SINERGI *Polmed*: JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN
Homepage jurnal: http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index

KINERJA SISTEM PERALIHAN SUMBER LISTRIK OTOMATIS ANTARA PLTS *OFF-GRID* DAN PLN BERBASIS SENSOR TEGANGAN BATERAI

Suprianto[a]*, Meidi Wani Lestari[b], Herri Trisna Frianto[c], Henry Hasian Lumbantoruan[b], Muhammad Fadlan Siregar[d], Afritha Amelia[e]

[a]*Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia*
[b]*Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia*
[c]*Program Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia*
[d]*Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Medan Area, Jl. Kolam No. 1 / Jl. Gedung PBSI No. 1, Medan Estate, Sumatera Utara, Indonesia*
[e]*Program Studi Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia*

**Penulis korespondensi: suprianto@polmed.ac.id; supriantostmt@gmail.com, (Suprianto) Tel.: +6285-228-131336*

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diajukan pada 03 Januari 2026
Direvisi pada 19 Juli 2026
Disetujui pada 13 Oktober 2026
Tersedia daring pada 31 Oktober 2026

Kata kunci:
PLTS off-grid; sakelar pemindah otomatis; sensor tegangan XH-M609; perpindahan sumber; baterai.

Keywords:
Off-grid photovoltaic system; automatic transfer switch; XH-M609 voltage sensor; source switching; battery.

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi sistem *automatic transfer switch* (ATS) yang mengalihkan sumber listrik antara pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* dan jaringan PLN berdasarkan tegangan baterai. Sistem dirancang dengan menempatkan PLTS sebagai sumber utama dan PLN sebagai sumber cadangan. Rangkaian menggabungkan sensor XH-M609, kontaktor, dan timer, kemudian diuji melalui simulasi *zelio soft* serta pengukuran pada perangkat yang telah dirakit. Pengujian dilaksanakan selama tiga hari dengan mengamati tegangan baterai, arus modul surya, arus *inverter*, daya beban, dan status sumber sumber. Hasil menunjukkan bahwa peralihan ke PLTS terjadi ketika tegangan baterai mencapai 25,0–25,2 V, sedangkan peralihan ke PLN berlangsung pada 21,00-21,05 V. Hasil tersebut mendekati batas kendali yang ditetapkan, yaitu 25 V dan 21 V. Rangkaian dapat mengembalikan sumber ke PLTS setelah tegangan baterai meningkat dan mengalihkan beban ke PLN ketika tegangan turun. Namun, perpindahan masih melibatkan waktu tunda sehingga kontinuitas tanpa jeda belum dapat dinyatakan. Perancangan kontak dan hubungan fasa-netral juga perlu diverifikasi untuk mencegah hubungan silang antarsumber. Sistem ini menunjukkan penerapan kendali berbasis tegangan baterai untuk pengalihan otomatis pada PLTS *off-grid* dan PLN.

ABSTRACT

This study evaluates an automatic transfer switch (ATS) that transfers the electrical load between an off-grid photovoltaic (PV) system and the PLN utility grid based on battery voltage. The PV system was prioritized as the primary source, while the PLN grid served as a backup. The control circuit integrated an XH-M609 voltage sensor, contactors, and timers. It was examined through zelio soft simulation and experimental measurements of the assembled system. A three-day test monitored battery voltage, PV current, inverter current, load power, and the active supply source. The system transferred the load to the PV source at battery voltages of 25.0-25.2 V and to the PLN grid at 21.00-21.05 V. These values were close to the configured upper and lower switching thresholds of 25 V and 21 V, respectively. The circuit restored the PV supply after battery voltage increased and switched to the utility grid when voltage decreased. However, the transfer process included a time delay, so uninterrupted power delivery was not established. Contact coordination and phase-neutral connections also require verification to prevent unintended interconnection between sources. The results demonstrate the applicability of battery-voltage-based control for automatic source transfer in an off-grid PV-utility configuration.

1. PENGANTAR

Keandalan sumber listrik menjadi perhatian penting pada sistem kelistrikan yang memanfaatkan lebih dari satu sumber energi. Salah satu perangkat yang dapat digunakan adalah *automatic transfer switch* (ATS), yaitu sakelar yang memindahkan sambungan beban dari satu sumber listrik ke sumber lainnya secara otomatis. Pengalihan ini mengurangi kebutuhan pengoperasian manual dan membantu membatasi gangguan layanan ketika sumber utama tidak tersedia. Pada sistem dengan sumber energi terbarukan, ATS juga dapat digunakan untuk mengatur prioritas sumber sesuai kondisi sumber daya (Oderinde dkk., 2023; Hidayat dkk., 2024). Penggunaan sistem berbasis *inverter* membutuhkan rancangan pengalihan yang mempertimbangkan koordinasi proteksi, karakteristik keluaran sumber, serta keandalan pengoperasian (Hoke dkk., 2024).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* mengandalkan energi matahari dan baterai untuk melayani beban. Ketersediaan energinya berubah mengikuti intensitas penyinaran, kebutuhan beban, dan kondisi pengisian baterai. Ketika tegangan baterai turun hingga batas yang ditetapkan, sumber cadangan diperlukan agar kebutuhan listrik tetap dapat dilayani. Namun, perpindahan ke sumber cadangan saja belum cukup untuk memprioritaskan energi surya. Setelah baterai kembali terisi, sistem juga harus mampu mengalihkan beban ke PLTS tanpa memerlukan pengaktifan ulang secara manual. Permasalahan inilah yang menjadi dasar pengembangan sistem peralihan otomatis pada penelitian ini. Sistem dirancang dengan PLTS sebagai sumber utama dan jaringan PLN sebagai sumber cadangan (Abdulkareem, 2021).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ATS dapat dirancang menggunakan relai, pengendali, atau kombinasi beberapa perangkat proteksi. Alfariski dkk. (2022) membahas pengalihan sumber listrik dengan dukungan pengendalian dan pemantauan, sedangkan Basoene dkk. (2022) menerapkan relai pada sistem pengalihan sumber tiga fasa. Kedua pendekatan tersebut memperlihatkan bahwa konfigurasi kendali perlu disesuaikan dengan jenis sumber, karakteristik beban, dan kebutuhan pengamanan sistem.

Pengalihan sumber listrik dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Pengendali logika terprogram memungkinkan urutan pengalihan dan waktu tundanya diatur melalui program, sebagaimana dibahas oleh Ahammed dkk. (2022) dan Sadi dan Mulyati (2019). Di sisi lain, integrasi sumber energi terbarukan dengan penyimpanan energi menambah kebutuhan koordinasi antarperangkat karena kondisi sumber dan baterai terus berubah. Kajian mengenai pengelolaan penyimpanan dan keandalan perangkat kendali memperlihatkan pentingnya rancangan yang mempertimbangkan karakteristik operasi masing-masing komponen (Abdelghany dkk., 2024; Altayf dkk., 2024).

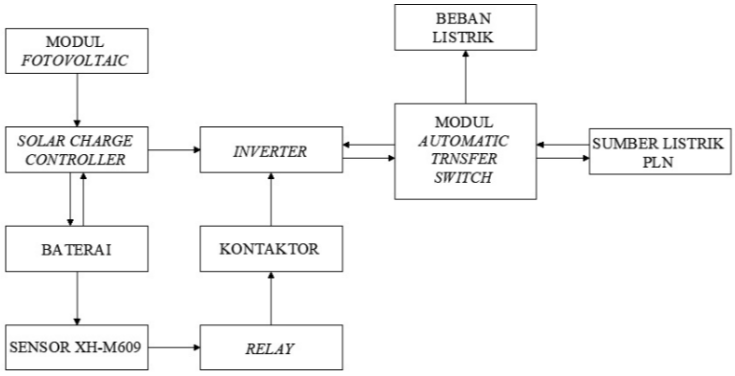
Pemanfaatan sumber energi terbarukan dan penyimpanan energi merupakan salah satu pendekatan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber berbasis bahan bakar fosil (Al-Ghussain dkk., 2024). Dalam penerapannya, sakelar pengalih sumber harus memastikan hanya satu sumber yang terhubung ke beban pada saat yang sama. Pengaturan urutan kontak dan waktu tunda menjadi penting untuk menghindari penyambungan sumber secara bersamaan, terutama ketika sumber yang digunakan berupa *inverter* dan jaringan PLN. Kajian Ardianto (2022) juga menyoroti pengaturan perpindahan daya melalui pendeteksian tegangan.

Secara umum, PLTS dengan penyimpanan energi dapat menggunakan konfigurasi kopling arus searah (DC *coupling*) atau arus bolak-balik (AC *coupling*). Pada konfigurasi DC *coupling*, modul fotovoltaik terhubung ke sisi DC melalui solar charge controller (SCC), kemudian energi disimpan dalam baterai dan disalurkan ke beban AC melalui *inverter*. Adapun pada konfigurasi AC *coupling*, integrasi dilakukan melalui sisi AC dengan konfigurasi *inverter* yang sesuai. Pemilihan konfigurasi berpengaruh terhadap susunan perangkat, jalur aliran energi, serta strategi pengendaliannya. Aspek teknis dan ekonomi sistem fotovoltaik juga dibahas oleh Sandilya (2023).

Apriani dkk. (2023) melaporkan penerapan ATS berbasis tegangan baterai yang memindahkan sumber listrik ke PLN pada tegangan rendah dan mengembalikannya ke PLTS ketika tegangan baterai telah meningkat. Berbeda dari konfigurasi tersebut, penelitian ini mengevaluasi sistem baterai nominal 24 V dengan batas kendali sekitar 21 V untuk mengalihkan beban ke PLN dan 25 V untuk mengembalikannya ke PLTS. Rangkaian menggabungkan sensor tegangan XH-M609, kontaktor, dan timer untuk mengatur urutan perpindahan sumber. Fokus penelitian adalah menilai apakah rancangan ini mampu memindahkan sumber listrik secara otomatis berdasarkan tegangan baterai, termasuk saat PLTS tersedia setelah pengisian. Selain mengamati respons sensor, pengujian dilakukan terhadap proses perpindahan dan kemungkinan gangguan akibat pengaturan kontak atau hubungan fasa-netral. Dengan demikian, kontribusi penelitian terletak pada penerapan dan evaluasi rangkaian kendali berbasis ambang tegangan, tidak pada pembuktian keunggulan seluruh jenis sensor atau optimasi energi secara kuantitatif.

2. METODE

Penelitian menggunakan metode eksperimen yang mencakup perancangan rangkaian, simulasi kendali, perakitan perangkat, dan pengujian lapangan. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Rangkaian dirancang dengan sensor tegangan XH-M609 sebagai pendeteksi kondisi baterai, sedangkan modul ATS, kontaktor, dan timer mengatur pengalihan sumber listrik. Komponen yang dicantumkan dalam rancangan meliputi baterai 24 V 100 Ah, modul fotovoltaik berkapasitas 1.600 Wp, SCC jenis MPPT 50 A, *inverter* gelombang sinus murni 3.000 W, kontaktor ST10, timer Omron H3CR-A8, MCB DC 100 A, MCB AC 4 A, transformator arus, serta instrumen pengukuran arus, tegangan, daya, dan irradiansi. Instrumen kelistrikan diperiksa dengan membandingkan pembacaannya terhadap alat ukur laboratorium. Pengaturan waktu tunda dimaksudkan untuk memberikan jeda antara pelepasan satu sumber dan penyambungan sumber berikutnya. Nilai pengaturan yang digunakan pada setiap jalur perlu dipastikan sesuai diagram dan hasil pengujian.



Gambar 1: Diagram blok sistem ATS berbasis sensor tegangan XH-M609

Tahap awal penelitian meliputi pemilihan komponen, pemeriksaan kesesuaian spesifikasi, dan penyusunan rangkaian berdasarkan diagram kendali. Setelah rancangan diperiksa, logika pengalihan diuji menggunakan perangkat lunak *zelio soft*. Pengujian simulasi dilakukan untuk mengamati respons kontak ketika tegangan baterai berada di atas dan di bawah ambang kendali. Rangkaian kemudian dirakit pada panel dan diuji dengan sumber PLTS serta PLN. Variabel yang diamati meliputi tegangan baterai, arus modul surya, arus pengisian dan pengosongan baterai, arus *inverter*, tegangan beban, daya beban, serta status sumber listrik yang melayani beban. Data hasil pengukuran digunakan untuk mengevaluasi respons rangkaian dan kesesuaian proses perpindahan dengan rancangan.



Gambar 2: Penataan instrumen dan pemantauan pengukuran menggunakan CCTV

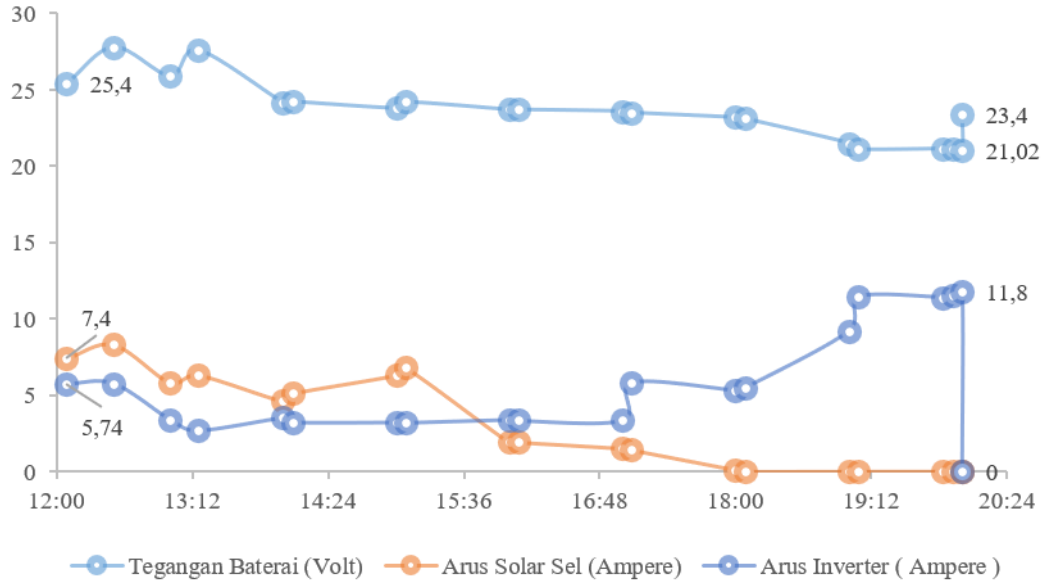
Pencatatan parameter listrik dilakukan dengan bantuan kamera CCTV yang diarahkan ke tampilan alat ukur, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Rekaman digunakan untuk memeriksa kondisi peralatan dan membaca hasil pengukuran pada waktu yang ditentukan. Data pengamatan disajikan pada interval lima menit, sedangkan kondisi perpindahan sumber diamati melalui rekaman pada interval yang lebih rapat. Pengujian dilaksanakan selama tiga hari, yaitu 11-13 Desember 2025. Catatan penelitian memuat 679 data pada hari pertama, 783 data pada hari kedua, dan 882 data pada hari ketiga. Data yang dipilih untuk ditampilkan merupakan titik-titik pengukuran yang menggambarkan perubahan kondisi PLTS, baterai, dan sumber sumber sepanjang pengujian.

Tabel 1: Hasil Pengukuran Sistem pada 11 Desember 2025

Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan Baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Sumber Sumber	Keluaran Sensor XH-M609
12.05	7,4	228	125,3	1,81	25,4	0	5,74	PLTS	*Normally Closed*
12.30	8,3	229,2	125,1	3,54	27,8	0	5,76	PLTS	*Normally Closed*
13.00	5,8	229,5	69,2	2,5	25,9	0	3,4	PLTS	*Normally Closed*
13.15	6,3	236,4	49,4	3,8	27,6	0	2,7	PLTS	*Normally Closed*
14.00	4,6	229,4	62,4	1,51	24,15	0	3,52	PLTS	*Normally Closed*
14.05	5,1	230	62,2	1,02	24,22	0	3,23	PLTS	*Normally Closed*
15.00	6,3	229,5	62,4	2,7	23,8	0	3,22	PLTS	*Normally Closed*
15.05	6,8	228,3	62,3	3,12	24,2	0	3,2	PLTS	*Normally Closed*
16.00	1,9	230,2	62,6	0	23,7	1,49	3,39	PLTS	*Normally Closed*
16.05	1,9	230,1	62,6	0	23,7	1,43	3,33	PLTS	*Normally Closed*
17.00	1,5	230,8	62,3	0	23,6	2,12	3,36	PLTS	*Normally Closed*
17.05	1,4	229,6	77,9	0	23,5	3,7	5,83	PLTS	*Normally Closed*
18.00	0,1	228,9	109,4	23,1	23,19	5,1	5,33	PLTS	*Normally Closed*
18.05	0	230,8	108,4	0	23,1	5,13	5,5	PLTS	*Normally Closed*
19.00	0	231,4	207,2	0	21,5	9,21	9,2	PLTS	*Normally Closed*
19.05	0	220,6	222,1	0	27,1	11,5	11,43	PLTS	*Normally Closed*
19.50	0	212,3	221,5	0	21,13	11,6	11,4	PLTS	*Normally Closed*
19.55	0	210,9	222,2	0	21,09	11,9	11,55	PLTS	*Normally Closed*
20.00	0	209,1	222,2	0	21,02	11,93	11,8	PLTS	*Normally Open*
20.00	0	210	222,2	0	23,4	0	0	PLN	*Normally Open*

Sumber: data eksperimen, 2025.

Tabel 1 menyajikan sebagian hasil pengujian pada 11 Desember 2025. Pengamatan dimulai sejak pagi, tetapi data yang ditampilkan difokuskan pada periode saat sistem berpindah dari sumber PLN ke PLTS hingga kembali menggunakan PLN. Pada pukul 12.05 WIB, tegangan baterai tercatat 25,4 V dan beban dilayani oleh PLTS. Setelah penyinaran matahari berkurang, arus dari modul surya menurun dan baterai semakin banyak memasok kebutuhan *inverter*. Menjelang pukul 20.00 WIB, tegangan baterai turun hingga 21,02 V. Pada kondisi ini, sistem memutus sumber dari PLTS dan mengalihkan beban ke PLN. Setelah *inverter* tidak lagi membebani baterai, tegangan baterai yang terbaca meningkat menjadi 23,4 V. Pola ini menunjukkan bahwa rangkaian pengalih merespons perubahan tegangan baterai sesuai arah pengendalian yang direncanakan.



Gambar 3: Perubahan tegangan baterai, arus modul surya, dan arus *inverter* pada 11 Desember 2025

Gambar 3 memperlihatkan penurunan tegangan baterai selama periode pengamatan. Pada saat yang sama, arus modul surya berangsur turun hingga mendekati nol menjelang malam. Ketika sumber dari modul surya tidak lagi mencukupi kebutuhan beban, energi baterai digunakan melalui *inverter* sehingga tegangan baterai terus menurun. Pada pukul 20.00 WIB, tegangan mencapai 21,02 V dan sumber dialihkan ke PLN. Kenaikan tegangan baterai menjadi 23,4 V setelah perpindahan menunjukkan pemulihan tegangan terminal ketika beban *inverter* dilepaskan. Perubahan tersebut tidak dapat langsung digunakan untuk menyimpulkan kondisi kesehatan baterai tanpa pengujian tambahan.

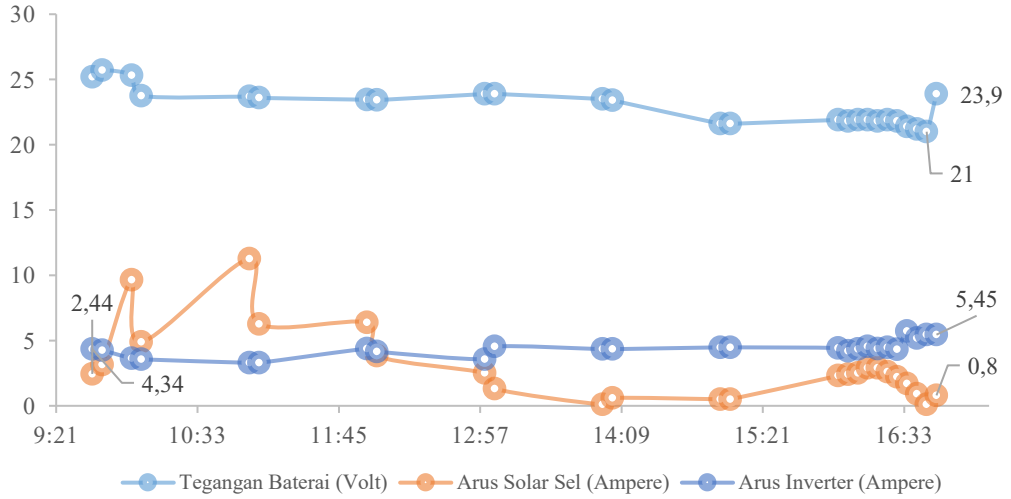
Tabel 2: Hasil Pengukuran Sistem pada 12 Desember 2025

Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Intensitas Matahari (W/m^2)	Temperatur (^{0}C)	Sumber Listrik	*Keluaran Sensor XH-M609*
09.40	2,44	232,5	37,7	0	25,2	1,9	4,34	464,3	34,3	PLTS	*Normally Closed*
09.45	3,15	231,4	77,6	0	25,7	1,1	4,25	698,7	40,7	PLTS	*Normally Closed*
10.00	9,64	231,7	62,5	6	25,32	0	3,64	773,3	45	PLTS	*Normally Closed*
10.05	4,88	231,7	62,5	1,32	23,75	0	3,56	328,4	38,4	PLTS	*Normally Closed*
11.00	11,27	229,3	62,4	7,98	23,69	0	3,29	1045,6	48,8	PLTS	*Normally Closed*
11.05	6,27	229,3	7,9	2,98	23,59	0	3,29	1033,6	49,8	PLTS	*Normally Closed*
12.00	6,38	230,7	84,4	2	23,45	0	4,38	253,3	44,7	PLTS	*Normally Closed*
12.05	3,82	230,2	89,2	0	23,42	0,33	4,15	170,6	44,9	PLTS	*Normally Closed*
13.00	2,5	229,9	77,5	0	23,89	2,12	3,57	20,5	27,3	PLTS	*Normally Closed*
13.05	1,3	230,4	77,4	0	23,9	2,53	4,54	66,5	27,5	PLTS	*Normally Closed*
14.00	0,1	231,4	77,7	0	23,5	3,4	4,34	19,6	26,7	PLTS	*Normally Closed*
14.05	0,6	230,7	77,7	0	23,4	3,4	4,34	18,3	26,8	PLTS	*Normally Closed*
15.00	0,5	221,9	77,6	0	21,6	3,5	4,48	20	27,7	PLTS	*Normally Closed*
15.05	0,5	221,3	77,5	0	21,6	3,7	4,48	17,3	2,1	PLTS	*Normally Closed*
16.00	2,3	224,8	77,6	0	21,9	2,13	4,43	125,5	28,1	PLTS	*Normally Closed*
16.05	2,4	224,8	77,6	0	21,8	1,8	4,2	127,8	28,3	PLTS	*Normally Closed*
16.10	2,5	225,2	77,7	0	21,9	1,85	4,35	134,7	28,5	PLTS	*Normally Closed*
16.15	2,9	225,7	77,6	0	21,9	1,64	4,54	148,7	28,2	PLTS	*Normally Closed*
16.20	2,9	226	77,6	0	21,8	1,48	4,38	151,9	28,1	PLTS	*Normally Closed*
16.25	2,6	225,1	77,6	0	21,9	1,88	4,48	139	27,8	PLTS	*Normally Closed*
16.30	2,2	223,9	77,6	0	21,8	2,13	4,33	117,5	28,1	PLTS	*Normally Closed*

Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Intensitas Matahari (W/m^2)	Tempe ratur (^{0}C)	Sumber Listrik	*Keluaran Sensor XH-M609*
16.35	1,7	218,9	95,6	0	21,4	4,03	5,73	91,7	27,8	PLTS	*Normally Closed*
16.40	0,9	216,4	95,1	0	21,2	4,28	5,18	62	27,5	PLTS	*Normally Closed*
16.45	0,1	214,6	95	0	21	5,35	5,45	47,3	27,4	PLN	*Normally Open*
16.50	0,8	213,7	94,9	0	23,9	4,3	5,45	53,9	27,2	PLN	*Normally Open*

Sumber: data eksperimen, 2025.

Tabel 2 memperlihatkan data pengujian pada 12 Desember 2025, yang mencakup parameter kelistrikan sistem dan kondisi lingkungan di sekitar modul fotovoltaik. Parameter kelistrikan yang dipantau meliputi tegangan dan arus baterai, arus modul surya, arus *inverter*, tegangan beban, serta daya beban. Intensitas radiasi matahari dan temperatur juga dicatat untuk membantu menjelaskan perubahan produksi energi surya. Pada pukul 09.40 WIB, tegangan baterai sebesar 25,2 V diikuti oleh kondisi beban yang dilayani PLTS. Sepanjang pengamatan, arus modul surya berubah mengikuti kondisi penyinaran. Pada pukul 16.45 WIB, tegangan baterai mencapai 21,0 V dan sumber sumber berubah menjadi PLN. Pengamatan ini menunjukkan bahwa batas tegangan bawah berperan dalam menentukan waktu perpindahan saat produksi listrik surya menurun.



Gambar 4: Perubahan tegangan baterai, arus modul surya, dan arus *inverter* pada 12 Desember 2025

Pada 12 Desember 2025, tegangan baterai berubah dalam kisaran sekitar 21,0–25,7 V, seperti terlihat pada Gambar 4 dan Tabel 2. Arus modul surya menunjukkan fluktuasi yang cukup besar sepanjang pagi hingga siang hari, sejalan dengan perubahan intensitas radiasi matahari. Ketika radiasi menurun pada siang hingga sore hari, arus pengisian baterai juga berkurang. Sementara itu, beban yang dilayani *inverter* tetap membutuhkan arus, sehingga tegangan baterai secara umum menurun. Pada pukul 16.45 WIB, sensor mendeteksi tegangan sekitar 21,0 V dan memicu perpindahan sumber ke PLN. Setelah beban *inverter* dilepaskan, tegangan baterai meningkat menjadi 23,9 V. Dengan demikian, hasil pengujian hari kedua memperlihatkan hubungan operasional antara perubahan penyinaran, penurunan tegangan baterai, dan respons pengalihan sumber. Data ini belum cukup untuk menghitung efisiensi pengisian baterai tanpa informasi energi masuk dan keluar yang terintegrasi terhadap waktu.

Tabel 3: Hasil Pengukuran Sistem pada 13 Desember 2025

Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan Baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Intensitas Matahari (W/m^2)	Temp. (^{0}C)	*Supply*	Keluaran Sensor XH-M609
09.00	3,3	221,2	80,7	0	21,6	1,8	5	159,6	29,9	PLN	*Normally Open*
09.05	4,9	222,2	107,5	0	21,7	0,2	5	224,3	30,2	PLN	*Normally Open*
09.10	5	223,9	106,3	0	21,7	0	5	244,7	31	PLN	*Normally Open*
09.15	8,7	222,5	14,5	3,2	25	0	5	456,2	31,4	PLTS	*Normally Closed*
09.20	6	229,1	104,6	0,5	27,3	0	5,4	494,1	33,8	PLTS	*Normally Closed*
10.00	6,3	230,1	73,4	2,1	23,7	0	4,2	352,7	32,9	PLTS	*Normally Closed*
10.05	4,6	230,1	90,4	2,1	25,5	0	2,5	247,3	32,8	PLTS	*Normally Closed*
11.00	8,3	229,9	90,8	4,4	23,9	0	4,4	533,4	37,1	PLTS	*Normally Closed*
11.05	7	230,1	90,7	2,1	23	0	4,7	402,5	36,2	PLTS	*Normally Closed*
12.00	4,2	229,8	111,8	0	23,2	1,3	5,25	278,3	34	PLTS	*Normally Closed*
12.05	5,1	231,8	109,6	0	22,6	0,3	5,15	206,7	30,1	PLTS	*Normally Closed*
12.10	6,1	231	19,7	0	23,7	1,1	5,75	256,2	28,8	PLTS	*Normally Closed*
12.15	5,5	232,6	109,5	0	23,7	1,3	5,7	262,5	29,6	PLTS	*Normally Closed*

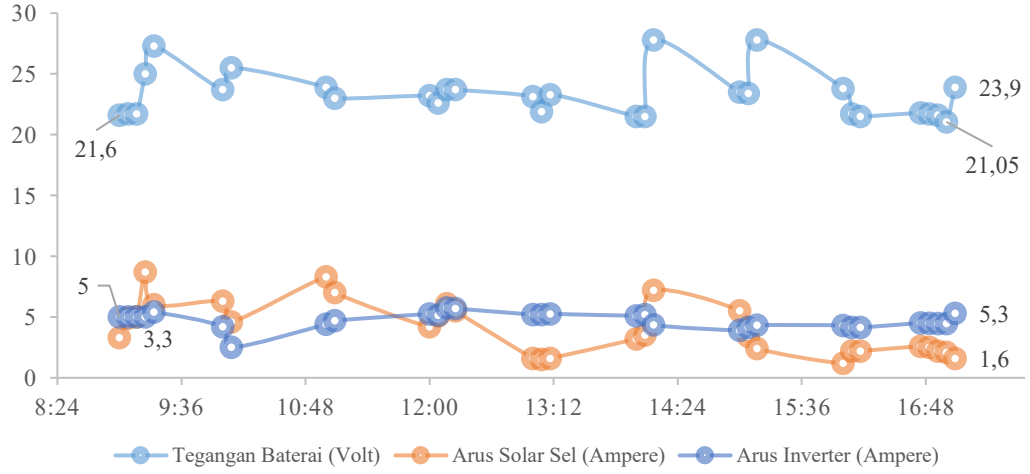
Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan Baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Intensitas Matahari (W/m²)	Temp. (⁰C)	*Supply*	Keluaran Sensor XH-M609
13.00	1,6	226,5	94,9	0	23,12	3,14	5,2	180,3	30,9	PLTS	*Normally Closed*
13.05	1,5	224,7	94,9	0	21,9	1,4	5,2	163,4	28,3	PLTS	*Normally Closed*
13.10	1,6	222,3	95,0	0	23,3	3,4	5,26	181,2	21,5	PLTS	*Normally Closed*
14.00	3,2	221,1	91,8	0	21,5	2,1	5,1	183,2	29,3	PLTS	*Normally Closed*
14.05	3,5	222,1	91,8	0	21,5	2,1	5,2	117,7	21,5	PLTS	*Normally Closed*
14.10	7,2	233,1	92,1	2,1	27,8	0	4,35	387,1	28,3	PLTS	*Normally Closed*
15.00	5,5	230,8	77,6	1,6	23,5	0	3,9	408,1	36,7	PLTS	*Normally Closed*
15.05	3,4	231,1	77,5	0	23,4	1	4,15	212,9	34,5	PLTS	*Normally Closed*
15.10	2,4	231,2	77,5	0	27,8	1,8	4,33	144,9	32,2	PLTS	*Normally Closed*
16.00	1,2	225,9	77,6	0	23,8	2,9	4,31	64	29,9	PLTS	*Normally Closed*
16.05	2,2	226,5	7,5	0	21,71	4,52	4,13	30,3	29,9	PLTS	*Normally Closed*
16.10	2,2	224,4	77,6	0	21,5	2,17	4,13	107,1	30,8	PLTS	*Normally Closed*
16.45	2,6	223,7	77,6	0	21,79	1,8	4,51	135,5	31,7	PLTS	*Normally Closed*
16.50	2,5	222,9	77,6	0	21,7	1,7	4,49	124,8	31,2	PLTS	*Normally Closed*
16.55	2,2	221,7	77,6	0	21,6	1,7	4,45	115,2	30,8	PLTS	*Normally Closed*
17.00	2,1	220,4	77,5	0	21,05	2,87	4,45	106,4	30,4	PLN	*Normally Open*
17.05	1,6	213,4	970	0	23,9	3,54	5,3	86	30,1	PLN	*Normally Open*

Sumber: data eksperimen, 2025.

Tabel 3 menyajikan data pengukuran pada 13 Desember 2025. Meskipun perekaman dilakukan sejak pagi, tabel menampilkan titik-titik pengamatan yang relevan dengan perpindahan sumber listrik. Pada awal pengamatan, tegangan baterai masih berada di bawah batas untuk mengaktifkan kembali PLTS sehingga beban disuplai oleh PLN. Penggunaan ambang tegangan bawah dimaksudkan untuk membatasi pengosongan baterai saat energi tersimpan tidak lagi memadai. Namun, dampaknya terhadap umur pakai atau state of health baterai memerlukan pengujian tersendiri.

Pada pukul 09.15 WIB, intensitas radiasi matahari tercatat 456,2 W/m² dan tegangan baterai meningkat hingga 25,0 V. Kondisi ini diikuti oleh pengalihan sumber dari PLN ke PLTS. Selama siang hari, tegangan baterai serta arus dari modul surya mengalami perubahan sesuai kondisi penyinaran dan pemakaian beban. Menjelang sore, tegangan baterai kembali menurun. Pada pukul 17.00 WIB, tegangan terukur sebesar 21,05 V dan sistem mengalihkan sumber ke PLN. Rangkaian pengujian ini memperlihatkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan dua arah berdasarkan ambang tegangan baterai yang ditetapkan.

Kondisi cuaca pada 13 Desember 2025 dilaporkan disertai hujan ringan sehingga intensitas radiasi matahari berubah sepanjang pengamatan. Ketika energi dari modul fotovoltaik menurun, baterai tetap memberikan beban hingga tegangannya mencapai batas bawah kendali. Setelah sumber listrik dialihkan ke PLN, tegangan terminal baterai meningkat menjadi 23,9 V karena beban *inverter* telah dilepas. Hasil ini konsisten dengan respons terminal baterai terhadap perubahan pembebanan. Meski demikian, pengujian yang dilakukan belum mencakup penentuan kapasitas tersisa, kedalaman pengosongan, ataupun tingkat degradasi baterai.



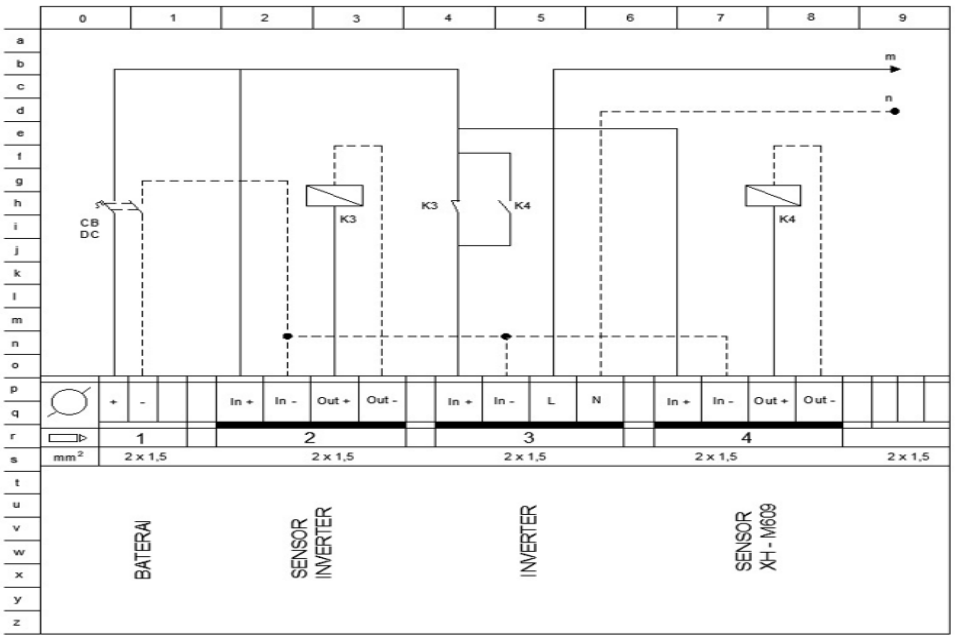
Gambar 5: Perubahan tegangan baterai, arus modul surya, dan arus *inverter* pada 13 Desember 2025

Gambar 5 menunjukkan bahwa tegangan baterai pada 13 Desember 2025 berubah cukup tajam selama pengisian dan pembebanan. Beberapa peningkatan tegangan terlihat ketika arus dari modul surya bertambah. Sebaliknya, penurunan arus modul surya pada periode penyinaran yang lebih rendah diikuti oleh berkurangnya kemampuan pengisian baterai. Arus yang masuk ke *inverter* juga berfluktuasi sesuai kondisi operasi beban. Pada akhir pengamatan, tegangan baterai mencapai sekitar 21,05 V dan sensor mengalihkan sumber ke PLN. Setelah pemutusan beban *inverter*, tegangan terminal baterai meningkat hingga 23,9 V. Secara keseluruhan, grafik mendukung hasil pengamatan pada Tabel 3 bahwa pengalihan sumber terjadi ketika tegangan baterai melewati ambang kendali. Perubahan

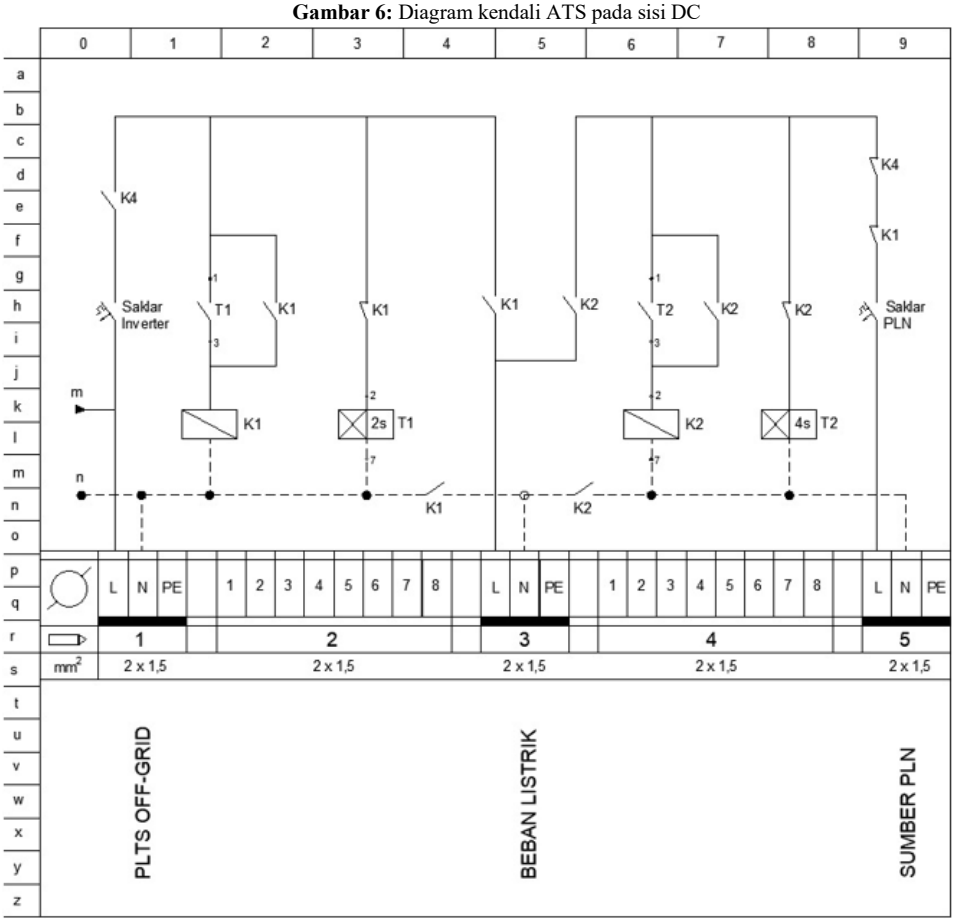
sesaat pada tegangan baterai tidak dapat digunakan sendiri untuk memastikan tahapan pengisian tertentu tanpa data pengendali pengisian yang lebih rinci.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 memperlihatkan bagian kendali ATS pada sisi arus searah (DC). Baterai, sensor XH-M609, dan *inverter* dihubungkan dalam rangkaian kendali untuk menentukan kapan PLTS dapat melayani beban. Pemutus sirkuit DC digunakan sebagai perangkat proteksi terhadap kondisi gangguan pada jalur baterai dan *inverter*. SCC tidak ditampilkan secara terperinci dalam diagram ini karena fokus gambar adalah rangkaian pengendalian perpindahan sumber, bukan seluruh aliran daya pada PLTS.



Gambar 6: Diagram kendali ATS pada sisi DC



Gambar 7: Diagram kendali ATS pada sisi AC

Gambar 7 menunjukkan rangkaian ATS pada sisi arus bolak-balik (AC), yang menghubungkan keluaran *inverter* PLTS dan jaringan PLN ke beban melalui rangkaian kontaktor. Pada bagian hasil implementasi, sistem dilaporkan menggunakan panel fotovoltaik

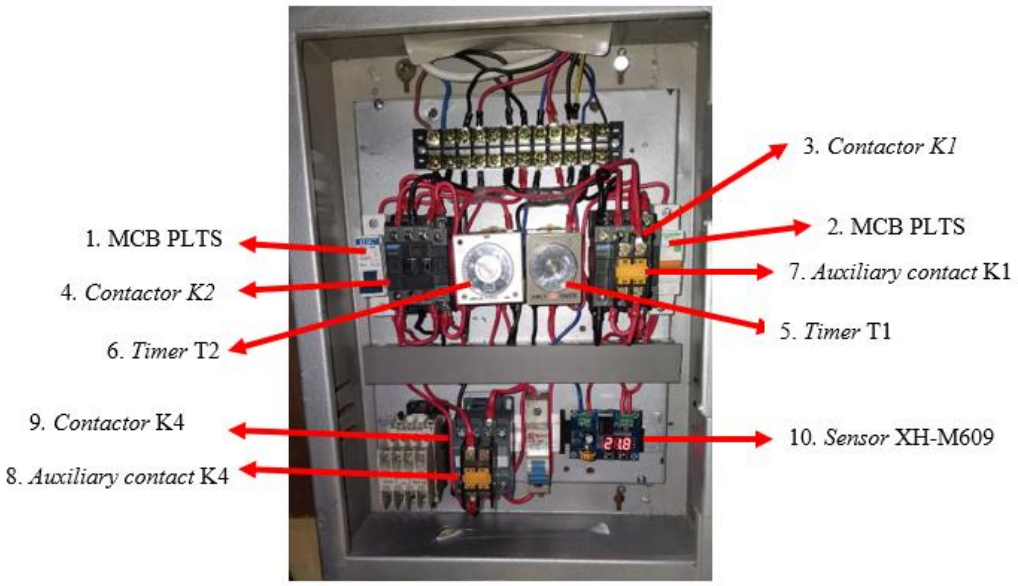
1.600 Wp, *inverter* 2.000 W, SCC 60 A, dan baterai 24 V 300 Ah. Beban dihubungkan secara bergantian ke dua sumber melalui rangkaian kendali yang dipicu oleh tegangan baterai.

Beban yang digunakan berupa lampu LED rumah tangga dengan daya terpasang total 270 W. Perancangan rangkaian kendali diawali menggunakan gambar teknik, kemudian urutan pengalihan diverifikasi melalui simulasi *zelio soft* sebelum sistem dirakit. Sensor XH-M609 membaca tegangan terminal baterai dan memberikan sinyal kendali melalui relai internal. Sinyal ini diteruskan ke kontaktor dan timer untuk mengatur pelepasan sumber yang sedang aktif serta penyambungan sumber pengganti. Dengan demikian, pengoperasian sistem ditentukan oleh tegangan baterai dan keadaan kontak rangkaian, bukan oleh pemilihan sumber secara manual.

Ketika tegangan baterai masih berada di atas ambang bawah, rangkaian memungkinkan PLTS tetap memasok beban. Jika tegangan turun hingga sekitar 21 V, sensor XH-M609 mengubah status relainya dan memicu pelepasan sambungan dari *inverter* melalui kontaktor K4. Setelah sumber PLTS terlepas, rangkaian mengizinkan pengaktifan jalur PLN melalui kontaktor yang terkait dan waktu. Jeda waktu digunakan untuk memberi selang antara pemutusan dan penyambungan sumber yang berbeda. Urutan ini bertujuan menghindari penyambungan keluaran *inverter* dan jaringan PLN secara bersamaan.

Ketika baterai kembali terisi hingga ambang atas, sensor XH-M609 mengirimkan perintah untuk menonaktifkan jalur PLN dan mengaktifkan jalur PLTS. Pada Gambar 7, peralihan tersebut melibatkan kontaktor K4, timer T1, dan kontaktor K1. Setelah jalur PLN terlepas, timer memberikan jeda sebelum kontaktor K1 menyambungkan keluaran *inverter* ke beban. Urutan tersebut memungkinkan sumber PLTS kembali digunakan setelah energi baterai dinilai mencukupi berdasarkan batas tegangan yang dipilih.

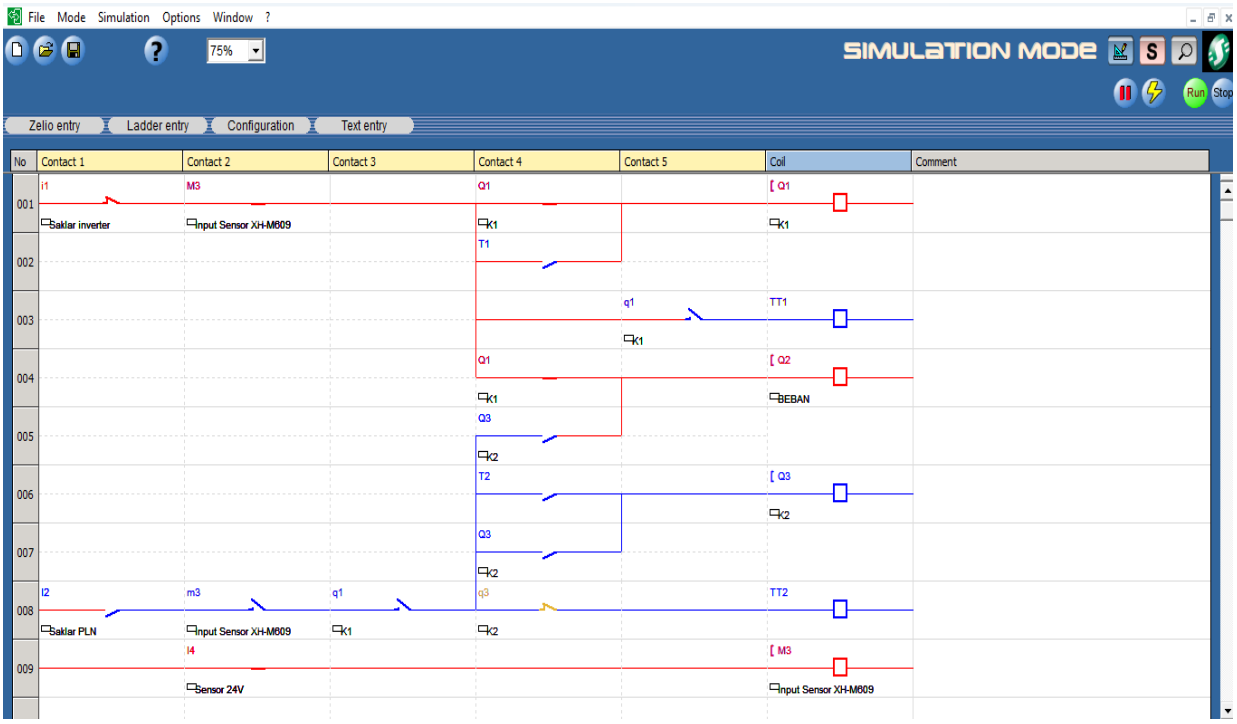
Kontaktor K1 menggunakan kontak bantu untuk mempertahankan kondisi kerja setelah memperoleh sinyal awal dari timer T1. Ketika K1 aktif, jalur keluaran *inverter* terhubung ke beban, sementara jalur sumber lainnya harus tetap terputus. Koordinasi antar-kontak perlu diperiksa pada kondisi normal maupun gangguan untuk memastikan tidak terjadi hubungan silang antarsumber. Rancangan yang dilaporkan juga menggunakan jeda perpindahan, sehingga selama selang tersebut beban dapat mengalami pemutusan singkat. Oleh karena itu, sistem ini tidak dapat dinyatakan sebagai catu daya tanpa jeda tanpa dukungan perangkat tambahan.



Gambar 8: Panel kendali ATS menggunakan sensor tegangan XH-M609

Ketika tegangan baterai turun hingga ambang bawah sekitar 21 V, sensor XH-M609 memicu pelepasan sumber PLTS. Perubahan status kontak K4 kemudian mengaktifkan rangkaian kendali pada jalur PLN. Timer T2 memberikan waktu tunda sebelum kontaktor K2 menutup dan menyalurkan listrik PLN ke beban. Dalam uraian rangkaian ini, waktu tunda T2 dicantumkan sebesar 4 detik. Secara prinsip, jeda tersebut dimaksudkan untuk memisahkan proses pemutusan dan penyambungan sehingga kedua sumber tidak terhubung bersamaan saat perpindahan berlangsung.

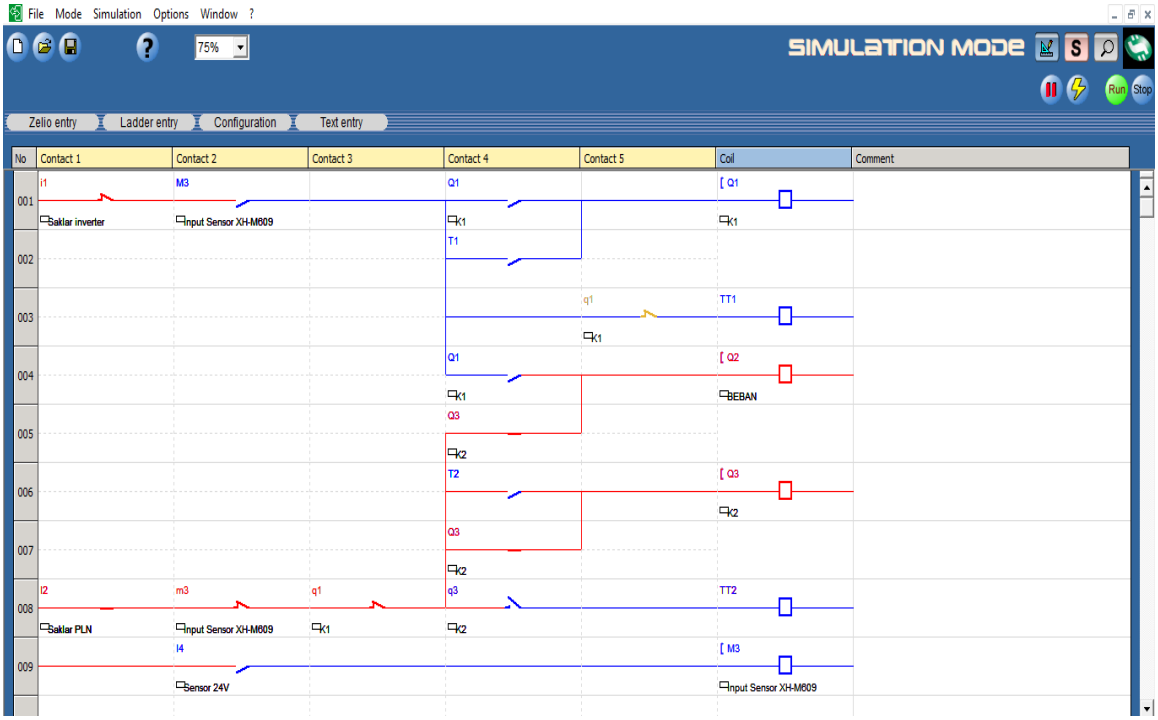
Panel kendali yang ditunjukkan pada Gambar 8 memuat kontaktor K1 dan K2, timer T1 dan T2, serta kontaktor K4 yang menerima perintah dari sensor XH-M609. Penempatan komponen dibuat berdekatan sesuai fungsinya untuk memudahkan pengawatan dan pemeriksaan. Sensor terhubung ke baterai melalui rangkaian kendali dan memantau tegangan secara berkala. Ketika tegangan mencapai ambang atas sekitar 25 V, sensor mengubah status relai sehingga jalur PLN dilepaskan dan jalur PLTS dapat diaktifkan melalui urutan kontak serta timer yang telah dirancang.



Gambar 9: Simulasi *zelio soft* pada kondisi tegangan baterai sekitar 25 V

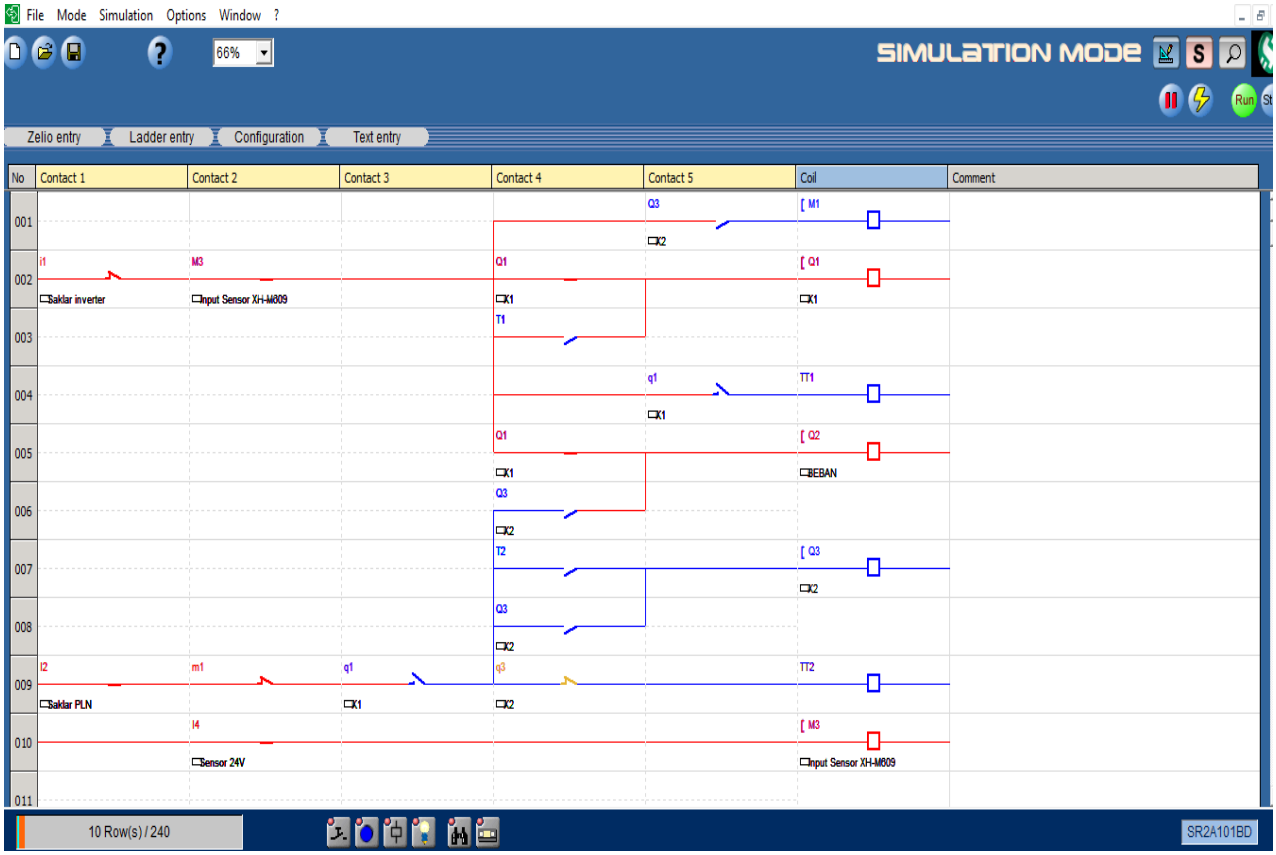
Simulasi pada Gambar 9 menggambarkan kondisi ketika tegangan baterai mencapai sekitar 25 V. Status sensor XH-M609 direpresentasikan melalui elemen sakelar pada program *zelio soft*. Ketika batas atas tercapai, rangkaian kendali mengaktifkan jalur PLTS dan menonaktifkan jalur PLN. Pada tampilan simulasi, garis berwarna digunakan untuk membedakan lintasan yang aktif dan tidak aktif. Kontaktor K1 memerlukan sejumlah kontak utama dan kontak bantu untuk menjalankan fungsi pengalihan, penguncian kendali, serta pemutusan rangkaian timer. Penambahan kontak bantu dilakukan karena jumlah dan jenis kontak bawaan tidak sepenuhnya memenuhi kebutuhan rangkaian.

Dalam diagram yang disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7, kontaktor K4 memerlukan kontak dalam keadaan normal terbuka (NO) dan normal tertutup (NC). Karena konfigurasi kontaktor yang digunakan tidak menyediakan seluruh kontak tersebut, dipasang kontak bantu sesuai kebutuhan rangkaian. Saat baterai masih memiliki tegangan di atas ambang bawah, jalur PLTS dipertahankan. Sebaliknya, ketika tegangan mendekati batas bawah, sistem bersiap untuk memutus PLTS. Simulasi kondisi tegangan rendah disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10: Simulasi *zelio soft* pada kondisi tegangan baterai sekitar 21 V

Pada simulasi Gambar 10, tegangan baterai yang mencapai ambang bawah sekitar 21 V menyebabkan sinyal kendali PLTS dinonaktifkan. Kontaktor pada jalur *inverter* melepaskan sambungan beban, sedangkan rangkaian kendali pada jalur PLN diaktifkan setelah jeda yang ditetapkan. Pada uraian simulasi, timer T2 ditetapkan sebesar 4 detik sebelum kontaktor K2 menyambungkan PLN. Penambahan kontaktor dan kontak bantu dipertimbangkan sebagai bagian dari penguncian antarsumber. Namun, keamanan rancangan tidak dapat ditentukan hanya dari jumlah kontaktor; pemisahan sumber, konfigurasi kontak, perlindungan gangguan, serta hubungan fasa dan netral tetap harus diverifikasi.



Gambar 11: Simulasi konfigurasi ATS dengan kontaktor tambahan pada jalur PLTS (K1)

Gambar 11 menunjukkan alternatif konfigurasi rangkaian dengan kontaktor tambahan pada jalur PLTS. Penambahan perangkat dimaksudkan untuk memperbaiki koordinasi pemutusan antarsumber, tetapi juga meningkatkan jumlah komponen dan kerumitan pengawatan. Berdasarkan uraian pengujian, kesalahan hubungan fasa dan netral dapat mengganggu urutan kerja rangkaian. Pada kondisi tertentu, pengujian yang dijelaskan dalam naskah menunjukkan adanya risiko hubung singkat dan terputusnya MCB. Karena itu, konfigurasi ini memerlukan verifikasi pengawatan dan penguncian rangkaian sebelum diterapkan pada sistem sebenarnya.

Simulasi pada Gambar 11 digunakan untuk menilai pengaruh susunan kontak serta hubungan fasa dan netral terhadap proses pengalihan sumber. Uraian pengujian mencatat adanya kondisi hubungan yang dapat memicu gangguan dan menyebabkan MCB bekerja. Temuan tersebut menegaskan pentingnya verifikasi pengawatan, penguncian antar-kontaktor, dan pemisahan antara keluaran *inverter* dengan jaringan PLN. Keamanan rangkaian tidak cukup dinilai dari keberhasilan simulasi pada satu kondisi pengoperasian, tetapi perlu dibuktikan melalui pengujian pada konfigurasi yang sesuai dengan rancangan akhir.

Secara umum, simulasi *zelio soft* membantu memeriksa logika pengendalian sebelum rangkaian dirakit. Diagram pada perangkat lunak memiliki penyajian simbol yang berbeda dari gambar pengawatan lapangan, tetapi keduanya mengacu pada urutan kerja kontaktor dan timer yang sama. Kesesuaian hasil simulasi dengan implementasi perlu dinilai melalui status kontak, waktu perpindahan, dan respons sistem pada kondisi tegangan baterai yang berbeda.

Tabel 4: Ringkasan Hasil Pengukuran dan Perpindahan Sumber Listrik Selama Tiga Hari Pengujian

Waktu Pengukuran	Waktu (WIB)	Arus Modul Surya (A)	Tegangan Beban (V)	Daya (W)	Arus Pengisian Baterai (A)	Tegangan Baterai (V)	Arus dari Baterai (A)	Arus *Inverter* (A)	Sumber Sumber	*Keluaran Sensor XH-M609*
	12.05	7,4	228	125,3	1,81	25,1	0	5,74	PLTS	*Normally Closed*
	12.10	8,6	229,5	125,3	3,31	25,8	0	5,7	PLTS	*Normally Closed*
Hari Pertama, 11 Desember 2025	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	19.50	0	212,3	221,5	0	21,13	11,6	11,4	PLTS	*Normally Closed*
	19.55	0	210,9	222,2	0	21,09	11,9	11,55	PLTS	*Normally Closed*
	20.00	0	209,1	222,2	0	21,02	11,93	11,8	PLN	*Normally Open*
	20.00	0	210	222,2	0	23,4	0	0	PLN	*Normally Open*
	09.40	2,44	232,5	37,7	0	25,2	1,9	4,34	PLTS	*Normally Closed*
	09.45	3,15	231,4	77,6	0	25,7	1,1	4,25	PLTS	*Normally Closed*
Hari Kedua, 12 Desember 2025	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	16.35	1,7	218,9	95,6	0	21,4	4,03	5,73	PLTS	*Normally Closed*
	16.40	0,9	216,4	95,1	0	21,2	4,28	5,18	PLTS	*Normally Closed*
	16.45	0,1	214,6	95	0	21	5,35	5,45	PLN	*Normally Open*
	16.50	0,8	213,7	94,9	0	23,9	4,3	5,45	PLN	*Normally Open*
	09.10	5	223,9	106,3	0	21,7	0	5	PLN	*Normally Open*
	09.15	8,7	222,5	14,5	3,2	25	0	5	PLTS	*Normally Closed*
Hari Ketiga, 13 Desember 2025	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
	16.50	2,5	222,9	776	0	21,7	1,7	4,49	PLTS	*Normally Closed*
	16.55	2,2	221,7	77,6	0	21,6	1,7	4,45	PLTS	*Normally Closed*
	17.00	2,1	220,4	77,5	0	21,05	2,87	4,45	PLN	*Normally Open*
	17.05	1,6	213,4	970	0	23,9	3,54	5,3	PLN	*Normally Open*

Tabel 4 merangkum respons sensor XH-M609 dan sumber yang melayani beban selama pengujian 11-13 Desember 2025. Sistem menggunakan batas tegangan atas yang diatur sekitar 25 V dan batas tegangan bawah sekitar 21 V. Pada peralihan ke PLTS, tegangan baterai tercatat 25,1 V pada hari pertama, 25,2 V pada hari kedua, dan 25,0 V pada hari ketiga. Dengan demikian, selisih terhadap batas atas berada dalam rentang 0,0-0,2 V. Pada perpindahan ke PLN, tegangan baterai masing-masing tercatat 21,02 V, 21,00 V, dan 21,05 V, sehingga selisih terhadap batas bawah berada dalam rentang 0,00-0,05 V. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa rangkaian mampu melakukan pengalihan sesuai perubahan tegangan baterai dalam pengujian tiga hari. Nilai selisih ini merupakan perbedaan terhadap pengaturan ambang, bukan hasil kalibrasi akurasi sensor secara menyeluruh.

4. KESIMPULAN

Penerapan sistem peralihan sumber listrik otomatis berbasis sensor tegangan XH-M609 memungkinkan integrasi PLTS off-grid dan jaringan PLN dengan memprioritaskan pemanfaatan energi surya sesuai kondisi tegangan baterai. Kombinasi sensor tegangan, kontaktor, dan timer memungkinkan perpindahan sumber listrik berlangsung secara otomatis serta membantu mencegah pengosongan baterai secara berlebihan. Sistem ini dapat menjadi alternatif pengelolaan pasokan listrik pada instalasi PLTS off-grid yang dilengkapi sumber cadangan PLN. Meskipun demikian, mekanisme perpindahan masih memiliki waktu tunda sehingga belum mampu menjamin kontinuitas pasokan listrik tanpa interupsi. Keandalan dan keamanan sistem juga memerlukan koordinasi kontaktor, penguncian antarsumber, serta pengaturan sambungan fasa dan netral yang tepat untuk mencegah hubungan silang. Pengembangan sistem selanjutnya perlu difokuskan pada pengurangan waktu interupsi, peningkatan keandalan perpindahan sumber, dan evaluasi pemanfaatan energi surya secara kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi serta Politeknik Negeri Medan atas dukungan pendanaan melalui dana DIPA Politeknik Negeri Medan berdasarkan Kontrak Nomor B/287/PL5/PT.01.05/2025. Penulis juga menyampaikan apresiasi atas dukungan fasilitas laboratorium dan bengkel kerja kelistrikan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian pada tahun 2025.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap memengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

Dalam penyusunan manuskrip, penulis menggunakan teknologi kecerdasan buatan atau berbantuan kecerdasan buatan untuk membantu penyuntingan bahasa dan keterbacaan serta penelusuran awal referensi. Seluruh keluaran telah ditinjau dan disunting oleh penulis. Penulis bertanggung jawab penuh atas ketepatan sitasi, interpretasi ilmiah, dan isi akhir artikel.

KONTRIBUSI PENULIS

Suprianto : Konseptualisasi, Metodologi, Investigasi, Kurasi Data, Penulisan - Draf Awal.
Meidi Wani Lestari : Analisis Formal, Visualisasi, Penulisan - Draf Awal.
Herri Trisna Frianto : Metodologi, Validasi, Penyediaan Sumber Daya. Penulisan - Tinjauan dan Penyuntingan.
Henry Hasian Lumbantoruan : Supervisi, Penulisan - Tinjauan dan Penyuntingan.
Muhammad Fadlan Siregar : Supervisi, Administrasi Proyek, Validasi, Penulisan - Tinjauan dan Penyuntingan
Afritha Amelia : Penulisan - Tinjauan dan Penyuntingan, Perolehan Pendanaan.
Seluruh penulis telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pelaksanaan penelitian, penyusunan naskah, serta telah membaca, meninjau, dan menyetujui versi akhir naskah untuk dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alfariski, M. R., Dhandi, M., & Kiswantono, A. (2022). Automatic Transfer Switch (ATS) Using Arduino Uno, IoT-Based Relay and Monitoring. *JTECS : Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem Dan Komputer*, *2*(1), 1-8.

Abdelghany, M. B., Al-Durra, A., & Gao, F. (2024). A Coordinated Optimal Operation of a Grid-Connected Wind-Solar Microgrid Incorporating Hybrid Energy Storage Management Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *15*(1), 39-51.

Abdulkareem, B. (2021). Design And Implementation Of An Automatic Transfer Switch For Design And Implementation Of An Automatic Transfer Switch For A Single Phase Power Generator. *International Journal of Inventions in Engineering & Science Technology*, *7*, 16-20.

Ardianto, F. (2022). Optimasi Perpindahan Daya pada Automatic Transfer Switch Menggunakan Sensor Tegangan Berbasis Mikrokontroler . *Jurnal Teknik Energi*, *12*(1), 674-685.

Ahammed, M. T., Das, C., Oion, S. R., Ghosh, S., & Afroj, M. (2022). Design and Implementation of Programmable Logic Controller Based Automatic Transfer Switch. *Journal of Artificial Intelligence, Machine Learning and Neural Network*, *2* (2), 8-18.

Al-Ghussain, L., Ahmad, A. D., Abubaker, A. M., & Hassan, M. A. (2024). A country-scale green energy-water-hydrogen nexus: Jordan as a case study. *Solar Energy*, *269*. 1-14.

Altayf, A. A., Mayouf, O. M., & Shanab, W. A.-T. (2024). Optimal Sizing of Renewable Autonomous Hybrid system based on Costs using Grey Wolf Optimization. *International Science and Technology Journal*, *27*(1), 1-20.

Apriani, Y., Dipociala, D., Saleh, Z., & Oktaviani, W. (2023). Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Sensor Tegangan Baterai Untuk PLTS. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, *17*(1), 44-51.

Basoene, S., Idoniboyeobu, P. D. C., & Braide, E. S. L. (2022). Design and Implementation of a Three Phase Automatic Transfer Switch Using Relays as Phase Failure Protection. *International Journal of Innovative Scientific & Engineering Technologies Research*, *10*(2), 55–71.

Hidayat, M. N., Wijaya, W. S., & Putri, R. I. (2024). Automatic transfer switch for DC system application. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, *15*(1), 386–394.

Hoke, A., Boemer, J. C., Badrzadeh, B., Macdowell, J., Kurthakoti, D., Marszalkowski, B., & Meuser, M. (2024). Foundations for the Future Power System: Inverter-Based Resource Interconnection Standards. *IEEE Power and Energy Magazine*, *22*(2), 42-54.

Oderinde, D. M., Afolayan, M. O., Yawas, D. S., & Samuel, B. O. (2023). Design and Construction of a Smart Bluetooth Based Automatic Transfer Switch Changeover for Small Household Generators. *Jurnal Mekanikal 1*, 191–205.

Sadi, S., & Mulyati, S. (2019). Ats (Automatic Transfer Switch) Berbasis Programmablle Logic Controller Cpm1a Automatic Transfer Switch (ATS) based on programmablle logic controller CPM1A. *Jurnal Teknik*, *8*(1), 84-89.

Sandilya, R. R. (2023). The economic and technical feasibility analysis for solar power plant. *International Journal of Research Culture Society 7*(31), 52–60.