

Rancang Bangun Sistem *Automatic Transfer Switch (ATS) 1 Phase* Berbasis *Outseal PLC Mega V.3* Untuk Instalasi Listrik Rumah Tangga

Design and Construction of a 1 Phase Automatic Transfer Switch (ATS) System Based on Outseal PLC Mega V.3 for Household Electrical Installations

Arif Kurniawan¹, Subuh Isnur Haryudo^{*:2}

^{1,2}*Program Studi SI Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya
Jalan Ketintang, Gayungan, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia*

^{*:2} Corresponding author: subuhisnur@unesa.ac.id

¹ arifkurniawan.20050@mhs.unesa.ac.id

Received on 22-03-2024, accepted on 14-05-2024, published on 29-07-2024

Abstrak

Ketersediaan listrik yang berkelanjutan menjadi kebutuhan utama dalam berbagai aspek kehidupan saat ini. Pemadaman listrik yang tidak terduga dari sumber utama (PLN), seringkali mengganggu aktivitas konsumen. Oleh karena itu, diperlukan sumber listrik cadangan yang berfungsi sebagai back-up daya saat terjadi pemadaman. Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis PLC berfungsi untuk menjaga aliran daya listrik dan membutuhkan daya listrik dari sumber cadangan (baterai) dalam waktu yang singkat. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem Automatic Transfer Switch (ATS) 1 Phase berbasis Outseal PLC Mega V.3 untuk mengatur perpindahan sumber utama (PLN) ke sumber cadangan secara otomatis dan manual. Outseal PLC Mega V.3 digunakan sebagai kontrol utama dengan sensor tegangan PZEM-004T untuk mendeteksi gangguan tegangan dan proteksi keadaan overvoltage dan undervoltage. PLC dipilih sebagai kontrol utama karena memiliki kemudahan untuk mengatur semua output pada sistem ATS yang dibuat dengan bentuk pemrograman berupa diagram ladder serta mengurangi penggunaan relai atau kontaktor dan membuat wiring lebih mudah dipahami. Metode pengendalian menggunakan program visual (ladder diagram) yang dibuat melalui software Outseal Studio. Penelitian ini mendukung pengembangan teknologi otomasi anak bangsa dan memberikan kemudahan akses serta pembelajaran bagi masyarakat dalam merancang dan memahami sistem ATS berbasis Outseal PLC. Hasil penelitian ini menghasilkan data yang dapat diketahui meliputi lama waktu perpindahan ATS dari PLN ke baterai sebesar 5,20 detik, lama waktu perpindahan ATS dari baterai ke PLN sebesar 5,11 detik. Pengujian sensor tegangan PZEM-004t memperoleh rata-rata eror sebesar 0,00632%. Pengujian sistem ATS terhadap beban terpasang diperoleh data konsumsi tegangan dan arus beban terhadap inverter lebih besar daripada ketika sumber daya listrik dari PLN.

Kata kunci: *ATS, Outseal PLC, Sensor Tegangan, Sumber Listrik*

Abstract

Continuous availability of electricity is a primary requirement in various aspects of life today. Unexpected power outages from the primary source (PLN) often disrupt consumer activities. Therefore, a backup electricity source is needed, functioning as backup power when a blackout occurs. The Automatic Transfer Switch (ATS) system maintains the flow of electrical power and requires electrical power from a backup source (battery) for a short time. This research aims to create a 1 Phase Automatic Transfer Switch (ATS) system based on Outseal PLC Mega V.3 to automatically and manually regulate the primary source (PLN) transfer to the backup source. Outseal PLC Mega V.3 was the central control with a PZEM-004T voltage sensor to detect voltage disturbances and protect against overvoltage and under-voltage conditions. PLC is chosen as the main control because it provides ease in regulating all outputs in the ATS system created with ladder diagram programming form, reduces the use of relays or contactors, and makes wiring easier to understand. The control method uses a visual program (ladder diagram) created using Outseal Studio software. This research supports the development of automation technology for the nation's children and provides easy access to learning for the community in designing and understanding ATS systems based on outseal PLC. The results of this research produce data that can be seen, including the length of time for transferring ATS from PLN to the battery of 5.20 seconds, and the length of time for transferring ATS from the battery to PLN of 5.11 seconds. Testing the PZEM-004t voltage sensor obtained an average error of 0.00632%. Testing the ATS system on the installed load showed that data on the voltage and current consumption of the load on the inverter was greater than when the electricity source was from PLN.

Keywords: ATS, Outseal PLC, Voltage Sensor, Power Source

I. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang listrik adalah kebutuhan yang sangat penting pada seluruh aspek kehidupan seperti sektor industri, perkantoran, rumah sakit dan rumah tangga. PLN sebagai penyedia pasokan listrik negara tidak selalu dapat menjamin kontinuitas suplai listrik ke konsumen sehingga dibutuhkan sumber cadangan (*back-up*) listrik untuk menunjang kebutuhan listrik ketika suplai daya listrik utama mengalami pemadaman [1]. Pemadaman dilakukan akibat dari pemeliharaan dan perawatan yang terjadwal pada kondisi normal maupun darurat saat terjadi gangguan, kondisi beban puncak dan kenaikan beban temporer konsumen. Jika gangguan sering terjadi dapat mengakibatkan terganggunya stabilitas pelayanan kepada masyarakat. Selain itu, mengakibatkan kerusakan peralatan elektronik karena cara menonaktifkan tidak sesuai prosedur yang berlaku [2]. Pemadaman listrik dalam jangka waktu yang lama dengan tanpa pemberitahuan terlebih dahulu kepada masyarakat menjadi salah satu penyebab kurang efektifnya pelayanan listrik [3]. Hal ini dapat mengganggu aktivitas konsumen, khususnya pada konsumen yang produktif. Dengan banyaknya gangguan tersebut akan menghambat proses produksi yang dapat menyebabkan kerugian yang besar bagi konsumen. Salah satu cara masyarakat untuk mengatasi terputusnya suplai daya listrik dengan menyediakan sumber daya listrik cadangan bertujuan menjaga kontinuitas kebutuhan sumber listrik.

Pemasangan sistem *Automatic Transfer Switch* berbasis *Outseal PLC* merupakan solusi yang efektif dalam pengalihan suplai sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (Baterai). PLC dipilih sebagai kontrol utama untuk mengatur kerja komponen pada sistem ATS yang dibuat. ATS dapat mengatur peralihan dua sumber dari sumber utama ke sumber cadangan dan sebaliknya secara otomatis ataupun manual secara cepat dengan pengaturan waktu [4]. Sistem ATS dapat dibuat tanpa menggunakan PLC, namun dengan menggunakan PLC dapat meminimalisir kesalahan yang terjadi. Penggunaan PLC dapat mengurangi penggunaan relai, kabel, TDR serta komponen lainnya sehingga membuat wiring ATS lebih simpel dan rapi [5]. Dengan menggunakan *Outseal PLC* membuat sebuah sistem dapat mengontrol modul input/output secara analog atau digital berbasis logika dan menerapkan fungsi khusus seperti logika, perhitungan, pengukuran waktu dan aritmatika.

Outseal PLC adalah sebuah teknologi otomasi produksi dalam negeri dibuat menggunakan *arduino bootloader* dengan harga yang terjangkau. Untuk membuat logika pemrograman *Outseal PLC* memiliki perangkat lunak buatan dalam negeri yang bernama *Outseal Studio*. Bentuk dari program menggunakan ladder diagram (diagram tangga) yang dapat dijalankan di PC serta sudah dilengkapi dengan dua bahasa yaitu indonesia dan inggris. Hal ini sangat memudahkan programmer dalam memahami fitur-fitur pada *Outseal Studio* sehingga lebih cepat paham akan cara kerja dari *Outseal PLC* [6]. *Automatic transfer switch* berbasis *Outseal PLC* sebagai kontrol utamanya akan ditambahkan sebuah sensor tegangan *PZEM-004t* sebagai pendeteksi gangguan pada sumber listrik utama berupa kondisi penurunan tegangan (*undervoltage*)

dan kenaikan tegangan (*overvoltage*) melebihi batas aman tegangan distribusi yang telah ditentukan oleh PLN.

Sensor tegangan *PZEM-004t* merupakan sebuah sensor yang berfungsi untuk mengukur tegangan rms, arus rms dan daya aktif yang disambungkan ke arduino, NodeMCu, ESP8266 atau mikrokontroler lainnya untuk memproses datanya. Sensor ini berukuran 7,4 x 3,1 cm yang dililit kumparan tembaga trafo arus berdiameter 3mm untuk mengukur arus sebesar 100 A maksimal. Sensor *PZEM-004t* tidak dilengkapi dengan LCD untuk menampilkan data pengukuran sehingga perlu *interface* TTL atau melalui LCD tersendiri yang terhubung ke mikrokontroler [7]. Sensor tegangan sangat berperan penting dalam sistem *Automatic Transfer Switch* yang akan dibuat karena sebagai pendeteksi dan proteksi terhadap gangguan tegangan sehingga apabila terjadi kesalahan sistem akan memindahkan suplai dari sumber utama ke sumber cadangan dan mencegah kerusakan peralatan elektronik dan sistemnya.

Penelitian tentang sistem *Automatic Transfer Switch* telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya (Supriyadi, Purnama, and Jadmiko 2021) menggunakan Genset dan UPS sebagai sumber cadangan ketika jala jala listrik PLN padam. UPS berfungsi sebagai catu daya sementara untuk menangani jeda waktu selama proses transisi dari sumber listrik dari PLN ke Genset sehingga suplai listrik ke beban tetap normal saat menunggu waktu *starter* genset [8]. (Sitanggang, Sc, and Siregar 2021) menggunakan PLC SYMAC CPM24 sebagai kontrol utama dalam sistem *Automatic Transfer Switch* penelitiannya. Bekerja secara otomatis dan manual tanpa perlu adanya operator untuk menghidupkan sumber 3 cadangan (Genset) dengan pengaturan waktu. (wicaksono.,2022) menggunakan modul DSE 4520MKII sebagai kontrol utama dalam sistem *Automatic Transfer Switch* yang dibuat untuk memindahkan sumber dari PLN ke Genset secara otomatis dan manual [9].

Berdasarkan latar belakang dan penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini akan merancang bangun sebuah sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) *1 Phase* berbasis *Outseal PLC Mega V.3* untuk Instalasi Rumah Tangga. *Outseal PLC Mega V.3* digunakan sebagai kontrol utama dalam sistem ATS yang dibuat dengan sensor tegangan *PZEM-004T* untuk pendeteksi gangguan *undervoltage* dan *overvoltage* suplai listrik dari sumber PLN. *Outseal PLC* dibuat menggunakan *arduino* dan desain *hardware* nya dibuka untuk umum, setiap orang bisa mempelajari rangkaian elektroniknya secara bebas serta dapat membuat sendiri dengan harga yang terjangkau. *Software* nya yang digunakan berupa *program visual (ladder diagram)* berbahasa Indonesia dan Inggris sehingga mudah dipahami. Dengan menggunakan *Outseal PLC* peneliti turut mendukung dan mengembangkan teknologi otomasi buatan anak bangsa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tenaga listrik dihasilkan pada pusat pembangkit, kemudian dialirkan melalui jaringan transmisi sebelum sampai ke konsumen. Sistem transmisi listrik terdiri dari tiga bagian utama: pusat pembangkit listrik yang menghasilkan listrik melalui turbin dan generator, transmisi listrik yang mengalirkan energi dari pusat pembangkit ke saluran distribusi, dan sistem distribusi yang mencakup gardu induk, gardu hubung, serta saluran tegangan menengah dan rendah yang diatur oleh panel pengatur [10].

Automatic Transfer Switch merupakan sebuah sistem yang berfungsi sebagai penghubung beban dengan dua sumber tenaga listrik utama dan cadangan serta menjaga aliran daya listrik menuju beban [11]. Sistem ATS berfungsi dalam menjaga keberlangsungan penyaluran daya ke beban. Selain itu, dapat membantu wilayah yang sering mengalami pemadaman listrik dan membutuhkan sumber daya listrik cadangan dalam waktu singkat. ATS adalah sebuah sistem yang mengatur perpindahan suplai dari dua sumber listrik bekerja secara otomatis dan manual dengan mengendalikan waktu [12]. Saat ini memang sudah pasaran berbagai merk dan tipe ATS namun masih belkum menerapkan teknologi PLC kedalamnya. *Outseal PLC* adalah suatu peralatan kontrol dari *mikroprosesor* untuk memonitor keadaan dari peralatan *input* yang selanjutnya dianalisa dengan programmmmer untuk proses operasi mesin sesuai dengan kehendak konsumen.

Prinsip kerja *Outseal PLC* yaitu beroperasi dengan menerima data dari input luar atau device yang berupa *pushbutton* dan sensor berbentuk sinyal analog. Input yang masuk akan dikonversi menjadi sinyal digital dan akan diolah sesuai program yang telah ditetapkan dalam memori PLC. Selanjutnya, CPU akan mengambil keputusan memindahkan ke modul output dalam bentuk sinyal digital dan diubah kembali ke sinyal analog oleh modul output untuk menggerakkan peralatan seperti kontaktor atau relay. Selain itu PLC sebagai kontrol mempunyai kemudahan dalam pemograman dengan bentuk diagram tangga [13]. Selain menggunakan PLC, sistem ATS yang dibuat juga menggunakan sensor tegangan *PZEM-004t*.

Sensor tegangan *PZEM-004T* adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur tegangan *rms*, *arus rms*, *watt* dan faktor daya [14]. Sensor ini memiliki tegangan kerja mulai dari 80V hingga 260V AC yang terhubung dengan *mikrokontroler* untuk memproses datanya [15]. Sensor tegangan digunakan pada sistem

ATS berfungsi sebagai pendeteksi dan proteksi dari gangguan tegangan dari sumber berupa penurunan dan kenaikan tegangan sehingga dapat menghindari kerusakan sistem dan beban terpasang. Sistem *Automatic Transfer Switch* pada penelitian ini menggunakan dua sumber yaitu sumber listrik dari PLN sebagai sumber utama dan sumber listrik dari baterai sebagai sumber cadangannya.

Baterai merupakan perangkat elektrokimia yang memiliki dua elektroda (katoda dan anoda) serta elektrolit. Fungsinya adalah sebagai penyedia energi listrik cadangan yang dihasilkan melalui konversi energi kimia reduksi dan oksidasi. Baterai berfungsi sebagai penyimpanan energi cadangan apabila sumber utama mengalami pemadaman [16].

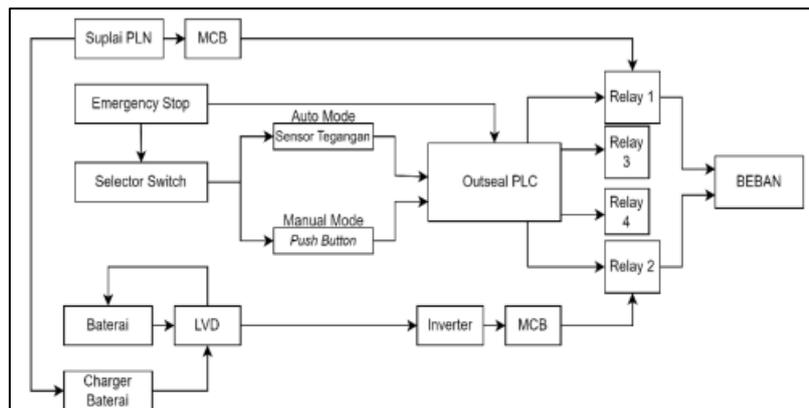
Inverter merupakan perangkat yang mengubah tegangan DC masukan menjadi tegangan AC keluaran secara statis, tanpa memerlukan mesin atau saklar mekanis. Komponen daya inverter terdiri dari perangkat semikonduktor yang bertindak sebagai saklar statis. Selain itu, inverter dilengkapi dengan sirkuit kontrol switching dalam bentuk pulsa untuk mengatur penghidupan dan pemadaman setiap elemen *switching statis* dengan urutan dan waktu yang tepat. Sumber tegangan masukan inverter dapat berasal dari berbagai sumber seperti baterai, sel bahan bakar, tenaga surya, aki, atau sumber tegangan DC lainnya [17].

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada dasarnya merupakan ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan suatu metode yang relevan dengan tujuan yang ingin dicapai. Metode penelitian yang digunakan penulis adalah kuantitatif yang berjenis penelitian eksperimen.

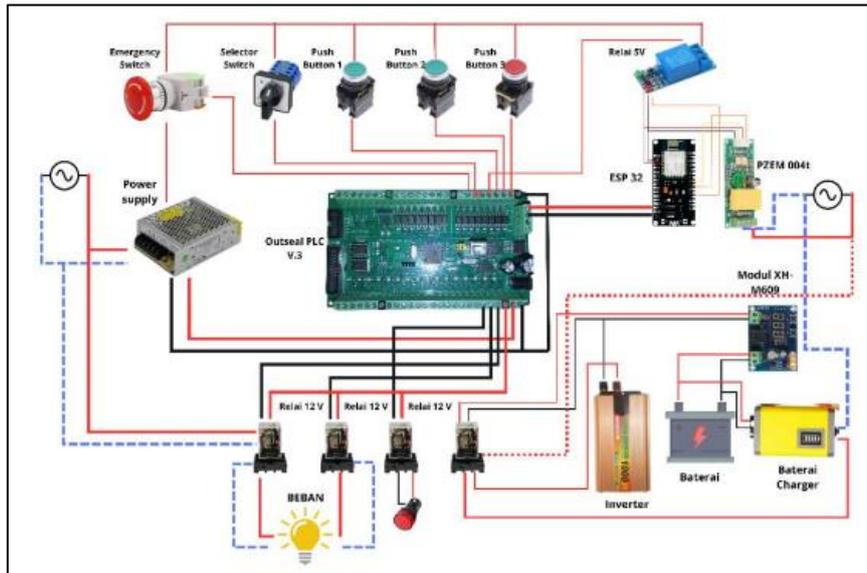
A. Perancangan sistem Hardware

Sistem dari perancangan *hardware* dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 1. Diagram Blok Sistem ATS

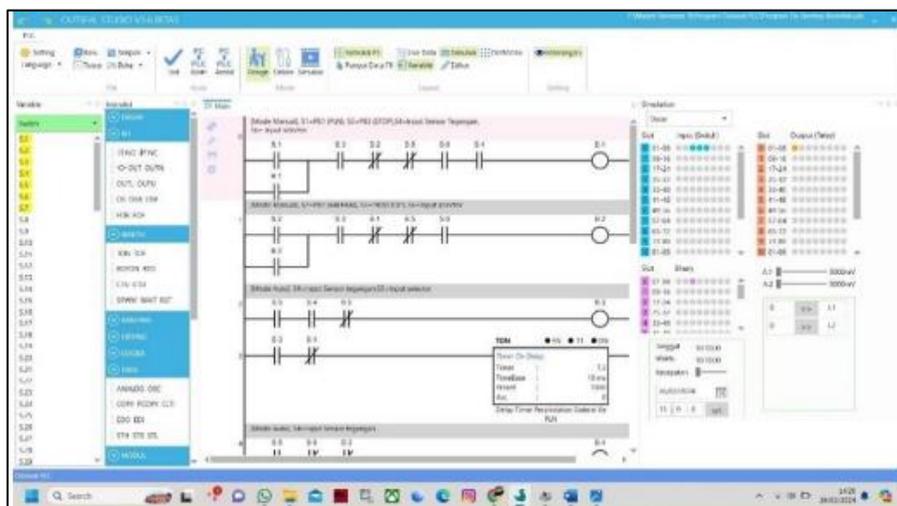
Pada gambar 1 dijelaskan bahwa sistem ATS akan bekerja ketika tombol emergency stop berada pada posisi hidup yang akan menghidupkan sistem ATS. *Selector switch* berfungsi untuk memilih mode Auto dan Manual yang telah terprogram pada *Outseal PLC* (kontroller). *Output Outseal PLC* akan menghidupkan relay 1 atau relay 2. Jika supply listrik PLN mengalami pemadaman atau gangguan tegangan maka sensor tegangan PZEM-004t akan merespon dan memberi inputan ke *Outseal PLC* untuk menghidupkan relay 2 dan berganti dari semula sumber listrik dari PLN ke sumber cadangan dari baterai sehingga beban tetap bisa menyala. Sedangkan ketika sumber listrik PLN kembali terhubung maka *Outseal PLC* akan merespon untuk mematikan relay 2 dan menghidupkan relay 1 untuk menghubungkan ke sumber listrik PLN kembali. Sistem pengisian baterai menggunakan modul *xh-mh609* sebagai pemutus, ketika *Low Voltage Disconnect (LVD)* membaca tegangan baterai pada tegangan 12 Volt maka LVD akan memutus koneksi dari baterai ke inverter. Sistem pengisian baterai akan menyala untuk mengisi baterai hingga terisi penuh pada tegangan 13 Volt dan LVD akan kembali menghubungkan daya baterai ke inverter. Untuk gambar wiring diagram kontrol dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 2. Wiring Utama Sistem ATS

B. Perancangan Software

Sistem dari perancangan *software* menggunakan *Outseal Studio* dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancang Bangun Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)



Gambar 4. Hasil Rancang Bangun Sistem

Gambar 4 adalah hasil dari rancang bangun sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) Berbasis *Outseal PLC*. Sistem ATS ini menggunakan beberapa komponen seperti *Outseal PLC*, sensor tegangan *PZEM-004T*, mikrokontroler *arduino nano*, inverter, baterai, watt meter, relay, baterai charger, power suplai, push button, lampu pilot, emergency stop, selector switch dan beban. Untuk tampilan dari dalam sistem *Automatic Transfer Switch* dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 5. Tampilan Dalam Panel ATS

B. Hasil Pengujian *Automatic Transfer Switch*

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengetahui kinerja alat yang telah dibuat sesuai dengan perancangan dan mencatat hasil datanya. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi berikut ini

1. *Pengujian Mode Manual*

Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan keadaan saat selector switch pada posisi mode manual. Lampu indikator merah menandakan sistem ATS dalam keadaan mati. Pengujian bertujuan untuk mengetahui fungsi dan kinerja dari sistem ATS dengan beban lampu pijar dan lampu pilot sebagai indikator outputnya. Data hasil pengujian sistem ATS saat mode manual dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian ATS Mode Manual

PB 1 (PLN)	PB 2 (Stop)	PB 3 (Baterai)	Indikator ATS		Kondisi Beban (Lampu)
			PLN	Baterai	
Ditekan	Tidak Ditekan	Tidak Ditekan	ON	OFF	Menyala
Tidak Ditekan	Tidak Tekan	Ditekan	OFF	ON	Menyala
Ditekan	Ditekan	Tidak Ditekan	OFF	OFF	Padam
Tidak Ditekan	Ditekan	Ditekan	OFF	OFF	Padam
Tidak Ditekan	Tidak Ditekan	Tidak Ditekan	OFF	OFF	Padam

Dari hasil data pengujian pada tabel 1 sistem ATS *mode manual* bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu dapat memindahkan sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (Baterai) dan sebaliknya. Sistem interlock berfungsi sehingga tidak ada kesalahan tegangan antara 2 sumber tegangan. Program PLC dan *push button* yang dibuat sesuai dengan fungsinya. ATS dapat mengalirkan daya ke beban ditandai dengan beban (lampu) yang menyala.

2. Pengujian Mode Auto

Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan keadaan saat *selector Switch* pada posisi mode auto. Sistem ATS beroperasi secara otomatis memindahkan suplai dari sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (baterai) dan sebaliknya. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Mode Auto

Uji Coba Ke-	Kondisi Tegangan Sumber Utama (PLN)	Kondisi ATS		Kondisi Beban
		PLN	Baterai	
1.	<i>Undervoltage</i>	OFF	ON	Menyala
2.	<i>Overvoltage</i>	OFF	ON	Menyala
3.	Normal	ON	OFF	Menyala

Dari hasil pengujian pada tabel 2 sistem ATS mode Auto berjalan dengan baik memindahkan sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (baterai) berdasarkan sensor tegangan. ATS dapat memproteksi ketika terjadi kondisi *undervoltage* dan *undervoltage* sehingga menghindari kerusakan pada sistem dan beban.

3. Waktu perpindahan Automatic Transfer Switch (ATS) sumber PLN ke Baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu perpindahan dari suplai PLN ke suplai baterai pada saat suplai dari PLN sedang mengalami gangguan dengan pengaturan delay selama 5 detik untuk memastikan bahwa suplai dari sumber PLN padam dan memberikan waktu inverter untuk hidup sebelum tersambung beban. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Waktu perpindahan PLN ke Baterai

Uji Coba ke -	Kondisi Tegangan (PLN Volt)	Kondisi ATS		Kondisi Beban	t (detik)
		PLN	Baterai		
1.	0	OFF	ON	Nyala	5,15
2.	10	OFF	ON	Nyala	5,14
3.	20	OFF	ON	Nyala	5,22
4.	30	OFF	ON	Nyala	5,15
5.	40	OFF	ON	Nyala	5,14
6.	50	OFF	ON	Nyala	5,31
7.	60	OFF	ON	Nyala	5,24
8.	70	OFF	ON	Nyala	5,06
9.	80	OFF	ON	Nyala	5,22
10.	90	OFF	ON	Nyala	5,22

Uji Coba ke -	Kondisi Tegangan (PLN Volt)	Kondisi ATS		Kondisi Beban	t (detik)
		PLN	Baterai		
11.	100	OFF	ON	Nyala	5,15
12.	110	OFF	ON	Nyala	5,14
13.	120	OFF	ON	Nyala	5,15
14.	130	OFF	ON	Nyala	5,23
15.	140	OFF	ON	Nyala	5,31
16.	150	OFF	ON	Nyala	5,22
17.	160	OFF	ON	Nyala	5,31
18.	170	OFF	ON	Nyala	5,31
19.	180	OFF	ON	Nyala	5,15
20.	190	OFF	ON	Nyala	5,16
21.	200	OFF	ON	Nyala	5,24
22.	205	OFF	ON	Nyala	5,23
23.	210	OFF	ON	Nyala	5,23
24.	215	OFF	ON	Nyala	5,32
25.	220	OFF	ON	Nyala	5,06
26.	225	OFF	ON	Nyala	5,15
27.	230	OFF	ON	Nyala	5,30
28.	235	OFF	ON	Nyala	5,14
29.	240	OFF	ON	Nyala	5,22
30.	245	OFF	ON	Nyala	5,23
Rata - rata					5,20

Berdasarkan hasil data pada tabel 3 diperoleh nilai rata-rata waktu perpindahan sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)* dari sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (Baterai) sebesar 5,20 detik.

4. Waktu perpindahan *Automatic Transfer Switch (ATS)* sumber Baterai ke PLN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu perpindahan dari suplai Baterai ke suplai PLN pada saat suplai dari PLN kembali ketegangan normal. Proses perpindahan menggunakan delay selama 5 detik sebelum tersambung ke beban. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Waktu Perpindahan Baterai ke PLN

Uji Coba ke -	Kondisi Tegangan (PLN Volt)	Kondisi ATS		Kondisi Beban	t (detik)
		PLN	Baterai		
1.	198	ON	OFF	Nyala	5,24
2.	205	ON	OFF	Nyala	5,28
3.	210	ON	OFF	Nyala	5,21
4.	215	ON	OFF	Nyala	5,24
5.	220	ON	OFF	Nyala	5,28
6.	225	ON	OFF	Nyala	5,27
7.	231	ON	OFF	Nyala	5,28
8.	198	ON	OFF	Nyala	5,23
9.	205	ON	OFF	Nyala	5,15
10.	210	ON	OFF	Nyala	5,32
11.	215	ON	OFF	Nyala	5,14
12.	220	ON	OFF	Nyala	5,23
13.	225	ON	OFF	Nyala	5,40
14.	231	ON	OFF	Nyala	5,22
15.	198	ON	OFF	Nyala	5,18
16.	205	ON	OFF	Nyala	5,22
17.	210	ON	OFF	Nyala	5,00
18.	215	ON	OFF	Nyala	5,23
19.	220	ON	OFF	Nyala	5,14
20.	225	ON	OFF	Nyala	5,18
21.	231	ON	OFF	Nyala	5,14
22.	198	ON	OFF	Nyala	5,22
23.	205	ON	OFF	Nyala	5,23
24.	210	ON	OFF	Nyala	5,22

Uji Coba ke -	Kondisi Tegangan (PLN Volt)	Kondisi ATS		Kondisi Beban	t (detik)
		PLN	Baterai		
25.	215	ON	OFF	Nyala	5,14
26.	220	ON	OFF	Nyala	5,14
27.	225	ON	OFF	Nyala	5,30
28.	231	ON	OFF	Nyala	5,22
29.	198	ON	OFF	Nyala	2,22
30.	205	ON	OFF	Nyala	5,14
Rata - rata					5,11

Berdasarkan hasil data pada tabel 4 diperoleh nilai rata-rata waktu perpindahan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) dari sumber cadangan (Baterai) ke sumber utama (PLN) sebesar 5,11 detik.

5. Pengujian sensor tegangan PZEM-004T

Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sensor *PZEM 004T* dalam mendeteksi gangguan tegangan dari sumber utama dalam kondisi *Overvoltage* atau *Undervoltage* maka sistem ATS akan memindahkan secara otomatis suplai dari sumber utama (PLN) ke sumber cadangan (baterai) sehingga beban tetap teraliri listrik dan terhindar dari kerusakan. Batas minimum tegangan sebesar 198 V dan batas maksimum tegangan 231 V sesuai dengan tegangan standar pelayanan dari PLN. Setelah mengetahui batas minimum dan maksimum tegangan maka nilai tersebut digunakan untuk acuan sensor tegangan *PZEM 004T* untuk memproteksi ketika terjadi gangguan tegangan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

No	Tegangan (Volt)	Kondisi Relai	Keterangan
1.	0	Kerja	<i>Undervoltage</i>
2.	10	Kerja	<i>Undervoltage</i>
3.	20	Kerja	<i>Undervoltage</i>
4.	30	Kerja	<i>Undervoltage</i>
5.	40	Kerja	<i>Undervoltage</i>
6.	50	Kerja	<i>Undervoltage</i>
7.	60	Kerja	<i>Undervoltage</i>
8.	70	Kerja	<i>Undervoltage</i>
9.	80	Kerja	<i>Undervoltage</i>
10.	90	Kerja	<i>Undervoltage</i>
11.	100	Kerja	<i>Undervoltage</i>
12.	110	Kerja	<i>Undervoltage</i>
13.	120	Kerja	<i>Undervoltage</i>
14.	130	Kerja	<i>Undervoltage</i>
15.	140	Kerja	<i>Undervoltage</i>
16.	150	Kerja	<i>Undervoltage</i>
17.	160	Kerja	<i>Undervoltage</i>
18.	170	Kerja	<i>Undervoltage</i>
19.	180	Kerja	<i>Undervoltage</i>
20.	190	Kerja	<i>Undervoltage</i>
21.	200	Tidak Kerja	Normal
22.	205	Tidak Kerja	Normal
23.	210	Tidak Kerja	Normal
24.	215	Tidak Kerja	Normal
25.	220	Tidak Kerja	Normal
26.	225	Tidak Kerja	Normal
27.	230	Tidak Kerja	Normal
28.	235	Kerja	<i>Overvoltage</i>
29.	240	Kerja	<i>Overvoltage</i>
30.	245	Kerja	<i>Overvoltage</i>

Berdasarkan hasil data pada tabel dapat diketahui bahwa sensor tegangan *PZEM 004T* bekerja dengan baik memproteksi sistem dan instalasi listrik dari kenaikan tegangan (*overvoltage*) dan penurunan tegangan (*undervoltage*) menghindari kerusakan sistem dan beban terpasang.

6. Perhitungan error perbedaan hasil pengukuran sensor tegangan PZEM-004T dengan Multimeter

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui *error* pengukuran sensor tegangan dan multimeter dengan memberikan masukan tegangan dari sumber PLN, lalu membandingkan hasil pengukuran dari sensor yang tertera pada layar serial monitor dengan hasil pengukuran multimeter. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini

Tabel 6. Hasil Pengukuran Tegangan

No	Sensor PZEM 004T (Volt AC)	Multimeter (Volt AC)	Error (%)
1.	80,0 V	80,8 V	0,00990
2.	85,4 V	86,1 V	0,00813
3.	90,4 V	91,5 V	0,01202
4.	95,0 V	96,1 V	0,01144
5.	100,7 V	101,9 V	0,01177
6.	105,4 V	106,3 V	0,00846
7.	110,6 V	111,5 V	0,00807
8.	115,7 V	116,7 V	0,00856
9.	120,3 V	121,3 V	0,00824
10.	125,4 V	126,4 V	0,00791
11.	130,3 V	131,3 V	0,00761
12.	135,1 V	136,2 V	0,00807
13.	140,1 V	141,5 V	0,00989
14.	145,4 V	146,5 V	0,00750
15.	150,5 V	151,3 V	0,00660
16.	155,0 V	156,2 V	0,00768
17.	160,7 V	161,7 V	0,00618
18.	165,1 V	166,2 V	0,00661
19.	170,9 V	171,8 V	0,00523
20.	180,4 V	181,4 V	0,00551
21.	185,1 V	185,9 V	0,00430
22.	191,3 V	191,9 V	0,00312
23.	195,5 V	195,9 V	0,00204
24.	200,2 V	200,8 V	0,00298
25.	205,2 V	205,7 V	0,00243
26.	210,2 V	210,7 V	0,00237
27.	215,3 V	215,7 V	0,00185
28.	220, 4 V	220,9 V	0,00226
29.	225,5 V	225,8 V	0,00132
30.	231,2 V	231,6 V	0,00172
Rata-rata			0,00632

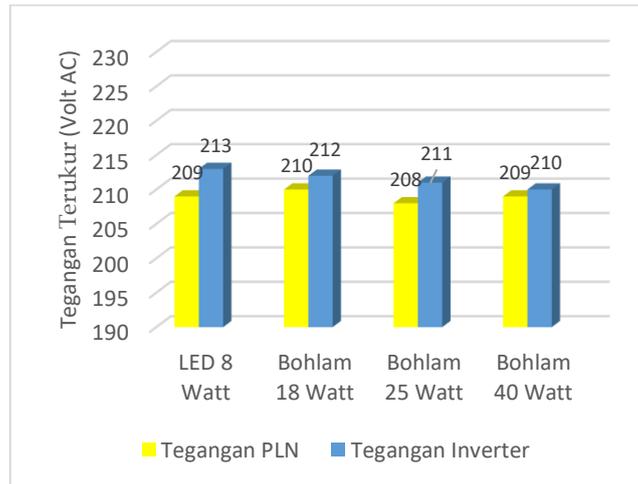
Hasil data error pada tabel 6 diatas dihitung menggunakan rumus berikut

$$Percentage Error = \frac{Nilai Akurat - Nilai Sensor}{Nilai Akurat} \times 100\% \tag{1}$$

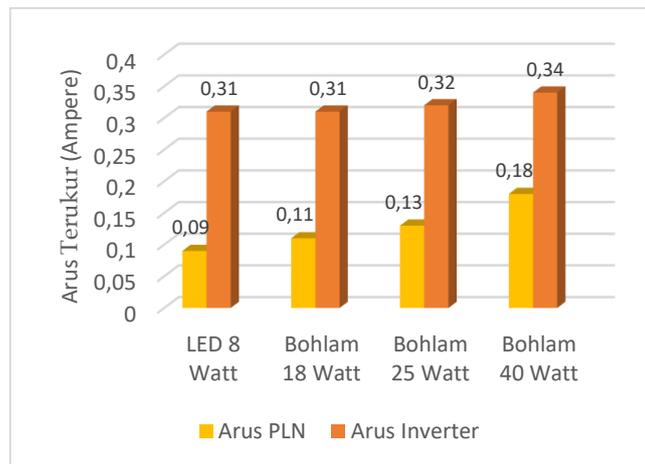
Berdasarkan hasil data pengukuran pada tabel diperoleh nilai rata-rata *error* pengukuran antara sensor tegangan *PZEM-004T* dengan multimeter sebesar 0,00632%. Dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan *PZEM-004T* cukup baik digunakan sebagai pendeteksi gangguan tegangan yang terjadi pada sumber karena nilai keakuratan pengukuran yang tidak jauh beda dengan multimeter.

7. Pengujian Automatic Transfer Switch (ATS) terhadap beban terpasang

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui data tegangan dan arus saat perpindahan sumber dari suplai PLN dan suplai inverter ketika dibebani oleh lampu penerangan. Inverter menggunakan tipe *Modified Sine Wave (MSW)* dan lampu yang digunakan ada 4 macam dengan watt dan jenis berbeda. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur yang terpasang pada panel ATS. Data hasil pengujian terhadap tegangan dan arus dapat dilihat pada grafik di bawah ini



Gambar 6. Grafik Tegangan Ketika Pembebanan



Gambar 7. Grafik Arus Ketika Pembebanan

Data grafik diatas menjelaskan bahwa beban yang terpasang sedikit mempengaruhi suplai tegangan dari sumber PLN dan Sumber Inverter. Perbedaan tegangan antara kedua sumber hampir sama, masih dibatas aman tegangan yang diijinkan. Pada hasil pengukuran arus saat pembebanan dengan menggunakan lampu LED dan lampu bohlam dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan komsumsi arus yang signifikan antara suplai dari sumber PLN dan sumber Inverter. Komsumsi arus beban (lampu) ketika suplai dari sumber listrik PLN lebih kecil dan stabil dibandingkan saat menggunakan suplai sumber listrik dari Inverter.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan meliputi pengujian mode manual dan mode auto, lama waktu perpindahan ATS dari baterai ke PLN dan PLN ke Baterai, pengujian sensor tegangan PZEM-004t, pengujian error perbedaan hasil pengukuran sensor tegangan PZEM-004T dengan Multimeter. Dari beberapa pengujian yang telah disebutkan didapatkan nilai rata-rata pada setiap pengujian sebagai berikut lama waktu perpindahan ATS dari PLN ke baterai sebesar 5,20 detik, lama waktu perpindahan ATS dari baterai ke PLN sebesar 5,11 detik. Hasil pengujian sensor tegangan PZEM-004t memperoleh ratat-rata error sebesar 0,00632%. Hasil pengujian sistem ATS terhadap beban terpasang diperoleh data konsumsi tegangan dan arus beban terhadap inverter lebih besar daripada ketika sumber daya listrik dari PLN. Hal ini disebabkan oleh tipe inverter yang digunakan yaitu tipe *Modified Sine Wave (MSW)*. Inverter MSW menghasilkan gelombang sinus yang kurang stabil sehingga saat digunakan konsumsi tegangan dan arusnya lebih tinggi dari sumber listrik PLN. Dari penjelesaian diatas dapat disimpulkan bahwa sistem ATS mampu bekerja dengan baik namun perlu ada sedikit penyesuain pada penggunaan inverter. Hasil pembacaan

sensor yang digunakan tidak jauh berbeda dengan multimeter sebagai tolakukur nilai akurat hasil pengukuran. Sensor mampu bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya dapat mendeteksi gangguan tegangan berupa penurunan dan kenaikan tegangan. Lama waktu perpindahan sistem ATS selisih sedikit dengan waktu yang diatur pada PLC yaitu 5 detik. Sistem ATS dapat berpindah secara manual maupun otomatis sesuai dengan perencanaan yang dapat dilihat pada hasil pengujian pada tabel 1 dan tabel 2. Dapat disimpulkan bahwa sistem ATS yang dibuat dapat bekerja dengan baik dan sesuai fungsinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Eko Pambudi and dan Syafriyudin, "Analisis Panel Otomatis Transfer Switch Untuk Back Up Daya Listrik Rumah Tangga 250 Watt Menggunakan Teknologi Solar Cell," *J. Elektr.*, vol. 6, no. 1, pp. 35–40, 2019.
- [2] A. Sola and R. Ruslim, "Rancang Bangun Modul Automatic Transfer Switch (ATS) Dengan Menggunakan Programable Logic Controller (PLC) Omron Sysmac CPM2A," *Elektr. Borneo*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.35334/jeb.v4i1.1296.
- [3] N. Salsabila, S. H.-(Journal of Telecommunication, and undefined 2023, "Sistem Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS) Model Hybrid Berbasis Internet of Things," *Journal.Ittelkom-Pwt.Ac.Id*, vol. 05, no. 02, pp. 119–131, 2023, [Online]. Available: <https://journal.ittelkom-pwt.ac.id/index.php/jtece/article/view/1119>
- [4] I. M. Sitanggang, M. Sc, and I. L. Siregar, "Automatic Transfer Switch Menggunakan PLC Pengaplikasian di PT RHB," *Electr. Power, Telecommun. Control Syst. - ELPOTECs J.*, vol. Vol. 4, no. No. 1, pp. 32–37, 2021.
- [5] S. W. Sidehabi and M. A. Kadir, "Aplikasi Sistem Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Automatic Main Failure (Amf) Berbasis Plc Zelio Smart Relay Sr3 B261Fu," pp. 274–281, 2023.
- [6] A. Bakhtiar, "Panduan Dasar Outseal PLC," *Agung Bakhtiar*, pp. 1–183, 2019.
- [7] K. E. S. Amar Ma'ruf1, Rangsang Purnama2, "Rancang Bangun Alat Monitoring Tegangan," *J. Sist. Komput. dan Kecerdasan Buatan*, vol. 5, no. 1 September 2021, pp. 81–86, 2021.
- [8] A. Supriyadi, H. Purnama, and S. W. Jadmiko, "Rancang Bangun Automatic Close-Transition Transfer Switch (Acts) Dengan Sistem Back-Up Catu Daya Ups," *Jur. Tek. Elektro, Politek. Negeri Bandung*, pp. 4–5, 2021.
- [9] R. Wicaksono, B. Triyono, R. Jasa, K. Haryo, and A. Imam, "Auto Transfer Switch (ATS) System on PLN and Genset Using DSE 4520 MKII Module," pp. 56–60, 2022.
- [10] Y. Rahmawati, A. N. Ramadhan, and T. M. Kadarina, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Daya Pada Panel Saklar Tegangan Rendah Secara Real-Time Berbasis Internet of Things (IoT) Design of a Power Quality Monitoring System on Low Voltage Switch Panel in Real-Time Based on Internet of Things (IoT)," vol. 8275, pp. 60–73, 2024.
- [11] Y. Apriani, D. Dipociala, Z. Saleh, and W. Oktaviani, "Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Sensor Tegangan Baterai Untuk PLTS," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 44–51, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2420.
- [12] F. E. Ahmad and E. Fitriani, "Penggunaan Sistem Outseal PLC Pada Pemilah Otomatis Dan Penghitung Otomatis," *Bina Darma Conf. Eng. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 27–39, 2020, [Online]. Available: <http://conference.binadarma.ac.id/index.php/BDCES>
- [13] O. Saputra, "Komunikasi Outseal PLC dengan Smartphone," *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 4, no. 4, pp. 310–325, 2022, doi: 10.38035/rj.v4i4.539.
- [14] A. K. Maulidi, F. T. Syifa, and G. Wibisono, "Pemanfaatan Sensor Arus untuk Efektifitas Penggunaan Daya Listrik pada Ruangan Kelas Menggunakan Internet of Things," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 41–49, 2023, doi: 10.20895/jtece.v5i1.836.
- [15] M. Bahtiar, S. I. Haryudo, A. I. Agung, and A. Chandra, "Pembuatan Prototype Penstabil Tegangan untuk Mengatasi Gangguan Over-Under Voltagr berbasis Arduino Uno," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 01, pp. 119–126, 2021.
- [16] P. Hermawan and A. Kiswantono, "Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Automatic Main Failure (Amf) Berbasis Arduino Uno R328P Pada Prototipe Pembangkit," *Semin. Nas. Fortei7-3*, pp. 101–106, 2020.
- [17] Rhezal Agung, Naufal Ramadhani Akbar, and Sapto Wibowo, "Perencanaan dan Implementasi Inverter Satu Fasa Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Air Terjun Watu Lumpang Mojokerto," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 108–114, 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.641.