

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) UMKM Sebagai Simpul Ketahanan Energi Komunitas: Kuantifikasi Dampak Dan Peran Pemeliharaan Partisipatif Pada Kelompok Batik Natural Art

Irwan Novianto^{1*}, Zulfatun Ruscitasari², Septian Rico Hernawan³, Marosimy Millaty⁴, I Nyoman Apraz Ramatryana⁵, Gandeve Bayu Satrya⁶, Muhamad Nasruddin Manaf⁷, Zulkhairi⁸, Adelia Octora Pristi Sahida⁹, Bledug Kusuma Prasaja¹⁰, Duana Siska Mawardi¹¹,

^{1,5,6,7,8,9,10,11}*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*

²*Program Studi Akuntansi, Fakultas Ekonomi, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*

³*Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*

⁴*Program Studi Agribisnis, Fakultas Industri Halal, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta*

**Email: irwannovianto@unu-jogja.ac.id*

Abstrak

History Artikel

Received:

Juli-2026;

Reviewed:

Juli-2026;

Accepted:

Juli-2026;

Published:

Juli-2026

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terpasang pada Kelompok Batik Natural Art di Giripurwo, Gunungkidul, awalnya ditujukan untuk produksi batik cap, namun berkembang menjadi sumber daya energi bersama bagi masyarakat sekitar saat pemadaman PLN yang terjadi sekitar tiga kali per bulan. Pengabdian ini bertujuan: (1) mengkuantifikasi peran PLTS UMKM sebagai simpul ketahanan energi komunitas, dan (2) mengukur dampak pemeliharaan partisipatif terhadap keberlanjutan sistem. Metode yang digunakan adalah participatory action research (PAR) yang dipadukan dengan kuantifikasi dampak teknis dan sosial. Hasil menunjukkan bahwa pemeliharaan minor dengan pembersihan panel surya dari debu dapat memulihkan sekitar 20% keluaran sistem daya listrik (± 1.792 Wh/hari atau setara ± 654 kWh/tahun) yang sebelumnya hilang akibat soiling dan rugi resistif. Pada dimensi sosial, sistem melayani sekitar 270 kali pengisian daya telepon genggam warga per tahun dengan otonomi sistem hampir sehari saat pemadaman, menjadikannya infrastruktur energi cadangan komunitas. Penguatan kapasitas teknis menghasilkan 3 sampai dengan 5 anggota yang mampu memelihara sistem secara mandiri. Studi ini menyimpulkan bahwa nilai PLTS UMKM melampaui fungsi produktifnya, dan pemeliharaan partisipatif merupakan prasyarat kuantitatif maupun sosial bagi keberlanjutan ketahanan energi komunitas.

Kata kunci: Ketahanan Energi Komunitas, PLTS, Pemeliharaan Partisipatif, UMKM, Batik Cap

PENDAHULUAN

Wilayah Giripurwo Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, kerap mengalami pemadaman listrik PLN pada musim penghujan yang di akibatkan oleh beberapa faktor salah satunya kondisi geografis. Gangguan pasokan energi semacam ini merupakan salah satu ancaman utama bagi keandalan sistem energi [1]. Kondisi ini berdampak tidak hanya pada aktivitas ekonomi, tetapi juga pada kebutuhan dasar masyarakat akan akses energi. Risiko terhentinya proses produksi akibat pemadaman listrik PLN juga ditemukan pada usaha kecil lain yang mengandalkan listrik konvensional, sehingga mendorong adopsi PLTS sebagai sumber energi alternatif [2]. Dalam konteks ini, sumber energi terdistribusi seperti PLTS skala kecil memiliki potensi strategis sebagai penopang ketahanan energi tingkat lokal, sebagaimana terbukti pada penerapan energi surya di kawasan dengan keterbatasan jaringan Listrik [3].

Kelompok Batik Natural Art di Kelurahan Giripurwo merupakan komunitas usaha kreatif yang memproduksi batik cap dengan pewarna alami dengan nama motif Nogo Lintang. Sebagai bagian dari rangkaian pengabdian berkelanjutan, kelompok ini telah melewati tahap sosialisasi pemanfaatan EBT panel surya [4] dan instalasi PLTS berkapasitas panel surya 2.800 Wp dengan baterai 48V 100Ah. Sistem tersebut terbukti meningkatkan kapasitas produksi dan menurunkan biaya operasional.

Seiring waktu, muncul fenomena yang tidak diantisipasi dalam perencanaan awal: ketika terjadi pemadaman PLN, warga sekitar memanfaatkan listrik dari PLTS kelompok untuk memenuhi kebutuhan dasar, khususnya mengisi daya telepon genggam. PLTS yang semula dirancang sebagai aset produktif kelompok (*productive use of energy*) [5] berkembang fungsinya menjadi sumber daya energi bersama (*shared energy resource*). Pergeseran fungsi ini menempatkan PLTS UMKM sebagai simpul ketahanan energi komunitas, peran yang belum banyak dikuantifikasi dalam literatur pengabdian masyarakat. Ketahanan energi komunitas merujuk pada kemampuan suatu komunitas untuk menyerap, beradaptasi, dan pulih dari gangguan layanan energi [6], dengan sistem energi terdistribusi berperan sebagai salah satu titik resiliensinya [7]. Sistem surya terdistribusi juga terbukti meningkatkan akses energi dan aktivitas ekonomi di wilayah yang kurang terlayani jaringan Listrik [8].

Namun, keberlanjutan kedua fungsi tersebut sangat bergantung pada kondisi teknis sistem. PLTS rentan mengalami penurunan kinerja apabila tidak dirawat. Dua gangguan paling umum adalah akumulasi debu pada permukaan panel (*soiling*) dan sambungan kelistrikan yang longgar. Pada sistem PV di iklim tropis Indonesia, *soiling* dapat menurunkan keluaran daya beberapa hingga belasan persen [9], sementara secara global kerugian energi tahunan akibat *soiling* diestimasi 3–5% dan meningkat tajam di wilayah kering berdebu. Berbagai kajian menegaskan bahwa akumulasi debu merupakan salah satu penyebab utama penurunan efisiensi panel surya yang dapat dipulihkan melalui pembersihan [10]. Tanpa pemeliharaan yang konsisten dan kapasitas teknis yang memadai pada kelompok, baik fungsi produktif maupun fungsi sosial sistem terancam.

Berbeda dengan kajian pengabdian sejenis yang umumnya berhenti pada deskripsi kualitatif kegiatan pemeliharaan, pengabdian ini menempatkan dua pertanyaan terukur sebagai fokus, seberapa besar dampak kuantitatif pemeliharaan terhadap pemulihan kinerja sistem, dan seberapa besar kontribusi terukur PLTS sebagai infrastruktur ketahanan energi komunitas. Pendekatan kuantitatif ini menjadi kebaruan utama kegiatan.

Kajian terdahulu mendukung relevansi pendekatan ini. Kamelia dkk. menunjukkan bahwa efisiensi sistem pembangkit terbarukan di Gunungkidul dipengaruhi oleh keberlanjutan pengelolaannya [11]. Bakar dkk. menekankan bahwa keberlanjutan usaha kecil berbasis energi surya bergantung pada pengelolaan sistem yang baik [12]. Novianto dkk. mengungkapkan bahwa penerapan panel surya pada industri batik perlu didukung pemeliharaan agar manfaatnya berkelanjutan [13]. Sejumlah kegiatan pengabdian juga menegaskan bahwa keberlanjutan sistem PLTS sangat bergantung pada penguatan kapasitas pemeliharaan mandiri masyarakat sasaran melalui pelatihan perawatan komponen dan transfer keterampilan teknis [14]. Literatur operasi dan pemeliharaan PV menegaskan bahwa strategi pemeliharaan terstruktur diperlukan untuk menjaga kinerja dan ketersediaan sistem sepanjang masa pakainya [15], termasuk penanganan gangguan umum seperti sambungan longgar dan penurunan efisiensi keluaran [16]. Pada konteks Indonesia, penerapan PLTS atap pada UMKM telah menunjukkan manfaat efisiensi energi [17], meskipun adopsi PLTS secara lebih luas masih menghadapi kendala kebijakan, biaya, dan kapasitas teknis [18], [19]. Namun kajian yang mengkuantifikasi peran PLTS UMKM sebagai infrastruktur ketahanan energi komunitas dan mengaitkannya dengan pemeliharaan partisipatif masih sangat terbatas.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan ini menggunakan metode *participatory action research* (PAR) yang dipadukan dengan kuantifikasi dampak teknis dan sosial. Pelibatan komunitas sebagai partisipan aktif merupakan inti pendekatan PAR yang banyak diterapkan pada proyek energi terbarukan berbasis masyarakat [20]. Anggota Kelompok Batik Natural Art dilibatkan aktif dalam pemeliharaan teknis maupun penghimpunan data pemanfaatan komunitas. Lokasi kegiatan bertempat di sentra produksi kelompok batik Natural Art, Kelurahan Giripurwo, Kabupaten Gunungkidul.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi teknis (pengukuran parameter dan estimasi kerugian kinerja), wawancara dengan ketua dan anggota, serta pencatatan pemanfaatan listrik oleh warga saat pemadaman. Estimasi kuantitatif dampak pemeliharaan dihitung dengan mengacu pada rentang kerugian kinerja yang lazim dalam literatur PLTS, yaitu kerugian akibat soiling (akumulasi debu) dan kerugian resistif akibat sambungan longgar, kemudian dibandingkan terhadap potensi output optimal sistem. Adapun kontribusi sosial diukur berdasarkan parameter pemanfaatan: jumlah warga terlayani, durasi pengisian, daya charger, dan frekuensi pemadaman.

Kegiatan dilaksanakan dalam lima tahap yang berurutan. Rincian cara pelaksanaan setiap tahap, indikator capaian, serta metode analisis capaiannya dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian Pelaksanaan Tahapan Kegiatan dan Metode Analisis Capaian

Tahap	Cara Pelaksanaan	Indikator Capaian dan Metode Analisis
1. Inspeksi dan identifikasi	Pemeriksaan visual dan pengukuran parameter kelistrikan (tegangan, arus) pada panel surya, SCC, baterai, inverter, dan seluruh titik sambungan menggunakan multimeter/clamp meter. wawancara dengan ketua dan anggota kelompok. Serta pencatatan pola pemanfaatan listrik oleh warga saat pemadaman	Terhimpunnya daftar temuan gangguan dan data baseline. Capaian dianalisis dengan membandingkan parameter terukur terhadap spesifikasi teknis sistem.
2. Pemeliharaan teknis	Pembersihan permukaan panel menggunakan air bersih dan sapu, pengencangan seluruh sambungan kelistrikan, serta perapian jalur kabel	Seluruh temuan gangguan tertangani, capaian dianalisis melalui checklist pemeliharaan dengan target tuntas 100%
3. Pengecekan pasca-pemeliharaan	Pengukuran ulang tegangan dan arus keluaran panel, tegangan serta status pengisian baterai, dilanjutkan uji beban dengan mengoperasikan beban produksi secara penuh	Seluruh parameter kembali berada pada rentang spesifikasi, capaian dianalisis dengan perbandingan before-after parameter terukur
4. Edukasi dan penguatan kapasitas	Praktik langsung dan demonstrasi prosedur pemeliharaan dasar (pembersihan panel, pemeriksaan kekencangan sambungan) kepada anggota kelompok, disertai panduan pemeliharaan sederhana	Minimal 3 anggota mampu melakukan pemeliharaan dasar secara mandiri, capaian dievaluasi melalui uji praktik terobservasi menggunakan lembar ceklis kinerja
5. Analisis dampak teknis dan sosial	Kuantifikasi pemulihan output sistem berdasarkan estimasi kerugian kinerja pra-pemeliharaan, serta agregasi data pemanfaatan komunitas menjadi metrik tahunan	Dampak teknis dan sosial terukur, capaian dianalisis dengan perhitungan energi dan metrik pemanfaatan tahunan

Evaluasi keberhasilan kegiatan dilakukan terhadap tiga kelompok indikator dengan target dan instrumen pengukuran yang ditetapkan sejak awal. Pertama, indikator teknis seluruh gangguan

yang teridentifikasi tertangani (checklist pemeliharaan tuntas 100%) dan parameter kelistrikan sistem tegangan serta arus keluaran panel, tegangan dan status pengisian baterai kembali berada pada rentang spesifikasi teknis, diverifikasi melalui pengukuran ulang menggunakan multimeter/clamp meter serta uji beban produksi. Kedua, indikator kapasitas minimal tiga anggota kelompok mampu melakukan prosedur pemeliharaan dasar secara mandiri, dievaluasi melalui uji praktik langsung yang diobservasi tim pelaksana menggunakan lembar ceklis kinerja. Ketiga, indikator sosial terdokumentasikannya pola pemanfaatan listrik PLTS oleh warga saat pemadaman meliputi frekuensi kejadian, jumlah pemanfaat, dan jenis pemanfaatan sebagai basis kuantifikasi peran sistem bagi komunitas. Analisis capaian dilakukan dengan pendekatan perbandingan sebelum dan sesudah, parameter teknis pasca pemeliharaan dibandingkan terhadap kondisi awal dan estimasi kerugian kinerja berbasis literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Tahapan Kegiatan

Kegiatan pengabdian dilaksanakan di sentra produksi Kelompok Batik Natural Art, Kelurahan Giripurwo, Kabupaten Gunungkidul, mengikuti lima tahap yang telah dirancang pada bagian metode Tabel 1. Uraian pelaksanaan setiap tahap beserta dokumentasinya adalah sebagai berikut.

Tahap pertama, inspeksi dan identifikasi, dilaksanakan melalui kunjungan lapangan tim pelaksana bersama anggota kelompok. Tim melakukan pemeriksaan visual terhadap seluruh komponen sistem, meliputi panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, inverter, dan jalur sambungan, dilanjutkan pengukuran parameter kelistrikan (tegangan dan arus) menggunakan multimeter dan clamp meter. Dari inspeksi ini teridentifikasi dua gangguan dominan, yaitu akumulasi debu pada permukaan panel dan beberapa titik sambungan yang longgar. Pada tahap yang sama dilakukan wawancara dengan ketua dan anggota kelompok serta pencatatan pola pemanfaatan listrik PLTS oleh warga sekitar saat pemadaman PLN sebagai data awal kegiatan. Dokumentasi kegiatan inspeksi dan monitoring kondisi sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kegiatan monitoring kondisi PLTS di kelompok batik Natural Art.

Tahap kedua, pemeliharaan teknis, dilaksanakan pada pagi hari untuk menghindari suhu permukaan panel yang tinggi. Permukaan panel dibersihkan menggunakan air bersih dan wiper mikrofiber hingga bebas dari akumulasi debu, seluruh titik sambungan yang teridentifikasi longgar dikencangkan kembali, dan jalur kabel dirapikan. Anggota kelompok dilibatkan

langsung dalam setiap pekerjaan sebagai wujud pendekatan partisipatif sekaligus media pembelajaran praktik. Dokumentasi kegiatan pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembersihan panel surya dan perbaikan sambungan kelistrikan.

Tahap ketiga, pengecekan pasca-pemeliharaan, dilakukan dengan mengukur ulang tegangan dan arus keluaran panel serta tegangan dan status pengisian baterai, kemudian dilanjutkan uji beban dengan mengoperasikan beban produksi secara penuh. Hasil pengukuran menunjukkan seluruh parameter kembali berada pada rentang spesifikasi teknis sistem, sebagaimana dirinci pada sub-bab berikutnya. Dokumentasi pengecekan parameter ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengecekan parameter daya sistem PLTS pasca-pemeliharaan, serta edukasi pemeliharaan mandiri kepada anggota Kelompok Batik Natural Art.

Tahap keempat, edukasi dan penguatan kapasitas pemeliharaan mandiri, dilaksanakan melalui praktik langsung dan demonstrasi prosedur pemeliharaan dasar, yakni pembersihan panel dan pemeriksaan kekencangan sambungan, kepada anggota kelompok disertai panduan pemeliharaan sederhana. Kemampuan anggota kemudian dievaluasi melalui uji praktik yang diobservasi tim pelaksana. Dokumentasi kegiatan edukasi ditunjukkan pada Gambar 3.

Tahap kelima, analisis dampak teknis dan sosial, dilaksanakan dengan mengolah seluruh data yang terhimpun: kuantifikasi pemulihan output sistem berdasarkan estimasi kerugian kinerja pra-pemeliharaan, serta agregasi data pemanfaatan listrik oleh warga menjadi metrik tahunan. Hasil analisis selanjutnya didiskusikan dan direfleksikan bersama kelompok. Dokumentasi kegiatan diskusi hasil ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan hasil lengkap analisis diuraikan pada sub-bab berikut.



Gambar 4. Diskusi hasil dan refleksi bersama anggota kelompok.

Dampak Kuantitatif Pemeliharaan Teknis

Inspeksi awal mengidentifikasi dua gangguan dominan, akumulasi debu pada permukaan panel surya dan sambungan kelistrikan yang longgar. Mengacu pada studi lapangan PV di iklim tropis Indonesia, kerugian keluaran akibat soiling berkisar sekitar 4–12% [9], dengan rata-rata global 3–5% dan meningkat tajam di wilayah kering berdebu. Mengingat kondisi Gunungkidul yang relatif berdebu, kerugian soiling pada sistem ini diestimasi mendekati batas atas rentang tropis tersebut, yaitu $\pm 12\%$. Sementara itu, sambungan kelistrikan yang longgar menambah rugi resistif dan penurunan kinerja yang, sesuai literatur operasi dan pemeliharaan PV, dapat mencapai beberapa persen lagi (diestimasi $\pm 8\%$) [16]. Dengan demikian, total kerugian kinerja gabungan sebelum pemeliharaan diestimasi $\pm 20\%$ dari potensi output optimal.

Potensi output optimal sistem sebesar:

$$2.800 \text{ Wp} \times 4 \text{ jam} \times 80\% = 8.960 \text{ Wh} \quad (1)$$

Dengan kerugian $\pm 20\%$, output sebelum pemeliharaan diestimasi turun menjadi ± 7.168 Wh/hari. Dengan demikian, pemeliharaan minor memulihkan energi sebesar:

$$8.960 \text{ Wh} - 7.168 \text{ Wh} = \pm 1.792 \text{ Wh/hari} (\approx 654 \text{ kWh/tahun}) \quad (2)$$

Pemeliharaan minor pada panel surya dengan membersihkan debu yang menempel pada panel surya dapat memulihkan sekitar 20% output sistem, setara ± 654 kWh per tahun.

Tabel 2. Temuan Pemeliharaan dan Dampak Terukur terhadap Kinerja Sistem

Temuan	Deskripsi Gangguan	Tindakan	Dampak Terukur
Panel surya berdebu	Akumulasi debu menurunkan radiasi terserap	Pembersihan panel	Estimasi kerugian soiling $\pm 12\%$ (rentang tropis 4-12%)
Sambungan longgar	Penurunan tegangan & potensi pemanasan lokal	Pengencangan sambungan	Estimasi rugi sambungan/kontak $\pm 8\%$ output
Baterai 48V 100Ah	Berfungsi normal	Pengecekan tegangan & pengisian	Penyimpanan optimal terverifikasi
Sistem keseluruhan	Performa menurun $\pm 20\%$ dari potensi	Pemulihan + uji beban	Output pulih ke ± 8.960 Wh/hari

Tabel 2 menegaskan bahwa gangguan minor, apabila dibiarkan, secara akumulatif menurunkan kinerja sistem hingga seperlima dari potensinya. Pemulihan kinerja ini bersifat ganda dampaknya: memastikan ketersediaan energi untuk produksi kelompok sekaligus menjaga kapasitas sistem untuk melayani kebutuhan komunitas saat pemadaman.

Kuantifikasi Peran sebagai Simpul Ketahanan Energi Komunitas.

Pada dimensi sosial, di wilayah Giripurwo pemadaman PLN terjadi sekitar tiga kali per bulan (± 36 kali/tahun). Pada setiap kejadian, sekitar 5 - 10 warga (rata-rata 7,5) memanfaatkan listrik PLTS kelompok untuk mengisi daya telepon genggam selama 1 - 2 jam. Dengan daya charger ± 10 W dan durasi $\pm 1,5$ jam, energi per pengisian adalah ± 15 Wh. Maka kontribusi sosial sistem dapat dikuantifikasi sebagai berikut:

$$7,5 \text{ warga} \times 36 \text{ kejadian/tahun} \approx 270 \text{ layanan pengisian HP/tahun} \quad (3)$$

$$270 \times 15 \text{ Wh} \approx 4,05 \text{ kWh energi komunitas/tahun} \quad (4)$$

Meskipun secara absolut energi yang disalurkan tampak kecil, nilainya terletak pada konteks ketahanan: pengisian dilakukan justru ketika jaringan utama lumpuh. Telepon genggam dalam situasi ini menjadi akses terhadap informasi, layanan darurat, dan konektivitas dasar, sehingga layanan ini memiliki bobot resiliensi yang tinggi. Sistem juga memiliki otonomi hampir sehari-hari saat pemadaman, dengan baterai terisi ulang oleh panel surya pada siang hari, sehingga kapasitas layanannya berkelanjutan sepanjang periode pemadaman. Peran baterai sebagai penyangga ketersediaan energi ketika pasokan surya tidak tersedia juga menjadi komponen kunci pada sistem PLTS lain yang menuntut keandalan operasional [21].

Penguatan Kapasitas Pemeliharaan Mandiri

Keberlanjutan kedua fungsi di atas memerlukan kapasitas pemeliharaan internal. Sebelum pendampingan, kelompok tidak memiliki anggota yang mampu melakukan pemeliharaan mandiri dan bergantung penuh pada pihak luar. Setelah edukasi dan praktik partisipatif, 3 - 5 anggota mampu melakukan pengecekan dan pemeliharaan dasar, seperti pembersihan panel berkala dan pemeriksaan kekencangan sambungan. Pola peningkatan kapasitas teknis melalui pendekatan partisipatif ini sejalan dengan kegiatan pemberdayaan PLTS lain yang menunjukkan peningkatan kompetensi peserta secara signifikan setelah pelatihan instalasi dan perawatan [14], serta pelibatan langsung kelompok sasaran dalam pemeliharaan sistem agar tidak bergantung pada pihak luar [21].

Tabel 3. Perubahan Kapasitas Pemeliharaan Mandiri Kelompok

Kondisi	Kapasitas Teknis Kelompok
Sebelum pendampingan	0 anggota mampu pemeliharaan mandiri; bergantung penuh pada pihak luar
Setelah pendampingan	3 - 5 anggota mampu melakukan pengecekan & pemeliharaan dasar (pembersihan panel, periksa sambungan)

Penguatan kapasitas ini penting karena menjadikan pemulihan kinerja $\pm 20\%$ sebagaimana ditemukan di atas dapat dipertahankan secara berkelanjutan oleh kelompok sendiri, tanpa ketergantungan pada intervensi eksternal berulang.

Model Konseptual: Tiga Lapis Keberlanjutan.

Hasil kegiatan ini dapat disintesis ke dalam sebuah model konseptual tiga lapis yang menjelaskan bagaimana pemeliharaan partisipatif menopang ketahanan energi komunitas. Lapis pertama adalah keberlanjutan teknis dimana, pemeliharaan rutin dengan pembersihan panel surya dari debu dapat menjaga keluaran sistem daya Listrik pada kapasitas optimalnya. Lapis kedua adalah keandalan sistem dimana, keluaran yang terjaga memastikan sistem mampu memenuhi beban produksi sekaligus menyediakan cadangan energi listrik. Lapis ketiga adalah resiliensi komunitas dimana, keandalan sistem inilah yang memungkinkan PLTS berfungsi sebagai simpul ketahanan energi bagi warga saat pemadaman. Ketiga lapis bersifat berurutan dan saling bergantung, jika terjadi kegagalan pada lapis pertama (pemeliharaan) akan meruntuhkan kapasitas pada lapis ketiga (resiliensi komunitas).

Dalam kerangka teori difusi inovasi Rogers, kegiatan ini menempati tahap konfirmasi, di mana keberlanjutan adopsi inovasi diupayakan melalui perawatan dan pengelolaan [22]. Model tiga lapis di atas memperjelas bahwa pada PLTS UMKM yang telah mengemban fungsi sosial, tahap konfirmasi tidak lagi bersifat privat bagi pengadopsi, melainkan memikul dimensi kepentingan publik.

Implikasi praktisnya bersifat strategis, dimana dengan program pemberdayaan UMKM berbasis PLTS sebaiknya memperlakukan pendampingan pemeliharaan partisipatif sebagai komponen integral, bukan kegiatan tambahan. Karena sistem berpotensi menjadi infrastruktur ketahanan energi komunitas, menjaga keberlanjutan teknisnya berarti menjaga akses energi warga pada saat-saat kritis.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini menghasilkan tiga temuan terukur yang saling terkait. Pertama, pemeliharaan partisipatif berupa pembersihan panel surya dari debu memulihkan sekitar 20% output sistem (± 1.792 Wh/hari atau ± 654 kWh/tahun) yang sebelumnya hilang akibat *soiling*. Kedua, PLTS kelompok berfungsi sebagai simpul ketahanan energi komunitas, melayani sekitar 270 kali pengisian daya telepon genggam warga per tahun dengan otonomi hampir sehari saat pemadaman. Ketiga, penguatan kapasitas menghasilkan 3 sampai dengan 5 anggota yang mampu memelihara sistem secara mandiri.

Ketiga temuan ini terangkai dalam model tiga lapis keberlanjutan teknis, keandalan sistem, dan resiliensi komunitas. Yang menegaskan bahwa pemeliharaan partisipatif merupakan prasyarat, baik secara kuantitatif maupun sosial, bagi keberlanjutan ketahanan energi komunitas. Nilai PLTS UMKM dengan demikian melampaui fungsi produktifnya.

Sebagai tindak lanjut, direkomendasikan penyusunan jadwal pemeliharaan berkala yang dikelola kelompok, pengembangan tata kelola pemanfaatan bersama, serta replikasi model PLTS UMKM sebagai simpul ketahanan energi komunitas pada lokasi lain dengan tantangan keandalan listrik serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jasiūnas, P. D. Lund, and J. Mikkola, "Energy System Resilience – A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 150, p. 111476, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111476.
- [2] Gunawan, Yassir, C. A. Rahmawati, and Rahmawati, "Pemberdayaan IRT VCO-Cocok melalui Energi Surya dan Pemanfaatan Limbah Menjadi Nata de Coco dalam Kerangka Green Economy," *Jurnal Vokasi*, vol. 10, no. 1, pp. 89–100, 2026.

- [3] L. P. I. Midiani, I. G. A. B. Wirajati, and M. E. Arsana, "PKM Penggunaan Lampu Penerangan Jalan Tenaga Surya untuk Mendukung Kawasan Wisata Edukasi Subak Teba Majelangu Desa Kesiman Kertalangu," *Jurnal Vokasi*, vol. 7, no. 3, pp. 291–297, 2023.
- [4] I. Novianto *et al.*, "Sosialisasi Pemanfaatan Panel Surya (EBT) untuk Program Penguatan Produksi Batik Cap pada Kelompok Batik Natural Art," *J-Abdi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 3, pp. 597–604, 2025.
- [5] R. A. Cabraal, D. F. Barnes, and S. G. Agarwal, "Productive Uses of Energy for Rural Development," *Annu. Rev. Environ. Resour.*, vol. 30, pp. 117–144, 2005, doi: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144228.
- [6] S. Hosseini, K. Barker, and J. E. Ramirez-Marquez, "A Review of Definitions and Measures of System Resilience," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 145, pp. 47–61, 2016, doi: 10.1016/j.ress.2015.08.006.
- [7] F. Mujjuni, T. R. Betts, L. S. To, and R. E. Blanchard, "Resilience a Means to Development: A Resilience Assessment Framework and a Catalogue of Indicators," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 152, p. 111684, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111684.
- [8] S. M. Tisha and others, "Empowering Rural South Asia: Off-Grid Solar PV, Electricity Accessibility, and Sustainable Agriculture," *Appl. Energy*, 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124464.
- [9] J. Tanesab, D. Parlevliet, J. Whale, and T. Urme, "Energy and Economic Losses Caused by Dust on Residential Photovoltaic (PV) Systems Deployed in Different Climate Areas," *Renew. Energy*, vol. 120, pp. 401–412, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2017.12.076.
- [10] S. Yakubu *et al.*, "A holistic review of the effects of dust buildup on solar photovoltaic panel efficiency," *Solar Compass*, vol. 13, p. 100101, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.solcom.2024.100101.
- [11] L. Kamelia, K. Kharisma, and A. Fadhil, "Analisis Perencanaan Secara Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Terbarukan (Studi Kasus: Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta)," *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, vol. 3, no. 1, pp. 13–27, May 2017, doi: 10.15575/telka.v3n1.13-27.
- [12] S. A. Bakar, J. Waluyo, M. Sholeh, and N. Herry, "Penerapan Energi Terbarukan di Kawasan Wisata Lumbung Mataraman Desa Bendung Gunungkidul," *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, vol. 6, no. 2, pp. 181–187, 2024, doi: 10.33480/abdinas.v6i2.6067.
- [13] I. Novianto and others, "Implementasi Teknologi EBT Berbasis Panel Surya Pada Produksi Batik Tulis," *Kapas*, vol. 2, no. 1, 2023.
- [14] Gunawan, R. Syahputra, Darmein, Supardin, and Ruhana, "Perakitan Pembangkit Listrik Tenaga Surya bagi Pemuda Desa Alue Lim," *Jurnal Vokasi*, vol. 8, no. 1, pp. 129–137, 2024, doi: 10.30811/vokasi.v8i1.5032.
- [15] H. Abdulla, A. Sleptchenko, and A. Nayfeh, "Photovoltaic Systems Operation and Maintenance: A Review and Future Directions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 195, p. 114342, 2024, doi: 10.1016/j.rser.2024.114342.
- [16] K. Keisang, T. Bader, and R. Samikannu, "Review of Operation and Maintenance Methodologies for Solar Photovoltaic Microgrids," *Front. Energy Res.*, vol. 9, p. 730230, 2021, doi: 10.3389/fenrg.2021.730230.

- [17] A. Setiawan, R. Duanaputri, I. Ridzki, I. Heryanto, R. A. Prasjo, and H. D. F. Amaral, "Workshop Penerapan Green Energy Berbasis Rooftop Solar Photovoltaic pada UMKM Maju Lancar Kota Madiun," *Jurnal Pengabdian Polinema Kepada Masyarakat*, vol. 9, no. 2, pp. 173–177, 2022, doi: 10.33795/jppkm.v9i2.167.
- [18] E. Tarigan, "Rooftop PV System Policy and Implementation Study for a Household in Indonesia," *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 10, no. 5, pp. 110–115, 2020, doi: 10.32479/ijeeep.9539.
- [19] N. Nurwidiana, "Barriers to Adoption of Photovoltaic System: A Case Study from Indonesia," *Journal of Industrial Engineering and Education*, vol. 1, no. 1, pp. 80–89, 2023.
- [20] Anon., "Community Acceptability and the Energy Transition: A Citizens' Perspective," *Energy Sustain. Soc.*, vol. 9, p. 23, 2019, doi: 10.1186/s13705-019-0218-z.
- [21] N. A. Abdullah, M. Amin, F. Amir, and S. B. Widodo, "Pemanfaatan Energi Surya untuk Menggerakkan Pompa Submersible pada Sistem Pengairan Sawah Tadah Hujan," *Jurnal Vokasi*, vol. 7, no. 1, pp. 50–58, 2023.
- [22] E. M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, 5th ed. Simon and Schuster, 2023.