

IMPLEMENTASI PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER CADANGAN DAYA PADA SISTEM MITIGASI BANJIR

Alivian Satria Nugraha¹, Solekhan²

^{1,2}Universitas Muria Kudus; Jl. Lkr. Utara, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Kec. Bae, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59327

Keywords:

Panel surya; Sistem cadangan daya; ESP32; Mitigasi banjir; Monitoring kelistrikan.

Correspondent Email:

aliviansatria123@gmail.com

Abstrak. Kontinuitas pasokan energi listrik menjadi tantangan utama bagi perangkat mitigasi banjir, karena jaringan listrik konvensional rentan mengalami gangguan saat banjir terjadi. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pemanfaatan panel surya sebagai sumber cadangan daya pada sistem mitigasi banjir melalui perancangan sistem penyimpanan energi berbasis *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, dan *Automatic Transfer Switch* (ATS), dengan ESP32 sebagai pengendali utama. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat, serta pengujian sensor PZEM-004T, sensor tegangan, dan sensor arus ACS712 untuk memantau parameter kelistrikan. Hasil pengujian menunjukkan sensor PZEM-004T memiliki rata-rata akurasi 96,41%, sensor tegangan 99,61%, dan sensor ACS712 97,46%. Pengujian panel surya 30WP tanpa beban menghasilkan tegangan maksimum 22 V pada siang hari dengan rata-rata 10,46 V. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu menjaga keandalan operasional perangkat mitigasi banjir dengan memanfaatkan energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. A backup power supply based on solar panels was optimized to maintain the operational continuity of flood mitigation devices, since conventional electrical grids are prone to disruption during flood events. This study designed an energy storage system using a *Solar Charge Controller* (SCC), battery, and *Automatic Transfer Switch* (ATS), controlled by an ESP32 microcontroller. Testing involved a PZEM-004T sensor, voltage sensor, and ACS712 current sensor to monitor electrical parameters. Results showed average accuracies of 96.41% for the PZEM-004T sensor, 99.61% for the voltage sensor, and 97.46% for the ACS712 sensor. The 30WP solar panel produced a maximum unloaded voltage of 22 V at midday, averaging 10.46 V over 24 hours. These findings indicate that the designed system can reliably support flood mitigation devices using an efficient and sustainable renewable energy source.

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia dan memberikan dampak yang signifikan terhadap kehidupan masyarakat. Tingginya intensitas curah hujan, perubahan tata guna lahan, berkurangnya daerah resapan air, serta kapasitas drainase yang tidak memadai menjadi faktor utama penyebab meningkatnya kejadian banjir di berbagai wilayah [1]. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa

kerusakan infrastruktur dan kerugian ekonomi, tetapi juga mengganggu aktivitas masyarakat serta menghambat operasional berbagai fasilitas pendukung penanggulangan bencana [2].

Dalam upaya mengurangi risiko banjir, berbagai perangkat mitigasi seperti sistem peringatan dini, sensor ketinggian muka air, sirine, dan perangkat komunikasi memerlukan pasokan energi listrik yang stabil agar dapat beroperasi secara berkelanjutan [3]. Namun, pada saat terjadi banjir, jaringan listrik

konvensional sering mengalami gangguan akibat kerusakan infrastruktur distribusi maupun pemadaman listrik yang dilakukan untuk menghindari risiko korsleting dan kecelakaan kelistrikan. Kondisi tersebut menyebabkan perangkat mitigasi berpotensi berhenti beroperasi pada saat paling dibutuhkan, sehingga efektivitas sistem mitigasi banjir menjadi berkurang.

Salah satu alternatif untuk menjaga kontinuitas pasokan energi listrik adalah memanfaatkan sumber energi terbarukan berupa panel surya sebagai sistem pencadangan daya [4]. Panel surya mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang kemudian disimpan pada baterai untuk digunakan ketika sumber listrik utama tidak tersedia. Selain bersifat ramah lingkungan, sistem ini juga dapat dioperasikan secara mandiri sehingga tidak sepenuhnya bergantung pada jaringan listrik konvensional [5]. Pemanfaatan panel surya sebagai sumber cadangan daya diharapkan mampu meningkatkan keandalan operasional perangkat mitigasi banjir, khususnya pada kondisi darurat.

Sistem pencadangan daya dapat bekerja secara optimal, diperlukan perancangan yang memperhatikan kapasitas panel surya, media penyimpanan energi, serta mekanisme perpindahan sumber daya secara otomatis. Selain itu, pemantauan parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi menjadi aspek penting untuk mengevaluasi kinerja sistem serta memastikan pasokan energi yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan beban perangkat mitigasi banjir [6].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi alternatif maupun sistem cadangan daya pada berbagai aplikasi. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada kebutuhan energi bangunan atau rumah tangga, sedangkan penerapannya pada sistem mitigasi banjir masih relatif terbatas. [7] Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih spesifik mengenai optimalisasi pemanfaatan panel surya sebagai sumber cadangan daya yang mampu menjaga kontinuitas operasional perangkat mitigasi banjir dalam berbagai kondisi lingkungan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pemanfaatan panel surya sebagai sumber cadangan daya pada perangkat mitigasi banjir

melalui perancangan sistem penyimpanan energi, mekanisme perpindahan sumber daya secara otomatis, serta evaluasi kinerja berdasarkan parameter kelistrikan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif solusi dalam meningkatkan keandalan sistem mitigasi banjir dengan memanfaatkan energi terbarukan yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Panel Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan



Gambar 2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan perangkat yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Energi listrik yang dihasilkan berupa arus searah (DC) dan dapat dimanfaatkan secara langsung maupun disimpan pada media penyimpanan energi untuk digunakan sesuai kebutuhan. Pemanfaatan panel surya semakin berkembang karena termasuk sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, mudah diimplementasikan, serta mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi berbasis bahan bakar fosil [8].

Kinerja panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain intensitas penyinaran matahari, suhu lingkungan, sudut kemiringan panel, serta kondisi cuaca. Pada kondisi penyinaran optimal, panel surya mampu menghasilkan daya maksimum sesuai kapasitas nominalnya, sedangkan pada kondisi mendung atau hujan daya yang dihasilkan akan menurun. Oleh karena itu, sistem panel surya umumnya dipadukan dengan baterai sebagai media penyimpanan energi sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjaga

2.2. Sistem Pencadangan Daya Berbasis Panel Surya

Sistem pencadangan daya (*backup power system*) merupakan sistem yang dirancang untuk menyediakan sumber energi alternatif ketika sumber listrik utama mengalami gangguan atau pemadaman [9]. Pada sistem berbasis panel surya, energi yang dihasilkan panel akan disimpan ke dalam baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC). Selanjutnya, energi yang tersimpan dapat digunakan untuk menyuplai beban ketika sumber listrik utama tidak tersedia [10].

Komponen utama sistem pencadangan daya meliputi panel surya sebagai pembangkit energi, Solar Charge Controller sebagai pengatur proses pengisian baterai, baterai sebagai media penyimpanan energi, serta *Automatic Transfer Switch* (ATS) yang berfungsi mengalihkan sumber daya secara otomatis. Integrasi komponen tersebut mampu meningkatkan keandalan sistem dalam menyediakan pasokan energi secara berkesinambungan sehingga perangkat tetap dapat beroperasi pada kondisi darurat [11].

2.3. Monitoring Parameter Kelistrikan

Monitoring parameter kelistrikan merupakan proses pengukuran kondisi sistem tenaga listrik secara berkala untuk mengetahui performa dan efisiensi operasional. Parameter yang umum diamati meliputi tegangan, arus, daya, serta energi listrik. Data hasil pengukuran digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem pencadangan daya dan memastikan bahwa energi yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan beban [12].

Pengukuran parameter kelistrikan juga berperan dalam mendeteksi penurunan performa sistem akibat perubahan kondisi lingkungan maupun penurunan kapasitas komponen. Dengan melakukan monitoring secara berkala, kondisi operasional sistem dapat dievaluasi sehingga tindakan pemeliharaan dapat dilakukan lebih dini untuk menjaga keandalan sistem [13].

2.4. Sistem Mitigasi Banjir

Perangkat mitigasi banjir merupakan peralatan yang digunakan untuk mendukung upaya pengurangan risiko bencana melalui pemantauan kondisi lingkungan serta

penyampaian informasi kepada masyarakat. Keandalan perangkat tersebut sangat dipengaruhi oleh kontinuitas pasokan energi listrik karena sebagian besar peralatan harus beroperasi secara terus-menerus, terutama pada saat terjadi peningkatan debit air.

Gangguan terhadap pasokan listrik dapat menyebabkan perangkat mitigasi tidak berfungsi secara optimal sehingga informasi mengenai potensi banjir terlambat diperoleh. Oleh karena itu, diperlukan sistem pencadangan daya yang mampu mempertahankan operasional perangkat selama terjadi gangguan pada jaringan listrik utama.

2.5. Esp 32

ESP32 merupakan mikrokontroler 32-bit yang memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi dengan konsumsi daya yang relatif rendah. Mikrokontroler ini menggunakan *prosesor dual-core Xtensa LX6* dengan frekuensi kerja hingga 240 MHz serta dilengkapi berbagai pin input/output (I/O) yang mendukung integrasi dengan beragam sensor dan perangkat elektronik. Karakteristik tersebut menjadikan ESP32 banyak digunakan sebagai pengendali utama pada sistem otomatis karena mampu menjalankan proses akuisisi data dan pengendalian perangkat secara cepat, stabil, dan efisien [14].

Pada penelitian ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem pencadangan daya untuk perangkat mitigasi banjir. Mikrokontroler ini menerima data dari sensor PZEM-004T, sensor tegangan, dan sensor arus ACS712 untuk memantau kondisi kelistrikan, kemudian mengolah data tersebut sebagai dasar pengendalian relay, lampu indikator, dan sirine sesuai kondisi operasional sistem. Dengan kemampuan pemrosesan yang baik serta kompatibilitas terhadap berbagai perangkat pendukung, ESP32 mampu mendukung pengoperasian sistem pencadangan daya secara otomatis sehingga kontinuitas pasokan energi pada perangkat mitigasi banjir dapat terjaga.

3. METODE PENELITIAN

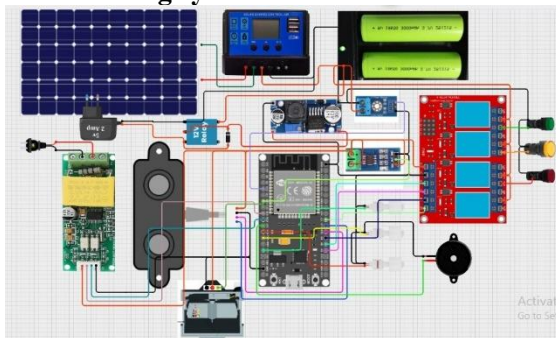
Metode penelitian merupakan tahapan yang digunakan sebagai pedoman dalam proses perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem pencadangan daya berbasis panel surya pada

perangkat mitigasi banjir. Tahapan penelitian disusun secara sistematis agar setiap proses yang dilakukan dapat menghasilkan sistem yang sesuai dengan tujuan penelitian. Metode yang diterapkan meliputi studi literatur, perancangan sistem, implementasi perangkat, serta pengujian dan analisis kinerja untuk mengetahui efektivitas panel surya sebagai sumber cadangan daya dalam menjaga kontinuitas operasional perangkat mitigasi banjir.

3.1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan dengan mengintegrasikan panel surya sebagai sumber energi utama pengisian baterai, *Solar Charge Controller* (SCC) sebagai pengatur proses pengisian, baterai sebagai media penyimpanan energi, serta *Automatic Transfer Switch* (ATS) sebagai pengalih sumber daya secara otomatis [15]. Energi yang tersimpan pada baterai digunakan sebagai sumber cadangan ketika pasokan listrik utama mengalami gangguan sehingga perangkat mitigasi banjir tetap dapat beroperasi. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang memproses data hasil pengukuran sensor dan mengendalikan perangkat keluaran sesuai kondisi sistem.

3.2. Wiring system



Gambar 3.2 Wiring Sistem

Pada gambar 3.2 menunjukkan wiring diagram sistem pencadangan daya pada perangkat mitigasi banjir yang memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi alternatif. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya terlebih dahulu diatur oleh *Solar Charge Controller* (SCC) sebelum disimpan pada baterai sebagai media penyimpanan energi. Selanjutnya, energi dari baterai didistribusikan ke rangkaian melalui modul DC-DC step-down untuk menyesuaikan

kebutuhan tegangan setiap komponen. Sistem juga dilengkapi dengan adaptor AC-DC sebagai sumber daya utama, sedangkan *Automatic Transfer Switch* (ATS) berfungsi mengalihkan sumber daya secara otomatis antara jaringan listrik utama dan baterai ketika terjadi gangguan pasokan listrik. ESP32 berperan sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor PZEM-004T, sensor tegangan, dan sensor arus ACS712 untuk memantau kondisi kelistrikan sistem. Berdasarkan hasil pembacaan sensor, ESP32 mengendalikan modul relay 4 kanal, lampu indikator, serta sirine sebagai perangkat keluaran sehingga sistem mampu mempertahankan kontinuitas pasokan daya dan memastikan perangkat mitigasi banjir tetap beroperasi secara optimal selama terjadi pemadaman listrik

3.3. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa setiap komponen dan keseluruhan sistem pencadangan daya. Pengujian sensor PZEM-004T dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan terhadap wattmeter sebagai alat referensi, sedangkan sensor tegangan dan sensor arus ACS712 dibandingkan dengan multimeter digital. Selain itu, dilakukan pengujian keluaran panel surya pada kondisi cuaca cerah dan mendung untuk mengetahui karakteristik tegangan yang dihasilkan. Selanjutnya dilakukan pengujian mekanisme perpindahan sumber daya menggunakan ATS serta pengukuran konsumsi daya perangkat guna mengetahui kemampuan sistem dalam menyediakan pasokan energi secara berkelanjutan. Data hasil pengujian kemudian dianalisis berdasarkan nilai error, akurasi, serta kinerja sistem secara keseluruhan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

pengujian sistem pencadangan daya berbasis panel surya yang dikembangkan untuk mendukung operasional perangkat mitigasi banjir. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja setiap komponen sistem, meliputi akurasi sensor dalam memantau parameter kelistrikan, karakteristik keluaran panel surya, serta kemampuan sistem dalam menyediakan sumber daya cadangan ketika pasokan listrik utama mengalami gangguan.

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui efektivitas pemanfaatan panel surya sebagai sumber cadangan daya serta keandalan sistem dalam menjaga kontinuitas operasional perangkat mitigasi banjir.

4.1. Hasil Pembuatan Alat

Hasil desain alat ini memanfaatkan panel surya 30WP, yang dilengkapi dengan pengendali menggunakan sensor PZEM004T untuk mengukur daya pada alat mitigasi banjir, serta sensor ACS712 untuk memantau arus yang dihasilkan oleh panel surya. Selain itu Terdapat ATS yang berfungsi untuk melakukan perpindahan sumber daya listrik secara otomatis antara sumber utama dan sumber cadangan.



Perangkat ini juga dilengkapi dengan adaptor ac ke dc yang memberikan tegangan kepada pengendali utama yaitu ESP32, sensor PZEM004T, sensor ACS712, sensor tegangan dan ATS yang berfungsi mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) dari jaringan listrik PLN menjadi DC (*Direct Current*) yang dibutuhkan oleh perangkat elektronik. Selain itu, baterai juga digunakan sebagai penyimpanan sementara energi

4.2. Pengujian Sensor PZEM-004T

Dalam pengujian sensor PZEM-004t dilakukan dengan cara membandingkan nilai besaran Tegangan, Arus dan Daya listrik arus bolak-balik pada alat ukur. Alat ukur yang digunakan adalah *Wattmeter*. Besaran Tegangan, Arus dan Daya listrik arus bolak-balik diukur dengan menggunakan alat ukur *Wattmeter*. Nilai Tegangan dan Arus sensor PZEM-004T dibandingkan dengan *Wattmeter* digital agar diketahui nilai error dan akurasi

Tabel 4.2 Pengujian Sensor PZEM-004T

Uji co ba	Nilai Tegangan Wattmete r (V)	Nilai Tegangan PZEM- 004T (V)	Error %	Akura si%
1	232.1	214.2	7.71	92.29
2	231.2	215.3	6.88	93.00
3	231.3	215.1	7.00	93.00
4	231.9	214.5	7.00	92.50
5	2234.4	234.9	7.50	99.79
6	24.41	24.68	1.11	98.89
7	24.39	24.68	1.19	98.81
8	24.43	24.69	1.06	98.94
9	24.43	24.70	1.11	98.89
10	24.43	24.67	0.98	99.02
	Rata-Rata	-	4.15	96.41

menunjukkan hasil pengujian sensor PZEM-004T pada bagian hulu dengan membandingkan nilai tegangan yang diukur oleh sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur tegangan. Pada pengujian pertama, nilai tegangan yang diukur menggunakan multimeter sebesar 232,1 V, sedangkan sensor PZEM-004T membaca tegangan sebesar 214,2 V.

Penghitungan *Error*:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left(\frac{232.1 - 214.2}{232.1} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{17.9}{232.1} \right) \\ &= 7.71\% \end{aligned}$$

Perhitungan Akurasi:

$$\begin{aligned} \overline{\text{Akurasi}} &= 100\% - 7.71\% \\ &= 92.29\% \end{aligned}$$

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, nilai *error* yang diperoleh berada pada rentang 0,98% hingga 7,71%, sedangkan nilai akurasi berada pada rentang 92,29% hingga 99,79%. Rata-rata *error* yang dihasilkan sensor PZEM-004T sebesar 4,15%, dengan rata-rata akurasi sebesar 96,41%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor

memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik dalam mengukur tegangan dan mampu menghasilkan data yang mendekati hasil pengukuran multimeter, sehingga layak digunakan sebagai perangkat monitoring pada sistem mitigasi banjir yang dikembangkan

4.3. Pengujian Sensor Voltage

Tabel 4.3 Pengujian Sensor Voltage

Uji coba	Tegangan (V)	Tegangan Sensor (V)	Error %	Akurasi%
1	13.26	13.21	0.37	99.62
2	13.26	13.21	0.37	99.62
3	13.25	13.19	0.45	99.54
4	13.26	13.21	0.37	99.62
5	13.25	13.21	0.30	99.69
6	13.24	13.19	0.37	99.62
7	13.24	13.19	0.37	99.62
8	13.25	13.19	0.45	99.54
9	13.24	13.19	0.37	99.62
10	13.23	13.18	0.37	99.62
	Rata-Rata	-	0.39	99.61

Dari tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan (Voltage Sensor) pada bagian hulu dengan membandingkan nilai tegangan yang diukur oleh sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur tegangan. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai tegangan yang dibaca sensor berada pada rentang 13,18 V hingga 13,21 V, sedangkan hasil pengukuran multimeter berada pada rentang 13,23 V hingga 13,26 V. Perbedaan hasil pengukuran antara kedua alat relatif kecil, yang menunjukkan bahwa sensor mampu melakukan pengukuran tegangan dengan baik

Perhitungan Error:

$$\begin{aligned}
 \text{Error} &= \left(\frac{13.26 - 13.21}{13.26} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0.05}{13.26} \right) \times 100\% \\
 &= 0.00377\% \times 100\% \\
 &= 0.38\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan Akurasi:

$$\begin{aligned}
 \text{Akurasi} &= 100\% - 0.38\% \\
 &= 99.62\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, nilai error yang diperoleh berada pada rentang 0,30% hingga 0,45%, sedangkan nilai akurasi berada pada rentang 99,54% hingga 99,69%. Rata-rata error yang dihasilkan sensor tegangan sebesar 0,39%, dengan rata-rata akurasi sebesar 99,61%. Nilai *error* yang sangat kecil dan akurasi yang mendekati 100% menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki tingkat ketelitian yang sangat baik dalam mengukur tegangan. Oleh karena itu, sensor ini layak digunakan sebagai perangkat monitoring tegangan pada sistem yang dikembangkan karena mampu menghasilkan data yang sangat mendekati hasil pengukuran multimeter.

4.4. Pengujian Sensor ACS712

Tabel 4.4 Pengujian Sensor Voltage

Uji coba	Nilai Arus Multimeter (A)	Nilai Arus Sensor ACS712 (A)	Error %	Akurasi%
1	0.122	0.115	5.73	94.26
2	0.122	0.119	2.45	97.54
3	0.122	0.118	3.27	96.72
4	0.125	0.121	3.20	96.80
5	0.129	0.127	1.55	98.45
6	0.129	0.127	1.55	98.45
7	0.129	0.126	2.32	97.67
8	0.129	0.127	1.55	98.45
9	0.133	0.132	0.75	99.24
10	0.133	0.129	3.00	96.99
	Rata-Rata	-	2.54	97.46

Dari tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian sensor arus ACS712 pada bagian hulu dengan membandingkan nilai arus yang diukur oleh sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai alat referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur arus listrik. Berdasarkan data

yang diperoleh, nilai arus yang dibaca oleh sensor ACS712 berada pada rentang 0,115 A hingga 0,132 A, sedangkan hasil pengukuran multimeter berada pada rentang 0,122 A hingga 0,133 A. Selisih pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor ACS712 mampu mengukur arus dengan tingkat ketelitian yang cukup baik.

Perhitungan Error:

$$\begin{aligned}\text{Error} &= \left(\frac{0.122 - 0.115}{0.122} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0.007}{0.122} \right) \times 100\% \\ &= 0.05737\% \times 100\% \\ &= 5.73\%\end{aligned}$$

Perhitungan Akurasi:

$$\begin{aligned}\text{Akurasi} &= 100\% - 5.73\% \\ &= 94.26\%\end{aligned}$$

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, nilai *error* yang diperoleh berada pada rentang 0,75% hingga 5,73%, sedangkan nilai akurasi berada pada rentang 94,26% hingga 99,24%. Rata-rata *error* yang dihasilkan sensor ACS712 sebesar 2,54%, dengan rata-rata akurasi sebesar 97,46%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor ACS712 memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam mengukur arus listrik, ditunjukkan oleh nilai *error* yang relatif kecil dan nilai akurasi yang mendekati 100%. Oleh karena itu, sensor ACS712 layak digunakan sebagai perangkat monitoring arus pada sistem yang dikembangkan karena mampu menghasilkan data yang mendekati hasil pengukuran multimeter

4.5. Pengujian Panel Surya

Pengujian panel surya untuk mengetahui besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan dan arus pada pembacaan panel surya saat di beri beban dan tidak di beri beban pada kondisi cerah.

a. Pengujian Energi Panel Surya Tanpa Beban Kondisi Cerah

Tabel 4.5.1 Pengujian Energi Panel Surya Tanpa Beban Kondisi Cerah

Uji Coba	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
1	00:00	3	0
2	02:00	3	0
3	04:00	3	0
4	06:00	12	0
5	08:00	14	0
6	10:00	20	0
7	12:00	22	0
8	14:00	22	0
9	16:00	19	0
10	18:00	8	0
11	20:00	4	0
12	22:00	3	0
13	24:00	3	0
Rata-rata	-	10.46	0

Dari tabel 4.5.1 menunjukkan hasil pengujian panel surya pada bagian hulu tanpa beban dengan kondisi cuaca cerah selama 24 jam pengamatan. Pengukuran dilakukan setiap satu jam untuk mengetahui karakteristik tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya. Berdasarkan data yang diperoleh, tegangan panel surya mengalami peningkatan secara bertahap mulai dari 3 V pada pukul 00.00 hingga mencapai nilai maksimum sebesar 22 V pada pukul 12.00-14.00. Setelah itu, nilai tegangan mengalami penurunan secara bertahap hingga kembali mencapai 3 V pada pukul 23.00. Selama pengujian berlangsung, nilai arus yang terukur tetap sebesar 0 A karena panel surya diuji tanpa beban.

Rata Rata Tegangan:

$$\bar{V} = \frac{261362}{2413} = 10.46 \text{ V}$$

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata tegangan panel surya sebesar 10,46 V dan rata-rata arus sebesar 0 A. Tegangan tertinggi yang dihasilkan panel surya adalah 22 V pada rentang waktu pukul 12.00 hingga 14.00, sedangkan tegangan terendah sebesar 3 V terjadi pada malam hingga dini hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi cuaca cerah, panel surya mampu menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan kondisi mendung karena intensitas penyinaran matahari yang diterima panel surya lebih optimal.

b. Pengujian Energi Panel Surya Dengan Beban Kondisi Cerah

Tabel 4.5.2 Pengujian Energi Panel Surya Dengan Beban Kondisi Cerah

Uji Coba	Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)
1	00:00	3	0.967
2	02:00	3	0.967
3	04:00	5	0.580
4	06:00	12	0.242
5	08:00	17	0.171
6	10:00	18.9	0.153
7	12:00	18.9	0.153
8	14:00	18.1	0.160
9	16:00	15	0.193
10	18:00	10	0.290
11	20:00	3	0.967
12	22:00	3	0.967
13	24:00	3	0.967
Rata-rata	-	8.69	0.521

Dari tabel 4.5.2 menunjukkan hasil pengujian perubahan nilai tegangan dan arus pada sistem selama periode pengamatan 24 jam dengan interval pengukuran setiap 2 jam. Berdasarkan hasil pengujian, nilai tegangan mengalami perubahan sesuai dengan kondisi sumber daya yang digunakan. Pada pukul 00:00–02:00, tegangan berada pada nilai 3 V dengan arus sebesar 0,967 A. Tegangan kemudian meningkat menjadi 5 V pada pukul 04:00 dengan arus 0,580 A, dan terus meningkat hingga mencapai nilai tertinggi sebesar 18,9 V pada pukul 10:00 dan 12:00 dengan arus sebesar 0,153 A. Setelah itu, tegangan mulai menurun menjadi 18,1 V, 15 V, 10 V, dan kembali ke 3 V pada pukul 20:00–24:00. Dari seluruh data pengujian diperoleh rata-rata tegangan sebesar 8,69 V dan rata-rata arus sebesar 0,521 A.

Rata Rata Tegangan:

$$\bar{V} = \frac{113}{13} = 8.69 \text{ V}$$

Rata Rata Tegangan:

$$\bar{I} = \frac{6,777}{13} = 0.521 \text{ A}$$

Hasil pengujian menunjukkan adanya hubungan berbanding terbalik antara tegangan dan arus. Ketika nilai tegangan meningkat, arus yang mengalir cenderung menurun, sedangkan ketika tegangan menurun, nilai arus meningkat. Kondisi tersebut terlihat pada saat tegangan mencapai nilai maksimum sebesar 18,9 V, arus yang terukur merupakan nilai terendah, yaitu 0,153 A. Sebaliknya, ketika tegangan berada pada nilai minimum sebesar 3 V, arus yang mengalir mencapai 0,967 A. Pola ini menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil dengan menyesuaikan kebutuhan arus terhadap perubahan tegangan, sehingga kinerja sistem catu daya pada alat mitigasi banjir dapat dipantau dengan baik selama siklus pengujian.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pencadangan daya berbasis panel surya yang dirancang mampu meningkatkan keandalan operasional perangkat mitigasi banjir. Sensor PZEM-004T menghasilkan rata-rata *error* sebesar 4,15% dengan akurasi 96,41%, sensor tegangan menghasilkan rata-rata *error* 0,39% dengan akurasi 99,61%, dan sensor ACS712 menghasilkan rata-rata *error* 2,54% dengan akurasi 97,46%, sehingga ketiga sensor tersebut layak digunakan sebagai perangkat monitoring kelistrikan pada sistem. Pengujian panel surya 30WP menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari, dengan tegangan tertinggi mencapai 22 V pada siang hari dan tegangan terendah 3 V pada malam hari. Secara keseluruhan, integrasi panel surya, *Solar Charge Controller*, baterai, *Automatic Transfer Switch*, dan ESP32 sebagai pengendali utama terbukti mampu menjaga kontinuitas pasokan energi listrik pada perangkat mitigasi banjir, khususnya saat terjadi gangguan pada jaringan listrik utama, sehingga sistem ini dapat menjadi alternatif solusi cadangan daya yang efisien, andal, dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan bantuan selama proses penelitian ini, khususnya kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukan yang berharga, pihak Universitas Muria Kudus atas fasilitas dan sarana penelitian yang disediakan, serta rekan-rekan yang telah membantu dalam proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga atas dukungan moral yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. A. Yunia, D. Sa'idah, and J. Julianto, "Community Service for Humanitarian Care for Flood Disaster Victims in Binjai," *JURNAL PENGEMAS KESTRA (JPK)*, vol. 5, no. 2, pp. 245–250, Dec. 2025, doi: 10.35451/hhnh240.
- [2] Elyza Ainurrosyidah, "304-Article Text-1338-3-10-20220630," 2022.
- [3] wakhudwiono, "wakhudwiono,+a+fauzan," 2022.
- [4] S. Safrudin, O. A. Rozak, and M. Z. Ramadhan Nurhadi, "PEMANFAATAN PANEL SURYA OFF-GRID 100 WP SEBAGAI SUMBER ENERGI SISTEM PENDETEKSI DAN PENANGGULANGAN BANJIR," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5879.
- [5] B. Angger, W. Widhiawan, S. Handoko, and D. Darjat, "PERANCANGAN SISTEM CHARGING BATERAI MENGGUNAKAN BUCK-BOOST CONVERTER DENGAN SUMBER PANEL SURYA BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO NANO." [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [6] D. A. Ratnasari, B. Suprianto, and F. Baskoro, "Monitoring Daya Listrik Pada Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram," *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, 2022.
- [7] E. A. Widyastuti, R. Riantiarna, W. Kurniawati, and U. P. Yogyakarta, "Efektivitas Panel Surya Sebagai Cadangan Pengganti Energi Listrik Skala Rumah," *J. Ilmu Tek*, vol. 1, no. 2, pp. 256–260, 2024.
- [8] J. Sambaliung No, K. Samarinda Ulu, K. Samarinda, and K. Timur, "Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif Rahmat Hasrul," *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021.
- [9] S. I. Haryudo, "Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) 1 Phase Berbasis Outseal PLC Mega V. 3 Untuk Instalasi Listrik Rumah Tangga," *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 6, no. 2, pp. 97–108, 2024.
- [10] H. I. R. Mosey, "Simulasi dan Pembuatan Rangkaian Sistem Kontrol Pengisian Baterai untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jurnal Ilmiah Sains*, vol. 16, no. 1, pp. 30–34, 2016.
- [11] D. Ramschie, A. A. S. Ramschie, L. Wenan, and R. Katuuk, "Implementasi Sistem Proteksi Dan Automatic Transfer Switch (ATS) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *Jurnal Elektrik*, vol. 2, no. 1, pp. 16–26, 2023.
- [12] M. R. Hamdani and P. Airlangga, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Menggunakan Sensor PZEM 004T pada Listrik Tiga Phase

- untuk Alat Produksi Menggunakan Mikrocontroller,” *Jurnal Penelitian Ilmiah Multidisipliner*, vol. 1, no. 04, pp. 1100–1108, 2025.
- [13] S. N. A. M. Ghazali and M. Z. Sujod, “A comparative analysis of solar photovoltaic advanced fault detection and monitoring techniques,” *Electrica*, vol. 23, no. 1, pp. 137–148, 2023.
- [14] D. Dasril, H. Indou, and R. Suppa, “Prototype Alat Pendeteksi Banjir Menggunakan Arduino Berbasis Iot,” *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, 2024.
- [15] M. SUKOCO, K. NUR, U. IMAMATUL, and W. L. JATI, “Rancang Bangun Sistem Control Automatic Transfer Switch (ATS) Yang Terintegrasi Instalasi PLN Dan Solar Cell Berbasis Programable Logic Controller (PLC),” *ELCONIKA: JURNAL TEKNIK ELEKTRO Учпедумелу: Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang*, vol. 2, no. 1, pp. 15–22, 2023.