



RANCANG BANGUN *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* (ATS) DENGAN CADANGAN SUMBER ENERGI SURYA UNTUK BEBAN PRIORITAS BERBASIS PLC DAN HMI

Juni Anti¹, Seno Darmawan Panjaitan², Muhammad Saleh³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura,
Pontianak, Indonesia

¹d1021211022@student.untan.ac.id, ²seno.panjaitan@ee.untan.ac.id,
³muhammad.saleh@ee.untan.ac.id

Abstract

The increasing reliance on electricity from the national grid (PLN), which often suffers from unexpected outages, highlights the need for a reliable backup system, particularly for prioritized loads. This study designs and implements an Automatic Transfer Switch (ATS) system based on a Programmable Logic Controller (PLC) and Human Machine Interface (HMI), integrating solar energy as a backup source. The system is engineered to automatically switch power from PLN to the solar power supply (PLTS) during outages, while ensuring that only priority loads receive power when energy availability is limited. The hardware configuration includes a 100 Wp solar panel, 12V battery, inverter, PZEM-016 and PZEM-017 sensors, and relays controlled via PLC. Electrical parameters such as voltage, current, active power, and frequency are monitored in real-time and displayed on the HMI. Test results show that the system responds to source switching within 100 milliseconds, and the sensors provide high accuracy with low standard deviations and strong agreement with conventional measuring instruments. This ATS system integrated with solar energy using PLC and HMI has proven effective in enhancing efficiency, reliability, and supporting the transition toward renewable energy. It offers a practical and environmentally friendly solution for small to medium-scale power systems, particularly in areas with unstable electricity supply.

Keywords: *ATS, Solar Energy, PLC, HMI, Monitoring, Load Priority*

Abstrak

Ketergantungan terhadap energi listrik dari PLN yang kerap mengalami gangguan menjadikan kebutuhan akan sistem cadangan yang andal semakin penting, terutama untuk beban-beban prioritas. Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis Programmable Logic Controller (PLC) dan Human Machine Interface (HMI) yang mengintegrasikan sumber energi surya sebagai sumber cadangan. Sistem ini dirancang untuk secara otomatis mengalihkan pasokan listrik dari PLN ke PLTS saat terjadi pemadaman, sekaligus memastikan hanya beban prioritas yang tetap mendapat suplai daya ketika kapasitas energi terbatas. Perangkat keras terdiri dari

Article History:

Received: August 2025
Reviewed: August 2025
Published: August 2025

Plagiarism Checker No 234
Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



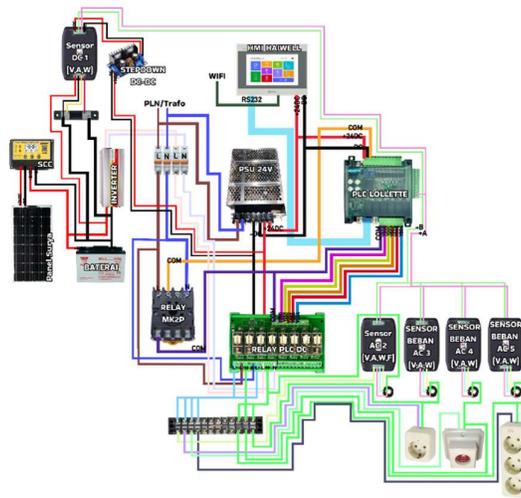
<p>panel surya 100 Wp, baterai 12V, inverter, sensor PZEM-016 dan PZEM-017, serta relay yang dikendalikan oleh PLC. Data parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi dipantau secara real-time dan ditampilkan melalui HMI. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu merespons pemindahan sumber dalam waktu 100 ms, dan sensor menunjukkan keakuratan tinggi dengan simpangan baku rendah serta kesesuaian nilai terhadap alat ukur konvensional. Integrasi sistem ATS dengan energi surya berbasis PLC dan HMI ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi, keandalan, serta mendukung transisi ke energi terbarukan. Sistem ini sangat potensial diimplementasikan pada instalasi listrik skala kecil hingga menengah sebagai solusi ramah lingkungan dan adaptif terhadap kondisi kelistrikan yang dinamis.</p> <p>Kata Kunci: ATS, Energi Surya, PLC, HMI, Monitoring, Beban Prioritas</p>	
--	--

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, pasokan energi listrik umumnya berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Namun, masyarakat sering menghadapi pemadaman listrik yang tidak terduga akibat faktor alam dan pemeliharaan jaringan listrik [1][2]. Hal ini menjadi tantangan besar, terutama bagi sektor industri, instansi pemerintah, lembaga pendidikan, dan rumah tangga yang sangat bergantung pada pasokan listrik yang stabil. Secara umum sumber cadangan yang digunakan adalah generator set (genset) yang dapat menyediakan listrik saat terjadi pemadaman. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi dan keterbaruan, penggunaan genset masih memiliki kelemahan seperti ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penurunan ketersediaan bahan bakar fosil dan meningkatnya isu lingkungan menjadi faktor utama yang mendorong pergeseran sistem kelistrikan ke arah pemanfaatan sumber energi terbarukan [3]. Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional (DEN) presentase tertinggi tahun 2023 masih didominasi oleh Batubara (40,46%), Minyak Bumi (30,18%), Gas Bumi (16,28%), sedangkan Energi Baru Terbarukan (EBT) hanya mencapai 13,09% [4]. Sebagai negara yang terletak di garis Khatulistiwa, membuat Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan energi surya [5]. Berdasarkan data Badan Energi International Agency (IEA), Indonesia memiliki data rata-rata radiasi matahari sekitar 4,8 kWh/m² per hari. Energi surya dapat menjadi solusi cadangan yang efektif ketika pemasok utama tidak memadai atau mengalami gangguan. Untuk mengatasi masalah pemadaman listrik, *sistem Automatic Transfer Switch (ATS)* diperlukan untuk memindahkan aliran listrik secara otomatis dari sumber utama ke sumber cadangan [6]. Dengan adanya perkembangan teknologi dan keterbaruan dalam sistem kelistrikan, terdapat kebutuhan untuk mengintegrasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan ke dalam ATS.

2. METODE

Perancangan sistem dimulai dengan penyediaan sumber tegangan AC 220V dari PLN untuk suplai utama. Penelitian ini menggunakan tiga variasi sumber daya: trafo (180V dan 200V), inverter PLTS, dan PLN 220V Gambar 1 menunjukkan perancangan sistem secara keseluruhan, dimana sistem menghidupkan tiga beban, dengan pengaturan bahwa saat menggunakan inverter PLTS, hanya beban prioritas (beban 1 dan 2) yang aktif, sedangkan beban 3 dimatikan otomatis.



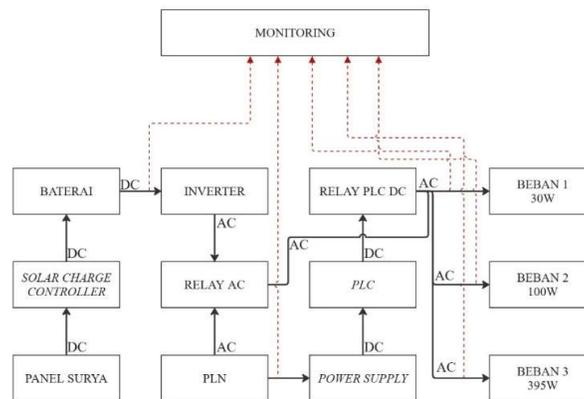
Gambar 1. Perancangan Sistem Perangkat Keras

Sistem kontrol menggunakan *power supply* 24V untuk menyuplai PLC, relay PLC DC, HMI, dan *step-down converter* bagi sensor PZEM-017 (pengukuran sisi DC). Relay MK2P berfungsi sebagai ATS untuk *switching* otomatis antara PLN dan PLTS. Pengukuran parameter sisi AC dilakukan dengan PZEM-016 yang terhubung langsung ke jalur sumber AC. HMI menyala otomatis saat *power supply* aktif, menampilkan monitoring visual, dan mencatat data melalui *data logger*.

2.1 Perancangan Sistem

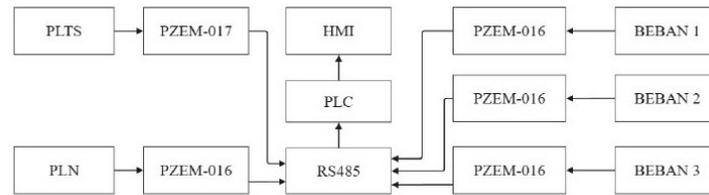
Perancangan sistem dilakukan untuk menggambarkan alur kerja dari keseluruhan rangkaian dan fungsi monitoring yang digunakan dalam penelitian. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu sistem pengendali dan distribusi daya, serta sistem monitoring parameter listrik. Perancangan disusun agar mampu menangani pengalihan sumber daya secara otomatis serta menampilkan data monitoring secara *real-time* melalui HMI.

Gambar 2 menyajikan diagram alir keseluruhan sistem, yang memperlihatkan hubungan antar komponen utama, mulai dari panel surya, baterai, inverter, hingga sistem monitoring dan pembagian beban.



Gambar 2. Diagram Skematik Keseluruhan Sistem

Gambar 2, yang menjelaskan hubungan antara sumber daya, sensor, PLC, HMI, dan beban. Diagram ini menjadi dasar dalam implementasi sistem monitoring terintegrasi yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3. Diagram Skematik Monitoring

Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan dua bagian utama dalam sistem yang dirancang, yaitu alur distribusi daya dan sistem monitoring. Gambar 3.7 menggambarkan diagram alir keseluruhan sistem, yang mencakup proses pengalihan sumber daya dari PLN dan Panel Surya melalui relay otomatis (ATS), pembagian beban berdasarkan prioritas, serta suplai daya untuk perangkat kontrol. Sementara itu, Gambar 3.8 menjelaskan alur sistem monitoring, mulai dari pembacaan parameter listrik oleh sensor PZEM-016 dan PZEM-017, pengolahan data oleh PLC, hingga tampilan informasi secara real-time pada HMI. Kedua diagram ini saling terintegrasi untuk memastikan kontrol dan pemantauan sistem berjalan otomatis, akurat, dan efisien.

2.2 Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian listrik yang menyebabkan arus listrik dapat mengalir. Besarnya tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan volt (V). Untuk mengukur tegangan, biasanya digunakan alat seperti multimeter.

2.3 Arus Listrik

Arus searah (DC) adalah arus listrik yang mengalir dalam satu arah tetap. Arus ini sering disebut juga sebagai arus lemah dan memiliki bentuk gelombang setengah siklus, baik hanya gelombang atas maupun bawah. Sementara itu, arus bolak-balik (AC) adalah arus listrik yang arah alirannya berubah-ubah secara periodik. Arus AC sering disebut sebagai arus kuat dan memiliki bentuk gelombang penuh yang beresilasi secara teratur.

Arus listrik akan mengalir jika terdapat perbedaan potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian. Berdasarkan Hukum Ohm, besar arus listrik berbanding lurus dengan tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan hambatan (R) pada suatu penghantar. Hubungan antara ketiga besaran ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

Dengan:

- I : Arus Listrik Ampere (A)
- V : Tegangan Listrik Volt (V)
- R : Hambatan Listrik Ohm (Ω)

2.4 Daya Listrik

Daya listrik memiliki satuan watt (W) yang merupakan laju perubahan energi listrik per satuan waktu. Daya listrik dapat dituliskan menggunakan persamaan (2.2):

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

Dengan:

- P : Daya Listrik Watt (W)
- V : Tegangan Listrik Volt (V)
- I : Arus Listrik Ampere (A)



2.5 Frekuensi Listrik

Frekuensi, yang diukur dalam satuan Hertz (Hz), menunjukkan jumlah siklus gelombang dalam satu detik. Dalam konteks kelistrikan, parameter ini hanya berlaku pada arus bolak-balik (AC), karena arus searah (DC) tidak mengalami perubahan arah dan tidak memiliki frekuensi. Parameter ini termasuk salah satu karakteristik penting dalam sistem kelistrikan karena dapat memengaruhi performa atau kinerja dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan[11]. Frekuensi listrik dapat dituliskan menggunakan persamaan (2.3):

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Dengan:

f : Frekuensi Hertz (Hz)
T : Periode gelombang *Second* (s)

2.6 Galat

Selisih antara nilai hasil pengujian terhadap nilai referensi yang diinginkan disebut simpangan atau galat. Pengujian nilai simpangan dilakukan untuk mengetahui selisih hasil pengujian besaran sensor dengan alat ukur sejenis lainnya. Simpangan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4).

$$S_x = |X_i - X_{ref}| \quad (2.4)$$

Dengan:

S_x : Nilai
X_i : Nilai hasil pengujian
X_{ref} : Nilai referensi

2.7 Persentase Galat

Persentase galat merupakan suatu nilai dalam persen yang menunjukkan seberapa dekat hasil pengujian terhadap nilai referensi yang digunakan. Persentase galat dapat dicari menggunakan persamaan (2.5).

$$\%Galat = \frac{|X_{ref} - X_i|}{X_{ref}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dengan:

%Galat : Persentase Galat
X_i : Nilai hasil pengujian
X_{ref} : Nilai referensi

2.8 Nilai Rata-rata

Jumlah nilai data yang diambil kemudian dibagi dengan frekuensi pengambilan data. Pengambilan nilai rata-rata dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kecenderungan nilai dari suatu variabel yang berpusat pada nilai tertentu. Nilai rata-rata dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_n}{n} \quad (2.6)$$

Dengan:

\bar{X} : Nilai rata-rata
 $\sum X_n$: Penjumlahan nilai sebanyak n
n : Jumlah data



2.9 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan tingkat variasi nilai data terhadap nilai rata-rata. Standar deviasi digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam suatu sampel. Semakin kecil nilai standar deviasi maka kelompok data tersebut akan semakin presisi. Standar deviasi dapat dihitung menggunakan persamaan (2.7).

$$\bar{X} = \frac{\sqrt{\sum(x_1 - \bar{x})^2 + (x_n - \bar{x})^2}}{n - 1} \quad (2.7)$$

Dengan:

SD : Standar Deviasi

X_n : Nilai data ke-n

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

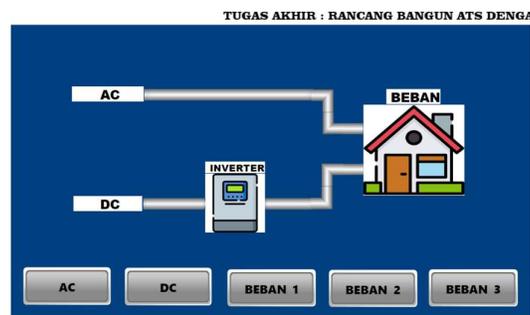
3.1. Waktu Perpindahan Sumber Energi

Sistem ATS yang dirancang menggunakan pemrograman Ladder Diagram pada PLC untuk mengatur logika perpindahan sumber energi antara PLN dan panel surya. Dalam logika ini, waktu tunda pengalihan ditentukan melalui instruksi Time On Delay (TON) pada PLC.

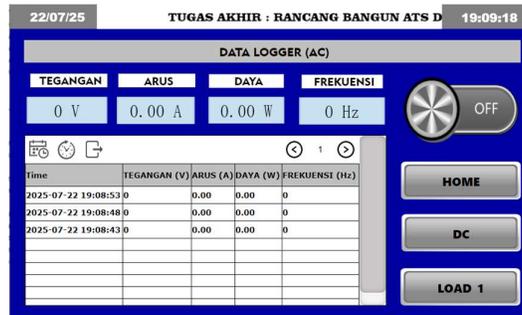
Nilai 100ms ini bersifat konstan karena ditetapkan langsung dalam program PLC, dan hanya dapat diubah melalui modifikasi kode ladder diagram. Dengan demikian, waktu perpindahan sistem dari sumber utama (PLN) ke sumber cadangan energi surya atau sebaliknya secara otomatis adalah 100ms, tanpa keterlambatan tambahan dari perangkat mekanis.

3.2. Tampilan HMI

Perancangan perangkat lunak ditujukan untuk mengembangkan program yang akan dijalankan pada HMI, sekaligus merancang antarmuka grafis pengguna (GUI). Pembuatan GUI tidak hanya bertujuan untuk memperindah tampilan sistem, tetapi juga untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan sistem, sehingga meningkatkan kenyamanan dalam penggunaan. Antarmuka yang telah dirancang ini akan ditampilkan di layar HMI saat program mulai dijalankan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2. Terdapat lima tombol yang ketika ditekan akan menuju ke tampilan atau halaman tersebut.



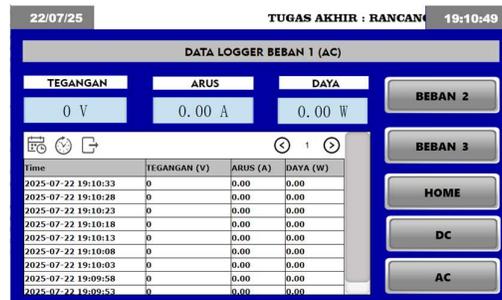
Gambar 4. Tampilan HMI pada Menu Home



Gambar 5. Tampilan HMI pada Data Logger AC



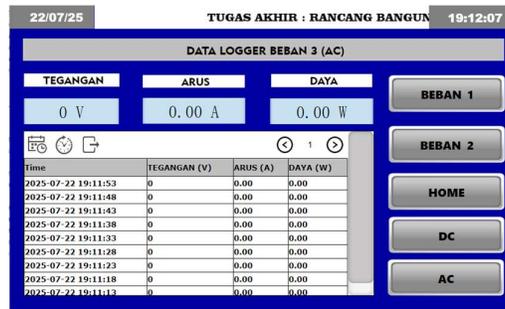
Gambar 6. Tampilan HMI pada Data Logger DC



Gambar 7. Tampilan HMI pada Data Logger Beban 1



Gambar 8. Tampilan HMI pada Data Logger Beban 2



Gambar 9. Tampilan HMI pada Data Logger Beban 3

3.3. Hasil Pengukuran Sensor

Hasil pengukuran sensor diperoleh melalui sistem monitoring berbasis HMI dan PLC, menggunakan sensor PZEM-016 untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi pada sumber daya AC. Sensor ini terhubung dengan data logger yang mencatat parameter listrik secara berkala dari berbagai sumber (trafo, PLN, dan PLTS), dengan data disajikan dalam tabel berisi nilai rata-rata, simpangan baku, dan waktu pengambilan. Nilai simpangan baku menunjukkan tingkat kestabilan data, di mana simpangan kecil menandakan parameter relatif konstan dan simpangan besar menandakan fluktuasi pembacaan.

Pengukuran sumber DC dari baterai 12V dilakukan dengan PZEM-017, mencatat tegangan, arus, dan daya aktif pada beban DC. Seperti pengujian AC, data memuat nilai rata-rata dan simpangan baku untuk evaluasi kestabilan daya. Sistem monitoring terintegrasi dengan PLC dan HMI, memudahkan pemantauan serta pengambilan keputusan otomatis berdasarkan kondisi sistem. Fitur pengaturan beban prioritas membagi tiga beban berdasarkan tingkat kepentingan; saat PLN padam, Beban 3 diputus sementara Beban 1 dan 2 tetap aktif, menjaga kontinuitas daya saat hanya mengandalkan inverter atau baterai.

Tabel 1. DataSheet Beban

No	Beban	Daya (Watt)
1	Tanpa Beban	0W
2	Kipas Angin (Beban 1)	20-30W (Kecepatan 1)
3	Lampu (Beban 2)	100W
4	Setrika (Beban 3)	395W (Panas Max)

3.3.1. Hasil Pembacaan Sensor PZEM-016 pada Tampilan *Data Logger AC*

pengukuran parameter listrik pada sumber AC menggunakan sensor PZEM-016 yang terintegrasi dengan data logger pada HMI. Pengujian dilakukan pada beberapa sumber daya, seperti trafo, PLN, dan inverter, dengan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara berkala. Setiap parameter disertai dengan nilai rata-rata dan simpangan baku untuk menunjukkan kestabilan pembacaan sensor selama pengujian.

Tabel 2. Pembacaan sensor PZEM-016 pada tampilan Data Logger AC

No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VAC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya (W)	Frekuensi Rata-rata (Hz)	Simpangan Baku Frekuensi (Hz)
1.	17:08:01-17:08:51	Trafo 180V	182V	0V	0,06A	0A	10,92W	0W	50Hz	0 Hz
2.	17:09:11-17:09:46	Trafo 200V	204V	0V	0A	0A	0W	0W	50Hz	0 Hz
3.	17:10:06-	PLN	233V	0,48V	0,18A	0A	41,94W	0W	50Hz	0 Hz



No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VAC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya (W)	Frekuensi Rata-rata (Hz)	Simpangan Frekuensi (Hz)
4.	17:10:51	230V								
	17:11:01-	Inverter	236V	0V	0A	0A	0W	0W	50Hz	0 Hz
	17:11:46	233V								

Tabel 2 menampilkan hasil pengukuran parameter listrik dari berbagai sumber daya (trafo 180V, trafo 200V, PLN, dan panel surya) menggunakan sensor PZEM-016 yang ditampilkan melalui data logger HMI. Perbandingan hasil sensor dengan perhitungan manual menggunakan persamaan (2.2) menunjukkan kesesuaian, seperti pada pengujian PLN 230V yang menghasilkan daya 41,94W, membuktikan akurasi sensor. Frekuensi terbaca stabil di 50 Hz pada seluruh pengujian. Pada suplai trafo 180V, daya aktif jauh di bawah nominal, misalnya kipas angin hanya 10,92W dari spesifikasi 20-30W, akibat tegangan rendah yang tidak optimal untuk beban, terutama beban resistif seperti lampu. Hal ini wajar karena tegangan memengaruhi arus dan daya, serta penurunan efisiensi kerja beban.

3.3.2. Hasil Pembacaan Sensor PZEM-017 pada Tampilan *Data Logger* DC

pengukuran parameter listrik pada sumber AC menggunakan sensor PZEM-016 yang terintegrasi dengan *data logger* pada HMI. Pengujian dilakukan pada beberapa sumber daya, seperti trafo, PLN, dan inverter, dengan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara berkala. Setiap parameter disertai dengan nilai rata-rata dan simpangan baku untuk menunjukkan kestabilan pembacaan sensor selama pengujian.

Tabel 3. Pembacaan sensor PZEM-017 pada tampilan Data Logger DC Tanpa Beban

No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VDC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya(W)
1.	17:09:01- 17:09:51	Baterai	12V	0V	0A	0A	0W	0W

Pengujian baterai menunjukkan tegangan 12V dengan arus dan daya aktif nol karena tidak terhubung ke beban. Tegangan ini menandakan kondisi baterai baik dan siap digunakan saat diperlukan. Sensor PZEM-017 mampu mendeteksi ketiadaan arus dan konsumsi daya, serta menampilkan tegangan aktual secara akurat. Hasil ini membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis PLC dan HMI dapat memantau parameter DC secara real-time.

3.3.3. Hasil Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan *Data Logger* Beban 1

Pengukuran parameter listrik pada sumber AC menggunakan sensor PZEM-016 yang terintegrasi dengan *data logger* pada HMI. Pengujian dilakukan pada beberapa sumber daya, seperti trafo, PLN, dan inverter, dengan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara berkala. Setiap parameter disertai dengan nilai rata-rata dan simpangan baku untuk menunjukkan kestabilan pembacaan sensor selama pengujian.



Tabel 4. Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan Data Logger HMI Beban 1

No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VAC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya (W)
1.	17:08:01-17:08:51	Trafo 180V	183V	0V	0,06A	0A	10,98W	0W
2.	17:09:11-17:09:46	Trafo 200V	204V	0V	0A	0A	0W	0W
3.	17:10:06-17:10:51	PLN 230V	233V	0V	0,12A	0A	27,96W	0W
4.	17:11:01-17:11:46	Inverter 233V	236V	0V	0A	0A	0W	0W

Pengujian Beban 1 (kipas angin 20-30W) menggunakan sensor PZEM-016 menunjukkan bahwa hanya pada suplai PLN 230V tercatat arus 0,12A dengan daya 27,96W, sesuai spesifikasi. Pada trafo 180V, daya turun menjadi 10,98W karena tegangan di bawah standar operasional, sehingga beban tidak optimal. Faktor utama penurunan daya adalah ketergantungan beban resistif pada tegangan, serta kemungkinan penurunan tegangan saat beban aktif. Perbedaan ini wajar dan mencerminkan kondisi beban pada tegangan non-ideal.

3.3.4. Hasil Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan Data Logger Beban 2

pengukuran parameter listrik pada sumber AC menggunakan sensor PZEM-016 yang terintegrasi dengan data *logger* pada HMI. Pengujian dilakukan pada beberapa sumber daya, seperti trafo, PLN, dan inverter, dengan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara berkala. Setiap parameter disertai dengan nilai rata-rata dan simpangan baku untuk menunjukkan kestabilan pembacaan sensor selama pengujian.

Tabel 5. Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan Data Logger HMI Beban 2

No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VAC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya (W)
1.	17:08:01 - 17:08:51	Trafo 180V	182V	0V	0,34A	0A	61,88W	0W
2.	17:09:11-17:09:46	Trafo 200V	203V	0V	0,35A	0A	71,05W	0W
3.	17:10:06-17:10:51	PLN 230V	233V	0V	0,35A	0A	81,55W	0W
4.	17:11:01-17:11:46	Inverter 233V	236V	0V	0,35A	0A	82,6W	0W

Pengujian Beban 2 (lampu 100W) menggunakan PZEM-016 menunjukkan variasi daya aktif sesuai tegangan suplai. Pada PLN 233V, daya mencapai 81,55W, mendekati spesifikasi, sedangkan pada trafo 180V dan 200V hanya 61,88W dan 71,05W. Inverter 236V menghasilkan daya tertinggi 82,6W, menandakan kualitas suplai baik. Hasil ini menunjukkan hubungan langsung antara tegangan dan daya terserap, serta membuktikan akurasi sistem monitoring dalam mencatat kondisi beban di lapangan.



3.3.5. Hasil Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan *Data Logger* Beban 3

Pengukuran parameter listrik pada sumber AC menggunakan sensor PZEM-016 yang terintegrasi dengan data *logger* pada HMI. Pengujian dilakukan pada beberapa sumber daya, seperti trafo, PLN, dan inverter, dengan mencatat nilai tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi secara berkala. Setiap parameter disertai dengan nilai rata-rata dan simpangan baku untuk menunjukkan kestabilan pembacaan sensor selama pengujian.

Tabel 6. Pengukuran Sensor PZEM-016 pada Tampilan Data Logger HMI Beban 3

No	Rentang Waktu	Sumber Daya (VAC)	Tegangan Rata-rata (V)	Standar Deviasi Tegangan (V)	Arus rata-rata (A)	Simpangan Baku Arus (A)	Daya Aktif Rata-rata (W)	Simpangan Baku Daya (W)
1.	17:08:01-17:08:51	Trafo 180V	182V	0V	0A	0A	0W	0W
2.	17:09:11-17:09:46	Trafo 200V	204V	0V	0A	0A	0W	0W
3.	17:10:06-17:10:51	PLN 235V	232V	0V	1,6A	0A	371,2W	0W
4.	17:11:01-17:11:46	Inverter 233V	236V	0V	0A	0A	0W	0W

Pengujian Beban 3 (setrika 350-400W) menunjukkan bahwa beban hanya aktif saat disuplai PLN 232V, menghasilkan arus 1,6A dan daya 371,2W, mendekati spesifikasi nominal. Pada trafo 180V, 200V, dan inverter 236V, meskipun tegangan terbaca, arus dan daya nol karena beban tidak aktif. Penyebabnya meliputi tegangan di bawah standar, gangguan sinyal inverter, atau pembatasan sistem kendali. Hasil ini membuktikan bahwa setrika memerlukan suplai tegangan penuh untuk bekerja optimal, dan sensor PZEM-016 mampu menampilkan parameter akurat baik saat beban aktif maupun tidak.

3.4. Pengujian Akurasi Data Alat Ukur dan Sistem

3.4.1. Pengujian Akurasi Data Menggunakan Multimeter

Pengujian dilakukan untuk membandingkan ketepatan hasil pengukuran sensor dengan multimeter, dengan variabel utama berupa nilai tegangan. Sumber listrik dan beban divariasikan sesuai kebutuhan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Pengujian tiap sensor dilakukan pada input netral dan fasa secara bergantian untuk melihat perbedaan tegangan pada setiap grup beban.

A. Pengukuran tegangan pada keluaran trafo dengan tegangan 180V

Pengukuran nilai sensor tegangan pada fasa dan netral yang dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai tegangan yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung.

Tabel 7. Pengukuran tegangan pada keluaran trafo dengan tegangan 180V

No	Pengukuran Tegangan (VAC)		Keterangan Beban	Error (V)	Persentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (V)	Multimeter (V)			
1.	183V	180V	Tanpa Beban	3V	0,02%
2.	159V	156V	Beban 1	3V	0,02%
3.	159V	156V	Beban 2	3V	0,02%



No	Pengukuran Tegangan (VAC)		Keterangan Beban	Error (V)	Persentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (V)	Multimeter (V)			
4.	115V	111V	Tanpa Beban	4V	0,04%
Rata-rata				3,25V	0,02%

Pengujian trafo 180V bertujuan mengevaluasi pembacaan sistem monitoring pada suplai di bawah standar operasional. Sensor PZEM-016 mencatat tegangan 182V dengan arus kecil atau nol, tergantung jenis beban. Beban ringan seperti kipas dan lampu dapat menyala namun dengan daya jauh di bawah nominal, sedangkan beban besar seperti setrika tidak aktif. Pembacaan tegangan akurat dan stabil (simpangan baku 0V). Hasil ini menunjukkan bahwa meski sistem monitoring berfungsi baik pada tegangan rendah, suplai 180V tidak layak sebagai sumber utama karena menurunkan efisiensi dan membatasi operasional beban.

B. Pengukuran tegangan pada keluaran trafo dengan tegangan 200V

Pengukuran nilai sensor tegangan pada fasa dan netral yang dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai tegangan yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung.

Tabel 8. Pengukuran tegangan pada keluaran trafo dengan tegangan 200V

No	Pengukuran Tegangan (VAC)		Keterangan Beban	Error (V)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (V)	Multimeter (V)			
1.	203V	200V	Tanpa Beban	3V	0,02%
2.	173V	170V	Tanpa Beban	3V	0,02%
3.	173V	170V	Beban 2	3V	0,02%
4.	122V	120V	Tanpa Beban	2V	0,02%
Rata-rata				2,75V	0,02%

Pengujian trafo 200V dilakukan untuk mengevaluasi pembacaan sensor dan kinerja beban pada tegangan di bawah standar 220-230V. Sensor PZEM-016 mencatat tegangan 204V dengan arus dan daya bervariasi sesuai beban. Beban ringan seperti lampu menunjukkan peningkatan performa dibanding tegangan 180V, meski belum optimal (lampu 100 W hanya menyerap ±71 W). Beban berat seperti setrika tetap tidak aktif, menunjukkan tegangan 204V belum mencukupi. Pembacaan tegangan stabil dengan simpangan baku 0V. Peningkatan dari 180V ke 200V berdampak positif pada beban ringan, namun belum ideal untuk beban besar.

a. Pengukuran tegangan pada PLN dengan tegangan 235V

Pengukuran nilai sensor tegangan pada fasa dan netral yang dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai tegangan yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung.



Tabel 9. Pengujian pengukuran Tegangan pada Sumber PLN 235V

No	Pengukuran Tegangan (VAC)		Keterangan Beban	Error (V)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (V)	Multimeter (V)			
1.	237V	235V	Tanpa Beban	2V	0,009%
2.	235V	233V	Beban 1	2V	0,009%
3.	235V	233V	Beban 2	2V	0,009%
4.	234V	232V	Beban 3	2V	0,009%
Rata-rata				2V	0,009%

Pengujian sumber daya PLN menunjukkan hasil terbaik dibanding sumber lain. Sensor PZEM-016 mencatat tegangan 232-236V dengan simpangan baku 0V, menandakan kestabilan penuh. Semua beban, baik ringan maupun berat, beroperasi normal dengan pembacaan arus dan daya konsisten. Sistem kontrol dan switching bekerja tanpa gangguan, beban aktif seketika, dan parameter terbaca tanpa delay. Hasil ini membuktikan bahwa PLN adalah sumber paling stabil dan ideal, serta menjadi acuan utama dalam evaluasi kinerja sistem.

C. Pengukuran tegangan pada panel surya dengan tegangan 236V

Pengukuran nilai sensor tegangan pada fasa dan netral yang dilakukan menggunakan multimeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai tegangan yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung.

Tabel 10. Pengujian Pengukuran Tegangan pada Sumber Panel Surya 236V

No	Pengukuran Tegangan (VAC)		Keterangan Beban	Error (V)	Presentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (V)	Multimeter (V)			
1.	238V	236V	Tanpa Beban	2V	0,008
2.	236V	236V	Tanpa Beban	0V	0%
3.	236V	236V	Lampu	0V	0%
4.	236V	236V	Tanpa Beban	0V	0%
Rata-rata				0,50V	0,002%

Pengujian sumber panel surya melalui inverter menunjukkan tegangan 236V dengan simpangan baku 0V, menandakan kestabilan tegangan setara standar rumah tangga. Namun, hanya beban ringan seperti lampu yang dapat beroperasi, sedangkan beban besar seperti setrika dan kipas tidak aktif. Hal ini menunjukkan daya dari PLTS belum mencukupi untuk semua beban, terutama saat intensitas cahaya rendah. Sensor PZEM-016 tetap akurat membaca parameter, menandakan sistem monitoring berfungsi baik. Hasil ini menegaskan perlunya manajemen energi dan prioritas beban saat mengandalkan PLTS.

3.4.2. Pengujian Akurasi Data Menggunakan Clampmeter

Pengujian ini membandingkan ketepatan pembacaan arus sensor PZEM-016 dengan clamp meter. Beban yang diuji meliputi kipas angin, lampu, dan setrika, dengan variasi sumber listrik dan beban untuk memperoleh nilai yang diinginkan. Pengukuran dilakukan secara bergantian pada tiap fasa untuk melihat perbedaan arus pada masing-masing grup beban. Hasil pembacaan sensor kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan hasil clamp meter.



A. Pengujian Pengukuran Arus pada Sumber Trafo 180V

Pengujian pengukuran nilai sensor arus pada fasa yang dilakukan menggunakan clampmeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai arus yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan CT pada kabel netral masukkan sensor.

Tabel 11. Pengujian Pengukuran Arus Pada Sumber Trafo 180V

No	Pengukuran Arus (A)		Keterangan Beban	Error (A)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (A)	Clamp Meter (A)			
1.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
2.	0,13A	0,12A	Beban 1	0,01A	0,08%
3.	0,28A	0,26A	Beban 2	0,02A	0,08%
4.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
Rata-rata				0,01A	0,04%

Pengujian arus dengan suplai trafo 180V menunjukkan pembacaan sangat kecil atau nol pada beberapa beban, karena tegangan di bawah standar operasional tidak mampu mengaktifkan beban optimal, terutama yang berambang tegangan tinggi seperti setrika dan kipas. Sensor PZEM-016 tetap akurat dengan galat relatif kecil, meski daya rendah. Hasil ini membuktikan bahwa sistem monitoring bekerja konsisten, namun trafo 180V belum layak sebagai sumber utama.

B. Pengujian Pengukuran Arus pada Sumber Trafo 200V

Pengujian pengukuran nilai sensor arus pada fasa yang dilakukan menggunakan clampmeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai arus yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan CT pada kabel netral masukkan sensor.

Tabel 12. Pengujian Pengukuran Arus Pada Sumber Trafo 200V

No	Pengukuran Arus (A)		Keterangan Beban	Error (A)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (A)	Clamp Meter (A)			
1.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
2.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
3.	0,29A	0,26A	Beban 2	0,03A	0,12%
4.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
Rata-rata				0,02A	0,09%

Pengujian arus dengan suplai trafo 200V menunjukkan peningkatan dibanding trafo 180V, di mana beban ringan seperti lampu dan kipas mulai aktif, sedangkan beban berat seperti setrika masih belum menunjukkan arus. Sensor PZEM-016 mencatat pembacaan stabil (simpangan baku 0A) dengan galat kecil, menandakan akurasi tetap terjaga meski tegangan di bawah standar. Hasil ini membuktikan bahwa 200V mulai memungkinkan aktivasi sebagian beban, namun belum cukup untuk beban besar.



C. Pengujian Pengukuran Arus pada Sumber PLN 235V

Pengujian pengukuran nilai sensor arus pada fasa yang dilakukan menggunakan clampmeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai arus yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan CT pada kabel netral masukkan sensor.

Tabel 13. Pengujian Pengukuran Arus Pada Sumber PLN 235V

No	Pengukuran Arus (A)		Keterangan Beban	Error (A)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (A)	Clamp Meter (A)			
1.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0%
2.	0,13A	0,12A	Beban 1	0,01A	0,08%
3.	0,28A	0,27A	Beban 2	0,01A	0,04%
4.	1,7A	1,6A	Beban 3	0,10A	0,06%
Rata-rata				0,03A	0,05%

Pengujian arus dengan suplai PLN 235V menunjukkan semua beban, baik ringan maupun berat, dapat aktif dengan baik. Sensor PZEM-016 mencatat arus proporsional terhadap karakteristik beban dan stabil (simpangan baku 0A), tanpa fluktuasi selama pengujian. Nilai galat sangat kecil, menandakan akurasi pembacaan hampir sama dengan alat ukur pembanding. Hasil ini membuktikan bahwa pada tegangan normal, sistem monitoring bekerja optimal dan efektif memantau parameter arus.

D. Pengujian Pengukuran Arus pada Sumber Panel Surya 236V

Pengujian pengukuran nilai sensor arus pada fasa yang dilakukan menggunakan clampmeter sebagai pembanding dengan mendapatkan nilai arus yang terbaca pada sensor pada saat beban terhubung. Proses pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan CT pada kabel netral masukkan sensor.

Tabel 14. Pengujian Pengukuran Arus Pada Sumber Inverter 236V

No	Pengukuran Arus (A)		Keterangan Beban	Error (A)	Peresentase Galat%
	Sensor PZEM-016 (A)	Clamp Meter (A)			
1.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0A
2.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0A
3.	0,29A	0,26A	Beban 2	0,03A	0,12A
4.	0A	0A	Tanpa Beban	0A	0A
Rata-rata				0,02 A	0,05%



Pengujian menunjukkan bahwa arus tidak ada pada hampir semua beban yang terbaca oleh sensor PZEM-016, tanpa daya aktif yang dihasilkan, meskipun tegangannya tinggi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kapasitas energi panel surya yang terbatas, proteksi inverter, atau pembatasan arus keluaran. Sensor tetap akurat dan stabil (simpangan baku arus 0A) dalam mendeteksi kondisi ini. Perhitungan error, persentase galat, dan rata-rata menunjukkan perbedaan pembacaan sangat kecil atau nol dibanding alat ukur pembanding. Hasil ini menegaskan bahwa sistem monitoring bekerja baik meski arus tidak ada.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) berbasis PLC dan HMI yang dapat mengintegrasikan sumber energi surya sebagai cadangan terhadap sumber utama dari PLN. Sistem ini mampu melakukan pengalihan sumber listrik secara otomatis dengan mempertimbangkan prioritas beban ketika energi cadangan tidak cukup untuk menyuplai semua beban.

Sistem yang dirancang menggunakan PLC Lollette LE3U sebagai pengendali logika dan HMI Haiwell C7S untuk monitoring real-time parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif, dan frekuensi. Pemanfaatan sensor PZEM-016 untuk sumber AC dan PZEM-017 untuk sumber DC terbukti mampu mendeteksi parameter listrik dengan akurat, ditunjukkan oleh kesesuaian data sensor dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter dan clampmeter, serta nilai simpangan baku yang rendah, pengujian sistem menunjukkan bahwa :

1. Waktu perpindahan sumber listrik hanya memerlukan delay sebesar 100 ms, berkat pemrograman Ladder Diagram berbasis instruksi TON pada PLC.
2. Sistem dapat memprioritaskan beban saat terjadi peralihan ke energi cadangan. Ketika energi berasal dari inverter (PLTS), hanya beban prioritas (Beban 1 dan Beban 2) yang tetap aktif, sedangkan Beban 3 secara otomatis dinonaktifkan.
3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pembacaan daya aktif sangat dipengaruhi oleh tegangan input. Beban akan bekerja optimal hanya jika diberi suplai tegangan yang sesuai dengan spesifikasinya (sekitar 220-230V).
4. Sistem monitoring melalui HMI bekerja efektif dalam menampilkan data logger untuk tiap sumber dan beban, sehingga memudahkan pengawasan dan pengambilan keputusan secara *real-time*.

Secara keseluruhan, sistem ATS yang dikembangkan dalam penelitian ini telah menunjukkan performa yang baik, akurat, dan andal dalam pengalihan sumber energi serta pemantauan parameter kelistrikan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi yang efisien dan ramah lingkungan untuk sistem kelistrikan skala kecil hingga menengah, terutama dalam mendukung pemanfaatan energi baru terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wetenriajeng Sidehabi and M. Adnan Kadir, Aplikasi dan Instrumentasi Industri Aplikasi Sistem Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Automatic Main Failure (Amf) Berbasis Plc Zelio Smart Relay Sr3 B261fu.”
- [2] P. Studi Ilmu Komunikasi FISIP Untan, R. Laksana Merdeka, J. Magdalena Wuysang, and D. Apriyanto, “Perception of People Pontianak City Facebook Account of PT. PLN West Kalimantan Region Regarding Power Outages.”
- [3] S. Rahman *et al.*, “Analysis of Power Grid Voltage Stability with High Penetration of Solar PV Systems,” *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 57, no. 3, pp. 2245-2257, May 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3066326.
- [4] esdm.go.id, “Pemerintah Kejar Target Tingkatkan Bauran EBT,” esdm.go.id. Accessed: Jul. 22, 2025.



- [5] Y. Kariongan, “Perencanaan dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop dengan Sistem On Grid sebagai Catu Daya Tambahan pada RSUD Kabupaten Mimika,” vol. 6, pp. 3763-3773.
- [6] M. Tendi, N. Ramadhan, M. Alfiansyah, R. Chandra, S. Aryatama, and S. Mardohar, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Plts Dan Pltmh Dengan Sistem Monitoring Berbasis Iot Di Desa Ramba Goring Goring”
- [7] D. Supriadi and T. Otomasi, “Kendali Automatic Transfer Switch (Ats)-Automatic Main Failure (Amf) Pada 2 Generator Set (Genset) Paralel Berbasis Plc,” 2019.
- [8] Hairul, F. Arifin, R. Wilza, Z. Zakaria, Kurniawan, and Y. D. Herlambang, “Automation of Load Electricity Operating System Using PLC (Programmable Logic Controller),” *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, vol. 3, no. 1, pp. 76-81, May 2023, doi: 10.53893/ijrvocas.v3i1.200.
- [9] A. Kurniawan and S. I. Haryudo, “Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) 1 Phase Berbasis Outseal PLC Mega V.3 Untuk Instalasi Listrik Rumah Tangga,” *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 6, no. 2, pp. 97-108, Jul. 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i2.1432.
- [10] L. H. Eko Nuryanto Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro -Politeknik Negeri Semarang JlProf Soedarto SH and T. Semarang -, “Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Pln Dan Plts) Kapasitas 800 Wp,” 2021. [Online]. Available: <https://rakhman.net/power-plants-id/jenis->
- [11] B. Adhi Nugroho and Y. Christyono, “Rancang Bangun Frekuensi Meter Listrik Berbasis Atmega328.”