

PENERAPAN MICROGRID PANEL SURYA BERBASIS TECHNOPRENEURSHIP UNTUK KEMANDIRIAN ENERGI DAN PRODUKTIVITAS BUDIDAYA IKAN KERAMBA JARING TANCAP

I Gede Budi Mahendra^{1*}, Heince Andre Maahuri², Sahat Renol H. Sianipar³

¹Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Manado, Indonesia

²Arsitektur, Universitas Negeri Manado, Indonesia

³Pendidikan Ekonomi, Universitas Negeri Manado, Indonesia

igedebudimahendra@unima.ac.id

ABSTRAK

Abstrak: Usaha budidaya ikan keramba jaring tancap di Desa Passo menghadapi kendala keterbatasan energi dan tingginya biaya operasional. Program pengabdian ini bertujuan menerapkan microgrid panel surya terintegrasi penyimpanan energi untuk meningkatkan kemandirian energi dan produktivitas budidaya ikan. Metode meliputi penyuluhan, instalasi microgrid, pelatihan, penyusunan SOP, penerapan pakan otomatis berbasis energi surya, serta pelatihan manajemen usaha. Kegiatan diikuti 23 peserta dan dievaluasi melalui pre-test, post-test, serta observasi keterampilan dan implementasi teknologi. Hasil menunjukkan peningkatan pengetahuan dengan N-Gain 0,66 (kategori sedang). Sistem yang dibangun memiliki kapasitas 400 Wp, penyimpanan energi 1,2 kWh, dan keluaran 3 kW, serta mampu menggantikan penggunaan genset. Selain itu, 91,3% peserta mampu melakukan pencatatan biaya produksi dan pendapatan. Penerapan microgrid panel surya terbukti meningkatkan kemandirian energi, efisiensi operasional, dan keberlanjutan usaha budidaya ikan.

Kata Kunci: Microgrid Panel Surya; Energi Terbarukan; Budidaya Ikan Keramba Jaring Tancap; Manajemen Energi; Sistem Pakan Otomatis; Kemandirian Energi.

Abstract: The fixed net cage fish farming business in Passo Village faces constraints of limited energy and high operational costs. This community service program aims to implement a solar panel microgrid integrated with energy storage to increase energy independence and fish farming productivity. Methods include counseling, microgrid installation, training, SOP development, implementation of solar energy-based automatic feed, and business management training. The activity was attended by 23 participants and evaluated through pre-tests, post-tests, and observations of skills and technology implementation. The results showed an increase in knowledge with an N-Gain of 0.66 (moderate category). The system built has a capacity of 400 Wp, 1.2 kWh of energy storage, and 3 kW of output, and is able to replace the use of generators. In addition, 91.3% of participants were able to record production costs and income. The implementation of solar panel microgrids has been proven to increase energy independence, operational efficiency, and sustainability of fish farming businesses.

Keywords: Solar Panel Microgrid; Renewable Energy; Fixed Net Cage Fish Farming; Energy Management; Automated Feeding Systems; Energy Independence.



Article History:

Received: 24-06-2026

Revised : 05-07-2026

Accepted: 13-07-2026

Online : 01-08-2026



This is an open access article under the
CC-BY-SA license

A. LATAR BELAKANG

Danau Tondano merupakan salah satu kawasan perairan darat strategis di Provinsi Sulawesi Utara yang berperan penting dalam mendukung sektor perikanan budidaya, khususnya usaha keramba jaring tancap (Sarif et al., 2019). Kawasan ini menjadi sumber mata pencaharian utama bagi masyarakat sekitar serta berkontribusi terhadap penyediaan ikan air tawar bagi pasar lokal dan regional guna menjaga ketahanan pangan. Berdasarkan data pemerintah daerah, jumlah keramba jaring tancap di Danau Tondano terus meningkat dari tahun ke tahun dan pada beberapa lokasi telah melampaui daya dukung perairan (Sorongan et al., 2022). Kondisi tersebut menunjukkan tingginya ketergantungan masyarakat terhadap sektor perikanan budidaya sekaligus menuntut penerapan sistem budidaya yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Rulianto et al., 2024).

Mitra sasaran kegiatan ini adalah kelompok peternak ikan keramba jaring tancap Desa Passo yang bergerak pada sektor ekonomi produktif. Kelompok mitra mengelola 2–4 unit keramba yang masing-masing terdiri atas 10–12 jaring per keramba, dengan siklus panen rata-rata empat bulan dengan hasil panen berkisar 400kg – 600kg. Kebutuhan energi untuk mengoperasikan aerator, pompa air, dan sistem penerangan mencapai 1–3 kWh per unit keramba per hari. Namun, lokasi keramba yang berada di tengah danau belum terjangkau jaringan listrik PLN sehingga seluruh kebutuhan energi masih mengandalkan genset berbahan bakar bensin. Pengoperasian genset dilakukan secara terbatas, terutama pada malam hari atau saat cuaca buruk, dengan konsumsi bahan bakar sekitar 1–2 liter bensin per hari. Dengan harga bensin sekitar Rp12.000 per liter, biaya operasional energi mencapai Rp360.000–Rp720.000 per bulan untuk setiap unit genset, sehingga menjadi beban biaya yang cukup besar bagi peternak dan membatasi pengoperasian peralatan budidaya secara optimal. Kebutuhan energi cenderung meningkat pada malam hari dan saat cuaca ekstrem ketika kadar oksigen terlarut dalam air menurun (Pambudi et al., 2025; Shilman et al., 2025). Keterbatasan pasokan energi menyebabkan aerator dan pompa air tidak dapat dioperasikan secara kontinu, sehingga menurunkan kualitas air dan berpotensi meningkatkan tingkat kematian ikan (Putri et al., 2025; Sari et al., 2025). Ketergantungan pada genset berbahan bakar fosil juga menyebabkan biaya operasional relatif tinggi, pasokan energi kurang andal, serta meningkatkan risiko gangguan operasional akibat keterbatasan bahan bakar atau kerusakan mesin (Hasan et al., 2024; Mahendra et al., 2025; Tri Bagus Prabowo & Rezya Agnesica Sihaloho, 2023; Maki et al., 2024; Vo et al., 2021). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penyediaan sumber energi alternatif yang lebih andal, hemat biaya, dan berkelanjutan untuk mendukung kontinuitas operasional budidaya serta meningkatkan produktivitas kelompok peternak.

Dari sisi kewilayahan, lokasi keramba yang berada di perairan terbuka menyebabkan akses terhadap jaringan listrik menjadi terbatas dan kurang

efisien secara ekonomi. Di sisi lain, Kabupaten Minahasa memiliki potensi energi surya yang sangat besar. Wilayah ini menerima paparan sinar matahari rata-rata sebesar 4,5–5,5 kWh/m² per hari sepanjang tahun, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang stabil dan ramah lingkungan (Kharisma et al., 2024). Namun demikian, potensi energi surya tersebut belum dimanfaatkan secara optimal oleh kelompok peternak ikan akibat rendahnya literasi teknologi, keterbatasan pengetahuan mengenai sistem energi terbarukan, serta minimnya akses terhadap teknologi dan pendampingan teknis (Mastur et al., 2025). Selain permasalahan ketersediaan energi, pengelolaan budidaya ikan pada keramba jaring tancap Desa Passo masih dilakukan secara konvensional dan bergantung pada tenaga manual, termasuk dalam sistem pemberian pakan yang belum terstandar dari sisi waktu dan dosis. Kondisi ini berdampak pada rendahnya efisiensi kerja dan belum optimalnya pertumbuhan ikan (Mustofa & Handiman, 2025). Dari aspek manajemen dan pemasaran, pencatatan usaha masih sederhana, jangkauan pemasaran terbatas, serta harga jual ikan dipengaruhi oleh tingginya biaya produksi, khususnya biaya energi dan bahan bakar (Koli et al., 2024). Rendahnya akses mitra terhadap teknologi pendukung usaha, baik energi terbarukan maupun sistem operasional sederhana seperti pakan otomatis, menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi sumber daya perairan dan energi surya yang tersedia dengan kemampuan mitra dalam memanfaatkannya secara optimal (Perdana, 2024).

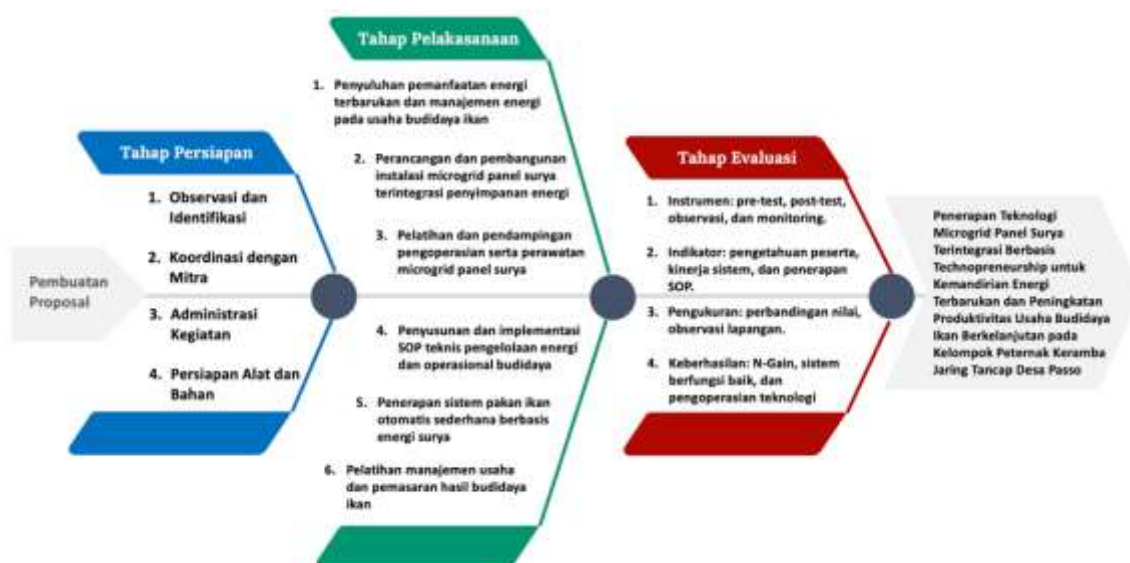
Berdasarkan analisis situasi tersebut, penerapan teknologi energi terbarukan berbasis *microgrid* panel surya ditetapkan sebagai solusi utama yang diintegrasikan dengan pembekalan manajemen usaha dan pemasaran. Pendekatan ini dirancang secara komprehensif untuk menyediakan sumber energi mandiri yang andal dalam mendukung operasional keramba jaring tancap, mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional, serta menekan biaya operasional usaha budidaya ikan (Cortez et al., 2025). Sistem *microgrid* panel surya dilengkapi dengan unit penyimpanan energi guna menjamin kontinuitas pasokan listrik, khususnya pada kondisi cuaca tidak optimal dan pada jam operasional malam hari, sehingga seluruh peralatan pendukung budidaya dapat berfungsi secara stabil dan berkelanjutan (Effendi, 2023; Song et al., 2024). Penguatan aspek manajerial dilakukan melalui penerapan manajemen operasional berbasis energi dengan penyusunan dan implementasi Standar Operasional Prosedur (SOP) yang efisien, terukur, dan terkontrol, mencakup pengelolaan energi, perawatan sistem, serta perencanaan operasional usaha. Sebagai solusi pendukung, diterapkan sistem pakan ikan otomatis yang sederhana dan terintegrasi dengan suplai energi dari *microgrid* panel surya, sehingga pemberian pakan dapat dilakukan secara terjadwal dan konsisten tanpa mengalihkan fokus utama program dari upaya peningkatan kemandirian energi petani ikan.

Tujuan pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini adalah meningkatkan kemandirian energi kelompok petani ikan melalui

penerapan teknologi *microgrid* panel surya, meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha budidaya ikan melalui penyediaan energi yang andal dan berkelanjutan, serta meningkatkan literasi dan kapasitas mitra dalam pengelolaan energi dan usaha budidaya ikan berkelanjutan.

B. METODE PELAKSANAAN

Mitra kegiatan adalah kelompok peternak ikan keramba jaring tancap Desa Passo yang beranggotakan 24 anggota aktif dengan mata pencaharian utama sebagai pembudidaya ikan air tawar. Sebagian besar anggota merupakan pelaku usaha skala kecil yang mengelola 2–4 unit keramba. Mitra dipilih masih menghadapi keterbatasan akses energi karena lokasi keramba berada di tengah danau serta belum terjangkau jaringan listrik PLN. Untuk memastikan kegiatan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi mitra, tim melakukan koordinasi, komunikasi, dan identifikasi kebutuhan bersama mitra serta pihak terkait. Hasil identifikasi tersebut menjadi dasar penyusunan tahapan pelaksanaan program sebagai solusi atas permasalahan yang dihadapi. Rangkaian tahapan kegiatan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan Kegiatan PKM

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan observasi lapangan dan identifikasi kebutuhan mitra, yaitu kelompok peternak keramba jaring tancap Desa Passo. Kegiatan ini bertujuan untuk memetakan kondisi akses energi, kebutuhan listrik operasional, pola budidaya ikan, serta kondisi pengelolaan usaha dan pemasaran. Selanjutnya dilakukan koordinasi dengan mitra untuk menyepakati lokasi, jadwal kegiatan, bentuk partisipasi, serta kebutuhan sarana dan prasarana. Pada tahap ini juga disusun rencana kerja, indikator keberhasilan program, materi penyuluhan dan pelatihan, serta

persiapan komponen instalasi *microgrid* panel surya dan sistem pakan ikan otomatis.

2. Tahap Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan terdiri atas enam kegiatan utama yang saling terintegrasi, yaitu:

- a. Penyuluhan energi terbarukan dan manajemen energi yang mencakup potensi energi surya, konsep *microgrid*, dan kemandirian energi, serta dievaluasi melalui pre-test dan post-test;
- b. Perancangan dan pembangunan instalasi *microgrid* panel surya terintegrasi sistem penyimpanan energi melalui audit kebutuhan energi, perancangan, instalasi, dan pengujian;
- c. Pelatihan dan pendampingan pengoperasian serta perawatan sistem *microgrid* panel surya;
- d. Penyusunan dan implementasi SOP pengelolaan energi dan operasional budidaya ikan;
- e. Penerapan sistem pakan ikan otomatis berbasis energi surya untuk meningkatkan efisiensi pemberian pakan; dan
- f. Pelatihan manajemen usaha dan pemasaran hasil budidaya ikan yang mencakup pencatatan keuangan, analisis biaya, penentuan harga jual, serta strategi pemasaran secara konvensional dan digital.

3. Tahap Evaluasi

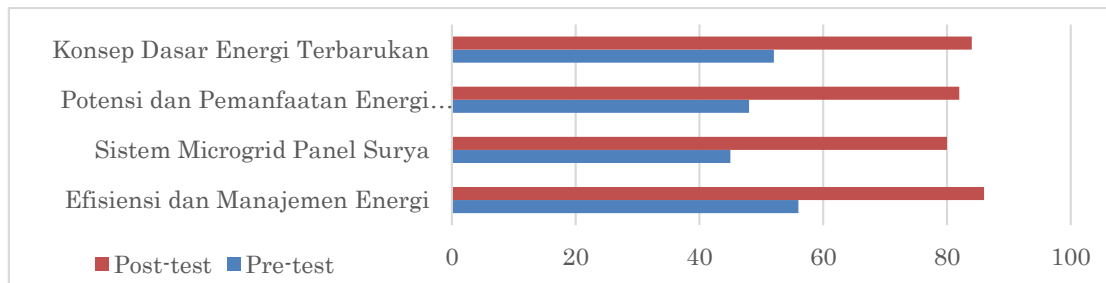
Evaluasi dilakukan pada setiap tahapan kegiatan menggunakan pre-test dan post-test, observasi, wawancara, serta monitoring lapangan. Indikator yang dinilai meliputi peningkatan pengetahuan peserta, kinerja sistem *microgrid* panel surya, kemampuan mitra dalam mengoperasikan dan merawat sistem, penerapan SOP, serta pengelolaan usaha budidaya. Pengukuran dilakukan melalui perbandingan hasil pre-test dan post-test, penilaian unjuk kerja, dan observasi implementasi di lapangan. Program dinyatakan berhasil apabila terjadi peningkatan pemahaman peserta, sistem berfungsi dengan baik, dan mitra mampu mengoperasikan teknologi secara mandiri.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kegiatan Penyuluhan Pemanfaatan Energi Terbarukan dan Manajemen Energi pada Usaha Budidaya Ikan

Kegiatan awal program pengabdian difokuskan pada penyuluhan pemanfaatan energi terbarukan dan manajemen energi kepada kelompok peternak ikan keramba jaring tancap Desa Passo untuk meningkatkan literasi, pemahaman, dan kesadaran mitra tentang pentingnya kemandirian energi dalam mendukung keberlanjutan usaha budidaya ikan. Kegiatan yang diikuti oleh 23 peserta ini membahas konsep energi terbarukan, potensi energi surya di Danau Tondano, prinsip dan manfaat *microgrid* panel surya,

serta manajemen energi yang efisien. Penyuluhan dilaksanakan melalui ceramah, diskusi interaktif, dan tanya jawab, dengan peserta aktif membahas kebutuhan listrik operasional, biaya energi, dan peluang penerapan panel surya pada keramba. Evaluasi dilakukan menggunakan pre-test dan post-test berbasis 20 soal dengan empat indikator penilaian. Hasil pre-test dan post-test disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pre-test dan Post-test Kegiatan Penyuluhan

Berdasarkan Gambar 2, nilai awal peserta masih berada pada kategori rendah hingga sedang dengan skor 45–56. Setelah penyuluhan, terjadi peningkatan pemahaman dengan skor post-test mencapai 80–86. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kegiatan penyuluhan berhasil meningkatkan pengetahuan peserta mengenai energi terbarukan, teknologi surya, dan pengelolaan energi yang efisien. Analisis efektivitas peningkatan pemahaman dilakukan menggunakan metode N-Gain. Hasil Analisis N-Gain disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis N-Gain

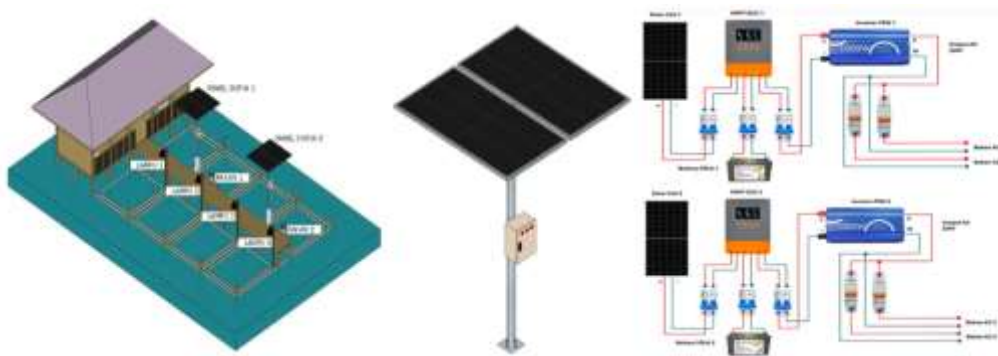
Indikator	N-Gain	Kategori
Konsep Dasar Energi Terbarukan	0,67	Sedang
Pemanfaatan Energi Surya	0,65	Sedang
Sistem Microgrid Panel Surya	0,64	Sedang
Efisiensi dan Manajemen Energi	0,68	Sedang
Rata-rata	0,66	Sedang

Hasil N-Gain menunjukkan rata-rata peningkatan pemahaman sebesar 0,66 dengan kategori sedang. Peningkatan tertinggi terdapat pada aspek efisiensi dan manajemen energi, yang menunjukkan bahwa peserta mulai memahami pentingnya penggunaan energi secara hemat dan terencana untuk mengurangi biaya operasional usaha.

2. Perancangan dan Pembangunan Instalasi Microgrid Panel Surya Terintegrasi Sistem Penyimpanan Energi

Kegiatan kedua meliputi perancangan dan pembangunan instalasi microgrid panel surya terintegrasi sistem penyimpanan energi untuk mendukung operasional keramba jaring tancap Desa Passo. Kegiatan diawali dengan audit kebutuhan energi sebagai dasar penentuan kapasitas dan

konfigurasi sistem. Tahap perancangan meliputi desain tata letak instalasi, konfigurasi sistem kelistrikan, desain rangka/frame panel surya, serta perancangan rangkaian koneksi antar komponen. Tata letak dirancang untuk mengoptimalkan posisi panel surya, baterai, SCC MPPT, inverter, dan jalur distribusi energi agar mudah dioperasikan dan dipelihara. Sistem dibagi menjadi dua frame microgrid, masing-masing terdiri atas satu panel surya monocrystalline, satu MPPT SCC, satu baterai, dan satu inverter. Desain rangka mempertimbangkan kekuatan struktur, keamanan, dan kesesuaian dengan lingkungan keramba, sedangkan diagram rangkaian digunakan sebagai acuan pembangunan sistem agar seluruh komponen terintegrasi dengan baik dan mampu menyediakan suplai energi yang stabil. Hasil perancangan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan Desain Tata Letak Instalasi dan Konfigurasi Sistem

Sistem microgrid yang dibangun menggunakan 2 unit panel surya monocrystalline berkapasitas 200 Wp, 2 unit baterai VRLA 12V 50Ah sebagai penyimpanan energi, 2 unit inverter 1500 W, serta 2 unit MPPT *Solar Charge Controller* (SCC) 12/24VDC 100A. Kapasitas penyimpanan energi yang dihasilkan sebesar 1.200 Wh atau 1,2 kWh dan total kemampuan keluaran inverter adalah 3.000 W (3 kW). Sistem dirancang dalam dua frame terpisah, di mana masing-masing frame terdiri atas satu modul panel surya, satu unit SCC MPPT, satu baterai VRLA, dan satu inverter. Konfigurasi ini bertujuan meningkatkan fleksibilitas sistem, mempermudah proses instalasi dan pemeliharaan, serta menjaga keandalan suplai energi apabila salah satu bagian sistem mengalami gangguan. Kegiatan pembangunan instalasi microgrid panel surya terintegrasi sistem penyimpanan energi dan pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perakitan Komponen dan Pengujian System

3. Pelatihan dan Pendampingan Pengoperasian serta Perawatan Microgrid Panel Surya

Kegiatan ketiga difokuskan pada pelatihan dan pendampingan pengoperasian serta perawatan sistem microgrid panel surya bagi 23 anggota kelompok peternak ikan keramba jaring tancap Desa Passo. Kegiatan ini bertujuan meningkatkan kemampuan mitra dalam mengoperasikan, memantau, dan melakukan pemeliharaan dasar sistem secara mandiri agar pemanfaatan teknologi energi terbarukan dapat berkelanjutan. Pelatihan dilaksanakan melalui sesi teori dan praktik lapangan. Pada sesi teori, peserta memperoleh pemahaman mengenai fungsi panel surya, MPPT SCC, baterai VRLA, inverter, prinsip kerja microgrid, serta prosedur keselamatan kerja dalam pengoperasian sistem energi surya. Kegiatan pelatihan dan pendampingan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sesi Materi dan Pelatihan Pengoperasian dan Perawatan Alat

Pada sesi praktik, peserta dilatih secara langsung mengenai prosedur pengoperasian sistem, seperti pemeriksaan kondisi panel surya, pemantauan indikator SCC dan inverter, pengecekan kapasitas baterai, serta penggunaan energi sesuai kebutuhan beban. Selain itu, peserta juga diberikan pelatihan pemeliharaan rutin, seperti pembersihan permukaan panel surya, pemeriksaan koneksi kabel, dan identifikasi gangguan sederhana pada sistem. Sistem dibangun menggunakan 2 panel surya monocrystalline 200 Wp, 2 baterai VRLA 12 V 50 Ah, 2 inverter 1500 W, dan 2 MPPT SCC 12/24 VDC 100 A, dengan kapasitas penyimpanan energi 1,2 kWh dan daya keluaran 3 kW. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu memenuhi kebutuhan energi operasional keramba, sehingga penggunaan

genset turun dari 1–2 liter bensin per hari menjadi 0 liter. Kondisi ini menurunkan biaya operasional energi dari sekitar Rp360.000–Rp720.000 per bulan menjadi Rp0, sekaligus meningkatkan efisiensi operasional budidaya.

4. Penyusunan dan Implementasi SOP Teknis Pengelolaan Energi dan Operasional Budidaya Ikan

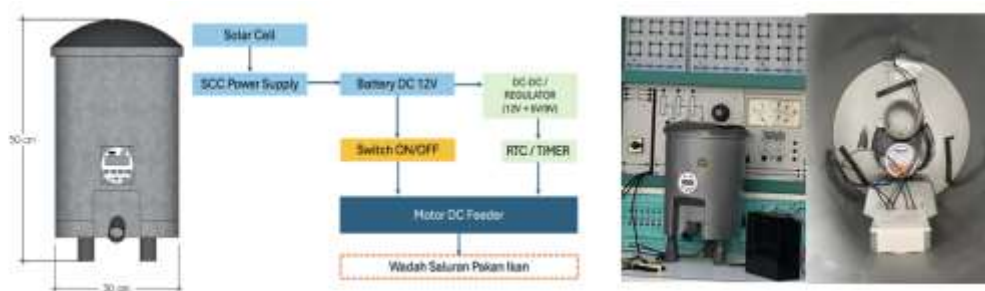
Kegiatan keempat dilakukan penyusunan dan implementasi SOP teknis pengelolaan energi dan operasional budidaya ikan untuk memastikan sistem microgrid panel surya dimanfaatkan secara optimal, konsisten, dan berkelanjutan. SOP disusun secara partisipatif bersama mitra agar sesuai dengan kondisi lapangan dan kebutuhan operasional. SOP mencakup prosedur pengoperasian sistem microgrid, pengaturan beban listrik, pemantauan kondisi baterai dan komponen, jadwal pemeliharaan rutin, pencatatan penggunaan energi, serta langkah penanganan gangguan sederhana. Kegiatan penyusunan dan hasil SOP ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diskusi penyusunan SOP teknis

5. Penerapan Sistem Pakan Ikan Otomatis Sederhana Berbasis Energi Surya

Kegiatan kelima difokuskan pada penerapan sistem pakan ikan otomatis sederhana berbasis energi surya untuk meningkatkan efisiensi produksi dan mendukung pertumbuhan ikan pada keramba jaring tancap Desa Passo. Sistem ini memanfaatkan suplai energi dari microgrid panel surya sehingga dapat beroperasi secara mandiri dan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Sebelum implementasi, dilakukan perancangan desain dan skema sistem yang meliputi desain wadah pakan, mekanisme pengeluaran pakan, rangkaian kontrol, serta integrasi dengan sistem microgrid. Perancangan mempertimbangkan kemudahan penggunaan, ketahanan terhadap lingkungan perairan, efisiensi energi, dan kemudahan pemeliharaan. Desain dan sistem pakan otomatis yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Skema Alat dan Hasil Sistem Pakan Ikan Otomatis

Skema kerja sistem memanfaatkan energi dari panel surya yang diatur oleh MPPT SCC dan disimpan pada baterai. Energi yang tersimpan kemudian digunakan melalui inverter dan sistem kontrol untuk mengoperasikan motor atau aktuator pakan otomatis. Sistem kontrol mengatur waktu, frekuensi, dan durasi pemberian pakan sesuai jadwal yang ditetapkan sehingga proses pemberian pakan menjadi lebih teratur, konsisten, dan efisien dibandingkan metode manual.

6. Pelatihan Manajemen Usaha dan Pemasaran Hasil Budidaya Ikan

Kegiatan terakhir program pengabdian adalah pelatihan manajemen usaha dan pemasaran hasil budidaya ikan yang diikuti oleh 23 anggota kelompok mitra. Kegiatan ini bertujuan meningkatkan kemampuan mitra dalam mengelola usaha secara mandiri dan berkelanjutan. Materi pelatihan meliputi pencatatan biaya produksi dan pendapatan, analisis biaya energi, perencanaan usaha, penentuan harga jual, penanganan pascapanen, serta strategi pemasaran lokal dan digital. Pelatihan dilaksanakan melalui sesi kelas, diskusi, simulasi pembukuan usaha, dan praktik pengelolaan data usaha budidaya ikan. Kegiatan pelatihan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kegiatan pelatihan manajemen usaha dan pemasaran

Setelah pelatihan, dilakukan pendampingan intensif selama satu bulan untuk memastikan peserta mampu menerapkan materi yang telah diberikan. Evaluasi dilakukan melalui observasi penerapan manajemen usaha, monitoring pencatatan biaya dan pendapatan, serta penilaian implementasi strategi pemasaran yang dilakukan oleh mitra. Hasil Evaluasi Implementasi Manajemen Usaha dan Pemasaran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Implementasi Manajemen Usaha dan Pemasaran

Indikator Evaluasi	Jumlah Peserta	Persentase (%)
Mampu melakukan pencatatan biaya produksi dan pendapatan secara rutin	21	91,3
Mampu menghitung biaya produksi dan keuntungan usaha	20	87,0
Mampu menentukan harga jual berdasarkan perhitungan biaya dan margin	19	82,6
Mampu menyusun rencana usaha sederhana	18	78,3
Mampu memanfaatkan media digital untuk promosi produk	17	73,9
Mampu menerapkan pencatatan penggunaan energi dalam usaha	20	87,0

Berdasarkan Tabel 2, sebagian besar peserta telah mampu menerapkan keterampilan yang diperoleh selama pelatihan. Sebanyak 91,3% peserta mampu melakukan pencatatan biaya produksi dan pendapatan, 87,0% mampu menghitung biaya produksi dan keuntungan usaha, 82,6% mampu menentukan harga jual berdasarkan biaya dan margin keuntungan, serta 73,9% mulai memanfaatkan media digital untuk promosi produk. Selain itu, mitra telah menerapkan format pencatatan usaha sederhana yang mencakup biaya pakan, biaya operasional, penggunaan energi, hasil panen, dan pendapatan, sehingga memudahkan pemantauan serta evaluasi perkembangan usaha secara berkala.

7. Pembahasan

Hasil kegiatan pengabdian ini konsisten dengan temuan penelitian terkini mengenai integrasi energi surya pada sektor akuakultur. Peningkatan pemahaman peserta dari kategori rendah–sedang menuju tinggi (N-Gain 0,66) menegaskan bahwa keterbatasan literasi energi terbarukan pada komunitas pembudidaya ikan sebagaimana diidentifikasi Vo et al. (2021) sebagai hambatan utama adopsi teknologi surya di sektor akuakultur global dapat diatasi melalui penyuluhan partisipatif berbasis kebutuhan lokal.

Desain microgrid dua frame dengan kombinasi panel monocrystalline, MPPT SCC, baterai VRLA, dan inverter yang diterapkan sejalan dengan pendekatan optimasi sistem hibrida surya-baterai pada komunitas terisolasi yang dikaji (Lata-García et al., 2024). Studi tersebut membuktikan bahwa desain modular berbasis audit beban aktual mampu menekan biaya siklus hidup sistem sekaligus menjaga keandalan pasokan energi, sebagaimana tercermin pada penurunan biaya operasional genset di lokasi ini dari Rp360.000–Rp720.000/bulan menjadi nol. Relevansi pemanfaatan ruang perairan untuk pembangkitan energi surya sekaligus budidaya ikan ini juga memperkuat klasifikasi sistem agrivoltaic akuatik terbaru oleh Maity et al. (2025), yang menegaskan sinergi antara produksi energi dan aktivitas

budidaya perairan sebagai arah pengembangan yang semakin diminati secara global.

Sistem pakan otomatis berbasis energi surya pada kegiatan kelima memperkuat tren riset terapan mengenai otomasi pakan bertenaga surya. Susilawati et al. (2023) melaporkan bahwa rancang bangun automatic fish feeder bertenaga sel surya berbasis mikrokontroler mengurangi ketergantungan tenaga kerja manual dan meningkatkan konsistensi jadwal pemberian pakan, sementara Boonraksa & Boonraksa (2025) menunjukkan integrasi IoT pada pakan otomatis tenaga surya mampu menekan biaya tenaga kerja secara signifikan pada budidaya udang di Thailand. Meski sistem pada kegiatan ini masih berbasis penjadwalan waktu tanpa sensor IoT, prinsip kerja dan manfaat efisiensinya konsisten dengan kedua studi tersebut, sekaligus membuka peluang pengembangan lanjutan berbasis sensor pada program berikutnya. Pada aspek manajemen usaha, capaian 91,3% peserta mampu mencatat biaya-pendapatan secara rutin memperkuat temuan Enayati et al. (2024) bahwa pencatatan keuangan sederhana pada komunitas nelayan/pembudidaya berkontribusi signifikan terhadap ketahanan ekonomi rumah tangga dan pergeseran perilaku dari konsumtif menuju produktif-terencana. Namun, capaian pemanfaatan media digital untuk promosi yang masih relatif rendah (73,9%) menunjukkan bahwa transformasi digital pemasaran memerlukan pendampingan lanjutan yang lebih intensif dibanding literasi finansial dasar.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Program pengabdian ini berhasil meningkatkan kemandirian energi dan mendukung keberlanjutan usaha budidaya ikan keramba jaring tancap di Desa Passo melalui penerapan microgrid panel surya terintegrasi sistem penyimpanan energi. Literasi energi peserta meningkat dengan N-Gain rata-rata 0,66 (kategori sedang) pada 23 peserta. Sistem yang dibangun terdiri atas 2 panel surya monocrystalline 200 Wp, 2 baterai VRLA 12 V 50 Ah, 2 MPPT SCC 100 A, dan 2 inverter 1.500 W, dengan kapasitas 1,2 kWh dan keluaran 3 kW, sehingga mampu menghilangkan penggunaan genset (1–2 liter/hari menjadi 0 liter) dan menurunkan biaya energi dari Rp360.000–Rp720.000/bulan menjadi Rp0. Pelatihan, pendampingan, dan implementasi SOP juga meningkatkan kapasitas mitra, ditunjukkan oleh 91,3% peserta mampu melakukan pencatatan usaha, 87,0% menghitung biaya dan keuntungan, serta 73,9% memanfaatkan media digital untuk pemasaran. Hasil ini menunjukkan bahwa microgrid tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memperkuat kapasitas teknis dan keberlanjutan usaha. Monitoring jangka panjang terhadap kinerja sistem dan dampaknya terhadap produktivitas, efisiensi biaya, serta pendapatan mitra perlu dilakukan sebagai dasar pengembangan dan replikasi program.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan pendanaan kegiatan ini melalui skema Program Kemitraan Masyarakat (PKM) Tahun 2026, berdasarkan Perjanjian Kontrak No. 168/C3/DT.05.00/PM/2026, dan Kontrak Turunan Nomor 95/UN41.9/TU/2026. Ucapan terima kasih dan apresiasi juga disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Manado atas dukungan, pendampingan, fasilitas, serta arahan selama pelaksanaan kegiatan. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada kelompok peternak ikan keramba jaring tancap Desa Passo yang telah bersedia menjadi mitra dan berpartisipasi aktif, memberikan dukungan, serta terlibat dalam seluruh rangkaian

DAFTAR RUJUKAN

- Boonraksa, T., & Boonraksa, P. (2025). Design of Solar-powered Automatic Shrimp Feeder based on the Internet of Things Technology. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 57(4), 545–558. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2025.57.4.9>
- Cortez, M. H., Villar, V. A., Hementera, E., Friginal, P. P., Villegas, R., Budoy, G., Friginal, P. I., Delos Santos, E., Wageyan, M. A., Verial, J. E., Zante, R., & Bolivar, A. (2025). Sustainable Aquaculture Systems: Microcontroller-driven Solar-Powered Fish Feeder. *The QUEST: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(2). <https://doi.org/10.60008/thequest.v4i2.271>
- Effendi, R. (2023). Integrasi Sistem Energi Terbarukan dan Penyimpanan untuk Meningkatkan Efisiensi Konversi Energi pada Mikrogrid. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(1), 255–264. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3682>
- Enayati, M., Arlikatti, S., & Ramesh, M. V. (2024). A qualitative analysis of rural fishermen: Potential for blockchain-enabled framework for livelihood sustainability. *Heliyon*, 10(2), e24358. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24358>
- Hasan, F., Arifin, S., & Verdiansah, V. (2024). Fish Feeder Otomatis Bersumber Energi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 7(2), 199–206. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v7i2.5614>
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.23956>
- Koli, A. A., Sadawarte, R. K., Chavan, B. R., Mulye, V. B., Dhamagaye, H. B., Sadawarte, V. R., Sharangdhar, M. T., & Ramteke, S. U. (2024). Evaluating the efficiency and economic feasibility of Solar Aeration System. *Journal Of Experimental Zoology India*, 27(01). <https://doi.org/10.51470/JEZ.2024.27.1.855>
- Lata-García, J., Zamora Cedeño, N., Ampuño, G., Jurado, F., Swarupa, M. L., & Maliza, W. (2024). Optimization and Evaluation of a Stand-Alone Hybrid System Consisting of Solar Panels, Biomass, Diesel Generator, and Battery Bank for Rural Communities. *Sustainability*, 16(20), 9012. <https://doi.org/10.3390/su16209012>

- Mahendra, I. G. B., Wigena, I. B. W., & Tinambunan, M. H. (2025). Peningkatan Literasi Energi Terbarukan Melalui Implementasi Microgrid Panel Surya Dan Pengembangan Platform E-Learning di SMKN 3 Tondano. *Jurnal Abdi Insani*, 12(9), 4560–4572. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i9.2848>
- Maity, R., Hariram, N. P., Quazi, M. M., & Kumarasamy, S. (2025). Agrivoltaic systems for sustainability: An overview of emerging trends and practices. *Solar Compass*, 16, 100148. <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2025.100148>
- Maki, M. Y., Wawointana, T., & Mamonto, F. H. (2024). *Implementasi Kebijakan Izin Usaha Ketenagalistrikan Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Daerah (ESDMD) Provinsi Sulawesi Utara*.
- Mastur, M., Nugroho, C., Praharto, Y., Artati, N., Winati, F. D., Qisthani, N. N., & Arifin, M. (2025). Smart Circular Farming 4.0: IoT-and Solar Cell-Based Integration of Maggot Farming, Laying Hens, Biofloc Aquaculture, and Hydroponics for Village Food Security. *Jurnal Abmas Negeri (JAGRI)*, 6(2), 270–287. <https://doi.org/10.36590/jagri.v6i2.1866>
- Mustofa, A., & Handiman, U. T. (2025). Analisis Efektivitas Manajemen Produksi Budidaya Ikan Patin Di Kecamatan Jatiluhur Kabupaten Purwakarta. *Jurnal Ilmiah Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi (MEA)*, 9(2), 792–805. <https://doi.org/10.31955/mea.v9i2.5707>
- Pambudi, W. S., Ath Thuur, J. A., Amalia, D., & Munir, M. (2025). *Sistem Manajemen Energi Listrik dan Otomatisasi pada Kolam Ikan*. 17–24. <https://doi.org/10.31284/p.snestik.2025.6883>
- Perdana, D. H. (2024). Potensi Pemanfaatan Energi Matahari dalam Teknologi Akuakultur. *Jurnal Sains Dan Teknologi Perikanan*, 4(2), 122–130. <https://doi.org/10.55678/jikan.v4i2.1483>
- Putri, V. L. B., Priyadi, A., Pujiantara, M., Anam, S., & Agustinah, T. (2025). Inovasi Aerator Diffuser Otomatis Berbasis IoT Bertenaga Hybrid Solar System Guna Meningkatkan Kualitas dan Profitabilitas Produksi Budidaya Perikanan Desa Wringinrejo, Banyuwangi. *Sewagati*, 9(6), 1489–1501. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i6.8607>
- Rulianto, J., Catrawedarma, I., Sari, E. N., Kurniawan, A. S., Fiverianti, A., Sevriton, S., & Hermansyah, B. (2024). Keramba Jaring Apung Sebagai Alternatif Budidaya Ikan Nelayan di Desa. *Madaniya*, 5(1), 66–76. <https://doi.org/10.53696/27214834.693>
- Sari, N., Nasrulloh, A. V., Fahrudin, A. E., Kastika, I. N. E., Amarina, H., & Nugraha, A. A. (2025). Penerapan Solar Cell sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Meningkatkan Dissolved Oxygen Kolam Ikan Budidaya Papuyu (*Anabas testudineus*). *Jurnal Pengabdian ILUNG (Inovasi Lahan Basah Unggul)*, 4(3), 54. <https://doi.org/10.20527/ilung.v4i3.14299>
- Sarif, A. J., Kusen, D. J., & Pangemanan, N. P. L. (2019). Analisis parameter fisika kimia air pada lokasi karamba jaring tancap di Danau Tondano Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *E-Journal Budidaya Perairan*, 7(1). <https://doi.org/10.35800/bdp.7.1.2019.24387>
- Shilman, M. I., Purnamawati, P., Susanti, R., & Redha, A. R. (2025). *Performance Kualitas Air Tambak Terhadap Kondisi Pertumbuhan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)*. *Jurnal Akuatiklestari*, 9(1), 125–135. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v9i1.7702>
- Song, F., Lu, Z., Guo, Z., Wang, Y., & Ma, L. (2024). The Effects of a Fishery Complementary Photovoltaic Power Plant on the Near-Surface Meteorology and Water Quality of Coastal Aquaculture Ponds. *Water*, 16(4), 526. <https://doi.org/10.3390/w16040526>
- Sorongan, E. G., Karwur, D., & Kalangi, J. A. F. (2022). Strategi Penataan Ruang Berbasis Masyarakat Dalam Pembangunan Berkelanjutan Danau Tondano Kabupaten Minahasa. *AGRI-SOSIOEKONOMI*, 18(2), 355–366. <https://doi.org/10.35791/agrsosek.v18i2.55170>

- Susilawati, S., Nugraha, A., Buchori, A. S. S., Rahayu, S., Fathurohman, F., & Yudiyanto, O. (2023). Design and implementation of automatic fish feeder (AFF) using microcontroller powered by solar cell: A Contribution to the fish farmers. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 3(1), 47–53. <https://doi.org/10.31603/mesi.8276>
- Tri Bagus Prabowo & Rezya Agnesica Sihaloho. (2023). Analisis Ketergantungan Indonesia Pada Teknologi Asing Dalam Sektor Energi dan Dampaknya Pada Keamanan Nasional. *Jurnal Lemhannas RI*, 11(1), 72–82. <https://doi.org/10.55960/jlri.v11i1.426>
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J.-H., & Park, N. (2021). Overview of Solar Energy for Aquaculture: The Potential and Future Trends. *Energies*, 14(21), 6923. <https://doi.org/10.3390/en14216923>