiraan Di <i>Website Global Solar Atlas</i> Baik
20 - 50 %	Prakiraan Di <i>Website Global Solar Atlas</i> Layak
>50 %	Prakiraan Di <i>Website Global Solar Atlas</i> Buruk

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun alur penelitian PLTS pada SMAN 1 Mengwi dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 5:

Langkah 1. Identifikasi Masalah

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah yang mana dibutuhkan sumber energi PLTS yang dapat berfungsi untuk menjadi catu daya *Smart Control System*, yang mana pada penelitian terdahulu yang serupa tidak menggunakan *Smart Control System* dan juga PLTS.

Langkah 2. Studi Literatur

Melakukan studi literatur tentang cara kerja setiap komponen serta melakukan perancangan dan realisasi pada PLTS, serta mencari pengujian yang akan mendukung optimalisasi PLTS.

Langkah 3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan seperti mencari prakiraan *PSH* pada SMAN 1 Mengwi yang nanti akan digunakan untuk sebagai nilai pembanding pada perhitungan *MAPE*, datasheet daya setiap komponen yang akan diberi daya oleh PLTS.

Langkah 4. Perancangan dan Realisasi Sistem

Setelah mendapatkan data selanjutnya akan dilakukan perancangan PLTS sesuai

dengan data yang didapatkan seperti wattpeak panel surya dan kapasitas baterai:

Perhitungan Wattpeak Panel

$$\frac{\text{Total Energi (Wh)}}{\text{Waktu Optimal Penyinaran (jam)}} \quad (2)$$

Dikarenakan beban yang digunakan sebesar 133,2 Wh maka dengan informasi *PSH* di SMAN 1 Mengwi sebesar 5,1 kWh/m² maka didapatkan hasil 26,11 karena dipasaran yang nilai yang mendekati adalah 30 Wp maka digunakan panel yang berkapasitas 30 Wp[8].

Perhitungan Kapasitas Baterai

$$C = \frac{Ed}{Vs \times DOD} \quad (3)$$

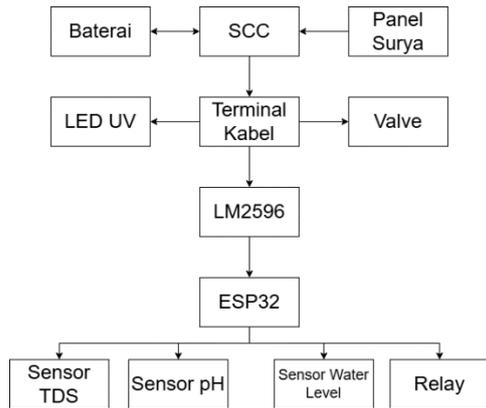
Pada penelitian ini menggunakan baterai LifePO4 dengan voltase 12V dan mempunyai *Depth of Discharge* sebesar 80 % maka hasil perhitungan kapasitas baterai menjadi 13,8 Ah dan baterai yang besarnya mendekati dipasaran sebesar 22Ah[9].

Langkah 5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan perhitungan *MAPE* dari pengukuran *PSH* dan pengujian konsumsi energi pada 8 kondisi *Smart Control System*.

3.2 Gambaran Umum PLTS untuk Smart Control System

Gambaran umum PLTS pada Gambar 6 ini menjelaskan tentang cara kerja dari PLTS untuk mensuplai *Smart Control System* yang memuat beberapa komponen seperti: *SCC*, Baterai, *Valve*, Panel Surya, *LED UV*, LM2596, Sensor pH, Sensor TDS, Sensor *Water Level* dan *Relay*.



Gambar 6. Gambaran Umum PLTS

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian PSH SMAN 1 Mengwi

Pada pengujian ini dilakukan di tempat terpasangnya panel surya yang mana berada pada atap gedung yang tidak ada bayangan yang menghalangi arah datangnya sinar matahari menuju ke panel surya.



Gambar 7. Pengukuran PSH

Pengujian dilakukan selama 9x24 jam dan pengukuran PSH dilakukan setiap rentang 1 jam sekali maka akan didapatkan 24 data tiap harinya pada pengukuran ini, data dimuat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran PSH

Hari	Irridiance (W/m ²)	PSH (kWh/m ²)
1	5121,79	5,12179
2	4892,84	4,89284
3	4585,11	4,58511
4	4375,45	4,37545
5	5539,94	5,53994
6	5261,84	5,26184
7	5064,6	5,0646
8	5613,52	5,61352
9	5307,87	5,30787

Pengolahan data dengan mencari *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. Rumus ini menghitung rata-rata kesalahan absolut dalam bentuk persentase untuk setiap pengamatan dibandingkan dengan nilai referensi.

$$\begin{aligned} \text{Hari Pertama} &= |(5,122 - 5,1)/5,1| \times 100 \% \\ &= 0,431 \% \text{ (lanjutkan hingga hari ke-9)} \end{aligned}$$

Tabel 3. hasil MAPE PSH SMAN 1 Mengwi

Hari	MAPE (%)
1	0,431
2	4,059
3	10,098
4	14,216
5	8,627
6	3,176
7	0,686
8	10,098
9	4,078
Jumlah	55,469
Rata Rata	6,163

Dari data pada Tabel 3 didapatkan hasil MAPE senilai 6,163 % yang mana jika melihat Tabel 1 indikator MAPE maka hasil tersebut menyatakan bahwa prakiraan *website Global Solar Atlas* sangat baik.

4.2 Pengujian Baterai

Pengujian ini adalah untuk membandingkan perbedaan konsumsi daya baterai saat berbagai kondisi untuk menguji daya supply baterai dengan menggunakan *AVOMETER Digital (Ampere, Voltage, Ohm)* yang mana mengukur tegangan baterai awal dan akhir serta arus kerja pada setiap 8 kondisi yang mana setiap kondisi memiliki beragam konfigurasi valve serta *LED UV* yang berbeda beda sehingga Voltase awal dan akhirnya pun berbeda beda begitupula pada arus kerja tiap kondisinya.

Tabel 4. Hasil Pengukuran 8 kondisi

	
Kondisi 1 (Air tidak layak panen)	Kondisi 2 (Air layak Panen)
	
Kondisi 3 (Kondisi Air saat elektrolisis)	Kondisi 4 (Kondisi Air saat setelah elektrolisis)
	
Kondisi 5 (Kondisi saat pH dan TDS terpenuhi)	Kondisi 6 (Kondisi Saat pH dan TDS tidak Terpenuhi)
	
Kondisi 7 (Drain Asam)	Kondisi 8 (Kondisi Awal)

Pada data Tabel 4 didapatkan bahwa nilai tegangan akhir dan arus yang berbeda beda yang mana disebabkan oleh adanya perbedaan kondisi *valve* dan sinar *UV* pada setiap kondisinya. Ini menyebabkan daya pada setiap kondisi konsumsi energinya berbeda beda. Terkait daya yang dipakai dari kondisi tersebut adalah tegangan awal dikurangi tegangan akhir selanjutnya dikali dengan arus kerja, tabel pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Baterai

Kondisi	Tegangan (V)		Arus (A)	Waktu Operasional (jam)	Konsumsi energi (Wh)
	Awal	Akhir			
1	12,9	12,5	7,35	0,0833	0,2450
2	12,9	12,7	3,22	0,1667	0,1074
3	13,0	12,9	0,08	3	0,024
4	13,0	12,9	0,62	0,0167	0,0011
5	13,0	12,9	0,88	0,1667	0,0147
6	13,0	12,8	3,22	0,0167	0,0108
7	13,0	12,9	0,62	0,0833	0,006
8	13,0	12,7	3,73	24	26,856

Menghitung Total Energi :
 = 0,2450 + 0,1074 + 0,024 + 0,0011 + 0,0147 + 0,0108 + 0,006 + 26,856
 = 27,265 Wh/hari

Kapasitas baterai LifePO4 :
 = 22 Ah x 12,8 V
 = 281,6 Wh

Jumlah hari:
 = Kapasitas baterai / Total energi
 = 281,6 / 27,265
 = 10,3282 hari

Jumlah energi setiap harinya bisa berubah karena dipengaruhi pada waktu operasional tiap hari yang berbeda tergantung dengan keadaan, perhitungan di atas merupakan perhitungan dengan kondisi 1 kali siklus elektrolisis dalam 1 hari sehingga baterai mampu menyediakan daya 10 hari tanpa pengisian dari panel surya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari hasil kedua pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menunjukkan bahwa nilai Peak Sun Hours (PSH) di SMAN 1 Mengwi sesuai dengan data yang tercantum dalam Global Solar Atlas. Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) menghasilkan nilai sebesar 6,163%, yang termasuk dalam kategori Sangat Baik, sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi antara data pengukuran dan data referensi. Selain itu, pengujian terhadap kapasitas daya baterai membuktikan bahwa baterai mampu menyuplai energi yang dibutuhkan untuk menjalankan Smart Control System. Adapun konsumsi energi listrik dari sistem panel surya tercatat sebesar 27,265 Wh per hari, dan dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa baterai memiliki kemampuan untuk menyuplai energi secara mandiri selama 10 hari tanpa perlu dilakukan pengisian ulang. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang tidak hanya efisien tetapi juga andal untuk mendukung operasional sistem kontrol berbasis energi terbarukan.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Hadi, M., Syaekani, I., Nuryadi, H., & Kencana, P. I. 2025. Literature Review: Metode Evaluasi Performa Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indoensia. RELE (Rekayasa Elektrikal

- dan Energi): *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 280-289.
- [2] Tobing, M. Z., Pasaribu, F. I., Hutasuhut, A. A., Nasution, E. S., Evalina, N., Sipahutar, E., & Setiawan, A. M. 2024. Perancangan Sistem Kendali PLTS Menggunakan Sensor Photocell Dan Alarm Kontrol Untuk Penerangan Kapal Nelayan. *Journal of Telecommunication and Electrical Scientific*, 1(01), 1-11.
- [3] Handayani, Y. S., Jaza, M. H., Kurniawan, A., & Istijono, B. 2024. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat OFF-GRID System Pada Gedung LAB Terpadu II Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. *JURNAL AMPLIFIER: JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER*, 14(1), 102-111.
- [4] Mukti Wibawanto, D. I. I., IPU, A., & Eng, A. PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ROOFTOP UNTUK KAWASAN PERUMAHAN DI KOTA MATARAM BERDASARKAN PEMETAAN POTENSI IRADIAISI.
- [5] Wiradhi Yogathama, I., Arta Wijaya, I., & Budiastra, I. 2021. DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) MENGIKUTI POLA ATAP WANTILAN DESA ANTOSARI UNTUK MEMENUHI DAYA 3600 WATT. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(2), 83-90. doi:10.24843/SPEKTRUM.2021.v08.i02. p10
- [6] Duga Purba, C., Wahyu Wicaksono, O., Arta Wijaya, I., & Budiastra, I. 2023. PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP DI HOTEL MEGA DANA. *Jurnal SPEKTRUM*, 10(3), 57-67. doi:10.24843/SPEKTRUM.2023.v10.i03. p7
- [7] Khair, U., Fahmi, H., Al Hakim, S., & Rahim, R. 2017, December. Forecasting error calculation with mean absolute deviation and mean absolute percentage error. In *journal of physics: conference series* (Vol. 930, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.
- [8] Utami, P. R., & Wijayanti, M. (2022). Analisa Perhitungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Taman Markisa di Wilayah RT 01/RW 08 Kelurahan Mampang, Pancoran Mas, Kota Depok. *Jurnal Abdi Masyarakat Multidisiplin*, 1(2), 42-49.
- [9] Yamato, Y., & Rijadi, B. B. (2022). Analisis kebutuhan modul surya dan baterai pada sistem penerangan jalan umum (pju). *Jurnal Elektro Teknik*, 1(1), 30-38.