

Sistem Kendali *Automatic Transfer Switch* dan *Monitoring* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Usaha Mikro *Laundry*

Alinda Rana Tsamarah^a, Mahendra Widyanono^b, Widi Aribowo^c, Ayusta Lukita Wardani^d

^{a, b, c, d}Department of Electrical Engineering, Vocational Program, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 February 2024
Received in revised form
10 March 2024
Accepted 20 April 2023
Available online 20 June 2024

Keywords:

ATS
PLTS
Laundry
Monitoring

ABSTRACT

An independent electricity generation system using renewable energy, namely sunlight, is a Solar Power Plant (PLTS). The design of PLTS in this micro laundry business aims to more efficiently reduce PLN electricity consumption. The addition of the ATS control system to the PLTS was created as an energy backup for the washing machine when the main power source goes out. This research is an experiment with a calculation and measurement approach. The tests carried out were to test the performance of PLTS with the ATS control system and Node-Red based monitoring and the amount of savings in September. The solar panels produce an average current of 9.12 A and a voltage of 13.79 V. Battery capacity usage for loads does not exceed 50% DOD. The average battery charging current is 8.20 A with an estimated full charge of 15 hours without loading. This month's savings are IDR 31,495 from August's electricity bill. The intensity of sunlight and the amount of laundry done are the main factors in the results of PLTS work. The strength of the WiFi signal influences the speed of reading and transferring data, namely the use of power, voltage and electric current of PLN and PLTS in the red node-based monitoring system. This PLTS can work optimally so that it is able to withstand loads according to the specified capacity.

1 Pendahuluan

Letak kondisi geografis di Indonesia yang berada di garis khatulistiwa memiliki potensi cukup besar dan menjanjikan di masa depan untuk energi terbarukan yang bersumber dari sinar matahari. Sebuah sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [1].

Laundry merupakan bidang usaha yang prospektif. Pertumbuhan *laundry* tidak hanya berkembang di kota-kota besar saja. Sektor usaha skala kecil (usaha mikro) seperti jasa *laundry* identik dengan pemakaian pompa air, mesin cuci dan setrika untuk setiap harinya. Penggunaan alat-alat elektronik tersebut pasti membutuhkan konsumsi daya yang tinggi. Kondisi saat menyalakan alat elektronik tersebut secara bersamaan mengakibatkan *trip* dikarenakan kelebihan muatan daya. Di samping itu saat terjadinya pemadaman secara tiba-tiba dapat mengganggu dikarenakan harus mengulang lagi proses pencucian terutama mesin cuci satu tabung *front loading* sehingga perlu ada cadangan energi listrik supaya mesin cuci tersebut dapat beroperasi.

Proses perubahan daya listrik dari sumber tegangan utama ke sumber cadangan tidak boleh menyebabkan hilangnya beban daya listrik karena adanya penundaan waktu dalam pergantian sumber tegangan. Oleh karena itu, harus memiliki sistem kendali tambahan berupa *Automatic Transfer Switch* (ATS). Penambahan sistem kendali ATS ini juga dirancang untuk beroperasi secara otomatis tanpa kehilangan daya saat kapasitas baterai panel surya di bawah standar yang telah ditentukan [2]. Berdasarkan uraian di atas, penulis bermaksud memberikan pemikiran penelitian tentang "Sistem Kendali *Automatic Transfer Switch* (ATS) Dan *Monitoring* Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Usaha Mikro *Laundry*". Kota Sidoarjo memiliki intensitas matahari cukup tinggi menjadi salah satu pertimbangan untuk memasang

PLTS. Pemanfaatan PLTS pada usaha mikro *laundry* diharapkan lebih efisien untuk mengurangi konsumsi daya listrik PLN. Mengoptimalkan usaha *laundry* dari permasalahan yang ada seperti perancangan sistem kendali ATS ini dibuat sebagai cadangan energi ketika sumber tegangan utama padam. Sistem kendali ATS juga memperpanjang umur baterai yang digunakan agar performa baterai tidak cepat turun [2]. Melakukan *monitoring* penggunaan listrik PLTS dan PLN berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan server *Node-red*. Selain itu, dengan pemasangan PLTS juga membantu pengembangan pemanfaatan potensi energi terbarukan bersumber dari matahari di Indonesia [1].

2 Studi Literatur

Sistem PLTS terdiri dari beberapa komponen utama yakni modul surya merupakan alat yang dapat mengubah energi elektromagnetik cahaya matahari menjadi energi listrik, *Solar Charge Controller* (SCC) merupakan alat pengubah keluaran panel surya berupa arus dan tegangan untuk mencapai tingkat kestabilan tegangan baterai dan mengatur proses pengisian baterai [3], baterai juga berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya dan digunakan pada saat panel surya tidak mencukupi untuk memasok energi ke beban, dan *inverter* merupakan alat yang melakukan konversi daya arus searah (DC) yang tersimpan pada baterai maupun hasil dari energi listrik modul surya menjadi arus bolak balik atau (AC) [4].

Pembuatan sistem ATS dilakukan dengan merangkai beberapa komponen seperti *relay* yang berfungsi sebagai pengendali arus seperti saklar sebagai penghubung dan pemutus dengan cara membuka dan menutup rangkaian secara otomatis. *Mini Circuit Breaker* (MCB) berfungsi sebagai proteksi arus listrik untuk melindungi peralatan yang disebabkan terjadinya beban berlebih dan hubung pendek (*short circuit*). *Time Delay Relay* (TDR) berfungsi sebagai *relay* pengatur waktu peralatan

yang dikendalikan secara otomatis saat peralihan sumber. Lampu sebagai indikator sumber listrik mana yang sedang beroperasi [5]. Kegiatan monitoring dilakukan untuk mendapatkan informasi berdasarkan indikator tertentu, dengan maksud mengetahui apakah kegiatan yang sedang berlangsung sesuai dengan perencanaan dan prosedur yang telah disepakati. Sistem monitoring dibangun untuk memberi informasi dengan menampilkan data pada interface sebuah aplikasi *smartphone* maupun Perangkat Komputer (PC) yang berbasis *Internet of things* (IoT). Tujuan dari sistem monitoring adalah membantu mengetahui kinerja suatu perangkat. [6]

3 Metodologi

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen (percobaan). Dibutuhkan merancang dan mendirikan perangkat pembangkit listrik tenaga surya sebagai layanan penyediaan listrik untuk usaha *laundry* skala kecil. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengamati benda uji untuk mengetahui apakah alat yang digunakan berfungsi sesuai rancangan dan diperoleh data pengukuran setiap komponen yang digunakan. Lalu melakukan analisis data hasil eksperimen sebagai data kuantitatif dengan mengkaji dan menampilkan dalam format tabel. Kemudian menyajikan informasi yang diperoleh dalam bentuk teks yang mudah dipahami dan pada dasarnya bertujuan untuk memberikan jawaban atas pertanyaan penelitian yang diselidiki.

3.2 Perencanaan Sistem

Pada tahap ini menentukan komponen serta menghitung kapasitas sistem yang dibutuhkan. Berikut beberapa langkah yang harus dilakukan pada tahap perencanaan sistem:

- Menentukan serta menghitung kebutuhan daya listrik beban harian yang ingin di suplai oleh sistem PLTS. Beban mesin cuci 1 tabung *front loading* kapasitas 7 kg dan 8 kg dengan estimasi daya 250 W dan 300 W menyala 1 jam, dengan penambahan daya 60% sebagai pengganti dari rugi-rugi sistem serta untuk faktor keamanan (*safety factor*) [7], maka diperoleh kebutuhan daya sebesar 1100 W.
- Komponen Utama : Perhitungan besar ukuran serta menentukan jenis komponen yang diperlukan. Panel surya sebesar 150 WP sebanyak 2 buah, diperoleh dari hasil perhitungan daya total dibagi waktu optimal penyinaran selama 5 jam. Besar *Solar Charge Controller* dilihat dari spesifikasi ISC sel surya dikali jumlah panel [7], diperoleh nilai 30 A. *Inverter* dengan efisiensi 94% dibagi dengan daya total kemudian ditambah daya total [7], didapatkan besar 2000 watt. Kapasitas baterai yang digunakan dengan DOD 50% dari daya total kemudian ditambah 6% dari pengurangan efisiensi *inverter* [7], didapatkan nilai 200 Ah. Sistem PLTS yang akan dibangun sebesar 12 V.
- Komponen Pendukung : Perhitungan ukuran serta menentukan tipe dan satuan komponen. Perhitungan kabel DC berdasarkan tabel AWG (*American Wire Gauge*) sedangkan pada kabel AC berdasarkan besar MCB dikali 125% sebagai faktor keamanan. Perhitungan MCB berdasarkan besar arus yang mengalir. Besar *relay* yang digunakan berdasarkan tegangan kerja dan kemampuan maksimal arus. Adapun komponen pendukung lain menunjang sistem ATS

seperti sensor baterai, alat untuk sistem *monitoring* seperti modul komunikasi yang dipakai.

3.4 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di rumah penulis yang beralamat lengkap di Jalan Wates, Tenggulunan Maju Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. Waktu pengujian menyesuaikan banyak cucian yang ada per harinya yang dimulai pukul 08.30 WIB-20.00 WIB kemudian diakumulasikan selama 1 bulan. Peletakan panel surya pada penelitian ini menghadap utara. Membatasi sudut kemiringan hingga 10° agar air hujan dapat membersihkan panel surya secara alami. Peletakan dengan cara "Modul Surya Tetap" (*Fixed Array*), yakni deretan modul surya yang diletakkan pada rangka tersendiri dan menyatu ke struktur atap dak beton. Pemasangan model PLTS seperti ini sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan sedikit biaya.



Gambar 2. Ilustrasi peletakan PLTS

3.5 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan komponen utama dengan komponen pendukung. Terdapat komponen yang paling utama. Komponen ini yang berfungsi untuk menunjang PLTS dengan sistem *hybrid*. Komponen pendukung yaitu komponen elektronika yang berfungsi untuk mendukung sistem kerja, seperti sebagai proteksi dan sistem *monitoring*. Berikut merupakan tabel alat dan bahan yang diperlukan:

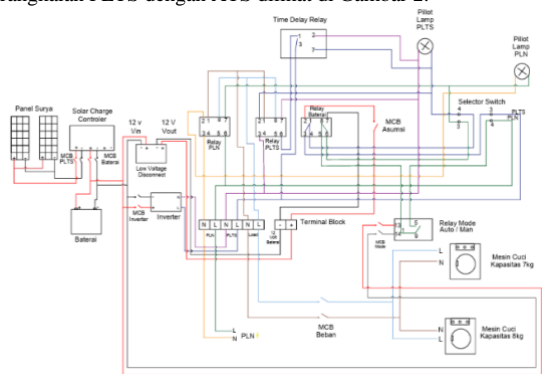
Tabel 1. Komponen yang digunakan

Nama	Jumlah	Spesifikasi
Panel Surya	2	Monocrystalline 150 WP Solana
<i>Solar Charge Controller</i>	1	MPPT 40A Epever
Baterai	1	12 V 200Ah Deep Cycle Gel Samato
<i>Inverter</i>	1	12V 2000 Watt jenis Pure Sine Wave tipe high frequency Soeur
Stop Kontak	2	Tempel Broco 4 lubang
Box Panel	1	Plat Coating 40 x 60 x 18 cm
Kipas	1	DC 12V 12x12 cm
<i>Selector Switch</i>	1	20 A, Dua posisi ON
Modul Komunikasi	1	ESP 32 DOIT
Rel MCB	1 meter	Aluminium
Konektor & Kabel	22 meter	-Konektor MC4 -Coupler Male & Female -Kabel PV 1-F 6 mm
	2 meter	SCC ke baterai: Kabel las tembaga serabut 16 mm ²

2 meter	Baterai ke <i>inverter</i> : Kabel las tembaga serabut 25 mm ²
5 Meter	Menuju ke beban: Kabel serabut NYM 1,5 mm ²
10 Meter	Untuk sensor : Kabel serabut NYAF 0,75 mm ²
20 cm	Kabel konektor terminal JST XH 3 pin
Bracket Panel Surya	2 Fixed array (penyangga rangka)
Sensor DC	1 -Low Voltage Disconnect (XH-M609) -Relay MK2P-N 12V Omron -Relay MY-4N 12V Omron
Sensor AC	1 -Relay MKS2P 220V Omron -TDR H3Y-2 220V -Sensor PZEM 004-T -Wattmeter
Indikator Output	2 - Pillot lamp merah dan hijau
Terminal Blok	2 25 A 4 pole 4 PCB Block Screw 2 Pin
Miniatur Circuit Breaker	2 DC 2 pole 40 A & 125 A 3 AC 2 pole 6 A, 1 pole 6 A

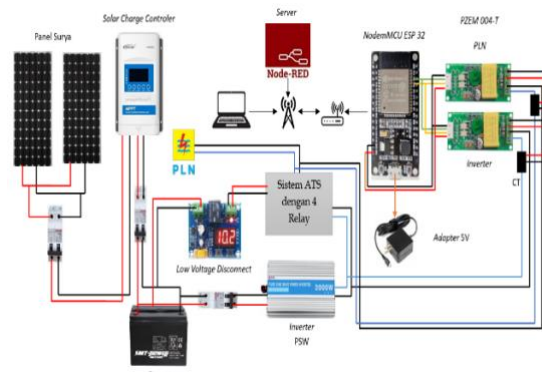
3.6 Diagram Sistem PLTS

Perancangan Sistem PLTS dalam penelitian ini dilakukan pemasangan kabel dalam rangkaiannya sesuai diagram rancangan sehingga komponen-komponen yang digunakan dapat berjalan dengan baik. Sistem ATS ini menggunakan 2 relay AC dan 2 relay DC dengan sensor baterai menggunakan LVD (*Low Voltage Disconnect*). Berikut adalah gambar skema perancangan rangkaian PLTS dengan ATS dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. Skema rancang bangun PLTS

Pada sistem *monitoring* ini ESP 32 digunakan sebagai modul komunikasi agar bisa menerima perintah jarak jauh dari pembacaan sensor melalui perangkat komputer yang terkoneksi dengan jaringan *wifi* sekitar. Melalui jaringan internet menggunakan *dashboard Node-red* sebagai *server*. *Server* mengambil, menganalisis, dan menampilkan data keluaran berupa nilai pengukuran arus AC pada *inverter* dan PLN yang didapatkan dari kerja sensor PZEM-004T. Berikut adalah gambar skema perancangan sistem *monitoring* PLTS dilihat di Gambar 3.

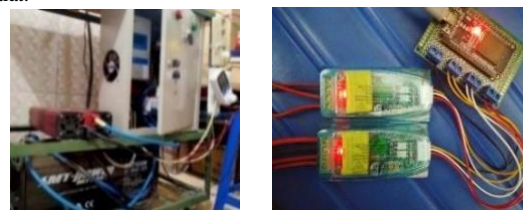


Gambar 3. Skema monitoring PLTS

4 Pembahasan

4.1 Hasil Perancangan Alat

Setelah melakukan perhitungan dan pembelian komponen sesuai spesifikasi, tahap selanjutnya yaitu merancang alat sesuai *wiring* diagram. Berikut merupakan hasil perancangan alat.



Gambar 4. Hasil realisasi alat

Setelah alat dibuat perlu adanya urutan pengoperasian alat sesuai prosedur agar tidak terjadi kerusakan. Berikut ini cara pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan sistem kendali ATS:

1. Urutan mengubah tuas MCB ke posisi on yaitu dimulai dari MCB SCC ke Baterai, MCB panel surya ke SCC, MCB baterai ke *inverter*, dan yang terakhir MCB menuju beban.
2. Pada alat terdapat dua mode yakni mode otomatis dan manual. Pada mode otomatis prioritas sumber yang digunakan yaitu dari PLTS bila tercapai tegangan atas baterai 13 V saat awal menyalakan, jika tegangan sudah di bawah 12 V maka LVD memberi sinyal *relay*, supaya diambil alih oleh sumber PLN. Untuk mengaktifkan mode otomatis maka mengubah posisi on pada MCB mode dan MCB asumsi.
3. Kemudian untuk mode manual yaitu untuk memilih sumber mana yang akan digunakan PLTS atau PLN dengan mengubah tuas *selector switch*. Mode manual ketika posisi *off* pada MCB mode dan *on* pada MCB asumsi. Pada mode ini walaupun tegangan baterai di bawah 12 V sumber dari PLTS masih tetap bisa digunakan ketika terjadi pemadaman PLN.

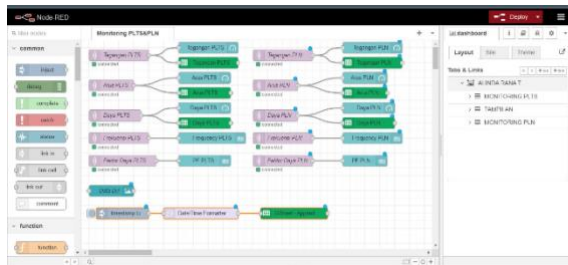


Gambar 5. Mode manual dan mode otomatis

4.2 Hasil Sistem Monitoring

Sistem ini membantu mengetahui kinerja penggunaan PLTS serta PLN dengan menampilkan data tegangan (V), arus (A), daya (W), faktor daya (W), dan frekuensi (Hz). Menggunakan *Node-red* yang dapat dijalankan pada sebuah Perangkat *Komputer* (PC). Sistem *monitoring node-red* juga dapat mengirim data secara *realtime* melalui *google sheets*. Untuk mengelola ESP 32 atau modul komunikasi dan dua sensor PZEM 004T supaya terhubung pada *Node-red* diperlukan *sketch* program yang dibuat melalui aplikasi *Arduino-IDE* dengan bahasa C pada *sketch* program. Alat monitoring ini disuplai dengan sumber dari PLTS atau PLN. Untuk menampilkan *common flow Node-red* diperlukan memasang *palette* sesuai kebutuhan pada menu “*manage palette*”.

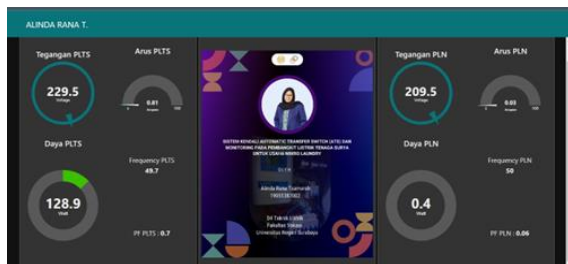
Dari Gambar 7 nilai yang dihasilkan tidak beraturan atau tertata dengan rapi dikarenakan ESP 32 atau modul komunikasi dapat mengirimkan data hasil pembacaan nilai setiap indikator sensor PZEM 004-T dari *Node-red* ke *google sheets* bergantian setiap 1 detik sekali. Kuat sinyal *wifi* menjadi pengaruh untuk kecepatan transfer data dari pembacaan kedua sensor pada modul komunikasi.



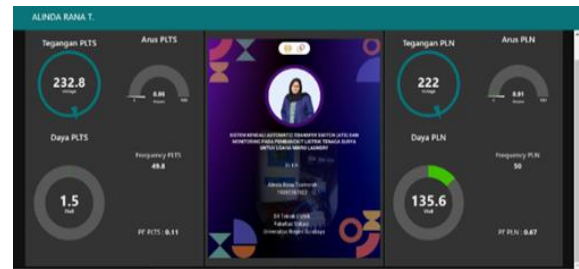
Gambar 6. Flow command *node-red*

Gambar 7. Data yang ditampilkan *google sheets*

Pada Gambar 8. merupakan tampilan *dashboard Node-red* ketika menggunakan beban menggunakan sumber dari PLTS. Pada sumber PLN terdapat nilai pembacaan meskipun hasilnya kecil dikarenakan sumber PLN selalu *standby* kecuali terjadi pemadaman. Besar hasil nilai pembacaan didapatkan dari penggunaan relay PLN.



Gambar 8. Tampilan *Dashboard Node-Red* Sumber yang digunakan PLTS



Gambar 9. Tampilan *dashboard node-red* sumber yang digunakan PLN

Pada Gambar 9. tampilan *dashboard Node-red* ketika sumber PLTS sudah mencapai batas bawah tegangan baterai yaitu 12V sehingga sumber energi listrik beban diambil alih oleh PLN. Terdapat hasil pembacaan nilai pada sumber PLTS dikarenakan sumber dari PLTS masih tetap menyala dan menyuplai beban seperti sensor *monitoring* dan sensor pada sistem ATS, serta daya *standby* (konsumsi daya tanpa beban) *inverter* yaitu 0,9-1,2 watt.

4.3 Hasil Pengujian Penggunaan PLTS

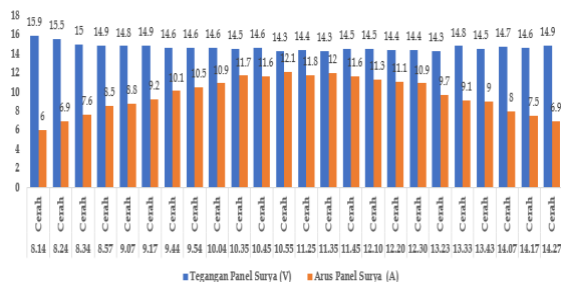
Pengujian ini bertujuan mengetahui kinerja PLTS dalam memasok listrik untuk alat elektronik usaha mikro *laundry* yang meliputi 2 mesin cuci jenis 1 tabung *front loading* dengan kapasitas 7 kg dan 8 Kg sebagai beban yang berjalan bersamaan. Namun pada analisis pembahasan ini hanya diambil sampel yakni selama 1 hari yakni hari ke-9 dikarenakan terlihat perbedaan banyak proses cucian per harinya.

4.3.1 Pengujian Kinerja Panel Surya

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik panel surya dalam menghasilkan tegangan dan arus terhadap kondisi penyinaran matahari tiap waktunya. Pengukuran besaran dilakukan dari jam 07.30-17.00 WIB, waktu pengujian disesuaikan dengan banyak cucian per harinya. Dilihat setiap 10 menit sekali mengacu pada pembacaan *Solar Charge Controller*. Parameter yang dibaca yakni berupa *Maximum Power Current* (IMP) dan *Maximum Power Voltage* (VMP).

Tabel 2. Kinerja panel surya hari ke-9

Waktu (WIB)	Kondisi Cuaca	Tegangan Panel Surya (V)	Arus Panel Surya (A)
09.14	Cerah	15,9	6,0
09.24	Cerah	15,5	6,9
09.34	Cerah	15,0	7,6
08.57	Cerah	14,9	8,5
09.07	Cerah	14,8	8,8
09.17	Cerah	14,9	9,2
09.44	Cerah	14,6	10,1
09.54	Cerah	14,6	10,5
10.04	Cerah	14,6	10,9
10.35	Cerah	14,5	11,7
10.45	Cerah	14,6	11,6
10.55	Cerah	14,3	12,1
11.25	Cerah	14,4	11,8
11.35	Cerah	14,3	12,0
11.45	Cerah	14,5	11,6
12.10	Cerah	14,5	11,3
12.20	Cerah	14,4	11,1
12.30	Cerah	14,4	10,9
13.23	Cerah	14,3	9,7
13.33	Cerah	14,8	9,1
13.43	Cerah	14,5	9,0
14.07	Cerah	14,7	8,0
14.17	Cerah	14,6	7,5
14.27	Cerah	14,9	6,9
Rata- Rata		14.68	9.7



Gambar 10. Grafik kinerja panel surya hari ke-9

Hasil pengujian berdasarkan Tabel 2 pada hari pengambilan data sebanyak 8 kali sesuai jumlah proses pencucian.

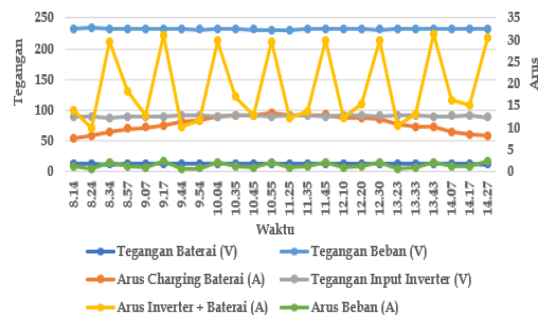
Dapat diketahui arus keluaran panel surya yang mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai arus yang maksimal sebesar 12,1 A pada pukul 10.55 WIB. Untuk tegangan cenderung turun secara bertahap mulai awal percobaan hingga akhir. Tegangan tertinggi pada pukul 09.14 WIB yaitu 15,9 V. Arus keluaran panel surya hasilnya relatif naik tetapi tidak terlalu signifikan. Tegangan keluaran panel surya hasilnya relatif turun tetapi tidak terlalu signifikan. Kenaikan atau penurunan tegangan dan arus tersebut terjadi karena intensitas cahaya matahari sesuai kondisi cuaca yang berubah-ubah. Namun kenaikan dan penurunan tersebut tidak mempengaruhi performa pada panel surya ini sehingga masih kuat menahan beban. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja panel surya yang konsisten.

4.3.2 Pengujian Pengisian Baterai dengan Penggunaan Beban

Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengisian baterai dengan penggunaan beban. Waktu pengujian disesuaikan dengan banyak cucian per harinya dimulai pada pukul 07.30-17.00 WIB hal ini disebabkan pada pukul tersebut terdapat sinar matahari dan dilihat setiap 10 menit sekali. Mengacu pada *Solar Charge Controller* untuk pembacaan arus *charging* dan tegangan baterai, tang ampere untuk mengukur arus beban dan arus input *inverter*, dan *avometer* untuk mengukur tegangan *input inverter* dan tegangan beban.

Tabel 3. Pengisian baterai dengan penggunaan beban hari ke-9

Waktu (WIB)	Tegangan Baterai (V)	Arus Charging Baterai (A)	Tegangan Input Inverter (V)	Arus Input Inverter (A)	Tegangan Beban (V)	Arus Beban (A)
08.14	12,8	7,6	12,50	14,10	232,4	1,17
08.24	12,9	8,2	12,54	09,88	233,8	0,53
08.34	12,7	9,0	12,25	29,60	232,1	2,17
08.57	12,9	9,8	12,51	18,28	231,7	1,37
09.07	13,0	10,1	12,60	12,74	232,4	0,91
09.17	12,9	10,5	12,48	31,19	232,3	2,54
09.44	13,1	11,3	12,81	10,29	232,4	0,70
09.54	13,2	11,8	12,81	11,75	231,5	0,83
10.04	12,8	12,6	12,46	29,79	232,4	2,03
10.35	13,2	12,8	12,73	17,06	231,8	1,27
10.45	13,2	12,8	12,93	12,76	231,5	0,91
10.55	13,0	13,3	12,55	29,55	231,2	2,01
11.25	13,3	12,8	12,89	12,30	231,1	0,95
11.35	13,2	13,0	12,92	13,65	232,9	1,16
11.45	13,1	13,0	12,52	30,06	231,8	2,12
12.10	13,2	12,4	12,85	12,35	232,3	0,93
12.20	13,3	12,2	12,95	15,50	231,8	1,29
12.30	13,2	11,9	12,71	29,97	231,5	2,03
13.23	13,0	10,7	12,75	10,54	232,6	0,71
13.33	13,2	10,3	12,87	13,26	232,1	1,05
13.43	12,8	10,2	12,63	31,35	232,4	2,24
14.07	12,9	9,1	12,69	16,35	232,7	1,23
14.17	12,9	8,5	12,75	15,20	232,9	1,19
14.27	12,7	8,2	12,42	30,46	232,3	2,37



Gambar 11. Grafik Pengisian Baterai dengan Penggunaan Beban Hari Ke-9

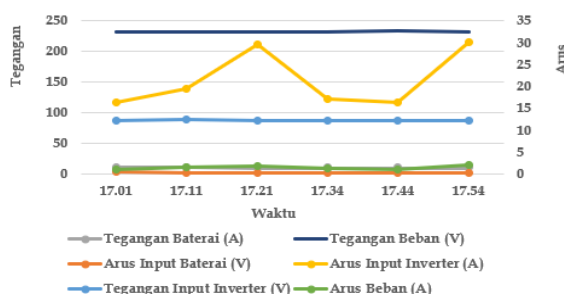
Dari Tabel 3 cucian pada hari ini sebanyak 8 kali proses. Arus *charging* baterai konsisten naik perlahan sesuai intensitas matahari, begitu juga sebaliknya akan turun jika hari akan gelap. Tegangan baterai berkaitan juga dengan arus *charging* baterai bilamana semakin besar, maka tegangan baterai juga tinggi. Hasil pengukuran tegangan selalu berkaitan dengan tegangan baterai yang mana mempunyai selisih nilai rentang 0,1–0,4V. Ketika proses mengeringkan pakaian rata-rata membutuhkan tegangan *inverter* dan arus *input* baterai rendah sedangkan arus *input inverter* dan arus beban tinggi dari proses mencuci dan membilas pakaian. Tegangan beban berasal dari keluaran *inverter* yang masih dalam standar PLN yakni 230 V AC tidak lebih dari 10% s/d +5% [7].

4.4.3 Pengujian Penggunaan Baterai Untuk Beban

Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas baterai yang dapat digunakan untuk beban. Pengujian dilakukan dimulai pada pukul 17.00 – 20.00 WIB dikarenakan pada waktu tersebut sudah tidak ada cahaya matahari untuk pengisian baterai. Waktu pengujian disesuaikan dengan banyak cucian per harinya. Dilihat setiap 10 menit sekali. Mengacu pada *Solar Charge Controller* untuk membaca tegangan baterai, tang ampere untuk mengukur arus beban dan arus *input inverter*, dan arus baterai serta *avometer* untuk mengukur tegangan *input inverter*, tegangan beban.

Tabel 4. Penggunaan baterai untuk beban hari ke-9

Waktu (WIB)	Arus Input Baterai (V)	Tegangan Baterai (A)	Arus Input Inverter (A)	Tegangan Input Inverter (V)	Arus Beban (A)	Tegangan Beban (V)
17.01	0,51	12,4	16,35	12,40	1,25	233,2
17.11	0,41	12,4	19,56	12,48	1,59	232,7
17.21	0,39	12,3	29,74	12,34	1,91	232,9
17.34	0,37	12,3	17,27	12,36	1,34	233,3
17.44	0,38	12,3	16,45	12,32	1,26	234,6
17.54	0,34	12,3	30,15	12,29	2,07	233,2



Gambar 12. Grafik penggunaan baterai untuk beban hari Ke-9

Arus input inverter dan arus beban pada proses mencuci pakaian atau membilas pakaian terkadang lebih besar pada salah satu proses, begitu sebaliknya. Tegangan input inverter pada proses mencuci atau membilas lebih rendah salah satu atau sebaliknya. Untuk proses mengering selalu membutuhkan arus Arus input inverter, dan arus beban kecil sedangkan sebaliknya untuk tegangan input inverter dan arus input baterai membutuhkan tegangan tinggi. Nilai tegangan baterai dengan tegangan input inverter memiliki selisih 0,1-0,2 V. Tegangan dan arus baterai condong memiliki kaitan dengan tegangan dan arus panel surya. Tegangan baterai stabil untuk turun. Tegangan *output inverter* atau tegangan beban menghasilkan tegangan sesuai standar PLN yakni 230 V AC tidak lebih dari -10% s/d +5% [7].

4.4.4 Pengujian Kerja Sistem Kendali ATS

Pengambilan data ini bertujuan untuk memastikan rangkaian sistem ATS dapat bekerja untuk peralihan sumber dari PLTS ke PLN dan mengetahui sumber mana yang sedang digunakan. Waktu pengujian dilakukan pada pukul 07.30-20.00 WIB dan dilihat setiap 10 menit sekali mengacu pada pembacaan sensor tegangan baterai yaitu *Low Voltage Disconnect (LVD)* sebagai kendali perpindahan sumber listriknya pada *relay*.

Tabel 5. Kerja sistem kendali ATS hari ke- 9

Waktu (WIB)	Sensor Tegangan Baterai (V)	Sumber Listrik (PLTS / PLN)
09.14	12,7	PLTS
09.24	12,8	PLTS
09.34	12,6	PLTS
08.57	12,8	PLTS
09.07	12,9	PLTS
09.17	12,8	PLTS
09.44	13,0	PLTS
09.54	13,1	PLTS
10.04	12,7	PLTS
10.35	13,1	PLTS
10.45	13,1	PLTS
10.55	12,9	PLTS
11.25	13,2	PLTS
11.35	13,1	PLTS
11.45	13,0	PLTS
12.10	13,1	PLTS
12.20	13,2	PLTS
12.30	13,1	PLTS
13.23	12,9	PLTS
13.33	13,1	PLTS
13.43	12,7	PLTS
14.07	12,8	PLTS
14.17	12,8	PLTS
14.27	12,6	PLTS
16.53	12,3	PLTS
17.03	12,3	PLTS
17.13	12,2	PLTS
17.34	12,2	PLTS
17.44	12,2	PLTS
17.54	12,2	PLTS

Pada hari Minggu tanggal 09 September 2023 proses pencucian total sebanyak 10 kali yang dapat disuplai oleh PLTS. Selisih pembacaan sensor tegangan baterai LVD dengan tegangan baterai yang terukur di *Solar Charge Controller* maupun pada *avometer* yakni sebesar 0,1 V. Fungsi sensor LVD ini bekerja menggerakkan *relay* baterai dengan tegangan sistem baterai yang sudah diatur. *Relay* baterai memberi sinyal untuk mengaktifkan *relay* PLTS sebagai prioritas atau *relay* PLN apabila baterai *drop*.

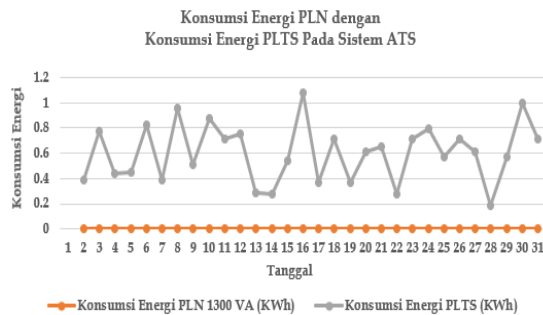
Pengaturan batas atas baterai 13 V selalu tercapai pada awal menyalakan pada pukul 07.30 WIB sehingga sumber listrik pada sistem ATS ini disuplai PLTS. Selama satu bulan pengambilan data di bulan September, digunakan paling banyak total 12 kali proses pencucian, baterai masih mampu untuk menyalakan 2 mesin cuci bersamaan. Tegangan baterai tidak pernah mencapai batas bawah yakni 12 V.

4.4.5 Penghematan Biaya Konsumsi Energi Listrik

Setelah melakukan pengujian selama satu bulan diperoleh data penggunaan konsumsi PLTS dalam satuan Kwh per hari sesuai tabel berikut:

Tabel 6. Konsumsi energi PLN dengan konsumsi energi PLTS pada sistem ATS

Hari Ke -	Konsumsi Energi PLN 1300 VA (KWh)	Konsumsi Energi PLTS (KWh)	Biaya Penghematan Pemakaian PLTS (Rp)
1	-	0,386	557
2	-	0,778	1124
3	-	0,444	635
4	-	0,448	647
5	-	0,823	1189
6	-	0,388	560
7	-	0,953	1377
8	-	0,512	739
9	-	0,875	1264
10	-	0,713	1030
11	-	0,749	1082
12	-	0,288	416
13	-	0,276	398
14	-	0,537	775
15	-	1,078	1557
16	-	0,363	524
17	-	0,715	1033
18	-	0,363	524
19	-	0,611	882
20	-	0,653	943
21	-	0,274	395
22	-	0,713	1030
23	-	0,799	1154
24	-	0,566	817
25	-	0,717	1036
26	-	0,611	882
27	-	0,181	262
28	-	0,569	822
29	-	1,002	1447
30	-	0,716	1034
Total	-	18.101	26.125



Gambar 13. Grafik konsumsi PLTS dan PLN

Didapatkan hasil pengujian bahwa bulan September tidak menggunakan sumber PLN untuk menyuplai 2 mesin cuci. Konsumsi PLTS diperoleh dari pembacaan wattmeter per harinya. Total penghematan per hari berbeda disebabkan banyak proses pencucian. Walaupun jumlah proses pencucian sama tetapi hasil penghematan per hari bisa berbeda. Hal ini disebabkan perbedaan jumlah berat (kg) cucian dalam sekali proses.

Dari Tabel 6 juga menjelaskan bahwa biaya penghematan per harinya dihitung dengan besarnya daya total yang dipakai (Kwh) dikali Rp 1.445 (tarif per Kwh untuk 1300 VA). Perolehan penghematan pada Tabel 4.5 di bulan September berbeda dengan tarif pembayaran yakni sebesar Rp 31.495, hal ini disebabkan pada tanggal 27 Agustus sudah mulai memakai sumber dari PLTS, tetapi pendataan perhitungan tersebut dimulai pada tanggal 1 September sedangkan perhitungan tagihan meteran PLN setiap bulan dimulai antara tanggal 23 sampai 27.

Sebelum pemasangan PLTS biaya tarif listrik Rp 131.627 pada bulan Agustus. Pada bulan September biaya tagihan listrik sebesar Rp 100.132. Besar tarif pembayaran PLN per bulan juga dipengaruhi dengan banyak proses pencucian, yang mana menggunakan alat elektronik lain yang tidak terhubung dengan PLTS seperti setrika, mesin cuci dua tabung *top loading*, pompa air. Selain itu beban PLN 1300 VA ini juga menyuplai alat yang tidak berhubungan dengan *laundry* seperti penanak nasi.

5. Kesimpulan

1. Tarif tagihan listrik bulan September sebesar Rp 100.132 dengan biaya penghematan sebesar Rp 31.495 dari tarif di bulan Agustus. Pada bulan ini tidak memakai sumber PLN pada sistem ATS sehingga penggunaan PLTS secara maksimal. Energi yang dihasilkan PLTS mampu menghemat konsumsi energi listrik sebesar 23,927% dari tagihan sebelumnya yakni bulan Agustus sebesar Rp 131.267. Nilai besar penghematan bersifat tidak tetap per hari dikarenakan tergantung banyak cucian yang dikerjakan dan penggunaan alat elektronik lain tersebut serta besar intensitas matahari per hari untuk menyuplai PLTS.
2. Penggunaan kapasitas baterai dengan beban tidak pernah mencapai batas DOD 50%. Pengisian baterai bersamaan dengan penggunaan beban hanya sedikit. Rata-rata arus cas baterai dibulan ini 8,20 A per hari. Kapasitas baterai 120 Ah yang digunakan perkiraan penuh selama 15 jam pengisian tanpa dipakai untuk suplai beban. Panel surya di bulan ini menghasilkan rata-rata arus 9,12 A dan tegangan 13,79 V. Arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya tidak melebihi dari spesifikasi komponen. Sistem *monitoring* penggunaan daya, tegangan dan arus listrik pada PLTS berbasis *node-red* secara *realtime* pada *google sheets* hasilnya tidak rapi karena hasil pembacaan sensor PZEM-004T bergantian setiap satu detik sekali.

3. Pada bulan September tidak pernah terjadi peralihan antara PLTS sebagai sumber prioritas ke PLN sebagai sumber cadangan. Baterai tidak pernah mencapai tegangan batas bawah yakni 12 V dan masih mampu menanggung beban.

Kontribusi Penulis

Penulis memberikan gagasan tentang rancangan PLTS sistem *hybrid* antara sumber PLTS dan PLN dengan sistem kendali *Automatic Transfer Switch* (ATS). Rangkaian ATS dengan sensor baterai yakni *Low Voltage Disconnect* (LVD) yang terhubung *relay* tidak difungsikan memutus *switch external inverter*. Beban yang terhubung pada PLTS telah diperhitungkan untuk kapasitas tertentu, sehingga dapat menyuplai beban alat elektronik yang berhubungan dengan usaha mikro *laundry* yakni mesin cuci berjenis *front loading* saja. Pada sistem *monitoring* berbasis *node-red* untuk memantau sumber PLTS dan PLN yang sedang dipakai berupa tegangan, arus, dan daya.

Referensi

- [1] I. F. Almadani, S. I. Haryudo., U. T. Kartini, Joko. "Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch Antara Listrik PLN Dan PLTS Skala Kecil Untuk Alat Penetas Telur Berbasis Internet Of Things". Universitas Negeri Surabaya, Surabaya. Jurnal Teknik Elektro. Vol. 10 No. 03, Juli 2021, pp 565-575.
- [2] A. W. A. Kristanto, U. T. Kartini, A. I. Agung, B. Suprianto. "Pemodelan Automatic Transfer Switch (ATS) Pada System Smart Grid Pembangkit Photovoltaic dan PLN Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Monitoring Penggunaan Daya Listrik". Universitas Negeri Surabaya, Surabaya. Jurnal Teknik Elektro. Vol. 11 No. 02, Juli 2022, pp 351-360.
- [3] R. Duana Putri, I. H. Eryk, M. F. Sajidan, M. F. Hakim, A. L. Wardani. "Sistem Monitoring Online Dan Analisis Performansi Plts Panel Surya Monocrystalline 100 Wp Berbasis Web". Politeknik Negeri Malang, Malang, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya. ELPOSYS : Jurnal Sistem Kelistrikan. Vol. 10, No.1, Februari 2023, pp 1-6.
- [4] B. Fatkhurrozi, I. Nawawi, T. J. Saputra, Trisma Jaya. "Pemasangan Lampu Penerangan Jalan Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Dusun Gentan Desa Purwosari Kecamatan Tegalrejo Kabupaten Malang". Universitas Tidar, Magelang. Jurnal Civitas Ministerium: Vol . 3 No.1, Oktober 2019, pp 54-63.
- [5] M. Suharto, Sujono. "Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Dan Automatic Mains Failure (AMF) PLN Dan Genset Berbasis Modul Deep Sea Electronics 4520 MKII". Universitas Budi Luhur, Jakarta. Jurnal Maestro, Vol. 1 No.2, Oktober 2018, pp 310-316.
- [6] Adam, H. Amri, Miswan. "Sistem Monitoring Arus Dan Tegangan Menggunakan SMS Gateway". Teknik Elektro Politeknik Negeri Bengkalis, Riau. Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah Vol. 13 No. 1, Juli 2019, pp 16-23.
- [7] H. Riafinola, I. K. L. N. Suciningtyas, I. Sholihuddin, W. R. Puspita. "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Penggunaan Listrik Rumah Tangga". Politeknik Negeri Batam, Batam, Universitas Brawijaya, Malang. Journal Of Applied Electrical Engineering. Vol. 6 No. 2, Desember 2022, pp 79-84.

Halaman ini sengaja dikosongkan