

Rancang Bangun Sistem Monitoring PLTS Menggunakan *Board* Sonoff melalui *Smartphone* Android

Syahban Rangkuti^{1*}, Eliyana Firmansyah¹, Liman Khoeri Munandar¹

¹Teknik Elektro, Universitas Faletahan; eliyana123@gmail.com, khoerimnd@gmail.com

*Korespondensi: syahban3477@gmail.com

Abstract – *Solar Power Plants are a renewable alternative source of electrical energy. The designed solar power plant is equipped with an automatic transfer switch (ATS) monitoring and control system remotely via the eWeLink Android application, with the primary device for the control system using a Sonoff board. The Sonoff board is equipped with features for remote control that can be integrated via the internet network. The solar power plant monitoring system will be created to monitor the power, current, voltage, and kWh calculations used. This monitoring system can be operated remotely via a smartphone using an internet connection. The solar power plant is equipped with a sun tracking device (solar tracker) with a single-axis concept that can automatically direct the solar panels to follow the movement of the sun from east to west with the aim that the solar panels are always perpendicular to the sun so that the electrical power produced by the solar panels (solar panels) more optimally. This system uses 10WP solar panels, a solar charger controller (SCC), battery, inverter, Sonoff Pow R2, relay, time delay relay (TDR), 1 phase MCB, solar tracker module, and linear actuator. Overall, the monitoring system makes it easier for users to monitor solar power plants remotely and maximize solar panel power gain by using a solar tracker. On a 12V 16Ah battery with a DoD of 70% and a power loss of 20%, the time needed to charge the battery is around 6.8 hours. The higher the light intensity, the greater the electrical power produced by the solar panel.*

Keywords – *solar power plant, monitoring system, internet, solar tracker.*

Intisari – Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan salah satu sumber energi listrik alternatif terbarukan. Pembangkit listrik tenaga surya yang dirancang bangun dilengkapi dengan sistem monitoring dan kendali *automatic transfer switch* (ATS) dari jarak jauh melalui aplikasi android eWeLink dengan perangkat utama untuk sistem kendalinya menggunakan *board* Sonoff. *Board* Sonoff telah dilengkapi fitur untuk kendali jarak jauh yang dapat terintegrasi melalui jaringan internet. Sistem monitoring pembangkit listrik tenaga surya yang akan dibuat terdiri dari monitoring daya, arus, tegangan, dan kalkulasi kWh yang telah digunakan. Sistem monitoring ini mampu dioperasikan dari jarak jauh melalui perangkat *smartphone* dengan menggunakan koneksi internet. Pembangkit listrik tenaga surya yang dibuat dilengkapi perangkat pelacak matahari (*solar tracker*) dengan konsep *single axis* yang dapat mengarahkan panel surya secara otomatis mengikuti pergerakan matahari dari timur ke barat dengan tujuan agar panel surya selalu tegak lurus dengan matahari sehingga daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya (*solar Panel*) lebih maksimal. Sistem ini menggunakan panel surya 10WP, *solar charger controller* (SCC), baterai, *inverter*, Sonoff Pow R2, *relay*, *time delay relay* (TDR), MCB 1 Fasa, modul *solar tracker*, dan aktuator linear. Secara keseluruhan sistem monitoring yang dibuat dapat membantu memudahkan pengguna saat melakukan monitoring pembangkit listrik tenaga surya dari jarak jauh, serta dapat memaksimalkan perolehan daya panel surya dengan penggunaan *solar tracker*. Pada baterai 12V 16Ah dengan DoD 70% serta rugi daya sebesar 20% maka dapat waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai adalah sekitar 6,8 Jam. Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan oleh solar panel.

Kata kunci – *pembangkit listrik tenaga surya, sistem monitoring, internet, solar tracker.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat menuntut untuk mencari alternatif sumber energi listrik yang ramah lingkungan menggantikan sumber energi fosil yang terbatas ketersediaannya. Beberapa penemuan dibidang energi salah satunya adalah panel surya, panel surya adalah teknologi terbarukan yang paling banyak digunakan di dunia sebagai sumber energi. Panel surya merupakan sumber energi ramah lingkungan, mudah dipasang dan dirawat, serta berkelanjutan. Prinsip kerja panel surya adalah mengubah energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. Salah satu implementasi panel surya adalah menghasilkan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata

nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya. Energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik disebut juga dengan energi *photovoltaic* [1]. Pada awalnya teknologi ini digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil kemudian berkembang menjadi lampu penerangan jalan berenergi surya, penyediaan listrik di tempat umum seperti rumah peribadatan, pelayanan kesehatan, instansi-instansi pemerintah. Walaupun awalnya hanya cukup untuk kebutuhan penerangan namun PLTS cukup membantu elektrifikasi di tempat yang membutuhkan [2].

Letak geografis Indonesia yang dilewati garis khatulistiwa memiliki potensi sumber energi cahaya matahari langsung yang sangat melimpah sepanjang tahun, hal ini dapat dioptimalkan dengan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya.

Kelemahan utama dari panel surya adalah efisiensinya yang rendah dan biaya yang tinggi. Dalam konteks ini

penggunaan sistem pelacak matahari (*solar tracker*) menjadi solusi untuk memaksimalkan penerimaan energi dari cahaya matahari terhadap panel surya, sistem pelacak matahari digunakan agar panel surya dapat mengikuti pergerakan matahari secara otomatis sepanjang hari, dengan cara mengatur posisi panel surya agar selalu mengikuti pergerakan atau arah matahari, sehingga didapatkan daya maksimum dari panel surya.

Saat ini sistem pembangkit listrik tenaga surya yang mayoritas masih menggunakan sistem konvensional dalam kendali ATS dan monitoring daya listriknya tentunya pengoperasiannya juga terbatas, untuk itu perlu adanya perangkat yang dapat melakukan monitoring daya sekaligus mengendalikan ATS dalam perpindahan antara sumber listrik PLN ke PLTS dari jarak jauh dengan memanfaatkan koneksi internet. Perangkat utama yang dapat digunakan untuk PLTS adalah *board* Sonoff Pow R2 di mana telah dilengkapi dengan modul ESP8266 agar dapat melakukan komunikasi Wi-Fi.

Pada penelitian ini membuat rancang bangun sistem monitoring PLTS menggunakan *board* Sonoff Pow R2 yang dapat dipantau melalui aplikasi *smartphone android*, agar memudahkan pengguna PLTS mengetahui konsumsi daya listrik yang digunakan selama PLTS beroperasi, selain itu akan ditampilkan nilai tegangan, arus dan daya serta KWh secara *real time*, harian, maupun bulanan.

Untuk merancang pembangkit PLTS dibutuhkan beberapa modul atau komponen pendukung diantaranya adalah panel surya, *solar charger controller*, baterai, *inverter*, dan *automatic transfer switch*. Untuk meningkatkan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya sebaiknya dibuat panel surya sebagai *solar tracker*.

Panel surya atau *photovoltaic panel* merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut berjenis diode yang tersusun atas P-N *junction*. *Photovoltaic* dibuat dari bahan semi konduktor yang diproses sedemikian rupa, yang dapat menghasilkan listrik arus searah. Dalam penggunaannya, sel-sel surya itu dihubungkan satu sama lain, sejajar atau seri, tergantung dari penggunaannya, guna menghasilkan daya dengan kombinasi tegangan dan arus yang dikehendaki [3].

Solar charger controller (SCC) merupakan perangkat elektronik yang berguna mengatur arus dan tegangan listrik yang masuk ke dalam baterai atau mengatur keseluruhan sistem *charger* baterai dari sel surya. Alat ini dipasang setelah panel surya dan sebelum baterai. SCC

Baterai merupakan komponen penting pada pembangkit listrik tenaga surya, yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada saat siang hari, sehingga listrik tetap dapat digunakan pada malam hari. Baterai yang biasa digunakan dalam aplikasi PLTS adalah baterai yang bebas pemeliharaan. Selama waktu ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan daya listrik, saat tidak ada sinar matahari, permintaan daya listrik disediakan oleh baterai. Baterai yang paling sering digunakan untuk

aplikasi tenaga surya adalah baterai yang bebas dari pemeliharaan bertimbang asam, sejenis baterai *valve regulated lead acid* (VRLA) [4].

Inverter adalah perangkat elektronik yang berguna untuk mengubah arus listrik DC menjadi arus listrik AC. *Inverter* mengubah sumber listrik searah seperti baterai, panel surya, menjadi listrik bolak-balik [5]. Penggunaan *inverter* dalam pembangkit listrik tenaga surya adalah untuk menyuplai beban atau perangkat elektronik yang menggunakan *input* tegangan AC, seperti lampu penerangan, televisi, dan perangkat elektronik yang lainnya.

Automatic transfer switch (ATS) merupakan rangkaian saklar perpindahan antara sumber PLN dan PLTS yang menuju beban. Sistem ATS yang akan digunakan dapat bekerja secara otomatis maupun manual, yaitu ketika tersedia sumber listrik PLN beban akan otomatis terhubung ke PLN begitupun sebaliknya jika tidak tersedia sumber listrik PLN beban akan terhubung ke sumber listrik dari *inverter* PLTS. Selain bekerja secara otomatis sistem ATS yang digunakan juga dapat dioperasikan secara manual melalui tombol fisik pada Sonoff Pow R2 maupun lewat *smartphone* dari jarak jauh melalui koneksi internet.

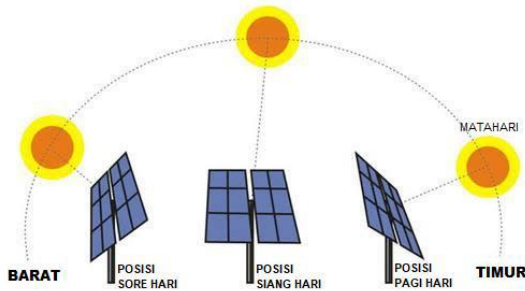
Perangkat Sonoff Pow R2 merupakan perangkat modul mikrokontroler yang dapat terintegrasi dengan *internet of things* yaitu dapat menggunakan koneksi internet sebagai komunikasinya [6]. Sonoff Pow R2 dilengkapi dengan modul komunikasi secara Wi-Fi. Perangkat ini difungsikan sebagai saklar perpindahan antara PLN-PLTS pada mode manual, sekaligus menampilkan nilai daya, arus dan tegangan serta kalkulasi nilai kWh meter yang digunakan. Modul Sonoff terintegrasi dengan aplikasi eWeLink, aplikasi dengan sistem operasi *android*. Bentuk fisik dari modul Sonoff Pow R2 seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Modul Sonoff Pow R2

Solar Tracker adalah perangkat yang mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan/posisi matahari. Penggunaan sistem pelacak matahari (*solar tracker*) dimaksudkan untuk memaksimalkan penerimaan energi dari cahaya matahari terhadap panel surya, tujuannya agar posisi panel surya selalu tegak lurus terhadap matahari, sehingga didapatkan daya maksimum sepanjang hari dari panel surya. Gambar 2

merupakan ilustrasi pergerakan *solar tracker* pada pagi hari sampai sore hari.



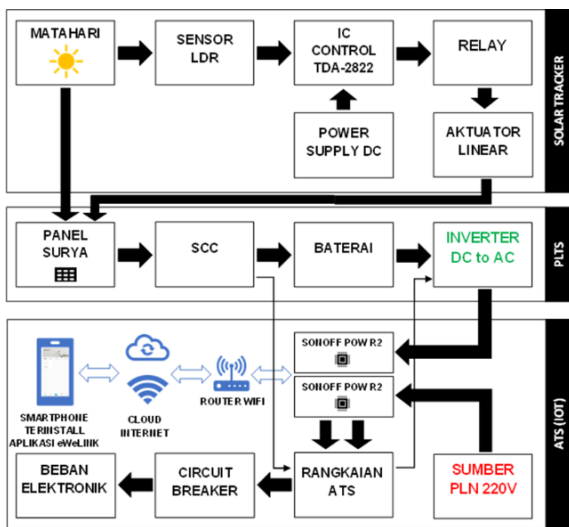
Gambar 2. Ilustrasi pergerakan *solar tracker* [7]

II. METODOLOGI

Pada penelitian rancang bangun sistem monitoring PLTS yang dapat dikendalikan melalui aplikasi *smartphone* dengan sistem operasi *android* maka perlu dirancang perangkat keras dan perangkat lunak yang dapat terintegrasi antara satu dengan yang lainnya. Pada perancangan perangkat keras harus terintegrasi antara perangkat mekanik dan perangkat elektronik, sedangkan pada bagian perangkat lunak harus terintegrasi antara program yang ditanamkan pada modul elektronik dan aplikasi pada *smartphone android*.

A. Perancangan Perangkat Keras

Pada sistem monitoring PLTS ini diagram blok dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian *Solar Tracker*, bagian PLTS & bagian ATS. Gambar 3 menunjukkan diagram blok dari perangkat keras untuk sistem monitoring PLTS.

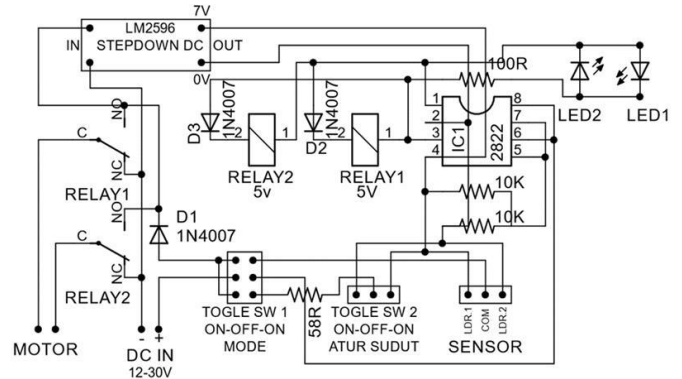


Gambar 3. Diagram blok sistem monitoring PLTS

Dari diagram blok di atas maka dapat diketahui prinsip kerja dari rancang bangun sistem monitoring PLTS yang akan dibuat. Prinsip kerja alat yang dibuat dibagi menjadi 3 bagian utama.

1) *Bagian Solar Tracker*: Sensor LDR berfungsi sebagai sensor yang menangkap cahaya matahari, perbandingan nilai hambatannya akan dijadikan parameter yang nantinya

diproses oleh IC TDA 2822, IC tersebut bertugas sebagai kontrol utama, *output* dari IC memberikan logika keluaran *low/high* kepada *relay*, dua buah *relay* masing-masing memiliki fungsi berbeda dalam mengatur putaran motor DC *linear* yaitu mengatur putaran maju-mundur (*forward/reverse*). Skematik rangkaian untuk *solar tracker* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian *solar tracker*

Selanjutnya motor DC dalam bentuk aktuator linear yang dijadikan *output* utama akan bekerja maju mundur dan menggerakkan kedudukan panel surya menyesuaikan posisi matahari [8]. Rangkaian ini dapat beroperasi dengan sumber catu daya 12-30VDC.



Gambar 5. Implementasi *solar tracker*

Gambar 5 di atas menunjukkan implementasi elektromekanik dari *solar tracker* yang menggerakkan solar panel untuk mengikuti arah gerakan matahari.

2) *Bagian PLTS*: Panel surya berfungsi menangkap cahaya matahari, energi dari cahaya matahari dikonversi menjadi energi listrik DC yang dialirkan ke SCC dan SCC mengatur keluaran arus dan tegangan untuk mengisi baterai agar baterai

tidak *overcharge*, baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang nantinya bisa digunakan saat panel surya tidak memberikan tegangan, *inverter* berfungsi mengubah tegangan listrik DC dari baterai menjadi tegangan listrik AC agar dapat digunakan pada perangkat-perangkat elektronik yang menggunakan listrik AC.

3) *Bagian ATS*: ATS adalah bagian saklar pemindah antara sumber PLN atau PLTS, ATS menggunakan *relay* sebagai saklar pemindahannya. Saat ada tegangan PLN, beban akan menggunakan listrik dari PLN dan tegangan PLTS digunakan sebagai cadangan, saklar pemindah tersebut berupa *relay* dengan *coil* AC 220V, sebelum masuk ATS tegangan dari PLN maupun PLTS melewati perangkat Sonoff Pow R2 sehingga dapat dimonitoring nilai tegangan, arus, daya dan kWh, perangkat ini juga dapat dikendalikan hidup dan matinya melalui *smartphone* dari jarak jauh sehingga ATS dapat bekerja pula secara manual, sistem monitoring ini harus terkoneksi internet, dalam ATS terdapat pula TDR. Terdapat dua TDR dalam alat ini, yaitu TDR-1 sebagai *delay on* PLN (jeda hidup PLN) dan TDR-2 sebagai *delay on* beban (jeda hidup beban) saat *inverter* hidup. Kemudian setelah melewati rangkaian ATS, listrik dapat didistribusikan ke beban melewati MCB agar terproteksi dari arus/beban lebih.

Seluruh perangkat pada bagian PLTS dan bagian ATS dirakit pada satu panel listrik seperti yang terlihat pada Gambar 6.

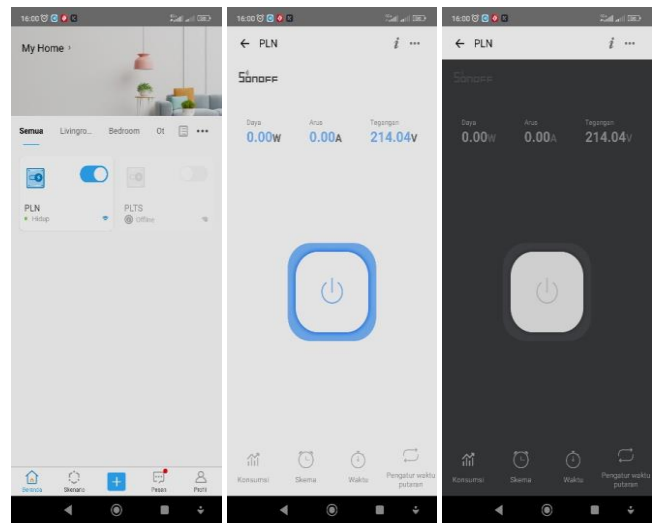


Gambar 6. Implementasi panel kelistrikan

B. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dikembangkan dari aplikasi eWeLink. Aplikasi eWeLink merupakan ekosistem dari berbagai macam perangkat *smart home* salah satu pengembangnya adalah perangkat dari pabrikan Sonoff. Aplikasi eWeLink adalah aplikasi dengan sistem operasi *android* yang tersedia dan dapat dipasang serta bisa diintegrasikan dengan aplikasi Google Assistant dan Google Home sebagai kendalanya.

Aplikasi antarmuka yang digunakan yaitu eWeLink, Gambar 7 merupakan tampilan aplikasi dengan tombol kendali jarak jauh.



Gambar 7. Tampilan aplikasi kendali jarak jauh PLTS

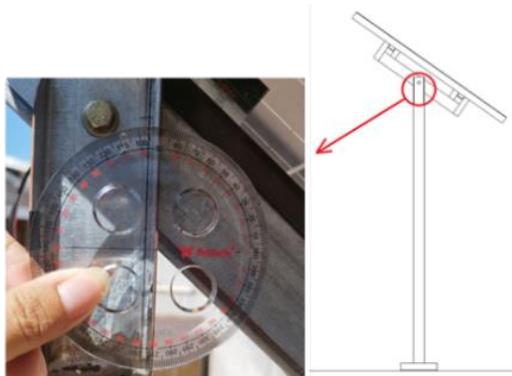
Tampilan pada Gambar 7 di atas merupakan tampilan kendali, layar pertama adalah tampilan menu utama, dalam tampilan menu tersebut terdapat notifikasi yang menandakan perangkat *offline* atau *online* tanda terkoneksi perangkat Sonoff ke internet, pada layar kedua adalah tampilan saat masuk ke perangkat, terdapat kendali tombol dengan latar yang berwarna terang yang menandakan tombol diaktifkan, dan layar ketiga adalah tampilan saat tombol dinonaktifkan, latar akan berwarna gelap. Selain itu saat kondisi darurat perangkat Sonoff ini dapat dioperasikan manual melalui tombol fisik, ketika tidak ada koneksi internet.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perancangan sistem monitoring pembangkit listrik tenaga surya ini, perlu melakukan pengujian terhadap perangkat-perangkat yang akan digunakan untuk mengetahui bahwa sistem akan berjalan dengan baik seperti yang telah direncanakan, terutama pada perangkat-perangkat elektronik yang digunakan dalam perancangan sistem ini. Pengujian yang dilakukan meliputi *solar tracker*, panel surya, SCC, *inverter*, ATS dan perangkat lunak.

A. Pengujian Solar Tracker

Pengujian *solar tracker* bertujuan untuk mengetahui bahwa *solar tracker* berfungsi dengan baik dalam mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan matahari secara otomatis sepanjang hari [9]. Pada pengujian ini juga menggunakan alat ukur berupa busur derajat untuk mengukur kemiringan sudut panel surya, busur derajat yang digunakan adalah busur 360°. Pada pengukuran sudut dengan busur posisi dari sudut 90° ditempatkan di sisi atas, posisi arah sudut panel surya dapat diketahui dari sisi kemiringan sudut bagian samping kanan atau kiri. Gambar 8 menunjukkan pengukuran sudut dengan menggunakan busur derajat.



Gambar 8. Pengujian sudut solar tracker dengan busur derajat

Prinsip kerja solar tracker adalah dengan membaca posisi sinar matahari melalui 2 sensor cahaya LDR, jika salah satu sensor tertutup bayangan sekat maka resistansi kedua LDR akan berbeda yang nantinya menjadi nilai parameter yang akan diproses IC untuk memberikan logika low/high kepada 2 unit relay, masing-masing relay berfungsi mengatur putaran aktuator forward dan reverse sehingga aktuator linear dapat bergerak maju atau mundur. Pada perangkat solar tracker juga dilengkapi dengan mode manual dalam mengatur sudut panel surya, sehingga mode manual juga akan diuji untuk mengetahui kinerjanya.



Gambar 9. Pengujian solar tracker

Gambar 9 menunjukkan perpindahan arah solar panel dari pagi hari sampai sore hari. Solar tracker pada mode otomatis dapat mengarahkan panel surya mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, di mana pada pagi hari solar tracker dapat mengarahkan panel surya ke arah timur kemudian bergerak secara otomatis mengikuti pergerakan matahari ke arah barat, proses pelacakan posisi matahari tersebut menggunakan sensor cahaya LDR sedangkan untuk kendali gerakannya menggunakan linear aktuator yang berupa motor DC. Kemudian pada mode manual pengaturan sudut dapat melalui toggle switch, switch-1 mengubah mode manual/otomatis switch-2 untuk mengatur sudut panel surya pada mode manual, mode manual dimaksudkan untuk membantu dan memudahkan saat panel surya ingin dipasang tetap (statis) ataupun untuk keperluan perawatan panel surya secara berkala seperti pembersihan panel dari debu sehingga lebih memudahkan dalam memosisikan sudut panel surya. Tabel 1 merupakan hasil pengukuran dari pergerakan solar tracker single axis [10].

Tabel 1. Pengukuran sudut solar tracker

Jam	Kondisi Cuaca	Sudut Panel	Arah Kemiringan
08:00	Cerah	32°	Timur
09:00	Cerah	26°	Timur
10:00	Cerah	19°	Timur
11:00	Cerah	10°	Timur
12:00	Cerah	3°	Barat
13:00	Cerah	16°	Barat
14:00	Cerah	29°	Barat
15:00	Cerah	38°	Barat
16:00	Cerah	40°	Barat

Dari hasil pengujian pengukuran sudut diketahui bahwa solar tracker dapat bergerak dengan maksimal sudut sebesar 80° dengan pergerakan 40° ke arah timur dan 40° ke arah barat. Pada pengujian mode manual solar tracker dapat bergerak dengan sudut penuh yaitu 80°. Sedangkan pada mode otomatis posisi sudut panel surya dilakukan saat cuaca cerah sepanjang hari, kemudian arah sudut panel dihitung berdasarkan posisi busur, yaitu posisi busur sudut 90° diposisikan di atas yang artinya pada saat siang hari arah sudut panel dalam kondisi sejajar atau rata menunjukkan sudut 0°. Dari hasil pengujian pada posisi otomatis solar tracker dapat bergerak 32° ke arah timur dan 40° ke arah barat artinya pergerakan total pada mode otomatis hanya sebesar 72° dari total sudut 80°, pada pukul 16:00 solar tracker sudah mencapai posisi sudut yang maksimal yaitu 40°.

B. Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya dimaksudkan untuk mengetahui bahwa panel surya dapat berfungsi dengan baik dalam menerima cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik, tegangan keluaran dari panel surya merupakan tegangan listrik searah. Pada tahap pengujian ini panel surya diarahkan langsung ke matahari, kemudian kabel output panel surya diukur dengan multimeter, atur selektor multimeter pada DC voltage, probe positif multimeter dihubungkan dengan kabel positif panel surya, lalu probe negatif multimeter dihubungkan juga ke kabel negatif panel surya kemudian lihat besar tegangan keluaran yang terukur pada layar multimeter.

Pada Gambar 10 memperlihatkan pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan luxmeter, nilai intensitas cahaya yang terukur nantinya dapat dijadikan gambaran adanya korelasi antara intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh sel surya. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan meletakkan luxmeter sejajar dengan permukaan panel surya.

Pengujian dilakukan secara keseluruhan untuk perangkat panel surya dilakukan selama tiga hari dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan hasil pada hari yang berbeda. Untuk hasil pengukuran hari pertama diperlihatkan pada Tabel 2.

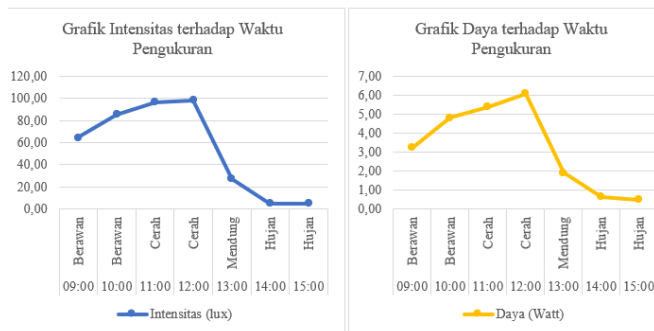


Gambar 10. Pengujian panel surya

Tabel 2. Pengukuran hari pertama

Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09:00	Berawan	64,37	12,43	0,26	3,23
10:00	Berawan	85,63	12,67	0,38	4,81
11:00	Cerah	96,62	12,80	0,42	5,38
12:00	Cerah	98,21	12,94	0,47	6,08
13:00	Mendung	27,23	12,80	0,15	1,92
14:00	Hujan	5,02	12,61	0,05	0,63
15:00	Hujan	5,00	12,52	0,04	0,50
Total Daya (Watt)					22,56

Dari hasil pengujian pada hari pertama dapat dilihat pada grafik bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka akan semakin tinggi juga daya yang dihasilkan. Grafik hasil pengujian hari pertama diperlihatkan pada Gambar 11, pada gambar tersebut menampilkan grafik daya terhadap intensitas cahaya.



Gambar 11. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian pertama

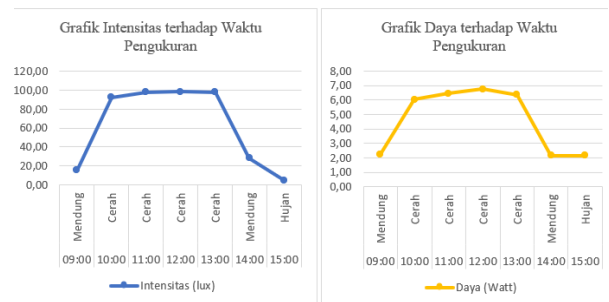
Hasil pengukuran hari kedua diperlihatkan pada tabel 3. Dari hasil pengujian pada hari kedua dapat dilihat pada grafik bahwa semakin tinggi intensitas cahaya maka akan semakin tinggi juga daya yang dihasilkan. Intensitas cahaya bergantung dengan kondisi cuaca, semakin cerah cuaca maka semakin tinggi juga intensitas cahayanya. Grafik hasil pengujian hari kedua diperlihatkan pada Gambar 12.

Untuk hasil pengukuran hari ketiga dilakukan pengujian selama 24 jam, dan hasil pengujiannya diperlihatkan pada tabel 4. Berdasarkan hasil pengujian, solar panel dapat menghasilkan sumber listrik mulai dari jam 06 sampai 18 WIB dengan total daya yang dihasilkan sebesar 44,29 W dan semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima maka semakin

tinggi daya yang dihasilkan. Gambar 13 memperlihatkan grafik daya terhadap intensitas cahaya berdasarkan pengujian pada hari ketiga.

Tabel 3. Pengukuran hari kedua

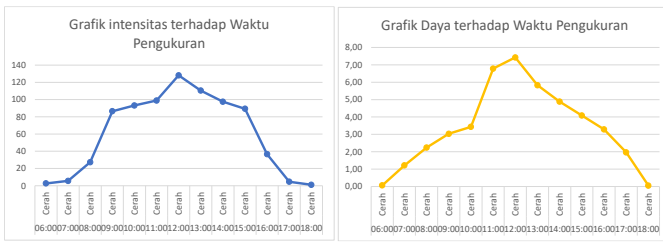
Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
09:00	Mendung	15,35	12,50	0,18	2,25
10:00	Cerah	92,16	13,10	0,46	6,03
11:00	Cerah	97,85	13,18	0,49	6,46
12:00	Cerah	98,32	13,21	0,51	6,74
13:00	Cerah	97,51	13,23	0,48	6,35
14:00	Mendung	28,49	12,76	0,17	2,17
15:00	Hujan	5,00	12,74	0,17	2,17
Total daya (Watt)					32,17



Gambar 12. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian kedua

Tabel 4. Pengukuran hari ketiga selama 24 jam

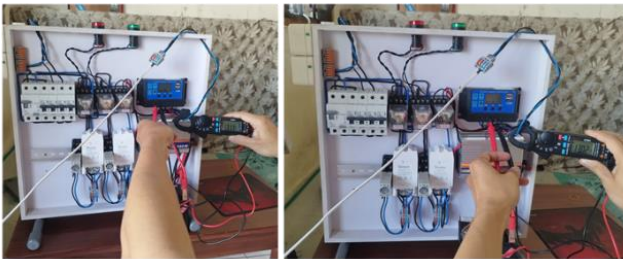
Jam	Kondisi Cuaca	Intensitas (Lux)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
00:00	Gelap	0	0	0	0,00
01:00	Gelap	0	0	0	0,00
02:00	Gelap	0	0	0	0,00
03:00	Gelap	0	0	0	0,00
04:00	Gelap	0	0	0	0,00
05:00	Gelap	0	0	0	0,00
06:00	Cerah	2,650	6,49	0,01	0,06
07:00	Cerah	5,576	12,15	0,10	1,22
08:00	Cerah	27,290	13,17	0,17	2,24
09:00	Cerah	86,450	13,19	0,23	3,03
10:00	Cerah	93,140	13,20	0,26	3,43
11:00	Cerah	98,870	13,30	0,51	6,78
12:00	Cerah	128,100	13,50	0,55	7,43
13:00	Cerah	110,450	13,24	0,44	5,83
14:00	Cerah	97,520	13,20	0,37	4,88
15:00	Cerah	89,310	13,18	0,31	4,09
16:00	Cerah	36,540	13,15	0,25	3,29
17:00	Cerah	4,560	13,10	0,15	1,97
18:00	Cerah	1,05	5,23	0,01	0,05
19:00	Gelap	0	0	0	0,00
20:00	Gelap	0	0	0	0,00
21:00	Gelap	0	0	0	0,00
22:00	Gelap	0	0	0	0,00
23:00	Gelap	0	0	0	0,00
Total Daya (Watt)					44,29



Gambar 13. Grafik daya terhadap intensitas cahaya pengujian ketiga

C. Pengujian SCC

Pengujian SCC bertujuan untuk mengetahui apakah SCC dapat bekerja dengan baik dalam menyesuaikan arus dan tegangan yang masuk ke baterai hal ini guna melindungi baterai dari kerusakan karena *overcharging*. Pengujian SCC dilakukan menggunakan multimeter digital pada skala DC Volt pada terminal *input* panel surya dan terminal *output* yang menuju baterai. Gambar 14 memperlihatkan pengukuran SCC dengan menggunakan multimeter digital.



Gambar 14. Pengujian SCC dengan multimeter digital

Hasil pengukuran terminal *input* SCC dan terminal *output* SCC yaitu pada terminal *input* besar tegangannya adalah 13,11VDC dan pada terminal *output* sebesar 13,02 VDC, yang artinya SCC berhasil menurunkan tegangan dari panel surya agar sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan dalam proses *charging* baterai.

D. Pengujian Inverter

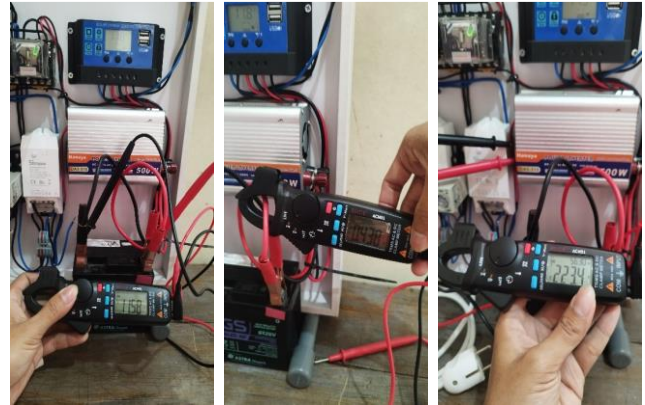
Pengujian *inverter* bertujuan untuk mengetahui apakah *inverter* dapat bekerja dengan baik dalam mengubah arus listrik searah menjadi arus listrik bolak-balik dari tegangan 12VDC menjadi tegangan 220VAC. Dari hasil pengujian *inverter* 500W pada sistem yang dibuat dilakukan pengukuran tegangan pada *input* dan *output inverter* menggunakan multimeter, pada *input inverter* tegangan terukur 11,58V dengan arus yang mengalir 0,438 Ampere, sedangkan pada tegangan *output* menunjukkan nilai tegangan 223,4 VAC pada posisi *inverter* tidak dihubungkan ke beban seperti yang terlihat pada Gambar 15. Hal ini artinya *inverter* berhasil mengubah tegangan dari DC menjadi AC.

Kemudian perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui daya yang digunakan *inverter* pada saat proses mengubah tegangan, perhitungannya sebagai berikut:

$$P = V \times I$$

$$P = 11,58V \times 0,438A$$

P = 5,07 W



Gambar 15. Pengujian inverter

Dari hasil perhitungan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa untuk mengubah tegangan dari DC ke AC *inverter* 500W yang digunakan pada PLTS ini menggunakan daya sebesar 5,07 W.

E. Pengujian ATS

Pengujian ATS bertujuan untuk mengetahui apakah ATS dapat bekerja dengan baik dalam memindahkan sumber listrik dari PLN ke sumber listrik dari *inverter* PLTS. Serta mengetahui daya yang digunakan pada rangkaian ATS yang didalamnya terdapat *relay* dan *timer*. Berikut langkah-langkah dalam pengujian ATS:

1. Periksa komponen pada rangkaian ATS (perangkat Sonoff, *relay*, *timer*, dan MCB berfungsi secara normal.
2. Setelah dipastikan semua perangkat normal maka selanjutnya hubungkan ke sumber listrik PLN lalu periksa apakah *relay* 1 hidup dan beban tersambung ke jalur listrik PLN.
3. Jika bekerja dengan baik maka Sonoff 1 hidup lalu *timer* bekerja kemudian *pilot lamp* yang warna merah menyala, sebagai tanda bahwa beban terhubung ke PLN.
4. Kemudian ukur dengan multimeter apakah terminal *output* untuk beban mengeluarkan listrik 220VAC.
5. Selanjutnya pengujian dari sumber PLTS, langkah pertama putuskan sumber listrik dari PLN dengan menekan tombol fisik pada perangkat Sonoff ke 1 kemudian *relay* 1 off, *inverter* hidup, Sonoff ke 2 hidup, *timer* 2 bekerja menghidupkan *relay* 2, *output inverter* terhubung ke beban.
6. Kemudian lihat dan pastikan *pilot lamp* merah mati dan *pilot lamp* hijau menyala sebagai tanda beban terhubung ke sumber PLTS.
7. Ukur dengan multimeter apakah terminal *output* untuk beban mengeluarkan listrik 220VAC.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, ATS dapat berfungsi dengan baik dalam melakukan perpindahan sumber listrik dari PLN ke PLTS maupun sebaliknya secara otomatis ditandai dengan *pilot lamp* menyala, di mana merah sebagai tanda sumber dari PLN sedangkan hijau adalah tanda sumber dari PLTS, perpindahan ATS dapat secara langsung maupun

jeda melalui *timer*, prinsip kerjanya ketika ada tegangan listrik dari PLN maka beban terhubung ke sumber PLN, pada saat tidak ada tegangan listrik dari PLN otomatis berpindah ke PLTS dengan menghidupkan *inverter*, perangkat utama sebagai saklar pemindah adalah *relay* dengan *rating* arus 10 A sehingga mampu mendistribusikan daya hingga 2200 VA, untuk itu penulis menambahkan juga MCB 10A agar beban tidak melebihi daya tersebut. Gambar 16 menunjukkan implementasi ATS pada sistem solar panel yang telah dibuat.



Gambar 16. Implementasi ATS

Selain dapat berpindah secara otomatis ATS yang dibuat juga dapat dioperasikan secara manual dari jarak jauh melalui internet hal ini dapat dilakukan karena adanya dua buah perangkat Sonoff Pow R2 dengan satu perangkat terhubung ke PLN satu perangkat lagi dihubungkan ke *inverter* di mana memungkinkan untuk dioperasikan manual yaitu dengan cara mematikan perangkat Sonoff yang terhubung ke sumber PLN hal ini dapat secara otomatis mengaktifkan fungsi ATS untuk memindahkan beban ke sumber PLTS.

F. Pengujian Perangkat Lunak

Pada pengujian perangkat lunak meliputi pengujian aplikasi yang menjadi antarmuka monitoring dan *controlling* serta pengujian koneksi antara perangkat Sonoff dengan aplikasi monitoring yaitu aplikasi eWeLink. Pada pengujian ini menggunakan perangkat *smartphone android* yang nantinya digunakan untuk memasang aplikasi eWeLink. Namun sebelum ke tahapan pengujian perlu adanya konfigurasi antara aplikasi dengan perangkat Sonoff.

Dari pengujian perangkat lunak dapat disimpulkan bahwa aplikasi eWeLink yang terinstal pada *smartphone android* dapat terkoneksi dengan baik ke perangkat Sonoff. Tombol kendali dapat dioperasikan dari jarak jauh, dengan cara menghubungkan perangkat Sonoff ke Wi-Fi *router* di rumah, sedangkan *smartphone* menggunakan data seluler sehingga koneksinya bisa dua arah, artinya kendali maupun monitoring dapat dilakukan dari jarak jauh. Selain itu perangkat Sonoff

juga dapat melakukan monitoring nilai daya, arus dan tegangan yang ditampilkan pada aplikasi eWeLink.

G. Pengujian Beban PLTS dan Monitoring Daya

Sebelum melakukan analisis pada sistem monitoring daya dengan aplikasi eWeLink terlebih dahulu dilakukan analisis beban yang digunakan sebelum melewati perangkat Sonoff. Dari hasil analisis pada *inverter* 500 W didapatkan daya sebesar 5,07 W untuk mengubah tegangan dari DC ke AC, lalu keluaran dari *inverter* terhubung ke perangkat Sonoff yang membutuhkan daya 6,75 W, sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{inverter} + P_{sonoff} \\ P_{total} &= 5,07 \text{ W} + 6,75 \text{ W} \\ P_{total} &= 11,82 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga konsumsi daya pada sistem di luar beban, dibutuhkan daya sebesar 11,82 W.

Baterai yang digunakan pada PLTS ini berkapasitas 12 V 6Ah sehingga diperoleh daya sebesar 72 W, agar baterai lebih tahan lama maka perlu diperhitungkan *Depth of Discharge* (DoD) sekitar 70% sehingga kapasitas aktif baterai hanya 50,4 Wh. DoD 30% sisanya disimpan dalam baterai untuk membantu membangkitkan sel-sel baterai pada saat proses *charging*.

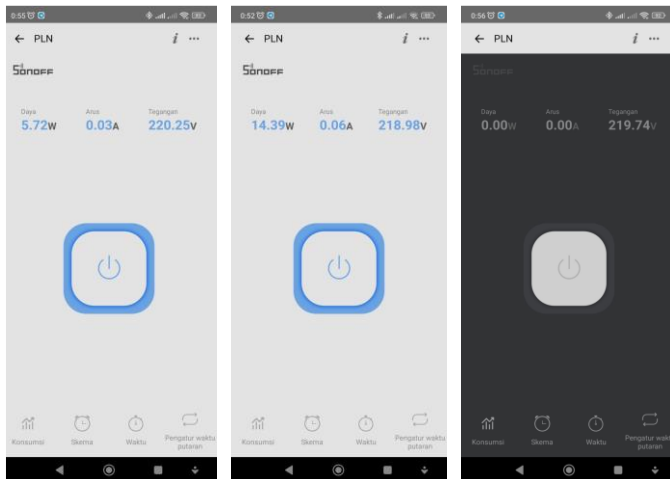
Berdasarkan data dari produk panel surya 10WP yang digunakan, nilai arus maksimum (I_{max}) sebesar 0,571 A dan tegangan maksimum (V_{max}) yang dihasilkan sebesar 17,5 V, sehingga daya maksimum yang dihasilkan adalah 9,9925 Wp atau ± 10 Wp, dengan toleransi daya maksimum yang diperbolehkan sekitar 3%. Berdasarkan data produk waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh paling cepat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h &= (\text{Kapasitas } 70\%) / (V_{max} \times I_{max}) \times 20\% \\ &\text{rugi-rugi daya} \\ h &= (50,4 \text{ Wh} / 10 \text{ W}) \times 20\% \\ h &= 5,4 \text{ h} + 1,08 \\ h &= 6,8 \text{ jam} \end{aligned}$$

Selain fungsi perangkat Sonoff Pow R2 sebagai saklar dan kendali ATS, fitur lain yang dapat dimanfaatkan dari perangkat ini pada sistem PLTS yaitu fitur monitoring yang terdiri dari monitoring daya, arus, tegangan serta kalkulasi kWh yang digunakan. Hal ini sangat membantu pengguna dalam memonitor PLTS kapan pun dan dari mana pun karena akses yang mudah dan bisa dilakukan jarak jauh melalui koneksi internet. Juga dapat mengetahui biaya yang dikeluarkan dari penggunaan listrik masing-masing sumber (PLN maupun PLTS) dalam periode yang telah ditentukan. Berikut merupakan gambar tampilan aplikasi eWeLink saat memonitoring daya.

Gambar 17 menunjukkan data monitoring pada sumber PLN karena pada dasarnya hasil pembacaan Sonoff dari PLN dan PLTS yang menuju beban relatif sama. Analisis dilakukan dengan menambahkan beban satu lampu 9 W. Pada

layar pertama beban lampu tidak ditambahkan dan terbaca daya sebesar 5,72 W dengan arus 0,03 A dan tegangan 220,25 VAC. Daya tersebut merupakan daya dari rangkaian ATS yang berupa *relay* dan *timer*. Pada layar kedua menampilkan daya setelah ditambahkan beban lampu LED 9 W menjadi 14,39 W yang artinya beban lampu 9 W yang terbaca adalah 14,39 W - 5,72 W = 8,67 W dengan arus 0,06 A dan tegangan 218,98 VAC. Kemudian layar ke tiga adalah tampilan saat saklar dimatikan, sehingga hanya tegangan *input* yang terbaca pada aplikasi.



Gambar 17. Monitoring daya pada aplikasi eWeLink

Pada layar kedua menampilkan daya setelah ditambahkan beban lampu LED 9W menjadi 14,39 W yang artinya beban lampu 9 W yang terbaca adalah 14,39 W - 5,72 W = 8,67 W dengan arus 0,06 A dan tegangan 218,98VAC. Kemudian layar ke tiga adalah tampilan saat saklar dimatikan, sehingga hanya tegangan *input* yang terbaca pada aplikasi.

Dari hasil analisis monitoring daya semua perangkat, maka didapatkan beban total = 11,82 W + 14,39 W = 26,21 W. Untuk mengetahui seberapa lama PLTS dapat bekerja dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Kapasitas daya baterai}}{\text{Daya dalam PLTS}} \times \text{Rugi} - \text{rugi daya}$$

$$P = \frac{50,4Wh}{26,21W} \times 20\%$$

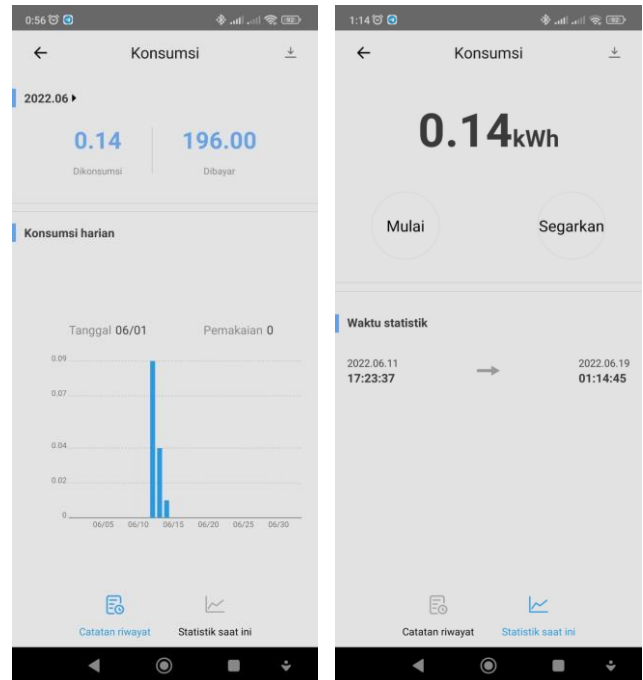
$$P = 1,92 - 0,38$$

$$P = 1,54 \text{ Jam atau } 92 \text{ menit}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa PLTS dapat bekerja selama 1,54 jam atau 92 menit dengan beban satu unit lampu 9W, beban ATS dan beban daya dalam PLTS.

Selain monitoring daya, perangkat Sonoff juga mampu menyimpan data daya yang kemudian dikalkulasikan ke dalam penggunaan kWh. Gambar 18 menunjukkan tampilan penggunaan kWh pada aplikasi eWeLink. Dari data pada Gambar 18 aplikasi eWeLink mampu menyimpan data kalkulasi penggunaan listrik dalam satuan kWh dari beban elektronik dan dapat ditampilkan per hari, per bulan maupun per periode yang diinginkan sehingga dapat diketahui juga penggunaan listrik tertinggi pada tanggal berapa, serta biaya

dalam satuan rupiah yang harus dibayar, sebaliknya apabila monitoring tersebut pada bagian sumber PLTS pengguna juga dapat mengetahui biaya listrik yang telah dihemat dengan penggunaan PLTS.



Gambar 18. Kalkulasi KWh pada aplikasi eWeLink

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan adanya korelasi antara intensitas cahaya matahari dengan daya yang dihasilkan panel surya berbanding lurus yaitu semakin besar intensitas cahaya matahari maka semakin besar juga daya yang dihasilkan panel surya. Dari data pengukuran rata-rata puncak perolehan daya tertinggi adalah antara jam 11:00-13:00, daya tertinggi yang dihasilkan panel surya 10 Wp pada proses pengambilan data sebesar 7,43 W dengan intensitas cahaya 128.10 lx pada jam 12:00 di hari ketiga. Penggunaan *solar tracker* sangat membantu dalam sistem PLTS karena dapat membantu mengarahkan panel surya untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari yang maksimum sepanjang hari secara otomatis, sehingga dapat memaksimalkan perolehan daya terhadap waktu. Perangkat Sonoff Pow R2 yang dihubungkan ke sumber PLN dan PLTS dapat dikonfigurasi dengan aplikasi eWeLink menggunakan *smartphone android*, koneksinya melalui jaringan Wi-Fi, proses monitoring dan kendali dapat dilakukan dari dua arah, yaitu *smartphone* dapat terhubung internet menggunakan data seluler dan Sonoff menggunakan *router Wi-Fi* sehingga tidak ada batasan jarak dalam pengoperasiannya.

Dengan baterai 12 V 6 Ah memiliki kapasitas total sebesar 72 Wh apabila menggunakan perhitungan DoD sebesar 70% kapasitas aktifnya menjadi 50,4Wh, jika dilakukan proses *charging* dengan perhitungan rugi-rugi daya sebesar 20%

waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai hingga penuh 100% yaitu selama 6,8 jam dengan panel surya 10Wp pada kondisi puncak. Berdasarkan kapasitas baterai dan total daya beban yang diujikan, PLTS dapat dioperasikan selama 1,54 jam atau 92 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hasan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi," *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, vol. 10, no. 2, 2012.
- [2] R. A. Diantari, S. Rahayu, and R. Okvasari, "Analisis Instalasi Listrik Menggunakan Pembangkit Listrik Surya Skala Rumah Tangga", *Jurnal Ilmiah Sutet*, vol. 8, no. 2, pp. 122-128, 2018.
- [3] F. Hindarti and E. Ayuningtyas, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 150 WP Sebagai Suplai Energi pada Fotobioreaktor Mikroalga." *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, vol. 20, no.1, pp. 58-68, 2020.
- [4] D. Liestyowati, I. Rachman, E. Firmasyah, and Mujiburohman, "Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt," *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 1, no. 5, pp. 623-634, 2022.
- [5] M. Roal, "Peningkatan Efisiensi Energi Menggunakan Baterai Dengan Kendali Otomatis Penerangan Ruang Kelas Berbasis PLTS," *Jurnal Elkha*, vol. 7, no. 2, pp. 12-20, 2015.
- [6] Y. Apriani, M. R. Bagaskara, I. M. Sofian, and W. A. Oktavian, "The Automatic *Monitoring* System for WPP, SPP, and PLN base on The Internet of Things (IoT) Using Sonoff Pow R2," *Elinvo*, vol. 6, no. 2, pp. 174-182, 2021.
- [7] P. Siagian and R. Manurung, "Pengembangan Panel Surya 120 WP dengan Solar Tracker Double Axis Sebagai Bahan Pembelajaran Mahasiswa di Program Studi Teknik Mesin UHN," *SjoME*, vol. 3, no. 2, pp. 115-128, 2022.
- [8] E. R. A. Larico and A. C. Gutierrez, "Solar Tracking System Photovoltaic Cell: Experimental Analysys at High Alitute", *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 3, pp. 630-639, 2022.
- [9] D. N. Sadewo, T. Arifianto, L.S. Moonlight and B. Wasito, "Penggunaan Solar Tracker Untuk Analisis Pencarian Daya Maksimal pada Panel Surya," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 7., no. 2, pp. 43-47, 2022.
- [10] A. B. Pulungan, Q. Fajri, and I. Yelfianhar, "Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker pada Daerah Khatulistiwa," *Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional*, vol. 7, no. 2, pp. 261-270, 2021.