

Rancang Bangun *Automatic Transfer Switch* 24VDC Berbasis ESP32 untuk Menjaga Kontinuitas Daya Beban DC

M. Taufik Permana¹, Ade Silvia Handayani^{2*}, Suroso Suroso³, Idham Mashar

^{1,2,3} Teknik Telekomunikasi, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

⁴ PT. Kamiko Cipta Solusi

*e-mail : ade_silvia@polsri.ac.id

ABSTRAK

Gangguan pada sumber daya utama dapat menyebabkan sistem beban DC berhenti bekerja dan merusak peralatan industri. Penelitian ini bertujuan merancang perangkat keras *Automatic Transfer Switch* (ATS) 24VDC berbasis ESP32 untuk menjaga kontinuitas daya beban DC. Mikrokontroler ESP32 dalam sistem ini mengontrol *Solid State Relay* (SSR1 dan SSR2) dengan memproses data dari sensor daya AC (PZEM-004T) dan sensor daya DC (PZEM-017). Masa kerja yang panjang dan kecepatan switching yang tinggi dari komponen SSR menjadi alasan pemilihan komponen ini. Sensor PZEM-004T memiliki tingkat kesalahan rata-rata 0,22%, menurut data pengujian. Tingkat kesalahan rata-rata yang dihasilkan oleh sensor PZEM-017 adalah 1,86%. Sistem menghasilkan waktu perpindahan rata-rata sebesar 1,06 detik dari power supply ke baterai. Waktu perpindahan dari baterai ke power supply tercatat sebesar 1,10 detik. Perangkat keras ini terbukti mampu menjaga kontinuitas suplai daya pada beban DC secara otomatis.

Kata Kunci: *Automatic Transfer Switch, ESP32, Solid State Relay, PZEM-004T, PZEM-017.*

Development of an ESP32-Based 24 VDC Automatic Transfer Switch for Uninterrupted DC Power Supply

ABSTRACT

Disturbances in the main power source can cause DC loads to stop operating and may damage industrial equipment. Designing an ESP32-based 24VDC Automatic Transfer Switch (ATS) hardware system to ensure DC load power continuity was the goal of this project. Solid State Relays (SSR1 and SSR2) were controlled by an ESP32 microcontroller that processed data from the PZEM-004T AC sensor and the PZEM-017 DC sensor. SSRs were chosen because of their long operating lifetime and rapid switching speed. The PZEM-004T sensor demonstrated a mean error of 0.22% during evaluation, while the PZEM-017 sensor registered a deviation of 1.86%. The automatic system achieved an average transfer time of 1.06 s from the power supply to the battery and 1.10 s from the battery back to the power supply. The developed hardware successfully maintained power continuity for DC loads automatically.

Keywords: *Automatic Transfer Switch, ESP32, Solid State Relay, PZEM-004T, PZEM-017, Power Continuity.*

PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan berbasis DC memerlukan suplai daya yang stabil untuk menjaga kontinuitas operasi[1]. Gangguan pada sumber daya utama dapat menghentikan operasi sistem[2][3]. Kontinuitas daya menjadi faktor penting dalam menjaga performa sistem. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah *Automatic Transfer Switch* (ATS), yaitu sistem yang memindahkan sumber daya utama ke sumber cadangan secara otomatis ketika terjadi gangguan[4][5]. Perkembangan mikrokontroler juga mendukung pengembangan ATS yang lebih modern. Kemampuan tersebut membuat ESP32 sesuai untuk sistem IoT[6][7].

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) dengan memanfaatkan relay elektromekanik atau kontaktor sebagai sakelar perpindahan sumber daya[8][9]. Penelitian lain memanfaatkan mikrokontroler sebagai pengendali utama untuk mengotomatisasi sistem

ATS[10][11]. Beberapa penelitian memanfaatkan ESP32 untuk mengendalikan dan memantau sistem kelistrikan secara real-time[12]. Sensor PZEM-004T mengukur tegangan, arus, daya, dan energi pada sistem AC[13][14]. Sensor PZEM-017 mengukur parameter kelistrikan pada sistem DC[15][16]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi mikrokontroler dan sensor energi dapat meningkatkan kemampuan monitoring dan pengendalian sistem kelistrikan.

Berbagai penelitian ATS telah banyak diterapkan pada sistem AC, seperti perpindahan sumber antara PLN dan genset[17][18]. Sedangkan penelitian pada sistem DC masih terbatas, pada penelitian [19] mengembangkan ATS berbasis 12 VDC untuk aplikasi beban DC. Namun, implementasi ATS 24VDC yang dilengkapi sistem monitoring dan IoT masih relatif terbatas. Selain itu, relay mekanik memiliki keterbatasan pada kecepatan switching dan umur operasi. *Solid State Relay* (SSR) dapat menjadi alternatif karena memiliki kecepatan switching yang lebih tinggi dan umur operasi yang lebih panjang[20]. Implementasi ATS berbasis 24VDC yang mengintegrasikan fungsi perpindahan sumber daya otomatis, monitoring parameter kelistrikan AC dan DC, serta sistem monitoring berbasis web masih relatif terbatas. Berdasarkan kondisi tersebut, masih diperlukan pengembangan sistem ATS berbasis 24VDC yang mampu menjaga kontinuitas suplai daya sekaligus menyediakan pemantauan kondisi sistem secara *real-time*.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan perangkat keras *Automatic Transfer Switch* (ATS) 24VDC berbasis ESP32 untuk menjaga kontinuitas daya pada beban DC. Perangkat yang dikembangkan menggunakan *Solid State Relay* (SSR) sebagai sakelar perpindahan otomatis antara power supply 24VDC dan baterai 24VDC. Sensor PZEM-004T digunakan untuk memantau parameter kelistrikan AC, sedangkan sensor PZEM-017 digunakan untuk memantau parameter kelistrikan DC. Mekanisme perpindahan sumber daya dilakukan secara otomatis ketika sumber utama mengalami gangguan serta menyediakan pemantauan kondisi sistem melalui media berbasis web. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi akurasi pengukuran kedua sensor dan waktu perpindahan sumber daya sebagai parameter kinerja sistem. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan perangkat keras ATS berbasis 24VDC yang mengintegrasikan fungsi perpindahan sumber daya otomatis, pemantauan parameter kelistrikan AC dan DC secara simultan, serta evaluasi kinerja melalui pengujian akurasi sensor dan waktu perpindahan dalam satu platform berbasis ESP32. Konfigurasi tersebut menjadi pembeda dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada fungsi perpindahan sumber daya atau monitoring secara terpisah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang terdiri atas lima tahapan, yaitu pengumpulan data, perancangan prototipe, integrasi sistem, pengujian perangkat, dan analisis hasil. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data melalui studi literatur mengenai sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) DC, karakteristik sensor pengukuran kelistrikan, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali sistem. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan.

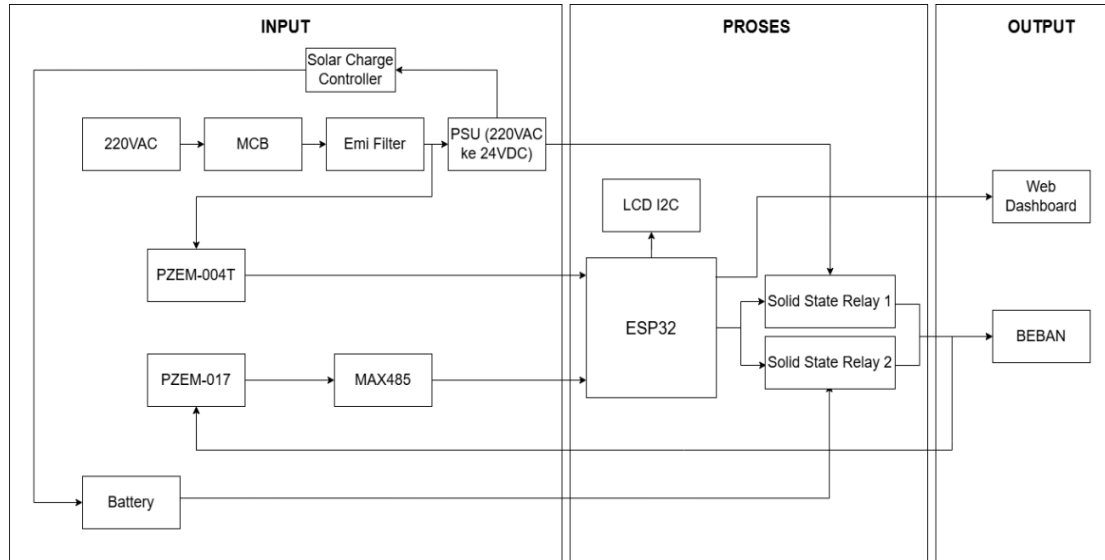
Tahap berikutnya adalah perancangan prototipe ATS 24 VDC. Sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, power supply 24 VDC sebagai sumber daya utama, dan baterai 24 VDC sebagai sumber daya cadangan dengan beban uji berupa kipas DC 24 V. Pengukuran parameter kelistrikan AC pada sisi masukan dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T, sedangkan parameter kelistrikan DC diukur menggunakan sensor PZEM-017 yang berkomunikasi melalui protokol *Modbus* RTU dengan bantuan modul MAX485. Selanjutnya dilakukan integrasi sistem, yaitu menghubungkan seluruh komponen perangkat keras dengan perangkat lunak sehingga ESP32 dapat memproses data hasil pengukuran untuk mengendalikan *Solid State Relay* (SSR1 dan SSR2), menampilkan informasi pada LCD I2C, serta mengirimkan data ke sistem web monitoring. Sistem web monitoring digunakan untuk menampilkan parameter kelistrikan secara real-time sehingga kondisi sumber daya dan beban dapat dipantau secara langsung.

Tahap pengujian perangkat dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem ATS dalam melakukan perpindahan sumber daya secara otomatis antara sumber utama dan sumber cadangan. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, status perpindahan sumber daya, dan kontinuitas suplai daya pada beban selama proses transisi.

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis pada tahap analisis hasil untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan keberhasilan perpindahan sumber daya, kestabilan parameter kelistrikan, dan kontinuitas



suplai daya ke beban. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk menilai apakah sistem ATS 24 VDC yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian dalam menjaga kontinuitas daya pada beban DC.



Gambar 1. Blok Diagram

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem ATS 24VDC berbasis ESP32. Sistem terdiri atas bagian input, proses, dan output. Sumber AC 220V menyuplai daya ke sistem melalui MCB dan EMI filter. PSU mengubah tegangan AC menjadi 24VDC. *Solar Charge Controller* mengisi baterai 24VDC. Sensor PZEM-004T mengukur parameter listrik AC. Sensor PZEM-017 mengukur parameter listrik DC melalui modul MAX485.

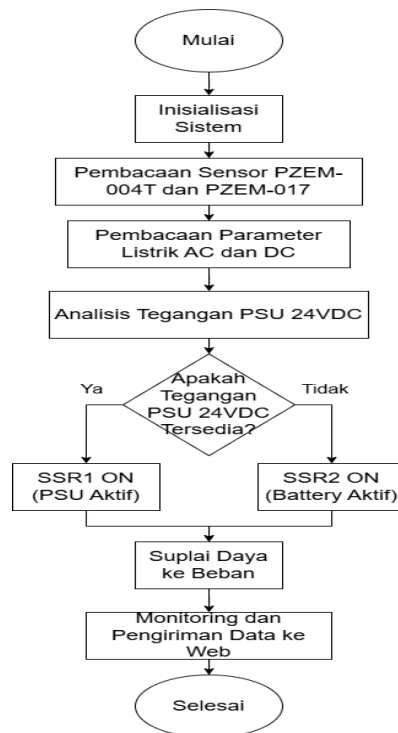
Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data sistem. Komponen ESP32 menerima data pembacaan digital dari sensor PZEM-004T secara langsung serta menangkap sinyal parameter DC melalui modul MAX485. LCD I2C menampilkan hasil pengolahan data tersebut. Selain itu, mikrokontroler secara terus-menerus mengevaluasi ketersediaan tegangan utama untuk menentukan instruksi pemicuan sakelar.

Pada bagian output, unit ESP32 mengirimkan sinyal pemicu digital untuk mengatur aktivasi *Solid State Relay 1* (SSR1) dan *Solid State Relay 2* (SSR2). Komponen SSR1 berfungsi menghubungkan jalur listrik utama dari PSU menuju beban uji berupa kipas DC. Sebaliknya, SSR2 akan menyambungkan jalur daya cadangan dari baterai ketika sumber utama dari PSU mengalami gangguan. Melalui mekanisme tersebut, kedua relai mampu menjaga kontinuitas suplai energi menuju beban DC secara bergantian.

Sistem ATS memanfaatkan data hasil pengukuran sensor PZEM-004T sebagai dasar pengambilan keputusan perpindahan sumber daya. ESP32 mengolah data tersebut secara periodik dan membandingkan nilai tegangan terhadap nilai ambang (*threshold*) yang telah ditentukan. Apabila tegangan AC ≤ 190 VAC, sistem mengalihkan sumber daya dari power supply ke baterai. Sebaliknya, apabila tegangan AC ≥ 210 VAC, sistem mengembalikan suplai daya dari baterai ke power supply. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, mikrokontroler menentukan status operasi sistem dan mengendalikan relai yang aktif sesuai kondisi sumber daya yang tersedia.

Sistem juga menerapkan konfigurasi dua jalur sumber daya yang bekerja secara saling bergantian. Jalur pertama menyalurkan energi dari power supply 24VDC sebagai sumber utama, sedangkan jalur kedua menyalurkan energi dari baterai 24VDC sebagai sumber cadangan. Konfigurasi ini memungkinkan proses perpindahan sumber daya berlangsung secara otomatis sesuai kondisi sumber utama sehingga kontinuitas suplai daya pada beban tetap terjaga.

Gambar 2 menyajikan flowchart alur kerja sistem monitoring dan kontrol suplai daya otomatis berbasis ESP32. Sistem diawali dengan proses inisialisasi, kemudian mikrokontroler membaca data sensor PZEM-004T dan PZEM-017 untuk memperoleh parameter kelistrikan AC dan DC. Selanjutnya, ESP32 menganalisis kondisi tegangan PSU 24VDC sebagai dasar pengambilan keputusan perpindahan sumber daya. Jika tegangan PSU tersedia, sistem mengaktifkan relai SSR1 sehingga beban disuplai oleh PSU. Sebaliknya, jika tegangan PSU tidak tersedia, sistem mengaktifkan relai SSR2 sehingga beban disuplai oleh baterai. Setelah proses perpindahan selesai, sistem menyalurkan daya ke beban serta melakukan monitoring dan pengiriman data ke halaman web.



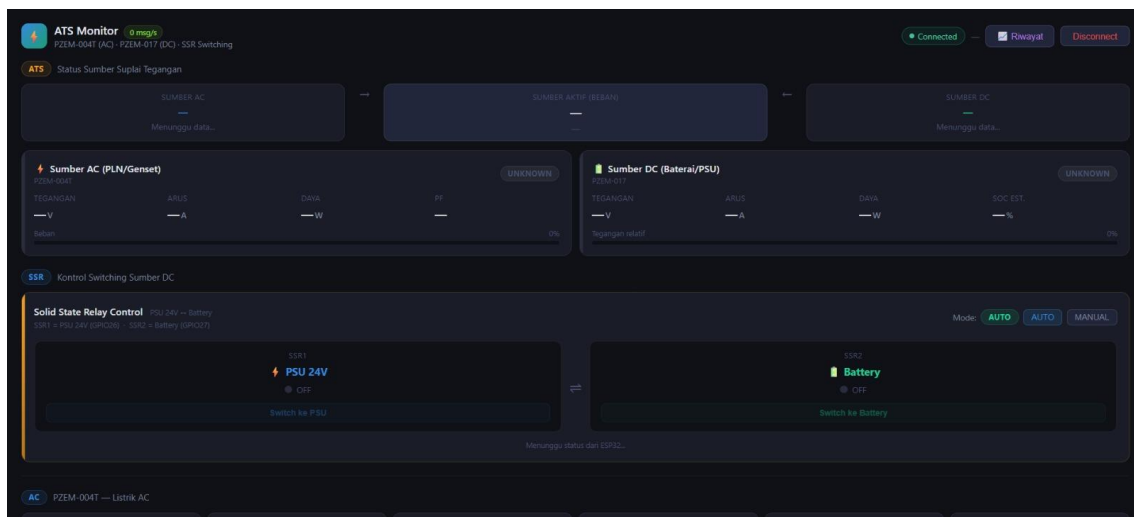
Gambar 2. Flowchart Sistem

Sistem melakukan pemantauan tegangan AC secara kontinu menggunakan sensor PZEM-004T. ESP32 membandingkan nilai tegangan yang terbaca dengan nilai ambang yang telah ditentukan. Ketika tegangan AC berada pada atau di bawah 190 VAC, ESP32 menonaktifkan SSR1 dan mengaktifkan SSR2 sehingga beban dialihkan ke baterai. Sebaliknya, ketika tegangan AC kembali mencapai atau melebihi 210 VAC, ESP32 mengaktifkan kembali SSR1 dan menonaktifkan SSR2 sehingga beban kembali disuplai oleh power supply. Rentang tegangan 190–210 VAC digunakan sebagai histeresis untuk mencegah perpindahan sumber daya yang berulang akibat fluktuasi tegangan.

Gambar 3 memperlihatkan wujud visual panel sistem kontrol dan monitoring daya IoT. Di dalam boks panel, sistem mengintegrasikan komponen utama seperti ESP32, LCD I2C, Solar Charge Controller, baterai, Solid State Relay (SSR), serta modul elektronik pendukung yang berfungsi dalam proses monitoring dan perpindahan sumber daya secara otomatis



Gambar 3. Tampilan Alat Keseluruhan



Gambar 4. Tampilan Web Monitoring

Gambar 4 menunjukkan tampilan web monitoring sistem ATS 24VDC. Halaman web menampilkan parameter kelistrikan hasil pengukuran sensor PZEM pada sisi sumber daya utama dan sumber daya cadangan. Sistem juga menampilkan status sumber daya yang sedang aktif serta kondisi perpindahan daya pada beban. Tampilan tersebut memudahkan pengguna dalam memantau kondisi operasional sistem secara real-time melalui jaringan WiFi.

Pengujian dilakukan terhadap akurasi sensor dan waktu perpindahan sumber daya. Akurasi sensor PZEM-004T dan PZEM-017 dievaluasi dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter analog sebagai alat ukur referensi. Setiap titik pengujian dilakukan sebanyak lima kali, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Setiap titik pengujian dilakukan sebanyak lima kali, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Pengujian waktu perpindahan sumber daya dilakukan pada dua mode operasi, yaitu mode otomatis dan mode manual. Pada mode otomatis, perpindahan sumber daya dilakukan oleh ESP32 berdasarkan kondisi tegangan sumber utama yang dipantau secara kontinu, yaitu beralih dari power

supply ke baterai ketika tegangan AC ≤ 190 VAC dan kembali ke power supply ketika tegangan AC ≥ 210 VAC. Pada mode manual, perpindahan sumber daya dilakukan melalui antarmuka web dengan memilih secara langsung sumber daya yang digunakan, yaitu power supply atau baterai. Masing-masing mode diuji pada dua kondisi perpindahan, yaitu dari power supply ke baterai dan dari baterai ke power supply, dengan lima kali pengulangan pada setiap kondisi untuk memperoleh waktu perpindahan rata-rata sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan kinerja perangkat setelah desain dan implementasi perangkat keras *Automatic Transfer Switch* (ATS) 24VDC. Penelitian ini menguji sensor PZEM-004T pada sisi AC dan sensor PZEM-017 pada sisi DC. Penelitian membandingkan hasil pembacaan sensor dengan multimeter standar. Tabel 1 dan 2 menampilkan hasil pengujian sensor PZEM-004T dan PZEM-017.

Tabel 1. Pengujian Sensor PZEM-004T

Percobaan ke-	Multimeter (V)	PZEM-004T (V)	Error (%)
1	233	233,5	0,21
2	234	233,3	0,3
3	233	233,4	0,17
4	234	233,2	0,34
5	233	233,2	0,09
Rata-rata	233,4	233,32	0,22

Tabel 1 menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki nilai kesalahan rata-rata sebesar 0,22% terhadap hasil pengukuran multimeter. Nilai kesalahan tersebut masih tergolong rendah sehingga sensor layak digunakan untuk mengukur tegangan AC pada sistem ATS 24VDC. Perbedaan hasil pengukuran dipengaruhi oleh toleransi sensor, resolusi pembacaan, dan proses konversi sinyal pada modul PZEM-004T. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [22] yang melaporkan akurasi pengukuran tegangan sebesar 99,84% dengan kesalahan rata-rata 0,16% pada sensor PZEM-004T. Berbeda dengan penelitian tersebut yang memanfaatkan PZEM-004T untuk monitoring konsumsi energi listrik, penelitian ini menggunakan PZEM-004T sebagai masukan bagi ESP32 untuk menentukan perpindahan sumber daya secara otomatis pada sistem ATS 24VDC.

Hasil pengujian pada Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai error sensor masih berada dalam batas yang dapat diterima. Digunakan rumus (1) untuk menentukan perbedaan persentase atau kesalahan.

$$Error(\%) = \frac{|V_{multimeter} - V_{PZEM}|}{V_{multimeter}} \times 100 \quad (1)$$

Tabel 2. Pengujian Sensor PZEM-017

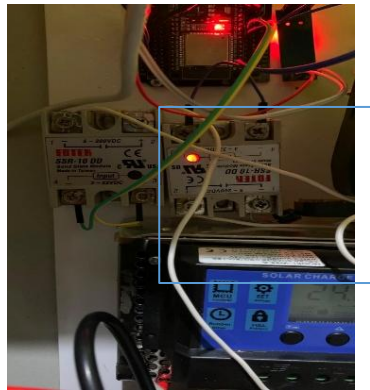
Percobaan ke-	Multimeter (V)	PZEM-017 (V)	Error (%)
1	24,00	23,56	1,83
2	24,00	23,56	1,83
3	24,00	23,55	1,88
4	24,00	23,55	1,88
5	24,00	23,55	1,88
Rata-rata	24,00	23,55	1,86

Tabel 2 menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki nilai kesalahan rata-rata sebesar 1,86% terhadap hasil pengukuran multimeter. Nilai tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga sensor layak digunakan untuk memantau parameter kelistrikan DC pada sistem ATS 24VDC. Perbedaan hasil pengukuran dipengaruhi oleh toleransi sensor, fluktuasi tegangan DC, dan komunikasi



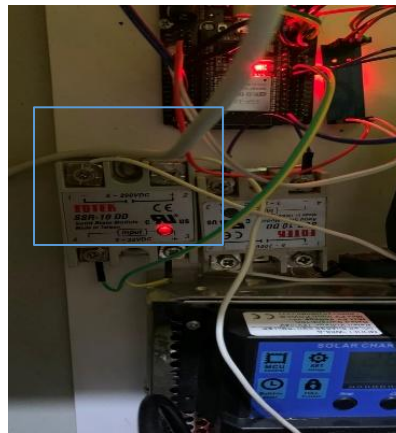
Modbus RTU melalui modul MAX485. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian [23] yang melaporkan tingkat akurasi sensor PZEM-017 sebesar 99,47%–99,74% terhadap multimeter. Berbeda dengan penelitian tersebut yang menggunakan PZEM-017 untuk sistem monitoring beban DC berbasis PLC dan HMI, penelitian ini memanfaatkan PZEM-017 sebagai sensor pemantau sumber daya cadangan sekaligus sebagai masukan bagi ESP32 dalam proses perpindahan sumber daya pada sistem ATS 24VDC.

Setelah pengujian sensor selesai, penelitian ini menguji mekanisme perpindahan sumber daya antara PSU 24 VDC dan baterai 24 VDC. Gambar 5 menunjukkan kondisi sistem saat PSU berfungsi sebagai sumber daya utama. Gambar 6 menunjukkan kondisi sistem saat baterai berfungsi sebagai sumber daya cadangan. Pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja perpindahan sumber daya pada sistem ATS.



Gambar 5. Kondisi saat sumber daya PSU 24VDC aktif

Gambar 5 menampilkan kondisi fisik saat sistem menggunakan sumber daya utama. Lampu indikator pada relai SSR1 menyala untuk menandakan aliran arus aktif dari PSU 24VDC menuju beban. Sistem mengunci jalur ini selama tegangan utama berada dalam kondisi normal.



Gambar 6. Kondisi saat sumber daya baterai aktif

Gambar 6 menunjukkan kondisi perangkat saat beralih ke sumber daya cadangan. Indikator LED pada modul SSR2 menyala sebagai tanda bahwa jalur baterai sedang memikul beban. Pengalihan otomatis ini aktif setelah mikrokontroler mendeteksi pemutusan daya pada sisi PSU.

Tabel 3. Hasil Pengujian Waktu Perpindahan Sumber PSU 24VDC ke Baterai

Percobaan ke-	Waktu Perpindahan (s)	
	Auto	Manual
1	1,07	1,17
2	0,98	1,08
3	1,05	1,08
4	1,05	1,31
5	1,14	1,10
Rata-rata	1,06	1,15

Tabel 3 menunjukkan bahwa waktu perpindahan sumber daya dari power supply ke baterai memiliki rata-rata 1,06 detik pada mode otomatis dan 1,15 detik pada mode manual. Perbedaan waktu perpindahan dipengaruhi oleh mekanisme pengendalian pada masing-masing mode. Mode otomatis melakukan perpindahan berdasarkan hasil pemantauan tegangan AC, sedangkan mode manual memerlukan perintah dari antarmuka web. Hasil penelitian ini berbeda dengan [23] yang melaporkan waktu perpindahan rata-rata sebesar 229,333 ms pada sistem ATS berbasis timer delay. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh konfigurasi sistem dan metode pengendalian yang digunakan. Penelitian ini mengintegrasikan ESP32, sensor PZEM, dan monitoring berbasis web sehingga proses perpindahan tidak hanya bergantung pada waktu kerja sakelar, tetapi juga pada proses pembacaan sensor dan pengolahan data.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Perpindahan Sumber Baterai ke PSU 24VDC

Percobaan ke-	Waktu Perpindahan	
	Auto	Manual
1	1,16	0,95
2	1,06	1,16
3	1,04	0,85
4	1,06	0,84
5	1,17	1,63
Rata-rata	1,10	1,09

Tabel 4 menunjukkan bahwa waktu perpindahan sumber daya dari baterai ke power supply memiliki rata-rata 1,10 detik pada mode otomatis dan 1,09 detik pada mode manual. Waktu perpindahan pada kedua mode relatif sama karena sistem langsung mengembalikan suplai ke sumber utama setelah tegangan AC memenuhi nilai ambang. Pada penelitian [23] yang melaporkan waktu perpindahan rata-rata sebesar 271,333 ms dari PLTS ke PLN pada sistem ATS berbasis timer delay. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh perbedaan konfigurasi perangkat keras dan metode pengendalian. Penelitian ini mengintegrasikan proses pemantauan tegangan, pengambilan keputusan oleh ESP32, dan monitoring berbasis web dalam satu sistem ATS 24VDC.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ATS 24VDC mampu menjalankan fungsi perpindahan sumber daya sesuai rancangan. Sensor PZEM-004T dan PZEM-017 memberikan hasil pengukuran yang mendekati alat referensi. ESP32 mengolah data sensor dan mengendalikan SSR secara otomatis. Sistem tetap mempertahankan suplai daya saat sumber utama mengalami gangguan. Waktu perpindahan yang diperoleh menunjukkan bahwa proses pengalihan daya berlangsung dengan respons yang stabil pada setiap pengujian.

KESIMPULAN

Dari pengujian yang dilakukan pada Rancang Bangun *Automatic Transfer Switch* (ATS) 24VDC Berbasis ESP32 untuk Menjaga Kontinuitas Daya Beban DC didapatkan hasil berupa alat yang mampu melakukan perpindahan daya secara otomatis maupun manual dengan waktu respons rata-rata di bawah 1,15 detik. Dengan hasil dari pengujian sensor AC PZEM-004T efektif mengukur parameter kelistrikan



dengan rata-rata error sebesar 0,22%, serta pada sensor DC PZEM-017 didapatkan nilai rata-rata error sebesar 1,86%. Hasil keseluruhan menunjukkan integrasi komponen ESP32, *Solid State Relay*, dan kedua sensor daya bekerja secara efektif untuk menjaga kontinuitas suplai energi menuju beban DC, sehingga alat ini direkomendasikan untuk diterapkan pada catu daya cadangan ruang server dengan saran pengembangan berupa penambahan fitur proteksi arus berlebih pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. M. Ojo, K. E., Saha, A. K., & Srivastava, "Microgrids ' Control Strategies And Real-Time Monitoring Systems: A Comprehensive Review," *Energies*, Pp. 1–34, 2025, Doi: <https://doi.org/10.3390/En18133576>.
- [2] M. Veizaga *Et Al.*, "Classification Of Voltage Sags Causes In Industrial Power Networks Using Multivariate Time-Series," *Iet Gener. Transm. Distrib.*, 2023, Doi: 10.1049/Gtd2.12765.
- [3] N. R. As, F. I. Prakoso, E. Supriyadi, S.-T. Elektro, F. T. Industri, And I. Sains, "Analisa Panel Ats Dan Amf Genset Secara Automatis," *Sinusoida*, No. 2, Pp. 1–8, 2022, Doi: <https://doi.org/10.37277/S.V24i2.1461>.
- [4] L. D. Asrar And B. Kurniawan, "Perancangan Automatic Transfer Switch (Ats) Berbasis Arduino Uno Dengan Sensor Pzem-004t," *J. Kaji. Tek. Elektro*, Vol. 2, No. September, Pp. 70–74, 2022, Doi: <https://doi.org/10.52447/Jkte.V7i2.6526>.
- [5] A. Irawati, I., Sunardi, S., & Nurwanto, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Dengan Sistem Kontrol Automatic Transfer Switch (Ats) Dan Optimalisasi Kapasitas Baterai," *Jeis J. Elektro Dan Inform. Swadharma*, Vol. 3, No. (1), Pp. 22–30, 2023, Doi: <https://doi.org/10.56486/Jeis.Vol3no1.288>.
- [6] M. H. Yusra And A. W. Dani, "Perancangan Sistem Automatic Transfer Switch Berbasis Esp32 Terintegrasi Scada Dan Iot Pada Plts," *J. Teknol. Elektro*, Vol. 17, No. 01, Pp. 35–43, 2026, Doi: 10.22441/Jte.2026.V17i1.006.
- [7] L. A. Wenno, B. J. Waworuntu, S. N. Rumokoy, H. G. Kaunang, And S. B. Dodie, "Konsep Pemanfaatan Teknologi Iot Berbasis Esp32 Untuk Sakelar Cerdas Pada Sistem Plts Rakit Rumah Apung," *J. Elektr.*, Vol. 04, No. 02, Pp. 1–9, 2025, Doi: <https://doi.org/10.65485/Elektrik.V4i2.1171>.
- [8] A. Wisnu, A. Kristanto, S. T. Elektro, F. Teknik, And U. N. Surabaya, "Pemodelan Automatic Transfer Switch (Ats) Pada System Smartgrid Pembangkit Photovoltaic Dan Pln Berbasis Internet Of Things (Iot) Untuk Monitoring Penggunaan Daya Listrik," *J. Tek. Elektro*, Pp. 351–360, 2022, Doi: <https://doi.org/10.26740/Jte.V11n2.P351-360>.
- [9] N. Salsabila And S. I. Haryudo, "The Control And Monitoring System Of Hybrid Internet Of Things-Based Automatic Transfer Switch (Ats) Model," *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, Vol. 8275, Pp. 119–131, 2023, Doi: <https://doi.org/10.20895/Jtece.V5i2.1119>.
- [10] M. A. Basil And H. Afrisal, "Perancangan Sistem Automatic Transfer Switch Pada Inverter Dengan Monitoring Baterai Berbasis Mikrokontroler," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, Vol. 10, No. 4, Pp. 566–571, 2021, Doi: 10.14710/Transient.V10i4.566-571.
- [11] A. Rizal-Alfariski, M., Dhandi, M., & Kiswantono, "Automatic Transfer Switch (Ats) Using Arduino Uno , Iot-Based Relay And Monitoring Dan Monitoring Berbasis Iot," *Jtecs J. Sist. Telekomun. Elektron. Sist. Kontrol Power Sist. Dan Komput.*, Pp. 1–8, 2022, Doi: <https://doi.org/10.32503/Jtecs.V2i1.2238>.
- [12] S. I. Akbar, "Monitoring Automatic Transfer Switch Dan Baterai Berbasis Iot Menggunakan Mikrokontroler Avr Dan Esp32," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, Vol. 10, No. 2, Pp. 51–60, 2022, Doi: <https://doi.org/10.14710/Transient.V11i2.51-60>.
- [13] S. Dahlan, M., Wibowo, B. C., & Solekhan, "Monitoring The Amount Of Electricity Installation Using The Android Application," *J. Tek. Elektro Dan Komput.*, Vol. 11, No. 2, Pp. 77–86, 2022, Doi: 10.35793/Jtek.11.2.2022.39994.
- [14] G. F. Putra, M. Fajar, H. Nauwir, And A. Pangkung, "Sistem Data Logger Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Iot Menggunakan Sensor Pzem- 004t," *Sinergi*, Vol. 23, No. 1, Pp. 93–99, 2025, Doi: <http://dx.doi.org/10.31963/Sinergi.V23i1.5515> Sistem.
- [15] B. Zurifqyaldi, T. Hasannuddin, And T. Zulfadli, "Perancangan Sistem Monitoring Arus Dan

- Tegangan Menggunakan Iot Pada Plts Off Grid,” *J. TEKTRON*, vol. 9, no. 2, pp. 115–122, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.30811/tektro.v9i2.8282>.
- [16] R. Falentino and R. P. Pratama, “Rancang Bangun Monitoring Kondisi Baterai dan Lokasi Kendaraan Listrik Berbasis Mikrokontroler Esp32,” *Mars J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 3, 2025, doi: <https://doi.org/10.61132/mars.v3i3.916>.
- [17] S. Widiastuti, “Rancang Bangun Panel Ats (Automatic Transfer Switch) Sebagai Listrik Alternatif Pada Sumber PLN Sri,” *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 9, no. June, pp. 880–884, 2023, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8185986>.
- [18] A. Kurniawan and S. I. Haryudo, “Design and Construction of a 1 Phase Automatic Transfer Switch (ATS) System Based on Outseal PLC Mega V . 3 for Household Electrical Installations,” *J. Telecommun. Electron. Control Eng.*, vol. 06, no. 02, pp. 97–108, 2024, doi: [10.20895/JTECE.V6I2.1432](https://doi.org/10.20895/JTECE.V6I2.1432).
- [19] M. N. Hidayat, W. S. Wijaya, and R. I. Putri, “Automatic transfer switch for DC system application,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 1, pp. 386–394, 2024, doi: [10.11591/ijpeds.v15.i1.pp386-394](https://doi.org/10.11591/ijpeds.v15.i1.pp386-394).
- [20] I. Musi, B. Widarto, and M. F. Rahman, “Sistem Otomatisasi Perpindahan Sumber Daya Listrik Pln- Genset Berbasis Iot Dengan Mikrokontroler Esp32-Arduino,” *J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 20, pp. 12–19, 2025, doi: <https://doi.org/10.30587/e-link.v20i2.10057>.
- [21] L. F. Ishak and B. I. Kurniawan, “Rancang Bangun Panel Automatic Transfer Switch (Ats) Untuk Daya Satu Fasa Berbasis Web Server,” *J. LITEK J. List. Telekomun. Elektron.*, vol. 18, no. 2, 2021, doi: [http://dx.doi.org/10.30811/litek.v18i2.2292](https://doi.org/10.30811/litek.v18i2.2292).
- [22] S. L. Zaen, “Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Rumah Tangga,” *J. ELKON*, vol. 01, no. 01, pp. 15–24, 2021, doi: <https://doi.org/10.31963/sinergi.v23i1.5515>.
- [23] A. Delila, L. Ganda, P. Tumanggor, S. T. Aditya, F. Mutiah, and I. Halimi, “Sistem Monitoring Beban DC Menggunakan Sensor PZEM-017 Terintegrasi PLC Outseal dan HMI,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 11, pp. 1–5, 2025, [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/SNTE/article/view/4073>

