

Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch Dengan PLTS Sebagai Sumber Cadangan Listrik Terprioritas Pada Sistem Aerasi Kolam Ikan

Pani Rosilawati^{1*}; Heru Abrianto²; Irmayani³

¹⁻²Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta

³Prodi Teknik Elektro, FSTT, ISTN, Jakarta

Email: Panirosilawati@gmail.com, heruab@gmail.com

Abstrak

Pemadaman listrik dari jaringan PLN yang terjadi secara berkala menjadi salah satu kendala utama dalam budidaya ikan karena dapat menghentikan proses aerasi, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta meningkatkan risiko kematian ikan secara massal. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* sebagai sumber cadangan listrik yang diprioritaskan untuk menjaga kontinuitas operasi sistem aerasi kolam ikan. Sistem yang dikembangkan terdiri atas panel surya 20 Wp, *Solar Charge Controller* (SCC) PWM 10 A, baterai 12 V 12 Ah, inverter 300 W, relay MK2P-I sebagai komponen pengalihan sumber daya, serta *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai sistem proteksi. Tahap perancangan diawali dengan simulasi menggunakan perangkat lunak SimuRelay untuk memvalidasi logika pengoperasian sebelum direalisasikan dalam bentuk prototipe. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ATS mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis dengan waktu transfer rata-rata sebesar 0,096 detik. Tegangan keluaran inverter berada pada kisaran 235–241 V AC dan tetap stabil selama pengoperasian. Selain itu, sistem mampu menyuplai beban aerator 20 W selama sekitar 5 jam. Pengujian juga menunjukkan bahwa relay dan sistem proteksi mampu menangani arus awal (*inrush current*) motor induksi tanpa menyebabkan gangguan atau trip pada MCB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem ATS berbasis PLTS *off-grid* dapat menjadi solusi cadangan listrik yang andal untuk menjaga keberlangsungan aerasi pada kolam ikan.

Kata Kunci: Automatic Transfer Switch (ATS), PLTS *off-grid*, sistem aerasi kolam ikan, energi surya, sistem cadangan listrik.

Abstract

Power outages from the utility grid frequently pose significant challenges in aquaculture, as they interrupt the aeration process, reduce dissolved oxygen levels, and increase the risk of mass fish mortality. This study aims to design and develop an Automatic Transfer Switch (ATS) system integrated with an off-grid photovoltaic (PV) system as the prioritized backup power source for fish pond aeration. The proposed system consists of a 20 Wp solar panel, a 10 A PWM Solar Charge Controller (SCC), a 12 V 12 Ah battery, a 300 W inverter, an MK2P-I relay as the main switching component, and a Miniature Circuit Breaker (MCB) for electrical protection. The system design was first validated through SimuRelay simulation before being implemented as a hardware prototype. Experimental results demonstrate that the ATS successfully performs automatic power source switching with an average transfer time of 0.096 seconds. The inverter provides a stable output voltage ranging from 235 to 241 V AC during operation. Furthermore, the backup system is capable of supplying a 20 W aerator load for approximately 5 hours. The relay and protection system also effectively withstand the induction motor's inrush current without triggering unwanted MCB trips. These findings indicate that the proposed ATS based on an off-grid PV system is a reliable backup power solution for maintaining continuous aeration in fish pond applications.

Keywords: Automatic Transfer Switch (ATS), Off-Grid Photovoltaic System, Fish Pond Aeration, Solar Energy, Backup Power System.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data terkini dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Kementerian ESDM, 2025) potensi energi surya di Indonesia mencapai lebih dari 3.295 GWp, namun kapasitas terpasang hingga tahun 2025 baru sekitar 0,47 GWp atau kurang dari 0,02%

dari total potensi nasional. Angka ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya di Indonesia masih sangat rendah, padahal intensitas radiasi matahari rata-rata harian mencapai 4–5,5 kWh/m² yang sangat ideal untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Menurut laporan International Renewable

Energy Agency (IRENA, 2024), kapasitas energi surya global meningkat lebih dari 30% dalam satu tahun terakhir, sementara Indonesia masih tertinggal di kawasan ASEAN dibandingkan Vietnam yang telah mencapai lebih dari 16 GWp kapasitas terpasang.

Dari sisi sektor perikanan, data Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP, 2025) menunjukkan bahwa lebih dari 70% usaha budidaya ikan air tawar di Indonesia masih mengandalkan pasokan listrik dari PLN tanpa sistem cadangan yang memadai. Frekuensi pemadaman listrik di sentra budidaya rata-rata mencapai 8–12 kali per bulan dengan durasi 30 menit hingga 2 jam per kejadian. Akibatnya, diperkirakan 15–20% kematian ikan massal setiap tahun disebabkan oleh kegagalan suplai oksigen selama pemadaman listrik, dengan dampak ekonomi mencapai lebih dari Rp250 miliar per tahun. Kelangsungan hidup ikan pada kolam budidaya sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut yang dihasilkan secara terus-menerus oleh sistem aerasi. Saat ini, sebagian besar sistem aerasi masih sangat bergantung pada suplai listrik dari jaringan PLN (Grid). Ketergantungan ini menimbulkan risiko tinggi; jika terjadi pemadaman listrik secara tiba-tiba, sistem aerasi akan berhenti berfungsi.

Sebagai solusi mitigasi, diperlukan sebuah sistem cadangan energi yang andal dan ramah lingkungan dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Ada berbagai cara untuk memanfaatkan energi matahari. Konsep "tenaga surya" mengacu pada proses mengonversi sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk keperluan manusia (Subarjo et al., 2020). Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pemanfaatan PLTS pada sistem aerasi kolam ikan, seperti (Arifin et al., 2022) yang merancang aerator berbasis panel surya 100 WP, serta Purnawan et al. (2025) yang mengaplikasikan PLTS pada sistem biofloc. Namun, penelitian tersebut umumnya belum mengintegrasikan mekanisme ATS otomatis yang memprioritaskan PLTS sebagai sumber cadangan utama khusus untuk beban aerator. Penelitian Koko et al. (2021) tentang ATS berbasis relay MK2P-I juga lebih bersifat umum dan belum difokuskan pada aplikasi aerasi kolam ikan.

Selain permasalahan kontinuitas suplai listrik, penggunaan generator set (genset) sebagai sumber cadangan pada sektor budidaya ikan juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain biaya operasional yang relatif tinggi, kebutuhan bahan bakar fosil secara terus-menerus, tingkat kebisingan yang cukup tinggi, serta emisi gas buang yang berdampak terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi cadangan yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan berkelanjutan.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu teknologi energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk diterapkan pada sektor perikanan. Sistem PLTS mampu menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari melalui proses fotovoltaik

tanpa menghasilkan polusi udara. Selain itu, biaya operasional PLTS relatif rendah karena sumber energinya berasal dari sinar matahari yang tersedia secara gratis dan melimpah di wilayah Indonesia.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang bekerja secara mandiri tanpa terhubung dengan jaringan listrik utama PLN. Sistem ini menggunakan energi matahari sebagai sumber utama pembangkitan listrik dan baterai sebagai media penyimpanan energi sehingga tetap dapat menyuplai daya listrik ketika malam hari ataupun saat terjadi gangguan pada sumber utama.

Energi listrik harian yang dapat dihasilkan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \times \eta \quad \dots \quad (1)$$

Dimana :

E = Energi listrik (Wh)

P = Daya panel surya (W)

t = Lama penyinaran efektif (jam)

η = Efisiensi (biasanya 0,7~0,8)

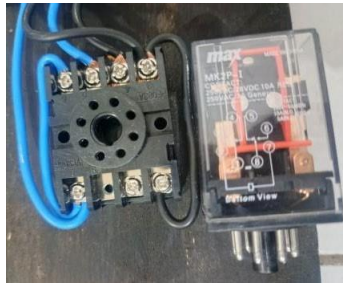
PLTS Off-Grid banyak digunakan pada daerah terpencil maupun pada sistem cadangan listrik yang membutuhkan kontinuitas suplai daya. Pada penelitian ini, sistem PLTS Off-Grid digunakan sebagai sumber listrik cadangan untuk menjaga operasional aerator kolam ikan ketika terjadi pemadaman listrik PLN.

2.2 Automatic Transfer Switch (ATS)

Automatic Transfer Switch (ATS) merupakan perangkat otomatis yang berfungsi memindahkan suplai daya dari sumber utama menuju sumber cadangan ketika terjadi kegagalan pada sumber utama. ATS bekerja dengan cara mendeteksi keberadaan tegangan pada sumber utama dan mengendalikan mekanisme switching secara otomatis. Penggunaan ATS dapat meningkatkan keandalan sistem kelistrikan serta mengurangi intervensi operator.

2.2 Relay MK2P-I

Relay MK2P-I merupakan relay elektromagnetik tipe DPDT (Double Pole Double Throw) yang banyak digunakan pada sistem kontrol industri (gambar 1). Relay ini memiliki dua kontak Normally Open (NO) dan dua kontak Normally Closed (NC). Pada penelitian ini relay MK2P-I digunakan sebagai komponen utama pengalih sumber listrik antara PLN dan inverter PLTS. Relay MK2P-I dipilih karena memiliki waktu respon yang cukup cepat untuk aplikasi beban motorik.



Gambar 1. Relay MK2P-I

Relay ini bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik; ketika koil mendapat tegangan dari PLN, kontak akan mengunci pada sumber utama. Saat tegangan hilang, pegas akan mengembalikan kontak ke posisi semula yang telah dihubungkan ke sumber cadangan (PLTS).

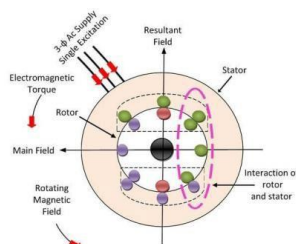
2.4 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika daya yang melakukan konversi daya DC ke AC. Kata “inverter” berasal dari istilah “invert” yang berarti membalik. Perangkat ini membalik arah arus listrik secara periodik sehingga menghasilkan gelombang bolak-balik. Inverter merupakan salah satu komponen paling penting dalam sistem PLTS Off-Grid. Inverter berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) yang disimpan dalam baterai menjadi arus listrik bolak-balik (AC) sesuai dengan standar yang dibutuhkan oleh peralatan listrik rumah tangga maupun industri, yaitu 220V/50Hz.

Pada sistem aerasi kolam ikan, inverter digunakan untuk mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC yang akan menyalakan motor aerator. Karena aerator menggunakan motor induksi, pemilihan jenis inverter sangat berpengaruh terhadap kinerja, umur motor, serta efisiensi keseluruhan sistem. *Inverter modified sine* yang digunakan menghasilkan *Output AC* sebesar 220V-240V.

2.5 Motor Induksi

Motor induksi adalah jenis motor listrik AC yang paling umum digunakan dalam sistem aerasi kolam ikan karena konstruksinya yang kuat dan perawatannya yang mudah (gambar 2). Motor ini bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus listrik pada rotor tidak diperoleh dari sumber eksternal, melainkan diinduksi oleh medan magnet putar pada stator.



Gambar 2. Motor induksi

Ketika kumparan stator diberi tegangan AC, akan timbul medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. Medan magnet ini memotong batang penghantar pada rotor, sehingga menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi. Perbedaan kecepatan antara medan putar stator dan putaran rotor disebut sebagai slip, yang memungkinkan terjadinya torsi untuk memutar kincir atau pompa aerator.

Arus inrush pada motor :

$$I_{start} = 5 \sim 7 \times I_{nom} \quad \dots \quad (2)$$

$$I_{nom} = \frac{P}{v} \quad \dots \quad (3)$$

Dimana : $I_{nom} = I_{nominal}$

2.6 Baterai

Baterai merupakan komponen penyimpanan energi listrik pada sistem PLTS. Energi listrik yang dihasilkan panel surya akan disimpan ke dalam baterai dan digunakan kembali ketika sumber utama mengalami gangguan. Pada penelitian ini digunakan baterai 12 V 12 Ah sebagai sumber energi cadangan untuk inverter dan sistem ATS.

Kapasitas energi baterai dapat dihitung menggunakan persamaan 4.

$$E = V \times Ah \times DoD \quad (4)$$

Keterangan:

E = Energi baterai (Wh)

P = Daya (Watt)

t = Waktu yang dibutuhkan (Jam)

V = Tegangan baterai (V)

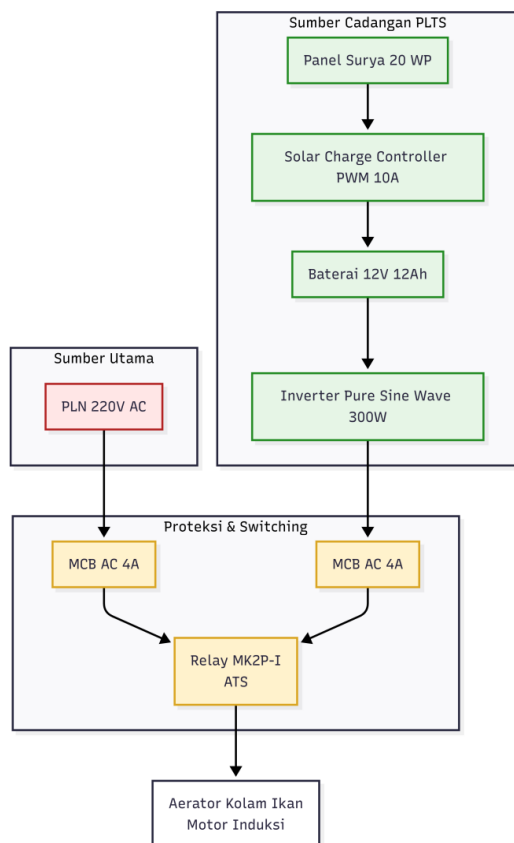
Ah = Kapasitas baterai (Ampere-hour)

DoD = *Depth of Discharge* (biasanya 50-80% untuk lead-acid)

3. METODE PENELITIAN

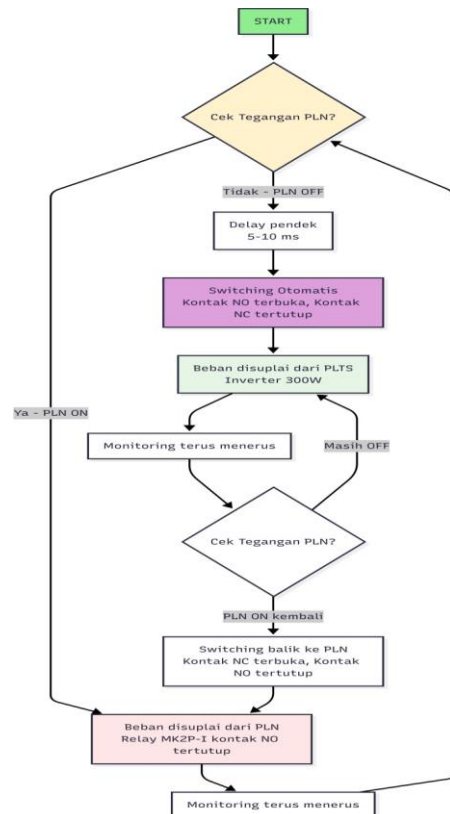
Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan rancang bangun (design and construction). Spesifikasi komponen utama yang diimplementasikan dalam prototipe ini meliputi panel surya 20 WP monokristalin, Solar Charge Controller PWM 10A, baterai Lead-Acid 12V 12Ah, inverter 300 Watt, dan relay elektromagnetik MK2P-I (220V AC coil). Berdasarkan perhitungan kebutuhan daya beban aerator sebesar 20 Watt dengan target backup selama 5 jam, kapasitas energi minimum yang diperlukan adalah 100 Wh. Melalui rumus kapasitas baterai ($E = V \times Ah \times DoD$) dengan batas *Depth of Discharge* (DoD) sebesar 80%, baterai 12V 12Ah yang digunakan memiliki kapasitas energi total sebesar 115,2 Wh, sehingga secara teoritis mencukupi untuk menyuplai beban aerator.

Blok diagram sistem ATS berbasis PLTS pada penelitian ini terdiri dari beberapa bagian utama yaitu panel surya, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, inverter, relay ATS, sumber PLN, dan beban aerator (gambar 3). Secara umum alur kerja sistem dimulai dari panel surya yang menangkap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik arus searah (DC). Energi listrik tersebut kemudian dialirkan menuju *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur proses pengisian baterai agar tetap aman dan stabil. Energi yang tersimpan pada baterai digunakan sebagai sumber cadangan ketika terjadi pemadaman listrik PLN.



Gambar 3. Diagram blok sistem ATS

Pada kondisi normal, beban aerator mendapatkan suplai listrik dari jaringan PLN. Relay ATS berada pada posisi Normally Open (NO) sehingga beban terhubung dengan sumber utama. Ketika terjadi pemadaman listrik PLN, coil relay kehilangan tegangan sehingga kontak relay berpindah menuju sumber cadangan dari inverter PLTS. Inverter berfungsi mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC 220 Volt yang digunakan untuk menyalakan motor aerator. Setelah listrik PLN kembali normal, relay ATS akan kembali aktif dan memindahkan beban menuju sumber utama secara otomatis.



Gambar 4. Diagram alir sistem ATS

Flowchart sistem (gambar 4) digunakan untuk menggambarkan alur kerja Automatic Transfer Switch (ATS) yang terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber cadangan listrik terprioritas pada sistem aerasi kolam ikan. Proses diawali ketika sistem mulai beroperasi dengan melakukan pemeriksaan terhadap ketersediaan tegangan dari jaringan PLN melalui relay ATS. Apabila tegangan PLN terdeteksi dalam kondisi normal, maka beban aerator akan memperoleh pasokan daya langsung dari PLN. Pada saat yang sama, panel surya tetap menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk mengisi baterai melalui Solar Charge Controller (SCC) sehingga kapasitas baterai tetap terjaga. Ketika terjadi pemadaman atau hilangnya tegangan PLN, relay ATS secara otomatis mengalihkan sumber daya ke inverter yang memperoleh suplai energi dari baterai hasil pengisian PLTS.

Selanjutnya, inverter akan menyuplai daya listrik ke aerator sehingga proses aerasi tetap berlangsung tanpa gangguan. Selama sistem beroperasi, ATS terus memantau kondisi jaringan PLN. Apabila tegangan PLN kembali normal, relay ATS secara otomatis mengembalikan sumber pasokan listrik ke PLN, sementara baterai kembali diisi oleh panel surya melalui SCC. Seluruh proses tersebut berlangsung secara otomatis dan berulang, sehingga kontinuitas suplai listrik pada sistem aerasi kolam ikan tetap terjaga serta risiko terganggunya kebutuhan oksigen bagi ikan akibat pemadaman listrik dapat diminimalkan.

3.1. Perhitungan Kapasitas Baterai

Sebelum perancangan sistem dilakukan, terlebih dahulu dihitung kebutuhan daya beban aerator. Perhitungan ini mengacu pada rumus kapasitas baterai (Koko et al., 2021).

$$\begin{aligned} E &= V \times Ah \times DoD \\ E &= 12 \times 12 \times 0,80 \\ E &= 115 \text{ Wh} \end{aligned}$$

3.2. Penentuan Batas Arus

Dengan mempertimbangkan arus pengasutan (inrush current) motor induksi yang mencapai 5–7 kali I_{nominal} (persamaan 2.4). Untuk aerator 20 Watt dengan $I_{\text{nominal}} \approx 0,1125 \text{ A}$, dipilih MCB AC 4A sebagai proteksi yang aman. Karena MCB tersedia dalam ukuran standar (2A, 4A, 6A, dst), maka dipilih MCB 4A. Ini memberikan margin yang cukup aman untuk menahan inrush current.

$$\begin{aligned} I_{\text{nominal}} &= \frac{P}{V} \\ I_{\text{nominal}} &= \frac{20}{220} \\ I_{\text{nominal}} &\approx 0,09 \text{ A} \end{aligned}$$

Kemudian:

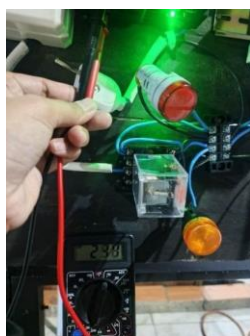
$$IMCB \geq 1,25 \times I_{\text{nominal}}$$

$$IMCB \geq 1,25 \times 0,09 \approx 0,1125 \text{ A}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Tegangan Keluaran Inverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kestabilan tegangan keluaran inverter saat menyuplai beban aerator dalam beberapa kondisi operasional.



Gambar 4. Output Inverter

Berdasarkan hasil pengujian pada tegangan keluaran inverter tanpa beban sebesar 241 Volt AC. Ketika diberikan beban aerator, tegangan sedikit menurun menjadi 237 Volt AC. Pada kondisi beban penuh tercatat 236 Volt AC, dan setelah beroperasi selama 1–2 jam menjadi 235 Volt AC. Rata-rata tegangan keluaran inverter adalah 237,25 Volt AC. Penurunan tegangan yang terjadi masih dalam batas toleransi standar SPLN ($\pm 10\%$ dari 220 V), sehingga

inverter mampu menyuplai beban aerator dengan baik seperti terlihat pada tabel. 1.

Penurunan tegangan yang terjadi disebabkan oleh berkurangnya kapasitas energi pada baterai seiring lamanya waktu pemakaian. Semakin lama inverter bekerja, maka tegangan terminal baterai akan mengalami penurunan sehingga berdampak terhadap tegangan keluaran inverter.

Meskipun terjadi penurunan tegangan, nilai tegangan keluaran inverter masih berada dalam rentang toleransi standar tegangan PLN berdasarkan SPLN, yaitu $\pm 10\%$ dari tegangan nominal 220 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa inverter yang digunakan masih

Kestabilan tegangan ini sangat penting karena motor induksi pada aerator memerlukan suplai tegangan yang relatif konstan agar dapat beroperasi secara optimal. Tegangan yang terlalu rendah dapat menyebabkan motor mengalami penurunan torsi dan peningkatan arus kerja yang berpotensi mempercepat kerusakan motor.

Tabel 1. Hasil pengujian Output inverter

Kondisi Pengujian	Tegangan Output (Volt AC)
Pengujian Tanpa Beban	241 V
Pengujian Dengan Beban	237 V
Kondisi Beban Penuh	236 V
Setelah Beroperasi 1-2 Jam	235 V

4.2. Pengujian Waktu Perpindahan (Transfer Time) ATS

Pengujian kecepatan perpindahan daya dilakukan beberapa kali pengulangan untuk menguji keandalan relay MK2P-I saat melakukan simulasi kondisi pemadaman listrik PLN.

Tabel 2 Hasil pengujian waktu transfer

Uji Coba Ke-	Waktu Transfer (Detik)
1	0,083 s
2	0,102 s
3	0,087 s
4	0,115 s
5	0,095 s

Waktu perpindahan rata-rata sebesar 0,0964 detik menunjukkan bahwa relay MK2P-I memiliki respon yang cepat dalam melakukan pengalihan sumber daya.

Nilai tersebut berada di bawah batas gangguan kritis motor induksi yaitu sekitar 0,2–0,5 detik sehingga proses perpindahan tidak menyebabkan motor aerator berhenti beroperasi.

4.3 Pengujian Arus Beban dan Lama Cadangan Baterai

Pengujian arus beban dilakukan untuk mengetahui besarnya arus yang dikonsumsi oleh sistem aerator ketika menggunakan sumber listrik dari PLN dan ketika menggunakan sumber cadangan dari PLTS melalui inverter. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa arus beban sebesar 0,087 A saat sistem disuplai oleh PLN dan 0,084 A saat disuplai oleh inverter PLTS. Perbedaan arus yang sangat kecil, yaitu 0,003 A, menunjukkan bahwa karakteristik keluaran inverter mampu menghasilkan suplai daya yang hampir setara dengan sumber listrik PLN. Hal ini mengindikasikan bahwa proses perpindahan sumber daya menggunakan Automatic Transfer Switch (ATS) berlangsung dengan baik tanpa menyebabkan perubahan yang signifikan terhadap konsumsi arus beban.

Kapasitas energi baterai dihitung menggunakan Persamaan (4), yaitu:

$$E = 12 \times 12 \times 0,8 = 115 \text{ Wh}$$

Dengan beban 20 Watt, maka estimasi waktu operasi baterai adalah :

$$t = \frac{E}{P}$$

$$t = \frac{115}{20} = 5,76 \text{ Jam}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai beban aerator berdaya 20 W selama sekitar 5,76 jam pada kondisi ideal. Pada implementasi sebenarnya, waktu operasi dapat lebih pendek karena dipengaruhi oleh efisiensi inverter, rugi-rugi konversi daya, kondisi kesehatan baterai (*State of Health*), suhu lingkungan, serta fluktuasi daya beban selama sistem beroperasi. Oleh karena itu, waktu cadangan yang diperoleh dari hasil perhitungan merupakan estimasi teoritis yang dapat berbeda dengan hasil pengujian di lapangan.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem ATS berbasis PLTS mampu menjaga kontinuitas suplai listrik ke aerator selama terjadi pemadaman jaringan PLN. Perbedaan arus yang sangat kecil antara suplai PLN dan inverter menunjukkan bahwa kualitas penyaluran daya dari inverter cukup baik sehingga tidak memengaruhi kinerja beban secara signifikan. Kondisi tersebut menjadi indikator bahwa proses perpindahan sumber listrik berlangsung secara stabil tanpa menyebabkan gangguan pada pengoperasian aerator.

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian mengenai implementasi ATS berbasis PLTS yang menyatakan bahwa integrasi baterai, inverter, dan ATS mampu meningkatkan keandalan sistem catu daya pada beban kritis. Pada sistem cadangan berbasis energi

surya, baterai berfungsi sebagai penyimpan energi yang akan dimanfaatkan ketika sumber utama mengalami gangguan, sedangkan ATS memastikan perpindahan sumber listrik berlangsung secara otomatis dengan waktu perpindahan yang relatif singkat. Dengan demikian, penerapan ATS berbasis PLTS pada sistem aerasi kolam ikan dapat menjadi solusi yang efektif untuk mempertahankan kontinuitas proses aerasi, mengurangi risiko penurunan kadar oksigen terlarut akibat pemadaman listrik, serta mendukung keberlangsungan budidaya ikan secara lebih andal dan efisien.

Tabel 3. Hasil pengujian arus beban

No	Perangkat	Kondisi Pengujian	Arus (Ampere)
1.		Menggunakan PLN	0,087 A
2.		Menggunakan PLTS	0.084 A

Pengujian durasi cadangan baterai 12V 12Ah menunjukkan performa aktual konstan selama ± 5 jam sebelum mencapai ambang batas minimum pengosongan baterai.

Tabel 4. Lama back up baterai

No	Kapasitas Baterai	Daya Beban	Lama Operasi
1.	12V 12Ah	20 Watt	$\pm 5 \text{ jam}$

4.4. Pembahasan

Pada pengujian tegangan keluaran inverter, diperoleh nilai rata-rata 237,25 Volt AC dengan rentang antara 235–241 Volt AC. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi standar tegangan PLN menurut SPLN

($\pm 10\%$ dari 220 V). Penurunan tegangan yang terjadi seiring bertambahnya waktu operasi disebabkan oleh penurunan tegangan terminal baterai, namun tidak memengaruhi kinerja motor aerator secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa inverter 300 Watt yang digunakan memiliki kestabilan yang cukup baik untuk beban induktif.

Pengujian waktu perpindahan (transfer time) ATS menunjukkan rata-rata 0,096 detik (96 ms). Waktu perpindahan ini sangat cepat dan berada di bawah batas toleransi gangguan pada motor induksi (umumnya 0,2–0,5 detik). Dengan demikian, motor aerator tidak mengalami gangguan putaran saat terjadi pemadaman PLN. Hasil ini sejalan dengan penelitian Koko et al. (2021) yang menggunakan relay MK2P-I dengan waktu transfer sekitar 87 ms.

Pada pengujian arus beban, terdapat selisih arus yang sangat kecil antara suplai PLN (0,087 A) dan PLTS (0,084 A). Selisih ini menandakan bahwa kualitas daya yang dihasilkan inverter mendekati kualitas daya dari jaringan PLN. Lonjakan arus starting (inrush current) berhasil ditangani dengan baik oleh relay MK2P-I dan MCB 4A tanpa menyebabkan trip proteksi.

Sistem PLTS mampu memberikan waktu backup selama kurang lebih 5 jam pada beban aerator. Hasil ini sesuai dengan perhitungan teoritis dengan mempertimbangkan Depth of Discharge (DoD) baterai lead-acid sekitar 80% serta efisiensi inverter. Perbedaan kecil antara hasil teoritis dan aktual disebabkan oleh rugi-rugi daya pada inverter dan kabel.

Secara keseluruhan, penggunaan relay MK2P-I sebagai komponen switching utama terbukti efektif dan efisien dibandingkan sistem UPS konvensional yang mengalami rugi daya akibat konversi ganda. Sistem ATS berbasis PLTS yang dirancang memiliki beberapa keunggulan, yaitu: waktu perpindahan yang cepat, efisiensi energi yang tinggi, ramah lingkungan, serta mampu menjaga kontinuitas suplai oksigen pada kolam ikan. Penelitian ini berhasil mengisi research gap dengan mengintegrasikan ATS otomatis khusus untuk beban aerator kolam ikan.

5. KESIMPULAN

Sistem ATS berbasis PLTS berhasil dirancang dan diimplementasikan secara andal untuk mengamankan suplai daya aerasi kolam ikan. Dengan rata-rata waktu transfer otomatis sebesar 0,0964 detik dan keluaran tegangan inverter stabil pada rata-rata 237,25 V AC, sistem ini mampu mengeliminasi risiko kegagalan aerasi akibat pemadaman grid PLN. Baterai prototipe mampu mem-backup sistem secara kontinu selama ± 5 jam, menjadikannya solusi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan bagi pembudidaya ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, et al. (2022). Pemanfaatan energi surya sebagai energi alternatif aerator untuk meningkatkan kualitas air kolam ikan hias. *Jurnal USM*, 8(2), 45–53.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI IEC 60364-5-53:2020 Instalasi listrik tegangan rendah – Bagian 5-53: Pemilihan dan pemasangan perlengkapan listrik – Peralatan pemutus, pengendalian, dan proteksi*. Badan Standardisasi Nasional.
- Becquerel, M. E. (1839). Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, 9, 561–567.
- Buresh, M. (1983). *Photovoltaic energy systems: Design and installation*. McGraw-Hill.
- International Renewable Energy Agency. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2022*. International Renewable Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency. (2023). *Renewable Energy Statistics 2023*. International Renewable Energy Agency.
- International Renewable Energy Agency. (2024). *Renewable capacity statistics 2024*. IRENA. <https://www.irena.org/Publications>
- International Energy Agency. (2024). *Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030*. International Energy Agency.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 60364-7-712: Low-voltage electrical installations – Part 7-712: Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems*. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *IEC 62116: Utility-interconnected photovoltaic inverters – Test procedure of islanding prevention measures* (2nd ed.). IEC.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2025). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2025*. Kementerian ESDM Republik Indonesia.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024). *Statistik ketenagalistrikan Indonesia 2024*. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). *Statistik perikanan budidaya Indonesia 2025*. KKP Republik Indonesia.
- Hossain, M. S., Rahman, M. M., & Islam, M. A. (2022). Design and performance analysis of an off-grid photovoltaic system for rural electrification. *International Journal of Renewable Energy Research*, 12(3), 1342–1351.

-
- J Koko, et al (2021). Design of solar power plants with hybrid systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 12(4), 102–110.
- Kumar, R., Singh, A., & Sharma, P. (2023). Automatic transfer switch design for reliable renewable energy-based backup power systems. *Journal of Electrical Systems*, 19(2), 256–268.
- Purnawan, H., Nugroho, A., & Saputra, R. (2024). Aplikasi pembangkit listrik tenaga surya pada sistem biofloc untuk budidaya ikan. *Jurnal Teknik Energi*, 14(1), 25–33.
- Rahman, M. A., Hasan, M. K., & Islam, S. (2021). Performance evaluation of battery-supported photovoltaic systems for uninterrupted power supply applications. *Energy Reports*, 7, 7568–7578.
- Samsurizal, et al. (2018). Analisis pengaruh sudut kemiringan terhadap arus keluaran pada photovoltaic dengan menggunakan regrestion quadratic method. *Energi dan Kelistrikan*, 10(2), 137-144.
- Standar Nasional Indonesia. (2003). *SNI 04-0225-2000: Persyaratan umum instalasi listrik (PUIL 2000)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Subarjo, et al (2020). Peningkatan Pengetahuan Pemanfaatan Energi Matahari Untuk Mendukung Ketahanan Energi Pada Kelompok Pemuda Di Sendang Tirto Berbah Sleman. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, 3(2), 55–62.
- Syafii, et al (2024). Enhancing electric vehicle charging stations with solar PV and ATS system using MK2P-I relay. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 15(1), 88–97
- Zhang, Y., Li, H., & Wang, X. (2024). Reliability assessment of photovoltaic battery backup systems for critical electrical loads. *Renewable Energy*, 226, 120772.
- Wahyudi, A., Prasetyo, B., & Hidayat, T. (2023). Implementasi sistem PLTS *off-grid* sebagai cadu daya cadangan pada beban prioritas. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 15(2), 98–108.