
DESAIN IMPLEMENTASI *ENERGY MANAGEMENT SYSTEM* PADA PLTS PORTABEL UNTUK KESIAPSIAGAAN BENCANA BERBASIS MIKROKONTROLER

Muhammad Aprilian Abidin^{a,1,*}, Totok Dermawan, S.ST., M.Eng.^{b,2}

^{a,b} Universitas Negeri Yogyakarta

¹ muhammadaprilian.2022@student.uny.ac.id; ² totok.dermawan@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 15 March 2026

Revised 30 March 2026

Accepted 5 April 2026

Keywords

Energy Management System;

Solar Power Plant;

PZEM-004T;

PZEM-017.

ABSTRACT

This study aims to design and develop a microcontroller-based Energy Management System (EMS) for a portable Solar Power Plant (PLTS) to support disaster preparedness, including component testing and system performance evaluation. The research employs an engineering approach covering needs analysis, system design, prototype development, testing, and evaluation. The system uses an ESP32 microcontroller as the main controller, PZEM-004T and PZEM-017 sensors for AC/DC electricity monitoring, an 8-channel relay module, and a 50 Wp solar panel. Testing results show that the battery reaches full charge in approximately 6 hours, energy distribution is stable across five load modes, and real-time monitoring is available via an LCD. The portable system is effective, safe, and efficient, suitable for emergency electricity supply and rapid deployment in disaster response teams.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *Energy Management System* (EMS) berbasis mikrokontroler pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) portabel untuk kesiapsiagaan bencana, serta melakukan uji fungsi komponen dan evaluasi kinerja sistem. Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa, meliputi analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan prototipe, pengujian, dan evaluasi. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor PZEM-004T dan PZEM-017 untuk monitoring listrik AC/DC, modul *relay 8 channel*, serta panel surya 50 Wp. Hasil pengujian menunjukkan pengisian baterai penuh ± 6 jam, distribusi energi stabil pada 5 mode beban, dan monitoring *real-time* melalui LCD. Sistem ini efektif, aman, efisien, dan layak diterapkan untuk suplai listrik darurat serta mobilisasi tim bencana.



1. Pendahuluan

Indonesia memiliki risiko bencana tinggi, termasuk hidrometeorologi dan gempa bumi, yang sering mengganggu pasokan listrik [1]. Gangguan ini berdampak pada komunikasi, layanan medis, dan operasional evakuasi. Generator berbahan bakar fosil memiliki kelemahan seperti ketergantungan bahan bakar, biaya tinggi, dan polusi [2]. Solusi yang diperlukan adalah sistem energi mandiri portabel dan andal [3]. PLTS portabel yang dilengkapi EMS berbasis mikrokontroler dapat menyediakan sumber daya sementara, mengatur distribusi energi, dan memungkinkan monitoring *real-time* sehingga kesiapsiagaan bencana lebih efektif [4].

Pada situasi darurat bencana, kebutuhan akan pasokan listrik yang andal dan dapat diakses secara cepat sangatlah vital, namun realitanya, masih banyak permasalahan yang ditemukan terkait kurangnya sistem kontrol dan monitoring yang efisien pada PLTS portabel untuk kesiapsiagaan bencana di lapangan[5].

Penelitian yang relevan dan terdahulu, membuktikan bahwa sistem monitoring energi listrik berbasis IoT pada generator tenaga surya portabel mampu menjawab sebagian tantangan di daerah terdampak bencana. Selaras dengan temuan tersebut, [6] abdillah (2024) menerapkan perancangan panel surya dengan sistem switch berbasis PWM untuk kebutuhan darurat rumah tinggal dan membuktikan sistem ini dapat menjadi cadangan listrik yang efektif selama masa krisis [7].

Berdasarkan hasil observasi dan studi literatur solusi taktis untuk memenuhi kebutuhan energi di wilayah terdampak bencana, dihadirkan "Desain Implementasi *Energy Management System* (EMS) pada PLTS Portabel Berbasis Mikrokontroler". Konsep utama dari sistem ini berpusat pada penyediaan pasokan listrik darurat dengan mobilitas tinggi yang didukung oleh manajemen daya mandiri secara otomatis dan responsif.



Fig. 1 Konsep Manajemen Energi Listrik

2. Metode

Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan prototipe, pengujian fungsi komponen, dan evaluasi kinerja. ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler pusat EMS, sensor PZEM-004T dan PZEM-017 mengukur parameter listrik AC dan DC, modul relay 8 channel mengatur distribusi beban, dan tombol 5 mode digunakan untuk memilih skema prioritas beban. Sistem PLTS portabel dirancang off-grid dengan panel surya 50 Wp, baterai, dan inverter. Data energi ditampilkan secara *real-time* melalui LCD.

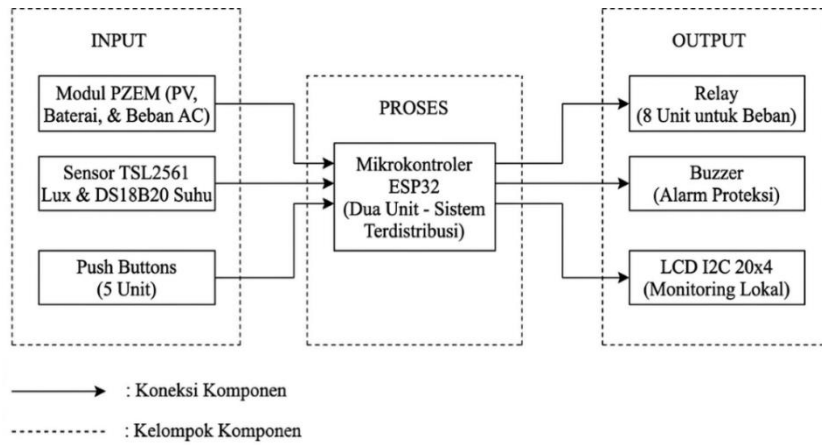


Fig. 2 Diagram Blok Sistem

3. Perancangan Alat

Perancangan alat meliputi integrasi hardware dan sistem kontrol. Diagram blok sistem menunjukkan hubungan sensor, mikrokontroler, relay, dan beban. Monitoring mencakup tegangan, arus, daya, energi, suhu baterai, dan intensitas cahaya. Prototipe portabel memudahkan mobilisasi di lokasi bencana. Semua komponen terhubung ke mikrokontroler yang memproses data dan mengatur mode beban secara otomatis, menjamin penggunaan energi efisien dan aman.

Terdapat perhitungan Kapasitas panel surya dengan mempertimbangkan total daya beban yang dirumuskan pada Persamaan 1 berikut:

$$Panel\ Surya = \frac{P_{Harian}}{80\%} \div PSH \quad (1)$$

Dengan:

1. 80% = Rugi Daya (*Losses*)
2. P_{Harian} = Daya Total Sehari (Watt)
3. PSH = *Peak Sun Hour* (Di Indonesia Sebesar 3,5 – 5 Jam Per Hari)

Berikut rumus perhitungan penentuan kapasitas minimum dari *solar charge controller* pada Persamaan 1 dibawah ini:

$$I_{SCC} = I_{SC(PV)} \times \sum PV \quad (2)$$

Dengan:

1. I_{SCC} = Arus SCC (Ampare)
2. $I_{SC(PV)}$ = Arus Hubung Singkat PV (Ampare)
3. $\sum PV$ = Jumlah Panel Surya (PV)

Kemudian untuk menentukan kapasitas baterai menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan 3 dan 4 dibawah ini:

$$E_{Harian} = P_{Harian} \times Ir_{Harian} \times \eta_{Sistem} \quad (3)$$

$$C_{bat,min} = \frac{E_{Harian}}{V_{bat} \times DoD} \quad (4)$$

Dengan:

1. E_{Harian} = Energi Total Sehari (Wh)
2. P_{Harian} = Daya Total Sehari (Watt)
3. Ir_{Harian} = Irradiasi Rata-Rata (4,5 kWh/m²/hari)
4. η_{Sistem} = Efisiensi Sistem (80%)
5. $C_{bat,min}$ = Kapasitas Minimum Baterai (Ah)

6. DoD = DoD Maksimal (50%)
7. V_{bat} = Tegangan Baterai (Volt)

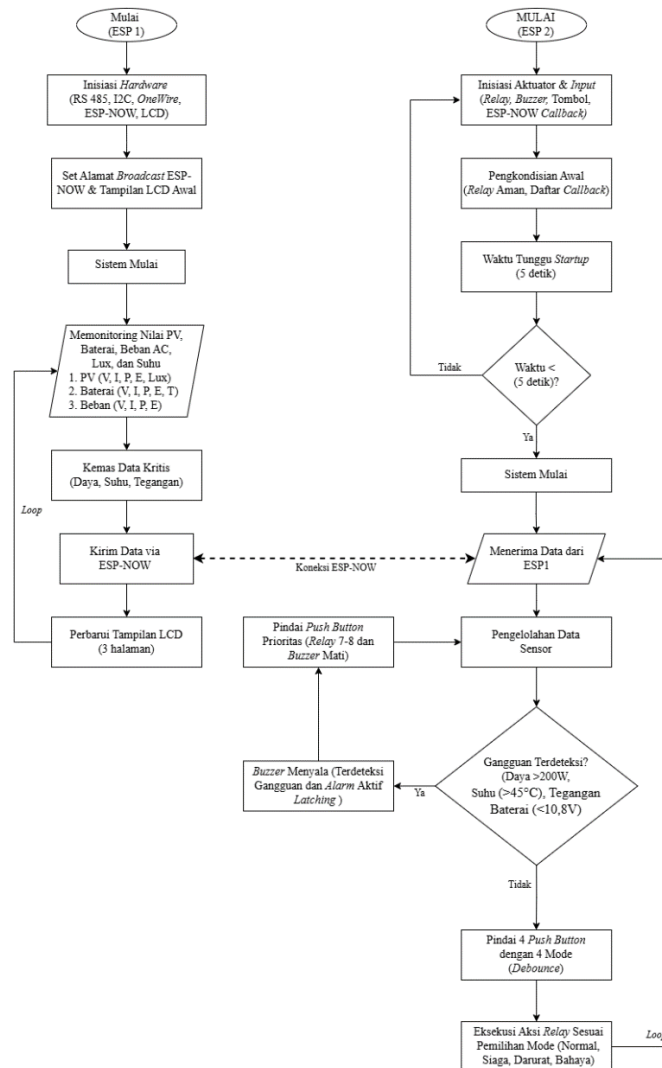


Fig. 3 Flowchart Sistem

Kemudian untuk menentukan kebutuhan inveter menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan 5 dibawah ini:

$$P_{inv,min} = \frac{P_{load}}{\eta_{inv}} \times 1,5 \quad (5)$$

Dengan:

1. I_{SCC} = Arus SCC (Ampare)
2. P_{PV} = Daya panel surya (Watt)
3. V_{bat} = Tegangan Baterai (Volt)

Kemudian untuk menentukan kapasitas MCB menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan 6 dibawah ini:

$$I_{MCB} = 125\% \times I_{n,max} \quad (6)$$

Dengan:

1. I_{MCB} = Arus MCB (Ampare)
2. 125% = Faktor Keamanan (*Safety Factor*)
3. I_n = Arus Nominal atau Maksimal (Ampare)

Kemudian untuk menentukan kebutuhan kabel dan ukurannya menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan 7 dibawah ini:

$$I_{Kabel} = 125\% \times I_n \quad (7)$$

Dengan:

1. I_{Kabel} = Arus pada Kabel (Ampare)
2. 125% = Faktor Keamanan (*Safety Factor*)
3. I_n = Arus Nominal Komponen (Ampare)

Kemudian untuk menentukan kapasitas MCB menggunakan rumus perhitungan pada Persamaan 8 dibawah ini:

$$I_{SPD} = 125\% \times I_{max,system} \quad (8)$$

Dengan:

1. I_{SPD} = Kapasitas impuls surge SPD (kA)
2. 125% = Faktor Keamanan (*Safety Factor*)
3. $I_{max,system}$ = Arus maksimum sistem PLTS ($I_{sc} PV + surge factor$, kA)

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan semua komponen bekerja sesuai rancangan. Sensor PZEM-004T dan PZEM-017 memberikan pembacaan akurat, *relay* responsif terhadap kontrol beban, dan tombol mode bekerja dengan tepat. Pengisian baterai dengan panel surya 50 Wp penuh ± 6 jam pada kondisi cerah, sedangkan pengosongan daya ke 5 mode beban berjalan stabil. Monitoring parameter energi dan kondisi sistem dapat dilakukan secara *real-time* melalui layar LCD. Untuk hasil pembuatan ditampilkan pada Fig.4 dan Fig.5.



Fig. 4 Hasil Pembuatan Sistem



Fig. 5 Tampilan LCD 12C

Secara keseluruhan, prototipe *Energy Management System* (EMS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) portabel untuk kesiapsiagaan bencana berbasis mikrokontroler ini berhasil menjalankan fungsinya secara optimal. Sistem mampu merespons anomali kelistrikan secara otomatis, menjaga kesinambungan suplai daya darurat dengan sistem proteksi yang andal, serta memungkinkan pemantauan dan kendali parameter energi secara *real-time* melalui antarmuka layar LCD dan panel kontrol. Dengan kinerja pembacaan sensor yang akurat, waktu respons aktuator yang cepat, serta desain *hardware* yang ergonomis dan portabel, sistem ini dapat diandalkan sebagai solusi penyediaan listrik alternatif mandiri yang tangguh, memiliki mobilitas tinggi, dan siap diimplementasikan secara langsung di lapangan untuk mendukung operasional pada situasi tanggap darurat bencana.

5. Kesimpulan

Implementasi EMS pada PLTS portabel berbasis mikrokontroler berhasil dilakukan. Sistem ini mampu monitoring real-time, kontrol 5 mode beban, pengisian dan distribusi energi efektif, aman, dan efisien. Prototipe layak diterapkan untuk kesiapsiagaan bencana dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi skala lebih besar atau integrasi dengan sistem hibrida.

References

- [1] I. Monalia and E. D. Noorratri, "GAMBARAN TINGKAT PENGETAHUAN MASYARAKAT TENTANG KESIAPSIAGAAN DALAM MENGHADAPI BENCANA GUNUNG MELETUS DI DESA JRAKAHSELO BOYOLALI Ira Monalia 1, Erika Dewi Noorratri 2 1,2," vol. 2, no. 4, pp. 790–807, 2024.
- [2] A. M. Al Farizi, M. Widyartono, A. C. H, and W. Ariwibowo, "Monitoring Listrik Generator Tenaga Surya Portabel Berbasis IoT IoT Untuk Kebutuhan Listrik di Daerah Bencana," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 92–97, 2023.
- [3] M. W. Fauzi, M. L. Ariansyah, E. S. Wahyuni, Husein, and Mubarak, "Pembuatan Portabel Energi Berbasis Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Saat Darurat Bencana untuk Bandan Penanggulangan Bencana Daerah Yogyakarta (BPBD DIY)," *JATTEC- J. Appropri. Technol. Community Serv.*, vol. 5, no. 1, pp. 43–57, 2024.
- [4] B. Erianto and S. I. Haryudo, "Perancangan Panel Surya untuk Kebutuhan Darurat Rumah Tinggal dengan Sistem Switch," *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 76–82, 2023.
- [5] D. R. R. P. Putra, Joko, L. E. C. Ningrum, and L. Anifah, "Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCUESP 32 dan Telegram," *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 3, pp. 248–255, 2024.
- [6] Abdillah, F. H. and Dini, and H. Satya, "PERANCANGAN PLTS PORTABEL BERBASIS IOT UNTUK PEMANFAATAN KEADAAN DARURAT," ITPLN, 2024.
- [7] Gunawan, R. Syahputra, H. Abdullah, Iskandar, A. Haris, and Darmein, "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Solar System Pada Siswa SMKN 5 Kota Lhokseumawe," *J. Politek. Negeri Lohkseumawe*, vol. 6, no. 1, pp. 164–170, 2022.