

Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid* dan *Monitoring* Berbasis *Node-Red*

Muhammad Baharuddin Arief^{*a)}, Mahendra Widyartono^{a)}, Widi Aribowo^{a)}, Ayusta Lukita Wardani^{a)}

(Received 21 Desember 2023 || Revised 22 Januari 2023 || Accepted 22 Februari 2024)

Abstract: *In new renewable energy, the abundant potential of solar energy in Indonesia needs to be utilized effectively, especially in vocational canteens for the purposes of lights and fans. This research aims to design and build an off-grid solar power generation system and Node-Red-based monitoring at the Canteen. The research method used is experimentation through direct observation at the vocational canteen. The tests carried out are the system of SPGS which includes voltage, current, and power and testing monitoring by system sensors and temperature sensors for 5 hours per day in two days. The results obtained are the voltage in the system both panel voltage, AC voltage, and battery voltage are stable and do not exceed the specifications of solar panels. However, the current has increased and decreased although not too drastically and the battery has only decreased by 10%. This is due to the influence of the weather during testing and is not affected by the load power because it does not exceed specifications. In addition, the system sensor has an error of no more than 2% so it can be said that if this system functions optimally and as expected, it can be developed more to save energy.*

Keywords: *off-grid SPGS, monitoring, node-red*

1. Pendahuluan

Energi dari matahari ini dapat dimanfaatkan salah satunya dengan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan sel surya [1]. Sel surya memiliki banyak keuntungan karena ramah lingkungan sehingga tidak menimbulkan gas hasil pembakaran seperti bahan bakar fosil [2]. Selain itu, sel surya juga cukup praktis karena pemasangannya yang dapat dilakukan di berbagai tempat dengan cahaya matahari yang memadai [3]. Sel surya tidak akan menimbulkan suara bising seperti pembangkit listrik yang menggunakan turbin sehingga penggunaannya dapat digunakan di daerah pemukiman masyarakat dan diletakkan di atap rumah atau biasa dikenal dengan *rooftop solar panel* [4]. *Rooftop solar panel* merupakan panel surya yang dipasang di atap rumah dengan tujuan menghasilkan listrik untuk mereduksi penggunaan listrik dari grid atau jaringan utama PLN (*on grid*) maupun tidak bergantung pada jaringan PLN (*off grid*). Penggunaan panel surya di rumah tinggal ini dapat mengurangi ketergantungan atau bahkan sama sekali tidak bergantung dengan energi listrik dari PLN [5].

Produksi energi listrik dengan panel surya dipengaruhi oleh iradiasi matahari, suhu modul surya dan kebersihan, serta sudut kemiringan orientasi pemasangan modulnya [6]. Energi yang dihasilkan modul surya akan menurun seiring dengan menurunnya iradiasi matahari dan energi akan menurun ketika suhu meningkat tergantung dari besarnya koefisien suhu pada modul surya [7]. Penurunan produksi dari energi surya ini dipengaruhi oleh kenaikan suhu karena ketika suhu naik sekitar 1°C maka energi akan turun sekitar 0,4%. Selain itu, ketika terdapat benda yang menghalangi penyinaran matahari ke modul surya juga akan mengurangi nilai iradiasi matahari [8]. Kotoran yang menempel di modul surya juga bisa mengurangi iradiasi matahari yang diterima dan kemiringan panel berpengaruh karena setiap lokasi panel berpengaruh dalam penyerapan iradiasi matahari [9].

Sistem yang menghasilkan listrik dengan menggunakan radiasi matahari tanpa adanya koneksi ke jaringan PLN disebut sistem pembangkit listrik tenaga surya terpusat (*off-grid*). Listrik yang dihasilkan oleh sistem ini terutama berasal dari sumber energi surya, baik berupa fotovoltaik atau panel surya [10]. Daerah pedesaan yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN biasanya menggunakan layanan *off-grid* di wilayah perkotaan yang mempunyai akses terhadap jenis listrik lain, seperti di *rooftop* atau

ruang terbuka [11]. Karena terdapat ruang hampa antara Bumi dan Matahari tanpa adanya bahan perantara, energi matahari mencapai permukaan bumi melalui radiasi atau sinar.

Gelombang elektromagnetik merupakan salah satu jenis gelombang yang merambat tanpa medium perantara dan berkecepatan tinggi dalam medan listrik dan magnet [12]. Selama perambatannya, sebagian besar energi matahari yang dikirim ke bumi terkikis oleh planet, sehingga menyebabkan peningkatan suhu. Akibat suhu yang tinggi, bumi melepaskan energi, yang selanjutnya mengakibatkan penyerapan energi total dan pelepasan energi [13]. PLTS merupakan sistem penerima yang dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan listrik baik skala kecil maupun besar. PLTS dapat beroperasi sendiri atau dikombinasikan dengan sumber energi lain dalam format hybrid [14]. PLTS dapat bersifat desentralisasi (di rumah, genset, dll) atau didistribusikan secara terpusat dengan mendistribusikan daya melalui jaringan kabel. Sinar matahari dipancarkan oleh modul surya atau panel surya pada siang hari, yang mengubahnya menjadi listrik menggunakan teknologi fotovoltaik [15].

Kantin atau kafetaria vokasi adalah tempat di mana mahasiswa dan dosen dapat membeli makanan dan minuman ringan. Kantin memiliki peran penting dalam kehidupan masyarakat, terutama di lingkungan pendidikan. Namun, kantin juga dapat menjadi tempat yang panas dan kurang nyaman, terutama pada musim panas yang sangat panas. Oleh karena itu, penting bagi kantin untuk menyediakan fasilitas pendukung seperti kipas angin dan lampu, agar para pengunjung merasa lebih nyaman dan terhindar dari kelelahan yang berlebihan. Kipas dapat membantu mengurangi suhu ruangan dan memberikan sirkulasi udara yang baik, sehingga membuat lingkungan lebih sejuk dan nyaman. Sementara itu, lampu dapat memberikan pencahayaan yang cukup sehingga para pengunjung dapat melihat dengan jelas apa yang mereka pesan dan makan. Dengan adanya fasilitas pendukung kipas dan lampu, kantin akan menjadi tempat yang lebih nyaman untuk berkumpul dan berinteraksi dengan orang lain. Hal ini dapat meningkatkan tingkat kepuasan pengunjung dan membangun citra positif bagi kantin. Selain itu, dengan lingkungan yang nyaman, orang akan cenderung menghabiskan lebih banyak waktu di kantin dan membeli lebih banyak makanan dan minuman, sehingga dapat meningkatkan pendapatan kantin. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengetahui kinerja pada sistem pembangkit listrik

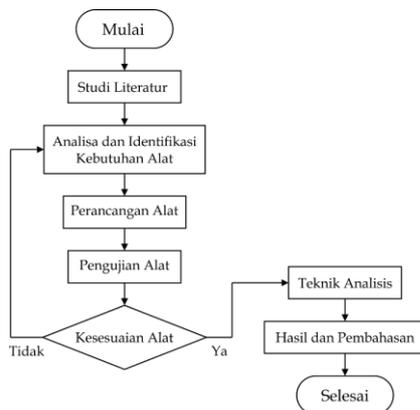
*Korespondensi: muhammadbaharuddinrief24@gmail.com

a) Prodi D4 Teknik Listrik, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya, Indonesia

tenaga surya sebagai sumber energi listrik untuk kantin dan mengetahui kinerja pada sistem *monitoring* berbasis *internet of things* (IoT).

2. Metode

Penelitian yang menggunakan panel surya ini menggunakan jenis penelitian eksperimen karena akan mengukur hasil dari alat yang dibuat sehingga pengambilan datanya melalui pengamatan atau observasi yaitu mengumpulkan hasil pengamatan dan akan dianalisis. Tujuannya adalah untuk memastikan kevalidan data sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan permasalahan secara objektif. Analisis data yang digunakan adalah dengan Teknik deskriptif kuantitatif yaitu menjelaskan dengan data kuantitatif pada tabel hasil pengamatan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1 di bawah sebagai berikut.



GAMBAR 2.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

2.1 Perhitungan dan Analisa

1. Menentukan Kapasitas Daya

Kapasitas daya dari pemakaian dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Wh = P \times h \quad (1)$$

Keterangan:

Wh = Daya pemakaian

P = Daya beban yang dipakai

h = Lama pemakaian

Daya beban yang dipakai

Kipas Angin = 45 W x 5 jam = 225 Wh

Lampu = 16 W x 5 jam = 80 Wh

Total beban daya yang dipakai 225 W + 80 W = 305 Wh.

2. Menentukan Kapasitas Panel Surya

Kapasitas dari panel surya dihitung dengan memakai persamaan sebagai berikut.

$$Wp = \frac{Wh}{Psh} \quad (2)$$

Keterangan :

Wp = Kapasitas panel surya

Wh = Daya pemakaian

Psh = Lama Penyinaran Matahari

Kapasitas panel surya = 305 W dibagi 5 jam pemakaian didapatkan hasil 61 Wp dan dibulatkan menjadi 100 Wp sehingga perhitungan daya yang dihasilkan adalah 100 Wp x 5 jam yaitu 500 Wh dan hasil tersebut sesuai dengan kebutuhan daya beban yang digunakan jika panel surya bekerja dengan maksimal.

3. Menentukan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Ah = \frac{Wh \times Dn}{V \times DoD} \quad (3)$$

Keterangan:

Ah = Kapasitas baterai

Wh = Konsumsi energi harian

Dn = Jumlah hari otonomi (h) ditentukan dengan 1,5 hari

V = Tegangan baterai

DoD = Maksimum pengosongan baterai

Kapasitas baterai = $((305 / 12) \times 1,5) / 0,5 = 76,25$ Ah. Pada penelitian ini menggunakan baterai berkapasitas 100 Ah.

4. Menentukan Kapasitas SSC

Kapasitas *Charge Controller* dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$Csc = \frac{Wh \times Sf \times Isc}{Isc} \quad (4)$$

Keterangan:

Csc = Kapasitas dari charge controller

Wh = Konsumsi energi harian

Sf = *Safety factor* (factor keamanan) ditentukan sebesar 1,25

Isc = Nilai Isc panel surya

Dalam menghitung kebutuhan SCC, maka kita harus melihat dulu spesifikasi dari solar panel. Kapasitas SCC dapat dihitung dengan melihat Isc pada spesifikasi panel surya dan tidak boleh kapasitas SCC dibawah arus dari panel surya. Nilai Isc dikalikan dengan jumlah panel surya yang dipakai, hasilnya merupakan nilai minimal dari SCC yang dibutuhkan. Daya SCC = 6,05 A x 1 panel surya = 6,05 A. Sehingga SCC yang diperbolehkan untuk digunakan adalah minimal sebesar 6,05 A dan pada penelitian ini menggunakan SCC sebesar 30 A.

5. Menentukan Kapasitas Inverter

Kapasitas inverter diperhitungkan persamaan berikut.

$$Civ = Wh \times Sf \quad (5)$$

Keterangan:

Civ = Kapasitas dari inverter

Wh = Konsumsi energi harian

Sf = *Safety factor* (factor keamanan) ditentukan sebesar 1,25

Inverter yang dibutuhkan dapat dilihat dari besarnya kebutuhan beban secara keseluruhan. Sehingga ketika daya totalnya 305 Wh maka inverter yang digunakan adalah 305 Wh x 1,25 yaitu 381,25 VA. Maka daya inverter yang digunakan pada penelitian ini sebesar 500 W DC 12V to AC 220V.

2.2 Desain Perancangan PLTS off-grid



GAMBAR 2.2 DESAIN PERANCANGAN PLTS OFF-GRID

Dari gambar 2 perencanaan di atas, dapat dilihat jika terdiri dari input yang berupa sinar matahari dengan dikonversi oleh panel surya dan disalurkan melalui MCB DC (*Mini Circuit Breaker*) sebagai proteksi menuju SCC (*Solar Charge Controller*). Pada SCC ini akan dilakukan pengisian untuk baterai yang juga disalurkan ke MCB DC dan menuju inverter pada tegangan DC (*Direct Current*) untuk diubah menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Output dari inverter akan menuju ke beban yang terdapat MCB AC serta disalurkan dengan watt meter AC untuk mengetahui parameter tegangan AC.

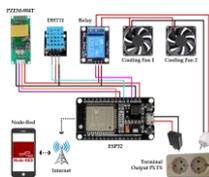
2.3 Desain Komponen PLTS off-grid pada Panel

Desain komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menggunakan panel kotak dengan dimensi panjang x tinggi x lebar (50 x 60 x 20) cm dapat secara rinci dilihat pada gambar 3 di bawah ini. Panel ini dirancang untuk optimalitas performa dan efisiensi energi, dengan mempertimbangkan kebutuhan spesifik dan lingkungan sekitarnya. Komponen ini memiliki ukuran yang sesuai (50 x 60 x 20) cm untuk memastikan integrasi yang mudah dalam sistem PLTS, sekaligus memaksimalkan pengumpulan energi surya. Gambar 3 memberikan pandangan visual yang jelas terhadap konsep desain ini, yang mencakup penempatan strategis komponen-komponen kunci untuk mendukung fungsi PLTS secara efektif.



GAMBAR 2.3 DESAIN KOMPONEN PLTS OFF-GRID PADA BOX PANEL

2.4 Diagram Alat Monitoring PLTS off-grid Berbasis IoT



GAMBAR 2.4 DIAGRAM ALAT MONITORING PLTS OFF-GRID BERBASIS IoT

Dari gambar keempat, dapat dilihat bahwa desain perangkat untuk pemantauan arus dan tegangan berbasis *Internet of Things* sepenuhnya mendapatkan pasokan daya dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dalam merancang perangkat pemantauan arus dan tegangan berbasis *Internet of Things* ini, terdapat tiga

komponen utama, yaitu bagian masukan (*input*) yang terdiri dari sensor PZEM-004T dan DHT11, bagian pemrosesan (proses) yang menggunakan mikrokontroler NodeMCU, dan bagian keluaran (*output*) berupa *relay* serta tampilan pada aplikasi *Node-Red* dengan menerapkan metode *Internet of Things*.

3. Hasil dan Pembahasan

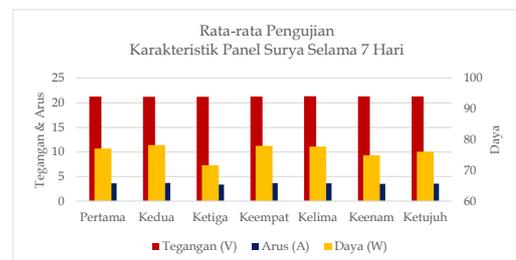
Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap kinerja dari sistem alat pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* dan *monitoring* berbasis *node-red* pada kantin vokasi unesa. Pengujian ini meliputi 3 hal, yakni pengujian pada sistem PLTS, pengujian *monitoring* sensor PZEM-004T dan pengujian *monitoring* sensor DHT11.

3.1 Pengujian Karakteristik PLTS off-grid

Pengujian pada panel surya berkapasitas 100 Wp menerima *input* berupa cahaya matahari yang nantinya dapat dikonversi menjadi energi listrik. Pengujian panel surya ini merupakan proses untuk mengetahui daya yang dihasilkan dan karakteristik dari panel surya sehingga parameter yang dibutuhkan adalah *open circuit* (*Voc*) dan *short circuit* (*Isc*) yang dilakukan pengukuran selama 7 hari dari pukul 10.00 hingga 15.00 WIB dan dilihat setiap 30 menit sekali pada alat ukur yang digunakan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

TABEL 3.1 PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA SELAMA 7 HARI

Hari	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya (W)
Pertama	21,28	3,63	77,13
Kedua	21,23	3,69	78,28
Ketiga	21,22	3,38	71,69
Keempat	21,27	3,67	78,01
Kelima	21,36	3,64	77,75
Keenam	21,33	3,51	74,87
ketujuh	21,33	3,57	76,09
Rata-rata	21,29	3,58	76,26



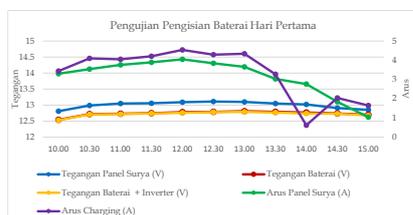
GAMBAR 3.1 RATA-RATA PENGUJIAN KARAKTERISTIK PANEL SURYA SELAMA 7 HARI

Hasil pengujian panel surya pada gambar 5 menunjukkan konsistensi dalam kinerja selama periode 7 hari. Meskipun terdapat

fluktuasi dalam data harian, rata-rata dari seluruh periode menunjukkan bahwa panel surya memiliki tegangan rata-rata sekitar 21,29 V, arus rata-rata sekitar 3,58 A, dan daya rata-rata sekitar 76,26 W. Ini menunjukkan bahwa panel surya ini memberikan hasil yang baik dan konsisten selama periode pengujian 7 hari. Selama tujuh hari pengujian, panel surya menunjukkan kinerja yang stabil. Rentang tegangan yang terukur berkisar antara 21,22 hingga 21,36 V. Arus juga mengalami fluktuasi kecil, berkisar antara 3,38 hingga 3,69 A. Puncak daya tercapai pada Minggu, 24 September 2023, dengan nilai 78,28 W, sementara daya terendah tercatat pada Senin, 25 September 2023, dengan nilai 71,69 W. Secara rata-rata, panel surya menghasilkan tegangan sekitar 21,29 V, arus sekitar 3,58 A, dan daya sekitar 76,26 W selama periode tersebut. Hasil ini menunjukkan kinerja konsisten yang baik dari panel surya selama tujuh hari pengujian. Hasil daya yang dihasilkan selama pengujian mengalami naik turun. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor alam yang menyebabkan kurangnya daya yang dihasilkan oleh panel surya seperti radiasi matahari dan suhu panel surya.

3.2 Pengujian Pengisian Baterai

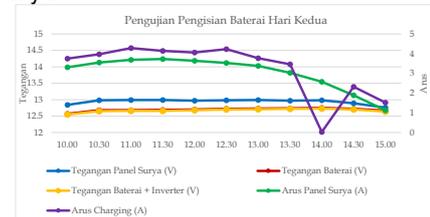
Pengujian pengisian baterai dilakukan dengan tujuan untuk menentukan durasi waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai dari kondisi minimum hingga mencapai penuh. Data ini penting untuk mengevaluasi sejauh mana inverter memengaruhi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Baterai yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 12 Volt 100 Ah. Pengambilan data dilakukan selama periode dua hari untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif. Hasil pengukuran ini memberikan pemahaman mendalam tentang efisiensi pengisian baterai dalam konteks sistem PLTS. Fokus utama adalah untuk menganalisis sejauh mana inverter berkontribusi terhadap waktu pengisian baterai. Dengan kapasitas baterai yang telah ditentukan, data ini dapat memberikan wawasan berharga mengenai performa sistem secara keseluruhan. Gambar 6 menampilkan grafik hasil pengujian baterai pada hari pertama, memberikan representasi visual dari proses pengisian selama periode waktu tersebut. Informasi yang diperoleh dari pengukuran ini diharapkan dapat membantu dalam peningkatan efisiensi dan pengoptimalan sistem PLTS secara keseluruhan.



GAMBAR 3.2 PENGUJIAN PENGISIAN BATERAI HARI PERTAMA

Selama proses pengujian, tercatat peningkatan kapasitas baterai sebesar 10%, meningkat dari 70% menjadi 80%. Perilaku arus charging menunjukkan variasi, mencapai puncaknya pada pukul 12.00 dengan nilai tertinggi sebesar 4,54 A, sementara mencapai nilai terendah pada pukul 14.00 dengan hanya 0,18 A. Di sisi lain, tegangan baterai dan tegangan setelah inverter menunjukkan stabilitas yang baik, dengan fluktuasi minimal sekitar 0,03 V. Begitu juga dengan tegangan pada panel surya, yang

cenderung stabil dengan fluktuasi sekitar 0,14 V. Rata-rata tegangan panel surya yang dihasilkan selama pengujian mencapai 13,00 V, sedangkan arus panel mencapai 3,16 A. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi variasi pada arus pengisian selama pengujian, namun tetap berada dalam kisaran yang dapat diterima dan menunjukkan stabilitas yang memadai dalam operasionalnya.



GAMBAR 3.3 PENGUJIAN PENGISIAN BATERAI HARI KEDUA

Kapasitas baterai setelah pengisian mencapai 80%, dengan peningkatan rata-rata sekitar 10% dari awal hingga akhir pengujian dengan tegangan awal 12,54 V. Arus charging mengalami fluktuasi, mencapai puncaknya pukul 11.00 dengan nilai 4,29 A, dan mencapai titik terendah pada 14.00 WIB dengan hanya 0,03 A. Tegangan baterai dan tegangan setelah inverter mengalami fluktuasi kecil, sekitar 0,03 V. Tegangan dari panel surya juga mengalami variasi kecil, sekitar 0,12 V. Proses pengisian baterai melalui panel surya dan inverter pada 3 Agustus 2023 berhasil, dengan peningkatan kapasitas baterai sekitar 10%. Rata-rata tegangan panel surya adalah 12,94 V dan arus panel surya adalah 3,04 A. Walaupun arus pengisian bervariasi selama uji coba, namun tetap dalam kisaran yang dapat diterima.

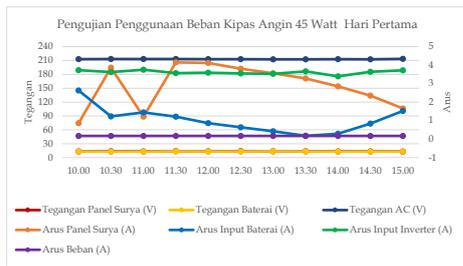
Tegangan panel surya mengalami kenaikan secara bertahap dikarenakan intensitas cahaya matahari yang meningkat pada pukul 10.00 hingga 13.00 WIB. Terdapat penurunan arus panel surya setelah pukul 13.00 WIB, yang disebabkan oleh penurunan intensitas cahaya dari matahari. Tegangan baterai dipengaruhi inverter dan arus *charging* dipengaruhi inverter, cenderung lebih rendah dari tegangan dan arus pengisian baterai secara langsung. Hal ini terjadi karena adanya kerugian energi dalam proses konversi yang terjadi pada inverter.

3.3 Pengujian Beban Lampu

Sistem pembangkit listrik tenaga surya yang diuji dengan menggunakan beban lampu sebesar 16 W menghasilkan performa yang konsisten dan stabil sepanjang durasi pengujian. Arus pada panel surya, arus input baterai, dan arus input inverter juga menunjukkan kestabilan yang baik, dengan variasi yang wajar sepanjang pengujian. Pengamatan terhadap kapasitas baterai menunjukkan ketahanan yang optimal, dengan tingkat kapasitas tetap pada 100% tanpa adanya penurunan selama pengujian. Rentang tegangan yang diamati berkisar antara 13,62 V hingga 13,82 V, mengindikasikan konsistensi dalam penyediaan daya oleh sistem. Penting untuk dicatat bahwa tegangan baterai mengalami penurunan sebesar 0,10 V dari nilai awal 13,47 V menjadi 13,37 V, meskipun persentase baterai tetap pada 100%. Fenomena ini memberikan wawasan lebih lanjut terkait dengan respons baterai terhadap pembebanan. Selain itu, arus input baterai menunjukkan variasi yang wajar, berkisar antara 0,14 hingga 2,08 A, dengan nilai rata-rata sebesar 1,56 A. Hasil ini menggambarkan kemampuan sistem untuk mengelola arus masukan dengan baik, memberikan keyakinan akan performa yang handal dalam mengisi daya baterai

pada berbagai tingkat pemakaian.

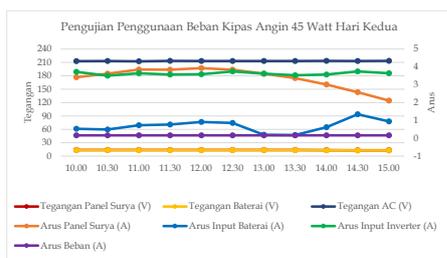
3.4 Pengujian Beban Kipas Angin



GAMBAR 3.4 PENGUJIAN BEBAN KIPAS ANGIN HARI PERTAMA

Dari analisis yang dapat diambil dari gambar 8 yang disajikan, dapat terlihat bahwa seluruh tegangan yang diuji, termasuk tegangan panel surya, tegangan baterai, dan tegangan AC, menunjukkan hasil yang stabil dengan fluktuasi yang tidak terlalu drastis. Meskipun terdapat kenaikan dan penurunan, namun perubahan ini cenderung konsisten. Namun, perhatian khusus perlu diberikan pada arus panel surya yang menunjukkan fluktuasi yang signifikan, terutama terlihat pada pukul 10.30 dan pukul 11.30 WIB.

Peningkatan arus pada pukul 10.30 dan pukul 11.30 WIB kemungkinan besar disebabkan oleh kondisi cuaca yang sangat panas pada saat itu. Intensitas sinar matahari yang tinggi pada tengah hari menyebabkan arus yang mengalir melalui panel surya menjadi besar. Namun, seiring berjalannya waktu dan matahari semakin meredang menjelang sore, arus panel surya cenderung turun secara perlahan. Pergeseran ini mencerminkan respons yang wajar terhadap perubahan suhu dan intensitas cahaya matahari. Sementara itu, penurunan arus input baterai sepanjang waktu pengujian dapat diatributkan pada penggunaan beban kipas angin yang lebih besar dibandingkan dengan beban lampu, mengindikasikan adanya perubahan beban yang memengaruhi arus input baterai.

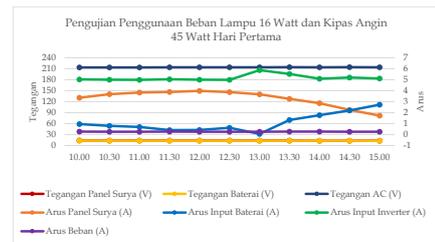


GAMBAR 3.5 PENGUJIAN BEBAN KIPAS ANGIN HARI KEDUA

Pada pengujian yang sama di hari kedua dan ditunjukkan pada gambar 9 di atas, arus panel surya tidak melonjak naik turun seperti sebelumnya akan tetapi konstan perlahan-lahan turun selaras dengan jam yang makin sore karena sinar dari matahari berkurang. Hal ini juga berpengaruh pada kapasitas baterai yang mulai menurun mulai pukul 14.00 WIB karena penggunaan sinar matahari yang mempengaruhi. Akan tetapi, jika dilihat dari tegangannya sama seperti dengan hari pertama tetap stabil yaitu dengan tegangan panel surya sebesar 13,65 V dan penurunan pada tegangan baterai yang hanya 0,46 V. Arus beban yang stabil menunjukkan jika kerja dari panel surya tidak akan menurun karena pengaruh daya dari beban yang dipakai.

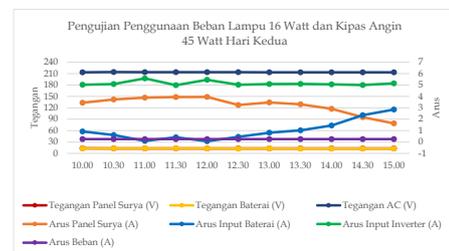
3.5 Pengujian Beban Lampu dan Kipas Angin

Dari analisis data grafik pada gambar 10 tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa pengujian dengan satu jenis beban menunjukkan stabilitas yang baik pada tegangan panel surya dan tegangan baterai. Terlihat bahwa arus panel mengalami penurunan khususnya pada periode sore hari, yang dapat diatribusikan kepada meredupnya intensitas sinar matahari. Sebaliknya, arus input baterai mengalami peningkatan yang mencolok dari pukul 13.30 hingga 15.00 WIB. Perubahan ini dapat dijelaskan oleh kondisi cuaca dan lingkungan yang mempengaruhi kinerja panel surya.



GAMBAR 3.6 PENGUJIAN BEBAN LAMPU DAN KIPAS ANGIN HARI PERTAMA

Penurunan arus panel pada sore hari bisa diakibatkan oleh penurunan intensitas cahaya matahari, sehingga panel surya menghasilkan daya yang lebih rendah. Meskipun begitu, beban yang tetap digunakan membutuhkan arus input yang stabil, sehingga sistem secara otomatis meningkatkan arus input baterai untuk menjaga kelangsungan pasokan daya yang diperlukan. Fenomena ini mencerminkan kebijakan adaptasi sistem terhadap variasi kondisi cuaca, yang merupakan aspek penting dalam memastikan kelancaran kinerja pembangkit listrik tenaga surya dalam situasi yang berubah-ubah.



GAMBAR 3.7 PENGUJIAN BEBAN LAMPU DAN KIPAS ANGIN HARI KEDUA

Pengujian beban pada hari kedua dapat dilihat pada gambar 11 di atas yaitu pengujian tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dalam satuan Volt yaitu rata-rata tegangan panel adalah sekitar 13,15 V. Tegangan panel surya cukup stabil selama pengujian, menunjukkan konsistensi dalam menghasilkan listrik. Arus panel surya juga stabil, hal ini menunjukkan bahwa energi dari panel surya berhasil disimpan dalam baterai. Tegangan AC dari inverter relatif stabil, menunjukkan inverter bekerja dengan baik dalam mengubah energi DC menjadi AC. Arus beban (lampu dan kipas angin) relatif rendah, menunjukkan bahwa beban tersebut tidak mengonsumsi banyak daya. Adanya penurunan kapasitas baterai sebesar 10% bisa diakibatkan oleh beban yang lebih besar dari pengujian beban sebelumnya.

3.6 Pengujian Sistem Monitoring dengan Node-Red

1. Sistem Monitoring Sensor PZEM-004T

Pada pengujian ini dilakukan perbandingan antara sensor PZEM-004T dalam membaca tegangan, arus, daya, dan Kwh pada keluaran inverter lalu dibandingkan dengan PZEM-022. Perhitungan menggunakan sensor PZEM-004T yang dilakukan dalam 2 hari, data diambil pukul 10.00-15.00 WIB setiap 30 menit sekali. pengujian hari pertama *monitoring* sensor PZEM 004T tanpa melakukan flash pada Esp32. Pengujian hari ke dua *monitoring* sensor PZEM-004T dengan cara melakukan flash pada Ep32 sebelum diambil datanya. Dari hasil pengukuran bahwa pada sensor PZEM-004T ini berkerja dengan baik. Hal tersebut dapat dibandingkan dengan menggunakan sensor PZEM-022 pada *box panel*. Misalkan seperti sensor PZEM-004T pada hari pertama tegangan yang terukur adalah 214,6 V sedangkan hasil pada hari kedua sensor PZEM-022 adalah 215,0 V sedangkan pada sensor PZEM-004T tegangan yang terukur adalah 214,2 V sedangkan hasil pada sensor PZEM-022 adalah 215,0 V.

2. Sistem Monitoring Sensor DHT11

Pengujian ini menggunakan input dengan sensor DHT11 untuk mengetahui kinerja dari sensor untuk mendeteksi suhu pada *box panel* PLTS dengan suhu minimal 37°C dan suhu maksimalnya 38°C karena berfungsi sebagai indikator *relay* untuk mematikan atau menyalakan *cooling fan*. Hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa *relay* dan *cooling fan* dapat bekerja dengan baik dimana ketika kondisi suhu terdeteksi lebih dari 38°C, maka *relay* hidup dan *cooling fan* hidup, sedangkan ketika kondisi suhu terdeteksi kurang dari 38°C, maka *relay* mati dan *cooling fan* mati. Sehingga *cooling fan* tidak melakukan pendinginan terhadap *box panel*. Untuk suhu ideal komponen dalam *box panel* sendiri berkisar pada 40-50°C. Namun pada penelitian ini batas suhu maksimal pada *box panel* ditetapkan pada suhu 38°C.

4. Kesimpulan

Dari hasil rancang bangun diatas dapat disimpulkan bahwa langkah pertama dalam membangun pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* dan *monitoring* berbasis *Node-Red* adalah survei lokasi dan menentukan kebutuhan PLTS. Setelah itu, langkah berikutnya melibatkan desain PLTS menggunakan *software SketchUp* dan menganalisis desain menggunakan *software PVsyst*. Selanjutnya, dilakukan perancangan alat monitoring PLTS berbasis IoT. Setelah semua perencanaan selesai, dilakukan proses perakitan sistem PLTS, di mana panel surya mengkonversi energi matahari menjadi listrik arus DC, disimpan dalam baterai melalui *Solar Charge Controller*, dan kemudian diubah menjadi arus AC oleh inverter untuk mengoperasikan beban. Pengujian sistem pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* menunjukkan hasil yang memuaskan. Rata-rata pengujian panel surya mencapai 21,29 V, arus 3,58 A, dan daya 76,26 W. Selama pengisian baterai selama dua hari, terjadi peningkatan sebanyak 10%. Meskipun tegangan baterai dan arus *charging* dipengaruhi oleh inverter dan cenderung lebih rendah, pengujian dengan beban lampu dan kipas menunjukkan hasil yang baik, dengan kapasitas baterai naik turun sebanyak 10%. Pengujian sistem *monitoring* menggunakan *Node-Red* dengan sensor PZEM-004T menunjukkan hasil yang dapat diandalkan. Dibandingkan dengan PZEM-022, PZEM-004T menghasilkan tegangan yang lebih kecil 0,6 V, arus yang sama, dan daya yang lebih kecil 0,04 W. Pengujian sensor DHT11 juga berjalan lancar, mendeteksi suhu dengan baik selama 12 kali

percobaan. Sensor ini secara efektif mengaktifkan *relay* dan *cooling fan* sesuai dengan ketentuan suhu yang telah ditentukan.

Referensi

- [1] N. Arif, S. Suaedi, M. Rahmadi, and F. M. Siregar, "Potensi Energi Surya sebagai Energi Listrik Alternatif berbasis RETScreen di Kota Palopo, Indonesia," *Dewantara J. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 38–42, 2021, doi: 10.59563/djtech.v1i1.23.
- [2] E. L. Utari, I. Mustiadi, and Yudianingsih, "Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Energi Alternatif Pengganti Listrik Untuk Memenuhi Kebutuhan Penerangan Jalan Di Dusun Nginglo Kelurahan Pagerharjo Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo," *J. Pengabd. Dharma Bakti*, vol. 1, no. 2, pp. 90–99, 2018.
- [3] Ferdyson and J. Windarta, "Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.15714.
- [4] R. Majid, A. Eliza, Herdiansyah, "Alat Automatic Transfer Switch (Ats) Sebagai Sistem Kelistrikan Hybrid Sel Surya Pada Rumah Tangga," *Surya Energi*, vol. 2, no. 2, pp. 172–178, 2018.
- [5] M. F. Hakim, "Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal Sebagai Alternatif Sumber Energi Listrik," *J. Din. DotCom*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [6] Firdaus, Jamaludin, Adriani, and Rahmania, "Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya," *Vertex Elektro*, vol. 13, no. 01, pp. 14–17, 2021.
- [7] B. H. Purwoto, J. Jatmiko, M. A. Fadilah, and I. F. Huda, "Efisiensi Penggunaan Panel Surya sebagai Sumber Energi Alternatif," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 1, pp. 10–14, 2018, doi: 10.23917/emit.v18i01.6251.
- [8] I. G. Ramadhan, I. A. T. P. Yunen, D. Syahrani, S. Rosdiana, and M. R. Al-Ariki, "Pemanfaatan Energi Surya Dalam Pembuatan Lampu Sebagai Upaya Meminimalisir Penggunaan Listrik," *J. Graha Pengabd.*, vol. 4, no. 2, p. 102, 2022, doi: 10.17977/um078v4i22022p102-109.
- [9] N. S. Gunawan, I. N. Natya, and R. Irawati, "Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga," *SPEKTRUM Univ. Udayana*, vol. 6, no. September, pp. 1–9, 2019.
- [10] L. A. Gunawan, A. I. Agung, M. Widyartono, and S. I. Haryudo, "Rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya portable," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 65–71, 2021.
- [11] A. W. Hasanah, T. Koerniawan, and Yuliansyah, "Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid," vol. 10, no. 2, pp. 93–101, 2018.
- [12] S. Wisnugroho, S. W. Widyanto, and M. Agus, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk stasiun radar pantai di bukit tindo, Kabupaten Wakatobi," in *Prosiding Semnastek*, 2018, pp. 1–11, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3424>.
- [13] R. R. Ramadhana, M. M. Iqbal, A. Hafid, and Adriani, "Analisis Plts on Grid," *J. Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 14, no. 1, pp. 12–25, 2022.
- [14] H. B. Nurjaman and T. Pumama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbarukan Rumah Tangga," *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [15] D. Dzulfikar and W. Broto, "Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga," vol. V, pp. SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76, 2016, doi: 10.21009/0305020614.