PEMBERDAYAAN RELAWAN TANGGAP BENCANA MELALUI PENERAPAN *PORTABLE SOLAR-BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM* SEBAGAI SUMBER LISTRIK DARURAT

Bagus Anggraini[1*], Akhmad Saufan[1], Waradzi Mustakim[2], Radimas Putra Muhammad Davi Labib[3], Muhammad Fatihuddin[4], Reza Febriano Armas[4], Chairul Hudaya[5]

[1]Pendidikan Teknik Mesin, [2]Rekayasa Keselamatan Kebakaran, [3]Pendidikan Teknik Elektronika, [4]Teknologi Rekayasa Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jl. R. Mangun Muka Raya No. 11, Jakarta Timur 13220, Indonesia
[5]Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

Email: bagusanggraini@unj.ac.id; asaufan@unj.ac.id; waradzimustakim@unj.ac.id; RadimasPutraMuhammadDaviLabib@unj.ac.id; mfatihuddin@unj.ac.id; rezafebriano@unj.ac.id; chairul.hudaya@ui.ac.id
[*]Penulis korespondensi: bagusanggraini@unj.ac.id

Abstract

Disaster response posts in Indonesia frequently lose grid electricity, while fossil-fuelled generators depend on fuel logistics and produce noise and exhaust. This community development program aimed to strengthen the emergency-energy capacity of volunteers of the Muhammadiyah Disaster Management Center (MDMC) through the application of portable solar-powered battery energy storage systems (Solar-BESS) combined with technology transfer. A participatory approach was implemented in five stages, from needs identification to evaluation and sustainability planning. Two units were produced and handed over, namely a 720 Wh $LiFePO_4$ unit (800 W continuous, 100 Wp panel) and a 150 Wh NMC unit (250 W continuous, 10 Wp panel), together with a lithium-battery fire extinguisher and a standard operating procedure (SOP). Forty volunteers participated in training on photovoltaic principles, battery management, load calculation, safety, and maintenance. Load-scenario analysis indicates that the 720 Wh unit can supply a 100 W combined post load for about 5.2 hours or 40 W lighting for about 13 hours, and its panel can sustain approximately 7.6 hours of lighting per day. The program contributed to technology access, volunteer capacity, and institutional readiness of the partner, while field performance and competence measurements are required in the next phase.

Keywords: *battery energy storage system; community empowerment; disaster response; emergency power; technology transfer*

Abstrak

Posko tanggap bencana di Indonesia kerap kehilangan pasokan listrik jaringan, sedangkan genset berbahan bakar fosil bergantung pada logistik BBM serta menimbulkan kebisingan dan emisi. Program community development *ini bertujuan memperkuat kapasitas energi darurat relawan* Muhammadiyah Disaster Management Center *(MDMC) melalui penerapan* Battery Energy Storage System *portabel berbasis panel surya (Solar-BESS) yang disertai transfer teknologi. Pendekatan partisipatif dilaksanakan dalam lima tahap, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi dan perencanaan keberlanjutan. Dua unit dihasilkan dan diserahkan kepada mitra, yaitu unit 720 Wh berbasis $LiFePO_4$ (daya kontinu 800 W, panel 100 Wp) dan unit 150 Wh berbasis NMC (daya kontinu 250 W, panel 10 Wp), beserta APAR khusus baterai litium dan prosedur operasi standar (SOP). Sebanyak 40 relawan mengikuti pelatihan tentang prinsip PLTS, manajemen baterai, perhitungan beban, keselamatan, dan perawatan. Analisis skenario beban menunjukkan bahwa unit 720 Wh mampu memasok beban gabungan posko 100 W selama sekitar 5,2 jam atau penerangan 40 W selama sekitar 13 jam, dan panelnya dapat menopang penerangan sekitar 7,6 jam per hari. Program berkontribusi terhadap akses teknologi, kapasitas relawan, dan kesiapan kelembagaan mitra, sedangkan pengukuran kinerja lapangan dan kompetensi relawan diperlukan pada tahap berikutnya.*

Kata kunci: battery energy storage system*; energi darurat; pemberdayaan relawan; tanggap bencana; transfer teknologi*

1. PENDAHULUAN (*Introduction*)

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan bencana yang tinggi akibat kondisi geologis, geografis, dan hidrometeorologis, sehingga kesiapsiagaan sumber daya manusia menjadi prasyarat efektivitas respons kedaruratan. Pada fase tanggap darurat, relawan berperan sebagai garda terdepan yang menjalankan layanan dasar di posko, mulai dari penerangan, komunikasi, pendataan pengungsi, hingga dukungan layanan kesehatan ringan (Effendi dkk., 2023) . Seluruh layanan tersebut bergantung pada ketersediaan listrik, padahal jaringan listrik kerap padam ketika bencana terjadi. Posko umumnya mengandalkan genset berbahan bakar minyak yang bergantung pada rantai pasok bahan bakar, menimbulkan kebisingan, dan menghasilkan emisi. Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 4,5–5,5 kWh/m² per hari (Supriyatna, 2024), sehingga sistem penyimpanan energi baterai berbasis panel surya berpotensi menjadi sumber listrik darurat yang lebih mandiri untuk beban kritis ringan (Sutikno, Facta, dkk., 2025) .

Mitra program ini adalah *Muhammadiyah Disaster Management Center* (MDMC), lembaga penanggulangan bencana Persyarikatan Muhammadiyah yang berkedudukan di Jl. Menteng Raya No. 62, Jakarta Pusat, dan memiliki jejaring relawan yang aktif dalam operasi kemanusiaan di berbagai wilayah Indonesia. Diskusi kelompok terpumpun (*focus group discussion*, FGD) dengan mitra mengidentifikasi tiga permasalahan utama. Pertama, kegiatan posko masih bergantung pada jaringan PLN dan genset berbahan bakar minyak sehingga layanan penerangan, komunikasi, dan pendataan terganggu ketika jaringan padam dan pasokan BBM terbatas. Kedua, relawan belum memiliki pengalaman teknis dalam mengoperasikan panel surya, baterai, inverter, dan manajemen daya. Ketiga, mitra belum memiliki prosedur operasi standar (*standard operating procedure*, SOP) untuk penggunaan dan perawatan perangkat energi terbarukan.

Sejumlah kajian telah menunjukkan relevansi sistem surya portabel untuk kebencanaan. Tinjauan (Sutikno, Aji, dkk., 2025) menegaskan pentingnya desain berbasis arus searah (*DC-first*), modularitas, integrasi penyimpanan energi, dan pemantauan berbasis *Internet of Things*, sedangkan (Sutikno, Facta, dkk., 2025) menyimpulkan bahwa sistem surya portabel dan modular dapat mempercepat pemulihan layanan serta mengurangi ketergantungan pada genset. Pada ranah pengabdian kepada masyarakat, (Sukma Wahyuni dkk., 2023) merancang sistem energi surya portabel 900 Wh/120 Wp untuk posko pengungsian BPBD DIY, dan (Sulistiyanto dkk., 2025) melatih warga membuat kotak listrik darurat bertenaga surya untuk respons cepat bencana. Kegiatan pelatihan PLTS juga dilaporkan meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta, baik pada siswa SMK (Subiyanto dkk., 2025) maupun masyarakat desa.

Meskipun demikian, kajian-kajian tersebut umumnya memisahkan rekayasa perangkat dari penguatan kapasitas pengguna. Studi teknis berfokus pada desain dan kinerja alat, sementara program pelatihan kebencanaan (Husaini dkk., 2026) belum menyertakan transfer teknologi energi. Masih sedikit program yang menempatkan organisasi relawan sebagai pengelola teknologi energi darurat beserta aspek keselamatan dan tata kelolanya. Kebaruan program ini terletak pada tiga hal: (1) konfigurasi dua tingkat kapasitas, yaitu unit 720 Wh berbasis $LiFePO_4$ untuk posko dan unit 150 Wh berbasis NMC untuk tim reaksi cepat; (2) paket transfer teknologi yang memadukan pelatihan berbasis praktik, keselamatan baterai litium

(APAR litium), dan SOP; serta (3) kolaborasi akademik–kemanusiaan antara Universitas Negeri Jakarta (UNJ), Universitas Indonesia (UI), dan MDMC.

Berdasarkan uraian tersebut, artikel ini bertujuan untuk (1) memetakan kondisi awal dan kebutuhan energi darurat mitra, (2) memaparkan implementasi Solar-BESS portabel sebagai teknologi tepat guna, (3) menganalisis kinerja teoretis perangkat berdasarkan skenario beban posko, (4) menguraikan proses transfer pengetahuan kepada relawan, serta (5) menganalisis dampak pemberdayaan dan strategi keberlanjutan program.

2. TINJAUAN LITERATUR (*Literature Review*)

2.1 Pemberdayaan Relawan dan Teknologi Tepat Guna

Pemberdayaan dalam konteks kebencanaan dipahami sebagai peningkatan kapasitas dan kendali komunitas atas sumber daya yang dibutuhkan untuk merespons bencana secara mandiri. Kapasitas relawan tidak hanya ditentukan oleh pengetahuan, tetapi juga oleh komitmen dan kesiapan menjalankan peran di lapangan (Effendi dkk., 2023). Pengalaman pengabdian berbasis teknologi menunjukkan bahwa perpaduan antara teknologi, edukasi, dan penguatan kelembagaan menghasilkan dampak yang lebih bertahan dibandingkan hibah perangkat semata (Syam dkk., 2026). Oleh karena itu, perangkat untuk relawan harus portabel, mudah dioperasikan, aman, dan dapat dirawat secara mandiri.

2.2 Solar-BESS Portabel dan Keselamatan Baterai

Solar-BESS portabel terdiri atas panel surya, pengendali pengisian, paket baterai dengan sistem manajemen baterai (*battery management system*, BMS), inverter, serta keluaran DC/USB. BMS berfungsi melindungi sel dari pengisian dan pengosongan berlebih serta menjaga keseimbangan tegangan antarsel; pada sistem PLTS berbasis $LiFePO_4$, penyeimbangan aktif meningkatkan keseragaman tegangan baterai selama pengisian (Pahlevy dkk., 2025) . Pemilihan kimia baterai merupakan kompromi antara umur siklus dan densitas energi, dan sel litium tetap berisiko mengalami *thermal runaway* apabila terjadi pengisian berlebih, hubung singkat, atau paparan panas (Anggraini dkk., 2026; Anggraini, Suwarno, dkk., 2025). Oleh karena itu, penerapannya perlu disertai prosedur keselamatan dan sarana pemadam yang sesuai.

2.3 Transfer Teknologi dan Keberlanjutan

Transfer teknologi dinyatakan berhasil apabila pengguna mampu mengoperasikan, merawat, dan menangani gangguan sederhana secara mandiri. Pelatihan PLTS yang memadukan penjelasan konsep dengan praktik menggunakan perangkat nyata terbukti efektif membangun keterampilan peserta (Hadi dkk., 2025) Keberlanjutan sistem surya berbasis komunitas juga bergantung pada kemampuan perawatan pengguna, sehingga edukasi manajemen perawatan menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari penerapan PLTS (Adi Kusuma dkk., 2025). Oleh karena itu, program ini tidak berhenti pada serah terima alat, tetapi mencakup pelatihan, SOP, dan kerja sama kelembagaan.

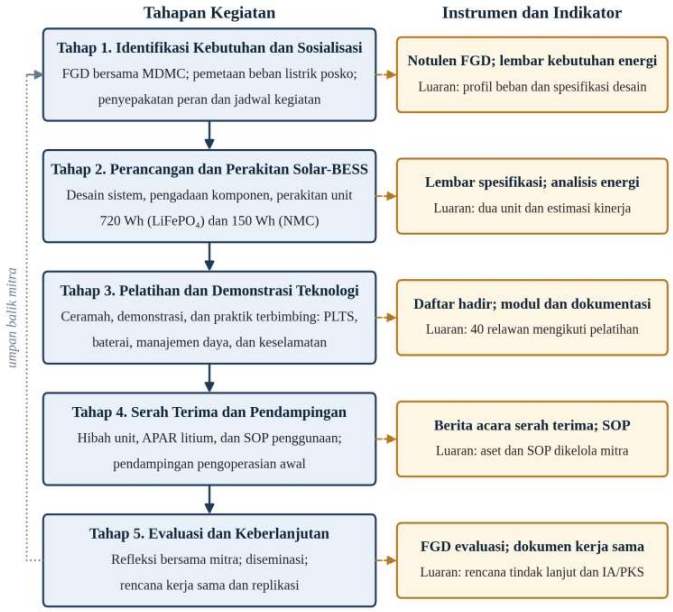
3. METODE PELAKSANAAN (*Materials and Method*)

3.1 Lokasi, Waktu, Mitra, dan Peserta

Program dilaksanakan bersama MDMC Pimpinan Pusat Muhammadiyah, Jl. Menteng Raya No. 62, Jakarta Pusat, yang berjarak sekitar 10 km dari kampus UNJ. Program berlangsung selama enam bulan dalam skema *Community Development* Program EQUITY, dengan kegiatan pelatihan dan serah terima alat pada 21 April 2026 di Gedung PP Muhammadiyah. Peserta terdiri atas 40 relawan dan anggota tim teknis lapangan MDMC yang dipilih secara purposif oleh mitra dengan kriteria aktif terlibat dalam operasi tanggap darurat. Tim pelaksana terdiri atas enam dosen UNJ, dua mahasiswa, dan dua teknisi perakit, dengan dukungan mitra akademik dari UI yang memberikan masukan teknis tentang sistem baterai dan keselamatan perangkat.

3.2 Pendekatan dan Tahapan Kegiatan

Program menggunakan pendekatan partisipatif, yaitu mitra terlibat sejak identifikasi kebutuhan hingga evaluasi. Tahapan kegiatan beserta instrumen dan luaran setiap tahap disajikan pada Gambar 1. Tahap 1 memetakan beban listrik prioritas posko melalui FGD. Tahap 2 menerjemahkan profil beban menjadi spesifikasi teknis, kemudian merakit dua unit Solar-BESS. Tahap 3 berupa pelatihan dan demonstrasi teknologi. Tahap 4 meliputi serah terima unit beserta APAR litium dan SOP penggunaan, dilanjutkan dengan pendampingan pengoperasian awal. Tahap 5 berupa evaluasi bersama mitra, diseminasi, dan perencanaan keberlanjutan.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan program beserta instrumen dan luaran setiap tahap

3.3 Metode Implementasi dan Transfer Pengetahuan

Implementasi teknologi dilakukan melalui pengembangan bersama (*co-design*): tim UNJ menyusun rancangan berdasarkan profil beban hasil FGD, mitra akademik UI memberikan telaah teknis, dan mitra memberikan masukan tentang portabilitas serta kemudahan penggunaan. Transfer pengetahuan menggunakan kombinasi ceramah interaktif, demonstrasi,

dan praktik terbimbing dalam kelompok kecil. Materi pelatihan disusun dalam enam modul, yaitu (1) prinsip kerja PLTS dan Solar-BESS, (2) baterai litium dan fungsi BMS, (3) perhitungan kebutuhan energi dan estimasi durasi operasi, (4) prosedur pengoperasian dan pengisian, (5) keselamatan baterai litium dan penggunaan APAR litium, serta (6) perawatan dan penyimpanan unit. Modul tersebut dirangkum menjadi SOP yang diserahkan kepada mitra.

3.4 Evaluasi dan Indikator Keberhasilan

Evaluasi pada periode program difokuskan pada dua aspek. Aspek pertama adalah evaluasi teknis berbasis spesifikasi, yaitu analisis kemampuan energi perangkat pada skenario beban posko. Aspek kedua adalah evaluasi luaran pemberdayaan berbasis dokumen yang dapat diverifikasi, yaitu berita acara serah terima, daftar hadir pelatihan, dokumen SOP, korespondensi kerja sama, dan tautan publikasi. Pengukuran kinerja lapangan dan kompetensi relawan secara kuantitatif dirancang sebagai evaluasi tahap lanjutan (Subbab 4.5). Indikator keberhasilan program dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator keberhasilan program

Aspek	Indikator	Sumber data	Kriteria keberhasilan
Akses teknologi	Jumlah unit Solar-BESS dan perlengkapan keselamatan yang diserahkan	Berita acara serah terima	2 unit dan 1 APAR litium diterima mitra
Kinerja perangkat	Estimasi durasi operasi dan energi surya harian	Spesifikasi unit; Persamaan (1)–(2)	Memasok beban kritis ringan posko
Kapasitas relawan	Jumlah relawan yang mengikuti pelatihan enam modul	Daftar hadir; dokumentasi	≥ 40 relawan
Tata kelola	Ketersediaan SOP penggunaan dan perawatan	Dokumen SOP	SOP diserahkan kepada mitra
Kelembagaan	Status dokumen kerja sama UNJ–MDMC	Korespondensi resmi	IA/PKS diproses
Diseminasi	Jumlah publikasi di media non-UNJ	Tautan publikasi	≥ 3 media

3.5 Metode Analisis Data

Kinerja energi perangkat dianalisis secara teoretis. Estimasi durasi operasi (t, jam) dihitung dengan Persamaan (1), sedangkan estimasi energi surya harian (E_{PV}, Wh/hari) dihitung dengan Persamaan (2).

$$t = (E_{bat} \times \text{DoD} \times \eta) / P_{beban} \quad (1)$$

$$E_{PV} = P_{PV} \times \text{PSH} \times \text{PR} \quad (2)$$

E_{bat} adalah kapasitas baterai terdeklarasi (Wh), DoD adalah kedalaman pengosongan yang diizinkan (0,8), η adalah efisiensi konversi (0,90; asumsi konservatif), P_{beban} adalah daya beban (W), P_{PV} adalah kapasitas panel (Wp), PSH adalah jam matahari puncak (4,5 jam/hari, batas bawah potensi surya Indonesia menurut Supriyatna, 2024, dan PR adalah rasio kinerja sistem (0,75). Data luaran pemberdayaan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah program, sedangkan data kualitatif dari FGD dianalisis secara tematik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (*Results and Discussion*)

4.1 Kondisi Awal Mitra

Hasil identifikasi kebutuhan pada Tahap 1 dirangkum pada Tabel 2. Beban prioritas posko MDMC didominasi oleh beban kritis ringan, yaitu penerangan, pengisian ponsel dan radio genggam (HT), perangkat jaringan, laptop untuk pendataan, serta perangkat medis ringan, dengan total daya di bawah 1 kW. Karakteristik ini sejalan dengan profil beban posko pengungsian yang dirancang oleh (Sukma Wahyuni dkk., 2023) yaitu penerangan LED dan stasiun pengisian perangkat. Dengan demikian, sasaran perangkat adalah menjamin keberlangsungan layanan kritis, bukan menggantikan genset secara penuh.

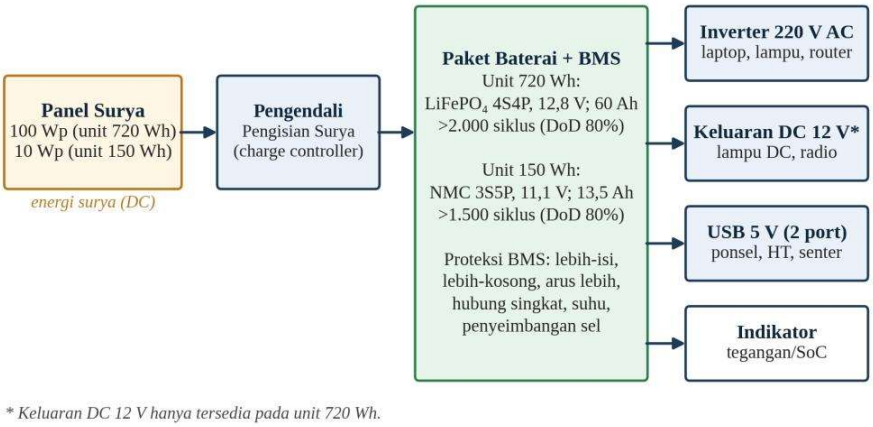
Tabel 2. Kondisi awal mitra dan implikasinya terhadap desain program

Aspek	Kondisi awal	Implikasi terhadap desain program
Sumber energi posko	Bergantung pada jaringan PLN dan genset BBM; layanan terganggu saat jaringan padam dan BBM terbatas	Diperlukan sumber listrik yang dapat diisi ulang dari energi surya
Beban prioritas	Penerangan, pengisian ponsel/HT, router, laptop pendataan, perangkat medis ringan (< 1 kW)	Kapasitas diarahkan pada beban kritis ringan, bukan substitusi penuh genset
Mobilitas tim	Tim bergerak ke lokasi dengan akses terbatas	Unit harus ringan dan portabel; disediakan dua tingkat kapasitas
Kapasitas relawan	Belum berpengalaman mengoperasikan panel surya, baterai, inverter, dan manajemen daya	Pelatihan berbasis praktik, termasuk keselamatan baterai litium
Tata kelola perangkat	Belum tersedia SOP penggunaan dan perawatan perangkat energi terbarukan	Penyusunan dan penyerahan SOP

Kendala mitra bersifat sosio-teknis: relawan berpengalaman dalam operasi kemanusiaan, tetapi belum memiliki bekal teknis untuk mengelola perangkat energi. Hal ini sejalan dengan (Effendi dkk., 2023) yang menekankan bahwa penguatan kapasitas relawan harus mencakup pengetahuan dan kesiapan menjalankan peran, sehingga program dirancang berpasangan antara penyediaan perangkat dan penguatan kapasitas.

4.2 Implementasi Teknologi Tepat Guna

Profil beban pada Tabel 2 diterjemahkan menjadi dua unit Solar-BESS portabel dengan arsitektur yang sama (Gambar 2). Energi dari panel surya disalurkan melalui pengendali pengisian ke paket baterai yang dilindungi BMS, kemudian didistribusikan ke keluaran 220 V AC melalui inverter, keluaran DC 12 V (khusus unit 720 Wh), dan dua port USB 5 V. Konfigurasi dua tingkat dipilih agar mitra memiliki unit utama untuk posko (unit A, 720 Wh) dan unit ringan untuk tim reaksi cepat (unit B, 150 Wh). Spesifikasi kedua unit disajikan pada Tabel 3 dan wujud fisiknya pada Gambar 3.



Gambar 2. Diagram blok sistem Solar-BESS portabel yang diterapkan

Tabel 3. Spesifikasi teknis dua unit Solar-BESS portabel

Parameter	Unit A (720 Wh)	Unit B (150 Wh)
Kimia baterai	$LiFePO_4$ (LFP)	Li-ion NMC
Konfigurasi sel	16 sel 3,2 V/15 Ah (4S4P)	15 sel 3,7 V/2,7 Ah (3S5P)
Tegangan nominal paket	12,8 V	11,1 V
Kapasitas nominal terhitung/terdeklarasi	768 Wh/720 Wh	150 Wh/150 Wh
Daya kontinu/puncak	800 W/1.600 W	250 W/500 W
Panel surya	100 Wp	10 Wp
Keluaran	220 V AC; 12 V DC; USB 5 V (2 port)	220 V AC; USB 5 V (2 port)
Umur siklus (DoD 80%)	> 2.000 siklus	> 1.500 siklus
Proteksi BMS	Lebih-isi, lebih-kosong, arus lebih, hubung singkat, suhu, penyeimbangan sel	Sama dengan unit A
Dimensi; massa	280 × 210 × 120 mm; ± 6 kg	190 × 150 × 60 mm; ± 2 kg
Energi spesifik tingkat sistem	± 120 Wh/kg	± 75 Wh/kg
Biaya produksi (termasuk panel)	Rp13.000.000	Rp7.080.000



Gambar 3. Unit Solar-BESS portabel yang dihasilkan: (a) unit A 720 Wh berbasis $LiFePO_4$ dan (b) unit B 150 Wh berbasis NMC

Pemilihan $LiFePO_4$ untuk unit A didasarkan pada umur siklus yang panjang dan stabilitas termal yang lebih baik untuk penggunaan berulang di posko, sedangkan unit B menggunakan NMC untuk menekan massa sehingga mudah dibawa tim reaksi cepat. Karena sel litium

berisiko mengalami *thermal runaway* (Anggraini, Al Hafidz, dkk., 2025), kedua unit dilengkapi BMS dengan enam fungsi proteksi, termasuk penyeimbangan sel yang berperan menjaga keseragaman tegangan antarsel. Kapasitas terdeklarasi unit A (720 Wh) sengaja ditetapkan lebih rendah daripada kapasitas nominal terhitung (768 Wh) sebagai margin keamanan. Dibandingkan dengan sistem tunggal 900 Wh/120 Wp pada (Sukma Wahyuni dkk., 2023), rasio kapasitas panel terhadap baterai unit A (0,14 Wp/Wh) sebanding (0,13 Wp/Wh), tetapi pendekatan dua tingkat memberikan fleksibilitas penggelaran yang lebih besar, sejalan dengan rekomendasi modularitas (Labib dkk., 2025).

Unit diserahterimakan kepada MDMC bersama satu APAR khusus baterai litium dan dokumen SOP (Gambar 4). Penyertaan APAR dan SOP menjadikan transfer ini sebagai paket teknologi yang mencakup keselamatan dan tata kelola, bukan sekadar hibah perangkat. Data biaya produksi pada Tabel 3 juga menjadi dasar bagi mitra untuk merencanakan replikasi.



Gambar 4. Serah terima unit Solar-BESS portabel, APAR litium, dan SOP kepada MDMC

4.3 Analisis Kinerja Teoretis Solar-BESS Portabel

Kinerja energi dianalisis pada lima skenario beban posko yang disusun dari hasil identifikasi kebutuhan. Estimasi durasi operasi berdasarkan Persamaan (1) disajikan pada Tabel 4. Energi efektif unit A adalah 518 Wh, sedangkan unit B adalah 108 Wh.

Tabel 4. Estimasi durasi operasi pada skenario beban posko

Skenario beban	Daya (W)	Unit A (720 Wh)	Unit B (150 Wh)
S1 Penerangan: 4 lampu LED 10 W	40	13,0 jam	2,7 jam
S2 Komunikasi: router dan pengisian 2 HT	20	25,9 jam	5,4 jam
S3 Pendataan: laptop	60	8,6 jam	1,8 jam
S4 Gabungan: 2 LED, laptop, router, HT	100	5,2 jam	1,1 jam
S5 Pengisian ponsel (± 15 Wh/unit)	–	± 34 kali	± 7 kali

Catatan: estimasi dihitung dengan Persamaan (1) menggunakan DoD 0,8 dan η 0,90.

Berdasarkan Persamaan (2), panel 100 Wp pada unit A menghasilkan sekitar 338 Wh/hari, sehingga pengisian ulang dari kondisi DoD 80% (576 Wh) memerlukan sekitar 1,7 hari efektif. Setelah memperhitungkan efisiensi konversi, energi tersebut setara dengan sekitar 7,6 jam penerangan 40 W atau sekitar 3,0 jam beban gabungan 100 W per hari. Panel 10 Wp pada unit B hanya menghasilkan sekitar 34 Wh/hari (sekitar 3,6 hari untuk pengisian penuh), sehingga panel tersebut lebih tepat berfungsi sebagai pengisi pemeliharaan, sedangkan pengisian utama dilakukan sebelum penugasan.

Hasil ini menunjukkan bahwa unit A berpotensi menopang penerangan malam posko secara netral energi, yaitu energi yang dipakai setiap hari dapat dipulihkan oleh panel, tetapi

belum mampu menopang beban gabungan secara terus-menerus. Untuk mengoperasikan beban gabungan 100 W selama 12 jam per hari secara netral energi dibutuhkan sekitar 1,2 kWh energi AC per hari atau panel sekitar 400 Wp. Temuan ini menegaskan bahwa Solar-BESS portabel paling tepat diposisikan sebagai pemasok beban kritis ringan dan pelengkap genset, sejalan dengan kesimpulan (Sutikno, Aji, dkk., 2025; Sutikno, Facta, dkk., 2025) . Bagi relawan, kemampuan memperkirakan durasi operasi berdasarkan daya beban menjadi dasar manajemen energi di posko, sehingga perhitungan beban dijadikan modul inti pelatihan. Keterbatasan analisis ini adalah sifatnya yang teoretis; durasi aktual dapat berbeda akibat suhu, umur baterai, efisiensi inverter pada beban rendah, dan variasi iradiasi, sehingga validasi lapangan diperlukan.

4.4 Transfer Pengetahuan dan Penguatan Kapasitas Relawan

Pelatihan diikuti oleh 40 relawan MDMC dan melibatkan narasumber dari mitra akademik UI serta praktik langsung pengoperasian unit (Gambar 5). Struktur pelatihan, kompetensi sasaran, dan bentuk praktik setiap modul disajikan pada Tabel 5.



Gambar 5. Kegiatan transfer pengetahuan: (a) penyampaian materi sistem baterai dan keselamatan oleh narasumber mitra akademik Universitas Indonesia dan (b) praktik pengoperasian Solar-BESS portabel bersama relawan MDMC

Tabel 5. Struktur pelatihan, kompetensi sasaran, dan bentuk praktik

Modul	Kompetensi sasaran	Bentuk praktik
1. Prinsip PLTS dan Solar-BESS	Menjelaskan aliran energi dari panel ke beban	Identifikasi komponen pada unit
2. Baterai litium dan BMS	Membaca indikator tegangan dan memahami fungsi proteksi	Pembacaan indikator pada berbagai kondisi pengisian
3. Perhitungan kebutuhan energi	Memperkirakan durasi operasi berdasarkan daya beban	Latihan menghitung skenario S1–S5 (Tabel 4)
4. Pengoperasian dan pengisian	Menghubungkan panel dan mengoperasikan keluaran AC/DC/USB sesuai batas daya	Simulasi beban posko
5. Keselamatan dan APAR litium	Menerapkan prosedur keselamatan dan penanganan kebakaran baterai	Demonstrasi penggunaan APAR litium
6. Perawatan dan penyimpanan	Melakukan perawatan rutin dan penyimpanan unit	Penyusunan jadwal perawatan sesuai SOP

Rancangan pelatihan tersebut menempatkan praktik sebagai inti proses belajar. Pendekatan ini sejalan dengan temuan (Subiyanto dkk., 2025) bahwa pelatihan PLTS yang memadukan konsep dan praktik dengan perangkat nyata meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta, serta (Hadi dkk., 2025) yang melaporkan peningkatan pengetahuan dan sikap masyarakat terhadap energi surya melalui keterlibatan langsung. Modul keselamatan dan perawatan diberi porsi khusus karena menentukan keamanan dan umur pakai perangkat.

Kontribusi utama tahap ini bagi pemberdayaan adalah terbentuknya kelompok relawan yang telah dibekali pengetahuan dasar pengelolaan energi darurat dan dokumen SOP sebagai rujukan tertulis. Namun, pada periode program belum dilakukan pengukuran kompetensi secara kuantitatif. Dengan demikian, capaian yang dapat dinyatakan secara objektif adalah keterlaksanaan pelatihan dan ketersediaan perangkat pembelajaran, bukan besaran peningkatan kompetensi. Pengukuran dengan *pre-test*/*post-test* dan observasi unjuk kerja, dijadwalkan pada tahap pendampingan lanjutan.

4.5 Dampak Pemberdayaan dan Keberlanjutan Program

Dampak pemberdayaan dianalisis pada enam dimensi yang disertai bukti yang dapat diverifikasi (Tabel 6).

Tabel 6. Perubahan indikator pemberdayaan sebelum dan sesudah program

Dimensi	Indikator	Sebelum	Sesudah	Bukti
Akses teknologi	Unit Solar-BESS milik mitra	0 unit	2 unit (870 Wh; 110 Wp) dan 1 APAR litium	Berita acara serah terima
Kapasitas SDM	Relawan terlatih PLTS dan baterai	0 orang	40 orang	Daftar hadir; dokumentasi
Tata kelola	SOP penggunaan dan perawatan	Belum ada	SOP diserahkan kepada mitra	Dokumen SOP
Kelembagaan	Kerja sama formal UNJ–MDMC	Belum ada	IA/PKS dalam finalisasi	Korespondensi resmi
Diseminasi	Publikasi program di media non-UNJ	0	8 media daring dan 1 video	Tautan publikasi
Pembelajaran mahasiswa	Mahasiswa terlibat dalam program	_	2 mahasiswa (perakitan, dokumentasi, pendampingan)	Laporan kegiatan

Perubahan paling nyata terjadi pada dimensi akses teknologi, kapasitas sumber daya manusia, dan tata kelola. Mitra kini memiliki dua unit Solar-BESS (total 870 Wh), 40 relawan terlatih, dan SOP sebagai pedoman penggunaan dan perawatan. Kombinasi ketiga dimensi ini penting karena pemberdayaan menuntut kemampuan dan kendali pengguna atas teknologi, bukan sekadar kepemilikan perangkat. Diseminasi pada delapan media daring non-UNJ melampaui target tiga media. Program ini tidak mengklaim penghematan BBM maupun penurunan emisi karena kedua aspek tersebut belum diukur; kontribusi terhadap SDG 7, 11, 13, dan 17 masih bersifat potensial.

Keberlanjutan program dirancang melalui empat jalur (Tabel 7). Jalur teknis dan kelembagaan diarahkan agar pengelolaan perangkat melekat pada struktur MDMC, sejalan dengan temuan (Adi Kusuma dkk., 2025) bahwa perawatan berkala menentukan keberlanjutan PLTS di tingkat komunitas.

Tabel 7. Rencana keberlanjutan dan evaluasi lanjutan

Jalur	Rencana tindak lanjut	Indikator
Teknis	Pencatatan penggunaan (durasi, jenis beban, kondisi pengisian); peningkatan panel unit A menjadi ± 400 Wp; integrasi pemantauan digital	Tersedianya data penggunaan dan spesifikasi generasi berikutnya

Jalur	Rencana tindak lanjut	Indikator
Kelembagaan	Penetapan penanggung jawab alat di MDMC; finalisasi IA/PKS UNJ–MDMC	Dokumen kerja sama ditandatangani
Sosial	*Training of trainers* bagi relawan wilayah lain menggunakan SOP dan modul pelatihan	Jumlah relawan dan wilayah yang terlibat
Evaluasi	Uji lapangan durasi operasi dan waktu pengisian; *pre-test*/*post-test* dan observasi unjuk kerja relawan	Rasio kinerja aktual terhadap estimasi; N-gain dan persentase relawan kompeten

Program ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, kinerja perangkat baru dianalisis secara teoretis dan belum diuji pada operasi bencana yang sesungguhnya. Kedua, kompetensi relawan belum diukur secara kuantitatif sehingga dampak pelatihan belum dapat dinyatakan sebagai besaran peningkatan. Ketiga, penghematan BBM dan emisi belum diukur. Keterbatasan tersebut menjadi dasar agenda evaluasi lanjutan pada Tabel 7.

5. KESIMPULAN (*Conclusions*)

Program ini menerapkan dua unit Solar-BESS portabel, yaitu unit 720 Wh berbasis $LiFePO_4$ dan unit 150 Wh berbasis NMC, sebagai sumber listrik darurat bagi relawan MDMC yang sebelumnya bergantung pada jaringan PLN dan genset BBM. Analisis skenario beban menunjukkan bahwa unit 720 Wh berpotensi memasok penerangan 40 W selama sekitar 13 jam atau beban gabungan posko 100 W selama sekitar 5,2 jam, dan panel 100 Wp-nya dapat menopang sekitar 7,6 jam penerangan per hari; sistem ini sesuai untuk beban kritis ringan, tetapi belum memadai untuk operasi posko yang terus-menerus. Program berkontribusi terhadap pemberdayaan mitra melalui akses teknologi (dua unit dan APAR litium), penguatan kapasitas 40 relawan melalui pelatihan enam modul, dan tata kelola perangkat melalui SOP yang telah diserahkan. Program selanjutnya disarankan untuk menguji perangkat di lapangan, meningkatkan kapasitas panel unit utama menjadi sekitar 400 Wp, memfinalisasi kerja sama, serta mengukur kompetensi relawan dan penghematan BBM.

6. UCAPAN TERIMA KASIH (*Acknowledgement*)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) melalui Program *Enhancing Quality Education for International University Impacts and Recognition* (EQUITY)–THE Impact Ranking dengan Nomor Kontrak 4308/B3/DT.03.08/2025 dan B/284/UN39/HK.07.00/2025, kepada LPPM Universitas Negeri Jakarta, serta kepada *Muhammadiyah Disaster Management Center* (MDMC) dan para relawan yang berpartisipasi. Penulis juga berterima kasih kepada mahasiswa Ersya Maulana dan Evan Alfaiz Zanuazuri atas keterlibatannya dalam perakitan, dokumentasi, dan pendampingan kegiatan.

7. DAFTAR PUSTAKA (*References*)

Adi Kusuma, Y., Tri Yuniahastuti, I., & Amin Yazid Achmad. (2025). SOSIALISASI MANAJEMEN PERAWATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) BAGI WARGA DESA KARTOHARJO. *JANITA : JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT*, *5*(1), 1–7. https://doi.org/10.36563/pengabdian.v5i1.1043

Anggraini, B., Al Hafidz, M., Arpi, I., Saufan, A., & Kartini, E. (2025). OPTIMASI PARAMETER SUHU KALSINASI DALAM SINTESIS KATODA NMC KAYA NIKEL UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA BATERAI LITIUM-ION. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi, Riset, Dan Teknologi (SINERGI)*, *1*(1), 35–41. https://doi.org/10.21009/sinergi.v1i1.61380

Anggraini, B., Kartini, E., Hikmah, N., Sihombing, A., Fakhruddin, M., Saufan, A., & Basori, I. (2026). Synthesis of NMC 631 Cathode Using Technical and Analytical-Grade Materials for Lithium-ion Battery. *EPJ Web of Conferences*, *377*, 01003. https://doi.org/10.1051/epjconf/202637701003

Anggraini, B., Suwarno, S., & Hariyanto. (2025). *The Effect of Aluminium-Doped LiNi0, 8Mn0, 1Co0, 1O2 (NMC 811) Cathode on Lithium-Ion Battery Performance* (pp. 495–505). https://doi.org/10.1007/978-981-96-0476-0_35

Effendi, E., Prasetyo, A. B., & Kurniawan, F. A. (2023). PENINGKATAN KAPASITAS RELAWAN DALAM MENGHADAPI BENCANA DI DESA TEMBOKREJO KECAMATAN MUNCAR KABUPATEN BANYUWANGI. *Indonesian Journal of Environment and Disaster*, *2*(1), 36–47. https://doi.org/10.20961/ijed.v2i1.640

Hadi, N. T., Muslim, M. P., Gusti, K. W., & Prasetyo, R. T. (2025). Pemberdayaan masyarakat berbasis energi surya untuk mendukung desa cerdas energi dan meningkatkan kesejahteraan. *Jurnal Inovasi Hasil Pengabdian Masyarakat (JIPEMAS)*, *8*(3), 765–777. https://doi.org/10.33474/jipemas.v8i3.24287

Husaini, B., Gressia, R. G. G., & Yassir, M. (2026). Peningkatan Kesiapsiagaan Sumber Daya Manusia Rumah Sakit Melalui Pelatihan dan Simulasi Penanggulangan Bencana. *Sarwahita*, *23*(02), 226–237. https://doi.org/10.21009/sarwahita.232.08

Labib, R. P. M. D., Murti, F. S., Putri, F. L., Anggraini, B., Yuwono, A. H., & Widayaka, P. D. (2025). Machine Learning-Based State of Charge Estimation for the Energy Management System of a 3 GT Hybrid Battery-Solar Electric Boat. *JURNAL PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA (JVoTE)*, *8*(2), 69–79. https://doi.org/10.21009/jvote.v8i2.72072

Pahlevy, G. R., Muqorrobin, M., & Karuniawan, E. A. (2025). RANCANG BANGUN PENYIMPANAN DAYA PLTS KAPASITAS 160WP MENGGUNAKAN BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS) ACTIVE BALANCING SEBAGAI PENYEIMBANG TEGANGAN PADA BATERAI. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa Dan Sosial*, *20*(3), 209–215. https://doi.org/10.32497/orbith.v20i3.6248

Subiyanto, S., Syah, M. N., Al-Azhari, A. H., Aprilianto, R. A., Saputro, B., Siroj, U., Mananul Faqih, F., Annisa, I. A., Cahayasabda, N., Prabowo, S. B. A., Pambudi, B. A., & Sutrisno, D. (2025). Peningkatan Kompetensi Keahlian Siswa SMK dengan Pelatihan Konsep dan Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Abdi: Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, *7*(2), 343–354. https://doi.org/10.24036/abdi.v7i2.1098

Sukma Wahyuni, E., Wahyu Fauzi, M., Lukman Ariansyah, Moch., & Mubarok, H. (2023). Pembuatan Portabel Energi Berbasis Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Saat Darurat Bencana untuk Bandan Penanggulangan Bencana Daerah Yogyakarta (BPBD DIY). *Journal of Approriate Technology for Community Services*, *5*(1), 43–57. https://doi.org/10.20885/jattec.vol5.iss1.art6

Sulistiyanto, S., Ahmad, T., Suromo, I., Jailani, A., & Fiqri, A. (2025). Pelatihan Membuat Kotak Emergency Listrik Respon Cepat Bencana Dengan PLTS Di Desa Desa Bucor wetan Kecamatan Pakuniran Kabupaten Probolinggo. *Gotong Royong*, *2*(3), 189–196. https://doi.org/10.63935/gr.v2i3.212

Supriyatna, S. (2024). Pemetaan Potensi Energi Surya Berbasis Global Solar Atlas di Fakultas Teknik Universitas Mataram. *DIELEKTRIKA*, *11*(2), 146–153. https://doi.org/10.29303/dielektrika.v11i2.385

Sutikno, T., Aji, W. S., Facta, M., Purnama, H. S., & Wahono, T. (2025). Portable solar photovoltaic systems for post-disaster emergency power supply: a comprehensive review. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, *14*(4), 1071. https://doi.org/10.11591/ijape.v14.i4.pp1071-1084

Sutikno, T., Facta, M., Aji, W. S., Handayani, L., Arsadiando, W., & Purnama, H. S. (2025). Energy resilience in disaster-prone regions: the role of portable and modular solar power systems. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, *16*(4), 2879. https://doi.org/10.11591/ijpeds.v16.i4.pp2879-2894

Syam, R., Priambodo, R., Firmansyah, H., & Izumi, K. (2026). Model Pemberdayaan Berbasis Masjid: Pengolahan Air Wudhu dan Penguatan Kelembagaan Mengatasi Krisis Air Jakarta Utara. *Sarwahita*, *23*(01), 115–122. https://doi.org/10.21009/sarwahita.231.10