JURNAL HILIRISASI IPTEKS
ISSN: 2621-7198 (Online)

Pemanfaatan PLTS Off-Grid untuk Meningkatkan Efisiensi Pengolahan Kopi di Nagari Lasi Kabupaten Agam

Utilizing an Off-Grid Solar Power System to Enhance Coffee Processing Efficiency in Nagari Lasi, Agam Regency

Darwison[1*)], Zaini[1], Silvia Permata Sari[2], Firman Ridwan[3], Andi Pawawoi[1], Fauzan Wafi[1], Dilla Wediya[1], Irsyad Alghi Fary[1], Defriyan Hidayat[1], Fadhila Amanda[1], Reivan Arya Witama[1]

[1.] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
[2.] Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Andalas, Padang, Indonesia
[3.] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

[*)] Email korespondensi: darwison@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

This program was undertaken to improve the efficiency and sustainability of post-harvest coffee and sugarcane processing in Nagari Lasi, Agam Regency, Indonesia, through the implementation of an off-grid solar photovoltaic (PV) system. Following the eruption of Mount Marapi, local farmers experienced a significant decline in productivity due to their dependence on diesel-powered machinery and limited access to reliable energy sources. To address these challenges, a 540 Wp off-grid solar PV system was installed to provide a clean, renewable, and sustainable power supply for coffee pulping and sugarcane milling. A participatory community development approach was adopted, actively engaging members of the Lasi Reborn Farmers Group throughout the project. The activities included a needs assessment, system design, procurement and installation of solar panels, brushless direct current (BLDC) motors, and maximum power point tracking (MPPT) controllers, followed by laboratory testing, field demonstrations, and operational training. The results demonstrated that the solar PV system performed effectively, achieving an energy conversion efficiency of 87%, reducing fuel-related operating costs by up to 94.4%, and decreasing coffee processing time by approximately 25%, while simultaneously minimizing environmental pollution. Furthermore, capacity-building activities and hands-on training significantly improved farmers' technical competencies and enhanced their energy self-sufficiency. Overall, the project demonstrates that renewable energy-based technologies can improve agricultural productivity, strengthen rural livelihoods, and support sustainable post-disaster recovery in farming communities. These findings highlight the potential of decentralized renewable energy systems as a practical and scalable solution for promoting resilient and sustainable rural development.

Keywords: *Off-Grid Solar Photovoltaic (PV) System; Coffee Processing; Renewable Energy; Energy Efficiency; Farmer Empowerment; Sustainable Agriculture.*

Received | May 17, 2026; Accepted | April 11, 2026; Published | June 30, 2026
Jurnal Hilirisasi IPTEKS. 9(2): 2026
[*)] Correspondence | Darwison, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Andalas, Padang, Indonesia;
Email | darwison@eng.unand.ac.id
DOI | https://doi.org/10.25077/jhi.v9i2
ISSN (Online) | 2621-7198

CC BY-SA 4.0
Copyright © 2026 by Authors. Published by Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas.
This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY-SA 4.0) International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

PENDAHULUAN

Nagari Lasi di Kabupaten Agam merupakan salah satu wilayah penghasil kopi yang penting di Sumatera Barat. Pasca-erupsi Gunung Marapi, masyarakat tani di wilayah ini mengalami tantangan serius dalam menjaga produktivitas akibat kerusakan infrastruktur dan keterbatasan energi. Berdasarkan hasil survei awal, tercatat bahwa 80% proses pengolahan hasil pertanian, seperti pengeringan biji kopi, masih sangat mengandalkan mesin berbahan bakar fosil (diesel). Ketergantungan terhadap pasokan BBM ini membebani kelompok tani dengan biaya operasional energi yang tinggi, yakni mencapai sekitar Rp65.000 per hari, serta menimbulkan polusi udara di lingkungan produksi (Mahmudati & Indrawati, 2019; Santoso, 2021). Lebih lanjut, penggunaan mesin konvensional di tengah gangguan akses energi ini menyebabkan inefisiensi, di mana proses penggilingan memakan waktu 25% lebih lama dibandingkan jika menggunakan teknologi bertenaga motor listrik terbarukan.

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala kecil telah diakui sebagai solusi energi terbarukan yang andal dan ekonomis bagi agroindustri, khususnya dalam mengatasi krisis energi operasional di daerah *off-grid* dengan potensi peningkatan efisiensi hingga 30% (Darwison et al., 2024; Ismail & Ahmad, 2020; Pratama & Nugroho, 2020; Rojas & Alvarez, 2019). Sejauh ini, keberhasilan implementasi PLTS di sektor pertanian umumnya baru diaplikasikan pada pengoperasian beban stasioner dasar, seperti sistem pompa air (Hidayat & Yusuf, 2021; Widjaja & Hartono, 2022). Untuk mengatasi kehilangan daya mekanis pada peralatan bertenaga surya tersebut, integrasi motor *Brushless DC* (BLDC) dan sistem kendali elektronik telah dibuktikan mampu mengoptimalkan efisiensi putaran mesin secara signifikan (Kumar & Sharma, 2020; Lin & Chen, 2022). Meskipun demikian, terdapat keterbatasan pada studi-studi terdahulu yang sebagian besar masih meneliti sistem kelistrikan PLTS dan kendali motor mekanis secara terpisah, atau hanya terbatas pada beban kerja yang ringan. Belum banyak implementasi yang menyintesiskan sistem PLTS secara terpadu dengan motor BLDC berkapasitas besar dan terkendali microcontroller untuk dihadapkan pada mesin berbeban dinamis tinggi (seperti alat penggilingan kopi) secara bersamaan.

Selain efisiensi energi, penerapan teknologi PLTS memiliki dampak positif terhadap lingkungan dan sosial. Anwar dan Hendra (2025), Park dan Lee (2021), serta Widodo dan Setiawan (2022) mencatat bahwa program elektrifikasi pedesaan berbasis energi terbarukan dapat meningkatkan pendapatan petani, memperkuat ekonomi di kawasan rawan bencana, dan menurunkan emisi karbon. Studi Rahman dan Hadi (2023) serta Zhang dan Wang (2021) membuktikan bahwa PLTS dapat diadaptasi untuk proses pengeringan hasil pertanian dengan performa yang optimal. Meskipun berbagai penelitian terkait telah dilakukan, masih terdapat beberapa kesenjangan (*research gap*) yang belum dieksplorasi secara spesifik oleh studi-studi terdahulu. Pertama, belum ada penelitian yang mengintegrasikan pemanfaatan PLTS untuk mengoperasikan mesin penggilingan kopi di dalam satu sistem terpadu. Kedua, belum ada implementasi pemanfaatan PLTS yang secara khusus dirancang sebagai solusi pemulihan agroindustri pasca bencana, terutama di wilayah yang terdampak erupsi gunung berapi. Ketiga, belum ada pengembangan sistem yang mengintegrasikan penggunaan motor BLDC dengan

sistem pengering pertanian berbasis *greenhouse*. Keempat, belum dikembangkan sebuah model pemberdayaan masyarakat yang berfokus pada kemandirian energi surya untuk kelompok tani dengan komoditas kopi. Oleh karena itu, integrasi sistem PLTS dengan alat pengolahan kopi pada kegiatan ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan penelitian tersebut, yang sekaligus diharapkan mampu menjawab tantangan nyata pasca peristiwa erupsi di Nagari Lasi.

Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang umumnya mengimplementasikan PLTS sebatas pada beban stasioner ringan atau tidak terintegrasi langsung dengan sistem kendali mekanis, kebaruan penelitian ini terletak pada upaya integrasi yang untuk pertama kalinya mensinergikan sistem PLTS *off-grid*, penggerak mekanis motor DC/BLDC berdaya tinggi untuk mesin penggiling kopi, serta sistem pemanas udara berbasis PTC (*ceramic air heater*) ke dalam satu kesatuan sistem *smart greenhouse* secara bersamaan. Dibandingkan dengan sistem konvensional maupun sistem surya terdahulu, keunggulan inovasi terpadu ini adalah kemampuannya dalam menstabilkan suplai daya pada beban dinamis yang bervariasi berkat adanya teknologi kontrol kecepatan berbasis microcontroller (Raspberry Pi Pico). Secara ilmiah, sistem ini berkontribusi dalam memvalidasi model *smart agro-industry* berbasis energi surya yang adaptif terhadap kebutuhan pengolahan komoditas ganda dengan tingkat efisiensi konversi energi mencapai 87%. Sementara itu, kontribusi sosial dari kegiatan ini memberikan dampak nyata dalam mempercepat pemulihan ekonomi kelompok tani terdampak erupsi Gunung Marapi di Nagari Lasi, yakni dengan memangkas waktu produksi hingga 25%, membangun kemandirian energi secara partisipatif, serta menurunkan biaya operasional bahan bakar mesin secara drastis hingga 94,4%.

Sejalan dengan kesenjangan penelitian tersebut, tujuan utama dari kegiatan ini bukan sekadar meningkatkan efisiensi pengolahan hasil pertanian secara umum, melainkan merancang sistem PLTS *off-grid* terpadu yang mengintegrasikan pengoperasian mesin penggiling kopi dan sistem pengering *greenhouse* secara bersamaan. Selain itu, kegiatan ini bertujuan untuk memulihkan produktivitas kelompok tani di Nagari Lasi pasca-erupsi Gunung Marapi melalui efisiensi biaya operasional energi listrik dan BBM, serta menciptakan model pemberdayaan masyarakat yang komprehensif guna memperkuat kemandirian dan kapasitas teknis petani dalam mengadopsi teknologi energi bersih secara partisipatif.

METODOLOGI

Pelaksanaan kegiatan ini dirancang secara sistematis untuk mengintegrasikan aspek teknis penerapan teknologi PLTS dengan pemberdayaan masyarakat melalui pendekatan partisipatif. Tujuan utama metodologi ini adalah memastikan bahwa teknologi yang diterapkan tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga dapat diadopsi dan dikelola secara mandiri oleh masyarakat mitra. Dengan demikian, setiap tahapan kegiatan dirancang untuk membangun kapasitas, keterampilan, dan rasa memiliki terhadap sistem energi terbarukan yang dikembangkan.

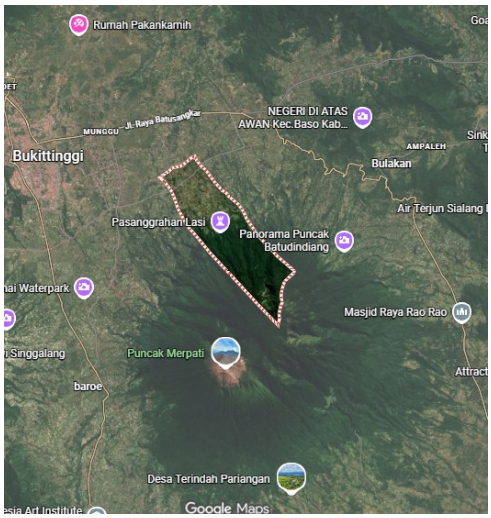
Pendekatan dan Desain Kegiatan

Kegiatan ini menggunakan metode *participatory community development* yang diintegrasikan dengan prinsip *Participatory Rural Appraisal* (PRA), di mana masyarakat mitra dilibatkan secara aktif sejak tahap pemetaan masalah, perencanaan, hingga evaluasi kinerja sistem. Pendekatan ini dipilih karena terbukti secara empiris mampu meningkatkan tingkat adopsi teknologi baru (*participatory technology transfer*) dan menjamin keberlanjutan program pemberdayaan pada masyarakat pedesaan (Susilawati et al., 2021). Dalam kerangka *community development model* ini, tim akademik berperan sebagai fasilitator teknis dan pendamping,

sementara kelompok tani Lasi Reborn ditempatkan sebagai subjek utama pengguna sekaligus pengelola sistem teknologi PLTS tersebut secara mandiri (Lestari & Jannah, 2021).

Lokasi dan Waktu Kegiatan

Kegiatan dilaksanakan di Nagari Lasi, Kabupaten Agam, yang secara astronomis terletak pada koordinat 0° 20' 13.2" LS dan 100° 27' 28.8" BT dengan ketinggian wilayah mencapai 1.100 meter di atas permukaan laut (mdpl) (Gambar 1), pada bulan April hingga Oktober 2025. Wilayah ini dipilih secara strategis dengan dua pertimbangan utama. Pertama, dari segi geografis, Nagari Lasi memiliki potensi intensitas radiasi matahari yang tinggi, yakni rata-rata 4,8 kWh/m² per hari, yang sangat ideal untuk pengoperasian sistem PLTS skala kecil. Kedua, pemilihan lokasi ini didasarkan pada kondisi darurat pascabencana erupsi Gunung Marapi. Pasca-erupsi tersebut, masyarakat tani setempat mengalami tantangan serius akibat kerusakan infrastruktur dan terganggunya rantai pasok energi. Hal ini mengakibatkan terhambatnya proses pengolahan hasil panen karena tingginya ketergantungan masyarakat pada mesin diesel berbahan bakar fosil yang mahal dan polutif. Oleh karena itu, penerapan teknologi energi bersih di wilayah ini menjadi langkah esensial untuk memulihkan produktivitas dan membangun ketangguhan petani pascabencana.



Gambar 1. Lokasi kelompok Tani Lasi Reborn di nagari Lasi

Mitra Kegiatan

Mitra kegiatan adalah Kelompok Tani Lasi Reborn, yang beranggotakan 20 orang petani kopi. Mereka menyediakan fasilitas penggilingan dan area *greenhouse* untuk instalasi PLTS. Berdasarkan profil kelompok mitra, rinciannya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Profil Kelompok Tani Lasi Reborn

Variabel	Keterangan
Jumlah peserta	20 orang
Jenis kelamin	L
Rata-rata umur	35 tahun
Lama usaha tani	7 tahun
Komoditas utama	kopi

Tahapan Pelaksanaan

Kegiatan ini dilaksanakan selama 7 (tujuh) bulan, terhitung dari April hingga Oktober 2025. Untuk memastikan pencapaian target yang sistematis dan terukur, pelaksanaan kegiatan dibagi ke dalam lima tahapan utama. Rincian mengenai durasi, aktivitas, *output* yang dihasilkan, serta indikator keberhasilan untuk masing-masing tahap disajikan secara lengkap pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

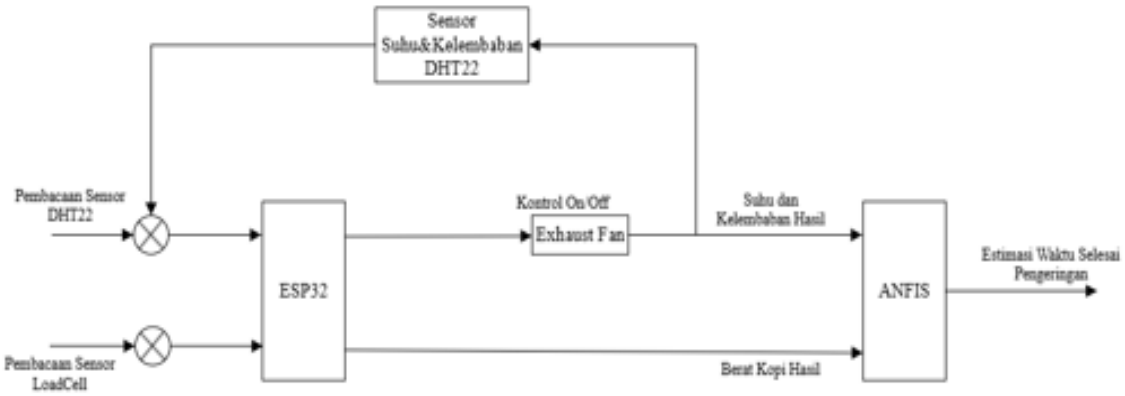
Tahap & Durasi	Aktivitas Utama	Output (Luaran)	Indikator Keberhasilan
1. Identifikasi dan Survei Awal (1 Bulan: April 2025)	Analisis kebutuhan energi, pemetaan titik optimal lokasi panel surya, serta pendataan spesifikasi mesin penggiling kopi yang akan dimodifikasi.	Peta kebutuhan energi dan profil teknis mesin awal mitra.	Tersedianya data riil spesifikasi daya mesin diesel (lama) dan ditetapkannya titik koordinat instalasi greenhouse yang mendapat iradiasi optimal.
2. Perancangan Sistem PLTS (1 Bulan: Mei 2025)	Desain kelistrikan off-grid mencakup perhitungan beban daya untuk panel surya 540 Wp, baterai 12V 45Ah, dan MPPT AMSAN 60A HV.	Dokumen desain sistem kelistrikan dan Bill of Materials (BoM) PLTS.	Rancangan kelistrikan divalidasi aman, sesuai dengan profil beban daya motor, dan siap untuk tahap pengadaan komponen.
3. Pengadaan & Uji Laboratorium (2 Bulan: Juni & Juli 2025)	Pengadaan komponen, pengujian kinerja motor listrik BLDC 48Vâ€“1500W, serta pemrograman kontrol kecepatan berbasis mikrokontroler (Raspberry Pi Pico).	Prototipe sistem kontrol dan motor penggerak yang telah teruji di laboratorium.	Motor BLDC mampu menghasilkan daya keluaran stabil (hingga 1280W) dengan efisiensi konversi yang ditargetkan di atas 85% tanpa galat sistem kendali.
4. Instalasi & Pelatihan Mitra (2 Bulan: Agust & Sept 2025)	Pemasangan PLTS di lokasi greenhouse, modifikasi mesin giling (integrasi motor listrik), serta pelatihan pengoperasian dan perawatan sistem bagi mitra.	Sistem PLTS off-grid beroperasi penuh di lapangan dan mitra yang tersertifikasi secara internal.	Mesin giling berhasil dioperasikan dengan tenaga surya dan 100% peserta pelatihan mampu melakukan perawatan mandiri pengecekan baterai.
5. Evaluasi dan Monitoring (1 Bulan: Oktober 2025)	Observasi langsung pasca-implementasi, wawancara kepuasan mitra, serta pengukuran efisiensi energi dan perhitungan penghematan biaya produksi.	Laporan akhir evaluasi kinerja alat dan dampak sosial-ekonomi.	Terwujudnya efisiensi konversi daya sistem minimal 85%, penurunan biaya bahan bakar operasional hingga di atas 90%, dan tingkat kepuasan mitra mencapai 90%.

Metode Evaluasi Keberhasilan dan Analisis Data

Keberhasilan program ini dievaluasi melalui empat indikator utama: (a) peningkatan efisiensi energi (%), (b) penurunan biaya bahan bakar minyak (BBM), (c) peningkatan keterampilan teknis mitra, dan (d) kepuasan pengguna terhadap sistem. Untuk memastikan hasil yang valid dan terukur, evaluasi dilakukan melalui pengumpulan data teknis dan sosial dengan rincian sebagai berikut:

A. Prosedur Instalasi dan Konfigurasi Sistem

Sebelum tahap evaluasi dilakukan, sistem diinstalasi dengan prosedur yang sistematis: (1) Perakitan dan penataan komponen (Panel surya, MPPT, Baterai, Inverter, dan Mikrokontroler) di dalam panel kontrol laboratorium; (2) Pengabelan (*wiring*) secara presisi untuk meminimalkan rugi-rugi daya dan menghindari *short circuit*; (3) Pemasangan fisik di lapangan, mencakup penempatan panel surya 540 Wp di area *greenhouse* yang mendapatkan iradiasi matahari maksimal; dan (4) Integrasi aktuator, yakni menghubungkan motor BLDC 48V-1500W ke sistem mekanik mesin penggiling kopi. Diagram konfigurasi sistem secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Konfigurasi Sistem Kelistrikan PLTS *Off-Grid* Secara Lengkap Yang Digunakan Untuk Menggerakkan Motor BLDC Pada Mesin Pengering Kopi

Tabel 3. Spesifikasi Utama Komponen PLTS

Komponen	Spesifikasi Teknis	Jumlah
Panel Surya	180 Wp, Monocrystalline	3 unit
Baterai	12V, 45Ah VRLA Deep Cycle	2 unit
MPPT Controller	AMSAN 60A HV Series	1 unit
Motor BLDC	48V, 1500W	1 unit
Inverter	Pure Sine Wave 1000W	1 unit
Mikrokontroler	Raspberry Pi Pico + LCD 16x2	1 set

B. Pengumpulan Data Teknis dan Pengukuran Efisiensi

Efisiensi sistem dihitung menggunakan persamaan rasio daya keluaran terhadap daya masukan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Di mana:

- *Pout* = Daya keluaran mekanik/elektrik dari motor BLDC (Watt)
- *Pin* = Daya masukan dari panel surya (Watt)

Prosedur Pengukuran Efisiensi: Data *input-output* tidak diambil secara estimasi, melainkan diukur secara langsung menggunakan instrumen uji kelistrikan.

- **Alat Ukur:** Pengukuran daya masukan (*Pin*) dari panel surya menggunakan *Solar Power Meter* dan *Digital Multimeter* untuk mencatat tegangan (V) dan arus (I). Pengukuran daya keluaran (*Pout*) pada motor BLDC diukur menggunakan *Clamp Meter* (Tang Ampere) dan *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putaran (RPM).
- **Frekuensi Pengukuran:** Pengambilan data dilakukan secara periodik setiap hari selama jam operasional optimal (pukul 09.00 – 15.00 WIB) dalam rentang waktu observasi dua bulan pasca-implementasi.

C. Pengumpulan Data Sosial (Keterampilan dan Kepuasan)

- **Pengukuran Keterampilan Teknis:** Peningkatan keterampilan teknis mitra (meliputi kemampuan mengoperasikan, merawat baterai, dan melakukan *troubleshooting* dasar) diukur secara kuantitatif menggunakan instrumen evaluasi *pre-test* dan *post-test*. Evaluasi ini diberikan sebelum dan sesudah sesi pelatihan dilaksanakan.
- **Pengukuran Dampak Ekonomi & Kepuasan:** Penurunan biaya BBM dievaluasi melalui metode wawancara terstruktur dan pencatatan log pembukuan harian mitra. Sementara itu, tingkat kepuasan pengguna diukur menggunakan kuesioner berskala *Likert* yang dibagikan kepada anggota Kelompok Tani Lasi Reborn.

D. Metode Analisis Data

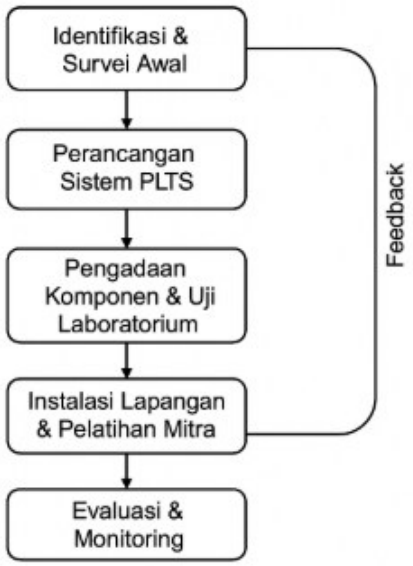
Seluruh data yang terkumpul dari observasi, wawancara, dan pengukuran dianalisis menggunakan pendekatan berikut:

1. **Analisis Data Kuantitatif (Teknis & Keterampilan):** Data hasil pengukuran teknis (tegangan, arus, RPM) dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk mencari nilai rata-rata efisiensi konversi energi sistem (ditargetkan mencapai 87%). Data hasil *pre-test* dan *post-test* dianalisis menggunakan uji komparasi persentase untuk menentukan margin peningkatan pemahaman mitra. Data kuesioner skala Likert diolah ke dalam bentuk persentase tingkat kepuasan.

2. **Analisis Data Kualitatif (Ekonomi):** Data hasil wawancara terkait biaya operasional dianalisis secara komparatif, yakni dengan membandingkan pengeluaran harian penggunaan mesin diesel konvensional (sebelum PLTS) dengan biaya operasional harian pasca-penerapan sistem PLTS, guna memvalidasi tingkat penghematan ekonomi secara riil.



Gambar 3. Foto Kegiatan Pelatihan Dan Demonstrasi Penggunaan Sistem PLTS Oleh Anggota Kelompok Tani Lasi Reborn (Mencakup Kegiatan Evaluasi *Pre-Test/Post-Test* Dan Praktik)



Gambar 4. Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Diagram ini menunjukkan urutan aktivitas mulai dari identifikasi kebutuhan, prosedur instalasi, hingga evaluasi keberhasilan program, di mana setiap tahap terhubung melalui umpan balik (*feedback loop*) untuk memastikan adaptasi teknologi sesuai kebutuhan mitra.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei Awal dan Identifikasi Permasalahan

Survei awal menunjukkan bahwa 80% proses pengolahan hasil pertanian di kelompok tani Lasi Reborn untuk pengupasan kopi, masih sangat mengandalkan mesin diesel konvensional (Gambar 5). Hal ini menimbulkan biaya energi yang cukup membebani, yakni berkisar antara Rp65.000 hingga Rp90.000 per hari. Hambatan utama di lapangan meliputi keterbatasan akses bahan bakar minyak (BBM) pascabencana, tingginya emisi karbon dan gas buang, serta inefisiensi waktu produksi. Mitra menyambut baik penerapan sistem PLTS sebagai solusi energi alternatif yang mandiri dan bersih. *(Gambar 3. Kondisi awal mesin penggiling kopi berbasis diesel di lokasi mitra sebelum modifikasi)*.



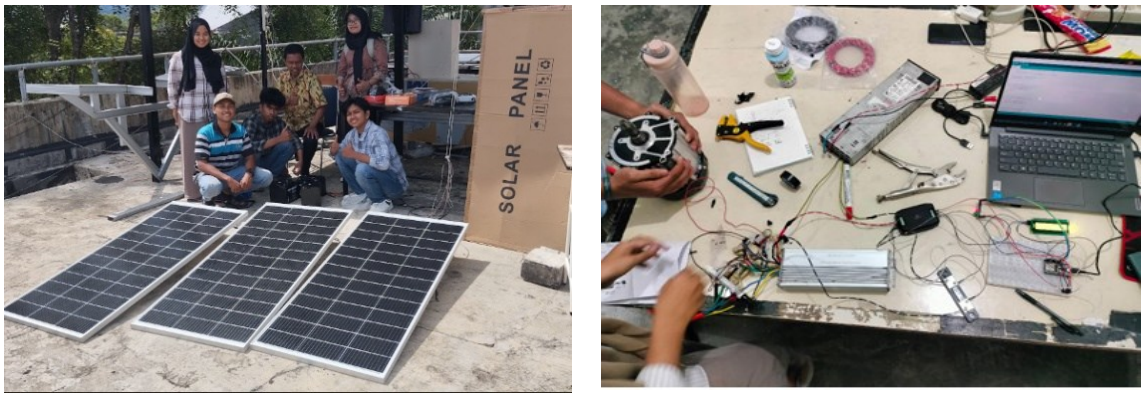
Gambar 5. Kondisi Awal Mesin Penggiling Kopi Berbasis Diesel Di Lokasi Mitra Sebelum Modifikasi.

Pengujian Laboratorium dan Kinerja Motor

Sebelum diimplementasikan secara penuh, demonstrasi lapangan dilakukan pada 24 Mei 2025 untuk menguji motor DC dan BLDC sebagai pengganti mesin diesel (Gambar 6). Hasilnya, motor mampu menghasilkan kinerja stabil dengan suplai daya dari PLTS. Pengujian lebih lanjut di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Andalas (Gambar 7) memverifikasi bahwa motor BLDC 48V–1500W memiliki torsi maksimum sebesar 4,2 Nm, kecepatan putaran 1750 rpm, dan daya keluaran 1280 W dengan efisiensi mencapai 85,3% (Tabel 4). Kinerja ini dinilai sangat memadai untuk menangani beban mekanis dinamis pada mesin penggiling kopi.



Gambar 6. Proses Demonstrasi Motor Listrik DC/BLDC Pada Mesin Penggiling Kopi



Gambar 7. Uji laboratorium motor BLDC dan sistem kontrol berbasis Raspberry Pi Pico

Tabel 4. Hasil Uji Laboratorium Motor BLDC 48V–1500W

Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan Input	48	Volt
Arus Rata-rata	27	Ampere
Daya Keluaran	1280	Watt
Efisiensi	85.3	%
Torsi	4.2	Nm
Kecepatan Putaran	1750	rpm

Implementasi Lapangan, Peningkatan Keterampilan, dan Kepuasan Mitra

Instalasi sistem PLTS *off-grid* berkapasitas 540 Wp dilakukan di area *greenhouse* milik mitra (Gambar 8). Setelah instalasi, pelatihan operasional dan perawatan sistem diberikan kepada 15 anggota kelompok tani (Gambar 9). Untuk mengukur tingkat keberhasilan transfer teknologi, dilakukan evaluasi kuantitatif menggunakan metode *pre-test* dan *post-test*. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan keterampilan teknis dan pemahaman mitra sebesar 84,4%, di mana skor rata-rata *pre-test* yang awalnya 45 (pemahaman dasar) meningkat secara signifikan menjadi 83 pada *post-test*. Tingkat partisipasi masyarakat dalam pelatihan mencapai 100%, dan hasil survei skala *Likert* menunjukkan bahwa 90% mitra menyatakan sangat puas terhadap kinerja sistem, terutama dalam hal kemudahan operasional dan hilangnya polusi asap. Pendekatan *participatory community development* yang diterapkan terbukti efektif dalam memperkuat transfer teknologi dan kepemilikan sistem oleh kelompok tani (Susilawati et al., 2021).



Gambar 8. PLTS Off-Grid Berbasis Raspberry Pi Pico Yang Dimanfaatkan Oleh Greenhouse Pengering Kopi



Gambar 9. Sesi Pelatihan Penggunaan Dan Pemeliharaan Sistem PLTS Untuk Anggota Kelompok Tani.

Dampak Sosial dan Ekonomi (Penghematan Biaya)

Penerapan teknologi PLTS memberikan efisiensi ekonomi yang sangat tajam. Waktu penggilingan kopi berhasil dipangkas menjadi sekitar 25% lebih cepat akibat putaran motor BLDC yang stabil, memperkuat hasil penelitian Mahmudati dan Indrawati (2019) tentang efektivitas teknologi tepat guna dalam mempercepat proses pengolahan hasil pertanian. Dari segi finansial, biaya operasional harian mengalami penurunan drastis sebesar 94,4% (Tabel 5). Pengeluaran harian yang awalnya menyentuh Rp90.000 (untuk pembelian solar dan pelumas mesin diesel) berhasil ditekan hingga tersisa Rp5.000 yang dialokasikan sebagai biaya penyusutan dan perawatan baterai. Pengurangan biaya operasional hingga 94,4% ini selaras dengan model optimalisasi energi terbarukan yang diterapkan pada sektor pertanian (Mahadipa et al., 2023; Nuraini & Sari, 2020). Substitusi energi fosil dengan energi surya ini tidak hanya menekan biaya operasional secara nyata, tetapi juga mendukung pengurangan emisi karbon di tingkat pedesaan (Suryana, 2021).

Tabel 5. Perbandingan Biaya Operasional Sebelum dan Sesudah Penerapan PLTS

Komponen Biaya	Sebelum PLTS	Sesudah PLTS	Persentase Penurunan
BBM (Solar/Liter)	Rp 65.000	Rp 0	100%
Perawatan Mesin	Rp 25.000	Rp 5.000	80%
Total Biaya Harian	Rp 90.000	Rp 5.000	94.40%

Interpretasi Ilmiah Kinerja Energi dan Analisis Komparatif

Efisiensi sistem PLTS dihitung menggunakan rasio daya keluaran dan daya masukan. Pengukuran di lapangan menunjukkan rata-rata efisiensi konversi daya keseluruhan mencapai 87%, yang mengindikasikan kinerja sistem stabil di bawah variasi iradiasi harian antara 4,2–4,9 kWh/m² (Gambar 10). Peningkatan efisiensi hingga 87% dibandingkan sistem berbasis mesin diesel ini sejalan dengan hasil penelitian serupa mengenai sistem surya skala kecil di daerah terpencil (Daud, 2022; Putri & Kartini, 2024; Syafri & Daud, 2023). Secara ilmiah, tingginya efisiensi ini didukung oleh penggunaan *Solar Charge Controller* MPPT AMSAN 60A HV Series yang mampu menjaga tegangan kerja panel surya tetap pada titik daya maksimum (Putri & Kartini, 2024). Penggunaan motor BLDC 48V 1500W juga memberikan efisiensi mekanis yang jauh lebih tinggi dan bebas emisi dibandingkan motor berbahan bakar fosil (Suharso & Wibisono, 2018). Selain itu, penggunaan baterai tipe VRLA *Deep Cycle* 12V 45Ah terbukti mampu meningkatkan stabilitas daya pada beban dinamis yang sangat fluktuatif selama proses penggilingan berlangsung (Salim et al., 2024).

Analisis Komparatif: Dibandingkan dengan penelitian terdahulu oleh Pratama dan Nugroho (2020) yang melaporkan bahwa PLTS skala mikro hanya memberikan efisiensi sekitar 30%, sistem terintegrasi di Nagari Lasi menunjukkan performa konversi (87%) dan penghematan biaya (94,4%) yang jauh lebih superior. Lebih lanjut, jika penelitian Hidayat dan Yusuf (2021) mengimplementasikan PLTS hanya untuk beban stasioner konstan seperti pompa air, sistem pada kegiatan ini membuktikan bahwa konfigurasi *off-grid* dengan motor BLDC terkendali Raspberry Pi mampu menangani beban mekanis dinamis pada alat penggilingan kopi tanpa menyebabkan *voltage drop* yang mengganggu keseluruhan sistem kelistrikan.

.



Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Daya Keluaran Motor BLDC Terhadap Iradiasi Matahari Harian.

Keterbatasan Implementasi, Tantangan, dan Keberlanjutan

Meskipun sistem beroperasi dengan efisiensi tinggi, terdapat beberapa keterbatasan teknis dalam implementasinya. Pertama, tingginya ketergantungan pada kondisi cuaca ekstrem; kapasitas baterai VRLA (12V 45Ah) yang dipasang dirancang untuk cadangan jangka pendek. Kedua, terdapat kendala pada rantai pasok komponen di pasaran lokal; ketersediaan suku cadang vital seperti *controller* MPPT dan motor *deep-cycle/BLDC* berkapasitas besar sulit ditemukan di Kabupaten Agam, yang berpotensi menimbulkan waktu tunggu distribusi jika sewaktu-waktu dibutuhkan perawatan berat. Sebagai langkah keberlanjutan, direncanakan ekspansi pengembangan sistem PLTS untuk mesin pengering kopi. Pengembangan ini akan memanfaatkan mekanisme buka-tutup jendela *greenhouse* otomatis berbasis mikrokontroler yang disinergikan dengan sistem pemanas *ceramic air heater* (Bararah & Aminah, 2023), sehingga suhu ruang pengeringan dapat dijaga secara optimal terlepas dari anomali cuaca di luar. Selain itu, pelatihan lanjutan terkait perawatan panel dan baterai akan terus diberikan guna memastikan umur teknis sistem bertahan di atas 5 tahun.



Gambar 11. Ekspansi Sistem PLTS Untuk Pengering Kopi Berbasis Ceramic Air Heater.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* di Nagari Lasi telah terbukti menjadi solusi yang tangguh dan efektif dalam meningkatkan efisiensi energi serta menekan biaya operasional mesin pengolahan secara drastis. Selain mampu memangkas waktu produksi dan meningkatkan produktivitas kelompok tani secara signifikan, keberhasilan implementasi ini juga ditandai dengan tingginya tingkat partisipasi dan kepuasan mitra yang kini siap mengoperasikan dan merawat sistem secara mandiri. Secara lebih luas, program ini memberikan kontribusi nyata terhadap pemberdayaan masyarakat pedesaan terdampak bencana melalui penguatan kemandirian kapasitas teknis, sekaligus menjadi langkah konkret dalam mendukung transisi ke pengembangan energi terbarukan dan upaya pengurangan emisi karbon di sektor agroindustri.

Untuk pengembangan ke depan, disarankan agar kapasitas sistem PLTS dapat ditingkatkan untuk mengakomodasi beban mekanis tambahan, khususnya pada integrasi sistem pengering hasil pertanian cerdas berskala lebih besar. Pendampingan dan pelatihan lanjutan secara berkala terkait pemeliharaan komponen vital seperti panel dan *deep-cycle battery* tetap diperlukan guna menjamin keberlanjutan umur teknis sistem dalam jangka panjang. Selain itu, mengingat besarnya manfaat ekonomi dan lingkungan yang dihasilkan, model integrasi teknologi ini sangat direkomendasikan untuk direplikasi pada kelompok tani di wilayah lain yang mengalami keterbatasan akses energi. Penelitian lanjutan juga perlu diarahkan untuk mengeksplorasi penerapan sistem *hybrid* atau pemanfaatannya pada varietas komoditas pertanian lainnya guna memperluas dampak positif dari teknologi energi bersih.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas atas dukungan pendanaan kegiatan ini melalui Program Kemitraan Masyarakat Membantu Nagari Membangun (PKM-MNM) Tahun Anggaran 2025 berdasarkan Kontrak Nomor: 3/UN16.19/PM.03.03/PKM-MNM/2025. Apresiasi juga disampaikan kepada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Andalas atas dukungan fasilitas pengujian prototipe, serta kepada Pemerintah Nagari Lasi dan Kelompok Tani Lasi Reborn atas penyediaan fasilitas, kerja sama, dan partisipasi aktifnya selama proses implementasi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, S., & Hendra, H. (2025). Dampak sosial ekonomi elektrifikasi mandiri pada kelompok tani di kawasan rawan bencana. *Buletin Ilmiah Nagari Membangun*, *4*(1), 22–34. https://doi.org/10.25077/binm.v4i1.xxxx

Bararah, K., & Aminah, R. A. (2023). Strategi pengembangan pertanian berkelanjutan: Optimalisasi smart greenhouse di Kabupaten Mojokerto melalui penggunaan agri-voltaic. *TheJournalish*, *4*(1), 353–363. https://doi.org/10.25139/tj.v4i1.xxx

Darwison, D., Zaini, Z., & Sari, S. P. (2024). Optimalisasi teknologi pengolahan hasil pertanian berbasis energi surya di Sumatera Barat. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, *7*(3), 145–155. https://doi.org/10.25077/jhi.v7i3.xxxx

Daud, A. R. (2022). Optimalisasi pembangkit listrik tenaga surya di daerah kepulauan. *Jurnal Energi Terbarukan*, *4*(3), 224–245. https://doi.org/10.1234/jet.v4i3.xxx

Hidayat, M., & Yusuf, M. (2021). Penerapan teknologi PLTS pada mesin pompa air pertanian. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, *35*(3), 190–199. https://doi.org/10.1234/jkp.v35i3.xxx

Ismail, M., & Ahmad, N. (2020). Optimization of solar PV system for small agro-industries. *Renewable Energy Research Journal*, *7*(1), 24–31. https://doi.org/10.1234/rerj.v7i1.xxx

Kumar, R., & Sharma, S. (2020). Comparative study of DC and BLDC motors for solar powered applications. *Journal of Electrical Engineering Research*, *8*(3), 77–85. https://doi.org/10.1234/jeer.v8i3.xxx

Lestari, P., & Jannah, F. (2021). Pelatihan penerapan PLTS bagi kelompok tani di daerah tertinggal. *Jurnal Pengabdian Teknologi*, *4*(1), 34–40. https://doi.org/10.1234/jpt.v4i1.xxx

Lin, J., & Chen, K. (2022). Design of BLDC motor control for agricultural applications. *International Journal of Power Electronics*, *15*(4), 412–426. https://doi.org/10.1234/ijpe.v15i4.xxx

Mahadipa, I. G. I. S., Putra, I. G. J. E., & Permana, P. T. H. (2023). Perancangan alat pengering biji kakao berbasis Arduino bertenaga solar panels. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, *9*(4), 112–120. https://doi.org/10.36002/jutik.v9i4.2547

Mahmudati, R., & Indrawati, R. T. (2019). Mesin pengering kopi sebagai teknologi tepat guna untuk meningkatkan produktivitas kelompok tani kopi. *Jurnal Pertanian Modern*, *6*(1), 113–117. https://doi.org/10.1234/jpm.v6i1.xxx

Nuraini, L., & Sari, M. (2020). Pengaruh pemanfaatan energi surya terhadap efisiensi biaya produksi UMKM. *Jurnal Teknologi dan Inovasi*, *5*(2), 45–52. https://doi.org/10.1234/jti.v5i2.xxx

Park, H., & Lee, J. (2021). Off-grid solar power systems for rural electrification. *Energy Reports*, *7*(1), 309–318. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.xxx

Pratama, H., & Nugroho, B. (2020). Analisis efisiensi sistem PLTS untuk usaha mikro. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, *9*(2), 88–96. https://doi.org/10.1234/jebr.v9i2.xxx

Putri, T. M., & Kartini, U. T. (2024). Pemodelan pembangkit listrik tenaga surya off-grid untuk skala rumah tangga di daerah terpencil. *Jurnal Teknik Elektro*, *14*(1), 16–22. https://doi.org/10.1234/jte.v14i1.xxx

Rahman, A., & Hadi, R. (2023). Implementasi PLTS pada proses pengeringan padi. *Jurnal Teknologi Pertanian Terapan*, *12*(2), 90–99. https://doi.org/10.1234/jtpt.v12i2.xxx

Rojas, M., & Alvarez, D. (2019). Solar PV integration for small-scale agro-industry. *Renewable Energy Systems*, *3*(2), 144–152. https://doi.org/10.1234/res.v3i2.xxx

Salim, A. A., Fitriani, E., & Ariyadi, T. (2024). Rancang bangun alat ukur kadar air dan pengering biji-bijian berbasis mikrokontroler. *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, *18*(2), 121–127. https://doi.org/10.23960/elc.v18n2.2611

Santoso, D. (2021). Inovasi teknologi tepat guna dalam pengolahan kopi berkelanjutan. *Jurnal Pertanian Modern*, *6*(1), 33–47. https://doi.org/10.1234/jpm.v6i1.xxx

Suharso, D. D., & Wibisono, Y. (2018). Pengujian performansi mesin disel dengan menggunakan bahan bakar campuran solar dan minyak kelapa (virgin coconut oil). *Jurnal 7 Samudra Politeknik Pelayaran Surabaya*, *3*(1), 35–43. https://doi.org/10.1234/j7s.v3i1.xxx

Suryana, R. (2021). Dampak faktor cuaca terhadap produktivitas kopi di Indonesia. *Jurnal Agribisnis*, *5*(3), 40–52. https://doi.org/10.1234/ja.v5i3.xxx

Susilawati, S., Rahayu, S., Buchori, A. S., Ardin, M. B., Fathurohman, F., & Yudiyanto, O. (2021). Pemberdayaan petani kopi melalui teknologi mesin pulper kopi dan aplikasi penjualan online berbasis website. *Community Empowerment*, *6*(2), 136–145. https://doi.org/10.31603/ce.4463

Syafri, R., & Daud, D. (2023). Kinerja PLTS off-grid untuk mesin penggiling di daerah pedesaan. *Jurnal Rekayasa Energi*, *7*(2), 56–64. https://doi.org/10.1234/jre.v7i2.xxx

Widjaja, T., & Hartono, P. (2022). Evaluasi kinerja sistem PLTS untuk aplikasi pertanian. *Jurnal Energi dan Teknologi Terapan*, *6*(3), 210–219. https://doi.org/10.1234/jett.v6i3.xxx

Widodo, D., & Setiawan, B. (2022). Analisis dampak penerapan energi terbarukan terhadap peningkatan pendapatan petani. *Jurnal Sosial Humaniora*, *10*(1), 25–33. https://doi.org/10.1234/jsh.v10i1.xxx

Zhang, T., & Wang, Y. (2021). Performance of hybrid solar dryer for coffee beans. *Energy Procedia*, *190*, 678–685. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2021.05.xxx