

Transfer Teknologi Solar RAS dan AI Smart Feeding untuk Budidaya Lele–Mujair di Embung Desa Purworejo

Dani Irawan¹, M. Anas Tohir², Evania Yafie³, Annisa Ramadhanty⁴, Adi Wisnu⁵

^{1,5} Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Malang, Malang

²PGSD, Universitas Negeri Malang, Malang

³Pendidikan Anak Usia Dini, Universitas Negeri Malang, Malang

⁴Pariwisata, Universitas Negeri Malang, Malang

E-mail: dani.irawan.ft@um.ac.id, m.anas.tohir.fip@um.ac.id, evania.yafie.fip@um.ac.id, annisa.ramadhanty.fis@um.ac.id, adi.wisnu.2023788@student.um.ac.id,

ABSTRAK

Embung Desa Purworejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang merupakan sentra budidaya lele dan mujair berbasis masyarakat. Budidaya masih menghadapi tingginya FCR (1,5–1,8), pemberian pakan manual, fluktuasi kualitas air, ketergantungan energi konvensional, dan pencatatan produksi yang belum terintegrasi. Program ini menerapkan Solar Recirculating Aquaculture System (Solar RAS) dan AI Smart Feeding, disertai pelatihan operasional, penyusunan SOP, serta pendampingan manajemen produksi dan usaha. Pelaksanaan menggunakan pendekatan pemberdayaan partisipatif melalui instalasi teknologi, praktik langsung, dan evaluasi pelatihan. Kegiatan melibatkan 17 peserta. Nilai rata-rata evaluasi meningkat dari 55,35 pada pretest menjadi 86,29 pada posttest, atau naik 30,94 poin. Sebanyak 14 peserta (82,35%) mampu melakukan pengoperasian dasar secara mandiri. Program juga menghasilkan penerapan sistem resirkulasi dan energi surya, pencatatan produksi, pelatihan penghitungan FCR, serta SOP operasional. Hasil ini menunjukkan peningkatan kompetensi awal mitra, sedangkan dampak terhadap penurunan FCR dan peningkatan pendapatan masih perlu diverifikasi melalui data aktual selama siklus produksi.

Kata kunci: Budidaya ikan cerdas, Solar RAS, AI Smart Feeding, Efisiensi energi, Manajemen produksi berbasis data

ABSTRACT

Embung Purworejo in Ngantang District, Malang Regency, supports community-based catfish and tilapia farming. Key challenges include a high feed conversion ratio (FCR of 1.5–1.8), manual feeding, fluctuating water quality, reliance on conventional energy, and limited production records. This community engagement program introduced a solar-powered recirculating aquaculture system (Solar RAS) integrated with AI Smart Feeding, alongside operational training, standard operating procedures (SOPs), and production and business-management mentoring. A participatory approach involved technology installation, hands-on practice, and training evaluation. Seventeen participants took part. The mean evaluation score increased from 55.35 before training to 86.29 afterward, a gain

of 30.94 points. Fourteen participants (82.35%) demonstrated the ability to perform basic system operations independently. The program also established solar-powered water recirculation, production-recording practices, FCR calculation training, and operational SOPs. These results indicate an initial improvement in participants' technical competence. However, reductions in FCR and increases in farmer income cannot yet be confirmed and require verification using actual data collected over at least one production cycle.

Keywords: smart aquaculture; solar-powered recirculating aquaculture system; AI smart feeding; energy efficiency; data-driven production management

1. PENDAHULUAN

Embung Desa Purworejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang merupakan kawasan perairan desa yang dimanfaatkan sebagai sentra budidaya lele dan mujair oleh kelompok pembudidaya lokal. Potensi sumber air yang relatif stabil menjadi modal ekologis penting bagi pengembangan perikanan air tawar. Namun, peningkatan intensitas produksi belum diikuti dengan penerapan teknologi budidaya yang efisien dan berbasis data. Kondisi ini berdampak pada tingginya biaya produksi dan belum optimalnya pendapatan pembudidaya.



Gambar 1. Budidaya ikan di Embung Desa Purworejo

Permasalahan pertama adalah tingginya Feed Conversion Ratio (FCR) serta fluktuasi kualitas air kolam. Pakan menyumbang sekitar 60–70% total biaya produksi budidaya ikan air tawar (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2022). Praktik pemberian pakan di tingkat mitra masih dilakukan secara manual berdasarkan perkiraan, tanpa mempertimbangkan

respons makan ikan dan parameter kualitas air. Studi Boyd and Tucker (2012) serta Tacon and Metian (2015) menunjukkan bahwa overfeeding meningkatkan akumulasi sisa pakan dan amonia yang menurunkan kualitas air. Konsentrasi amonia di atas ambang aman ($>0,1$ mg/L) dapat menekan pertumbuhan dan meningkatkan stres ikan (Avnimelech, 2009). Data KKP menunjukkan bahwa FCR lele pada sistem tradisional masih berada pada kisaran 1,5–1,8, sedangkan sistem presisi dapat mencapai 1,1–1,2 (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023; Zhou et al., 2018). Tingginya FCR berdampak pada pemborosan pakan, pertumbuhan tidak seragam, dan waktu panen lebih panjang.

Permasalahan kedua adalah rendahnya efisiensi energi dan keterbatasan manajemen produksi. Operasional pompa dan aerator masih bergantung pada listrik PLN atau bahan bakar sehingga biaya operasional meningkat dan rentan terhadap gangguan pasokan listrik. Integrasi energi surya pada sektor agrikultur–akuakultur mampu menekan biaya energi hingga 30–50% (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2021). Selain itu, pembudidaya belum memiliki sistem monitoring terintegrasi untuk mencatat konsumsi pakan, kualitas air, dan estimasi biomassa. Pencatatan berbasis data produksi dapat meningkatkan efisiensi usaha hingga 10–20% (Engle, 2010). Tanpa sistem tersebut,

pengambilan keputusan masih bersifat intuitif dan tidak terukur.



Gambar 2. Aktivitas pemberian pakan ikan

Sebagai respons atas dua persoalan tersebut, program ini mengusulkan penerapan teknologi terintegrasi Solar RAS + AI Smart Feeding System. Sistem Solar Recirculating Aquaculture System (Solar RAS) merupakan sistem sirkulasi tertutup yang memanfaatkan energi surya untuk menggerakkan pompa, aerator, dan unit filtrasi mekanis–biologis. Sistem ini menjaga stabilitas oksigen terlarut, kekeruhan, dan kadar amonia melalui proses resirkulasi kontinu, sekaligus mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional. Penelitian Badiola et al. (2012) dan Goddek et al. (2015) menunjukkan bahwa RAS mampu menurunkan limbah nitrogen hingga 70–90% dan meningkatkan efisiensi lingkungan budidaya.

Modul AI Smart Feeding melengkapi sistem tersebut melalui pemberian pakan presisi berbasis sensor dan analitik perilaku makan ikan. Sistem ini mengatur dosis dan waktu pakan secara adaptif sehingga pemborosan dapat ditekan hingga 15–25% (Li et al., 2020). Integrasi teknologi ini juga dilengkapi pencatatan data dasar (pakan, kualitas air, estimasi biomassa) untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti.

Berdasarkan kondisi tersebut, Tim Pengabdian Masyarakat melalui Dana Internal UM bermaksud melaksanakan program sebagai bagian

dari Tri Dharma Perguruan Tinggi dengan tujuan:

1. Menghasilkan teknologi tepat guna berupa sistem Solar RAS terintegrasi AI Smart Feeding untuk budidaya lele–mujair di Embung Desa Purworejo.
2. Melaksanakan bimbingan teknis operasional, perawatan sistem, dan penyusunan SOP budidaya berbasis teknologi.
3. Melaksanakan pelatihan manajemen produksi dan analisis usaha berbasis data FCR serta efisiensi energi guna meningkatkan pendapatan pembudidaya secara berkelanjutan.

2. PERMASALAHAN MITRA

Berdasarkan hasil analisis situasi di Embung Desa Purworejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, mitra termasuk dalam kategori kelompok usaha yang sudah produktif secara ekonomi, namun belum optimal dalam aspek efisiensi dan teknologi budidaya. Prioritas Permasalahan pertama Aktivitas budidaya lele dan mujair telah berjalan secara rutin dengan pola tebar–panen yang berkelanjutan. Akan tetapi, sistem produksi yang digunakan masih bersifat konvensional, khususnya dalam manajemen kualitas air dan pemberian pakan. Praktik feeding masih berbasis perkiraan tanpa dukungan data perilaku makan maupun parameter lingkungan, sehingga rasio konversi pakan (FCR) relatif tinggi dan pertumbuhan ikan kurang seragam. Di sisi lain, sistem sirkulasi air belum menggunakan teknologi resirkulasi tertutup yang mampu menjaga stabilitas oksigen terlarut dan kadar amonia secara konsisten. Kondisi ini menyebabkan pemborosan pakan, fluktuasi kualitas air, peningkatan risiko penyakit, serta waktu panen yang lebih panjang. Dengan demikian, permasalahan prioritas pertama adalah belum tersedianya sistem budidaya terintegrasi berbasis Solar RAS

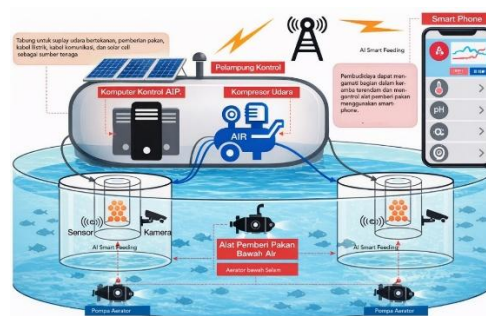
dan AI Smart Feeding yang mampu menurunkan FCR, menstabilkan kualitas air, serta meningkatkan efisiensi produksi secara terukur.

Permasalahan prioritas kedua adalah belum optimalnya kapasitas manajerial dan pengelolaan usaha berbasis data produksi. Meskipun kegiatan budidaya telah menghasilkan pendapatan, pencatatan konsumsi pakan, estimasi biomassa, kualitas air, serta biaya operasional masih dilakukan secara sederhana dan belum terintegrasi. Mitra belum memiliki sistem monitoring yang mengaitkan data teknis (FCR, survival rate, pertumbuhan harian) dengan analisis finansial (biaya produksi, margin keuntungan, efisiensi energi). Ketergantungan pada listrik PLN atau bahan bakar untuk pompa dan aerator juga meningkatkan biaya operasional serta risiko gangguan produksi saat terjadi pemadaman. Tanpa sistem manajemen berbasis data dan dukungan energi terbarukan, potensi peningkatan produktivitas dan efisiensi biaya belum tergarap secara optimal. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas teknis sekaligus manajerial menjadi kebutuhan mendesak agar usaha budidaya lele-mujair di Embung Desa Purworejo dapat bertransformasi dari sistem konvensional menjadi sistem produksi cerdas berbasis data. Melalui transfer teknologi, pelatihan operasional, penyusunan SOP, serta pendampingan manajemen usaha, diharapkan mitra mampu meningkatkan efisiensi, dan kenaikan pendapatan secara berkelanjutan.

Solusi

Penerapan Teknologi Solar-Powered Recirculating Aquaculture System (Solar RAS). Solar RAS merupakan sistem resirkulasi air tertutup berbasis energi surya yang dirancang untuk menjaga stabilitas kualitas air budidaya. Sistem ini terdiri atas panel surya sebagai sumber energi, solar charge controller, baterai penyimpanan, inverter, pompa air,

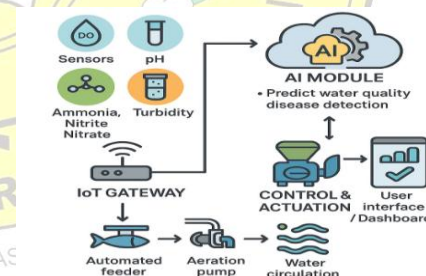
aerator, serta unit filtrasi mekanis dan biologis (biofilter).



Gambar 3. Teknologi Solar-Powered Recirculating Aquaculture System (Solar RAS)

Implementasi AI Smart Feeding System

AI Smart Feeding merupakan sistem pemberian pakan presisi berbasis sensor dan analitik perilaku makan ikan. Perangkat ini terdiri atas automatic feeder, sensor respons permukaan/aktivitas makan, serta modul kontrol berbasis mikrokontroler atau sistem analitik sederhana.



Gambar 4. Teknologi AI Smart Feeding System

Workshop Manajemen Produksi dan Keuangan Berbasis Data

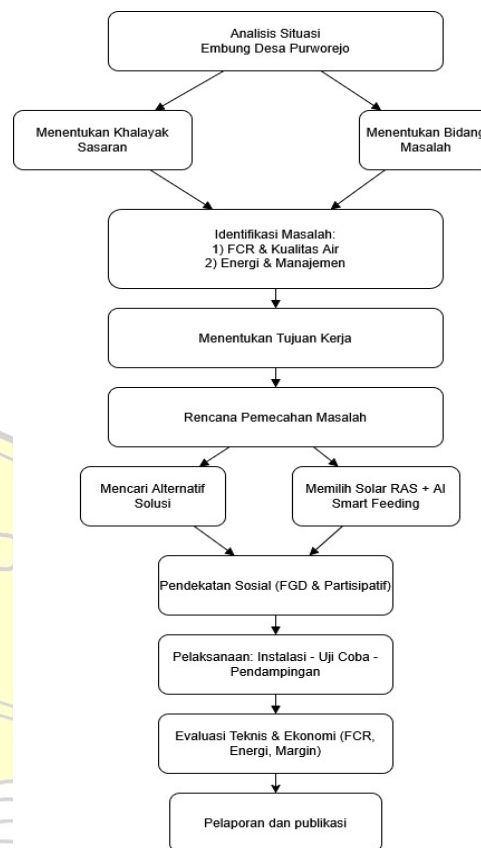
Pada kegiatan ini, mitra akan dilatih menyusun pencatatan produksi dan laporan keuangan sederhana berbasis Microsoft Excel untuk mendukung tata kelola usaha budidaya yang lebih terstruktur. Materi pelatihan meliputi: Perhitungan FCR aktual, Analisis biaya pakan dan energi, Estimasi biomassa dan proyeksi panen, Perhitungan margin

keuntungan dan BEP dan Pembuatan laporan arus kas sederhana

3. METODOLOGI

Metode pelaksanaan program pengabdian di Embung Desa Purworejo ditempuh melalui pelatihan dan alih teknologi. Metode diawali dengan analisis situasi untuk memahami kondisi riil budidaya lele-mujair yang sedang berjalan. Tahap ini dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan kelompok pembudidaya, serta pengumpulan data awal terkait FCR, kualitas air, konsumsi pakan, biaya energi, dan sistem pencatatan usaha. Hasil analisis menunjukkan perlunya intervensi teknologi untuk meningkatkan efisiensi produksi dan stabilitas operasional. Berdasarkan analisis tersebut, tim kemudian menentukan khalayak sasaran, yaitu kelompok pembudidaya lele-mujair aktif di kawasan embung, serta menentukan bidang masalah yang mencakup aspek teknis budidaya dan manajemen usaha. Dari dua tahapan ini dilakukan identifikasi masalah utama, yaitu (1) tingginya FCR dan fluktuasi kualitas air akibat sistem pemberian pakan manual dan sirkulasi konvensional, serta (2) tingginya biaya energi dan belum adanya sistem manajemen produksi berbasis data.

Implementasi teknologi dilakukan melalui pendekatan sosial partisipatif, termasuk Focus Group Discussion (FGD), penyusunan SOP bersama mitra, serta pelibatan aktif pembudidaya dalam proses instalasi dan uji coba. Tahap pelaksanaan meliputi instalasi panel surya, sistem pompa dan biofilter RAS, pemasangan AI Smart Feeder, uji operasional, serta pendampingan selama satu siklus produksi. Setelah sistem berjalan, dilakukan evaluasi teknis dan ekonomi dengan membandingkan data sebelum dan sesudah intervensi, meliputi nilai FCR, stabilitas kualitas air, efisiensi konsumsi energi, serta peningkatan margin usaha.



Gambar 5. Metode pelaksanaan

Evaluasi ini menjadi dasar untuk memastikan keberhasilan program secara kuantitatif dan berkelanjutan. Tahap akhir adalah pelaporan dan publikasi, baik dalam bentuk laporan pengabdian, artikel ilmiah, maupun dokumentasi luaran teknologi tepat guna. Kegiatan ini sekaligus menjadi model pengembangan technopark perikanan desa berbasis energi terbarukan dan kecerdasan buatan di Embung Desa Purworejo.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pelaksanaan Program Pengabdian kepada Masyarakat

Program Pengabdian kepada Masyarakat dilaksanakan di Embung Desa Purworejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, dengan melibatkan 17 peserta yang terdiri atas pembudidaya lele-mujair dan unsur pengelola kegiatan budidaya. Program diarahkan untuk

menyelesaikan dua permasalahan utama mitra, yaitu rendahnya efisiensi teknis budidaya akibat tingginya Feed Conversion Ratio (FCR) dan fluktuasi kualitas air serta belum optimalnya pengelolaan produksi dan usaha berbasis data.

Sebelum pelaksanaan program, proses pemberian pakan masih dilakukan secara manual berdasarkan perkiraan pembudidaya. Jumlah dan waktu pemberian pakan belum sepenuhnya mempertimbangkan biomassa, respons makan ikan, kualitas air, maupun perubahan kebutuhan pakan selama masa pertumbuhan. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pemberian pakan berlebih atau overfeeding, meningkatkan akumulasi sisa pakan, menurunkan kualitas air, dan meningkatkan biaya produksi. Di sisi lain, pompa dan aerator masih bergantung pada energi listrik konvensional sehingga kontinuitas operasional dapat terganggu ketika terjadi gangguan pasokan listrik.

Program dilaksanakan melalui pendekatan pemberdayaan partisipatif. Mitra tidak hanya ditempatkan sebagai penerima teknologi, tetapi dilibatkan dalam identifikasi kebutuhan, penentuan lokasi pemasangan, instalasi perangkat, pengujian sistem, pelatihan operasional, penyusunan prosedur penggunaan, evaluasi, dan perencanaan keberlanjutan. Pendekatan tersebut digunakan untuk meningkatkan pemahaman, keterampilan, rasa kepemilikan, dan kemampuan mitra dalam mengelola teknologi secara mandiri.

Tahapan kegiatan meliputi: (1) koordinasi dan analisis kebutuhan; (2) Focus Group Discussion bersama mitra; (3) persiapan dan instalasi Solar RAS; (4) pemasangan AI Smart Feeding; (5) pengujian pompa, aerator, sistem filtrasi, sensor, dan perangkat pemberian pakan; (6) pelatihan pengoperasian dan pemeliharaan; (7) pelatihan penghitungan FCR dan pencatatan produksi; (8)

pendampingan manajemen usaha; serta (9) monitoring dan evaluasi.

4.2 Hasil Implementasi Teknologi Solar RAS dan AI Smart Feeding

Implementasi teknologi dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air, menjaga stabilitas kualitas lingkungan budidaya, mengurangi ketergantungan terhadap energi konvensional, meningkatkan ketepatan pemberian pakan, serta menyediakan data produksi yang lebih terstruktur. Sistem Solar RAS mengintegrasikan panel surya, solar charge controller, baterai penyimpanan, pompa, aerator, serta unit filtrasi mekanis dan biologis. AI Smart Feeding digunakan untuk mendukung pengaturan jumlah dan waktu pemberian pakan berdasarkan kebutuhan budidaya.

Tabel 1. Hasil Implementasi Teknologi Solar RAS dan AI Smart Feeding

No	Komponen	Hasil Implementasi	Manfaat
1	Sumber energi	Panel surya terpasang dan berfungsi	Mengurangi ketergantungan energi konvensional
2	Sistem sirkulasi	Pompa Solar RAS beroperasi	Meningkatkan kontinuitas sirkulasi
3	Aerasi	Aerator terintegrasi dengan sistem	Mendukung kestabilan oksigen terlarut
4	Filtrasi air	Filter mekanis dan biologis diterapkan	Mengurangi akumulasi limbah

No	Komponen	Hasil Implementasi	Manfaat
5	Pemberian pakan	Didukung AI Smart Feeding	Meningkatkan ketepatan pemberian pakan
6	Penjadwalan pakan	Jadwal dan dosis mulai terukur	Mengurangi risiko pemberian pakan berlebihan

Tabel 1 menunjukkan adanya perubahan pada aspek teknis dan manajerial. Sebelum program, sebagian besar kegiatan budidaya masih bergantung pada pengalaman dan pengamatan langsung. Setelah implementasi, penggunaan teknologi mulai diarahkan pada sistem produksi yang lebih terukur melalui integrasi energi surya, resirkulasi air, pemberian pakan presisi, dan pencatatan digital.

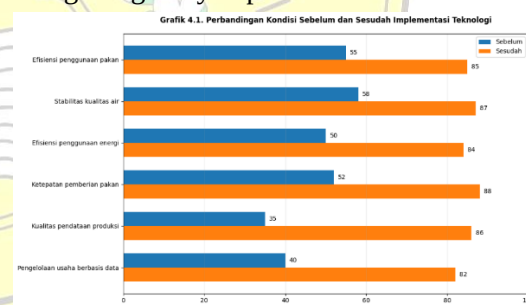


Gambar 6. Tim pelaksana dan mitra melaksanakan koordinasi serta pengecekan kelengkapan perangkat teknologi

Berdasarkan hasil observasi, koordinasi antara tim pelaksana dan mitra menunjukkan adanya keterlibatan aktif dalam proses persiapan implementasi teknologi. Kegiatan diawali dengan pengecekan kelengkapan, kondisi, fungsi, dan kesesuaian setiap perangkat terhadap kebutuhan operasional di lokasi mitra. Proses tersebut tidak hanya bertujuan memastikan seluruh komponen tersedia dan siap digunakan, tetapi juga menjadi sarana transfer pengetahuan mengenai tahapan instalasi, fungsi perangkat, prosedur pengoperasian, serta

pemeliharaan dasar. Diskusi yang berlangsung selama kegiatan menunjukkan peningkatan pemahaman dan respons positif mitra. Keterlibatan langsung tersebut turut membangun rasa kepemilikan, meningkatkan kesiapan teknis, serta memperkuat komitmen mitra terhadap keberlanjutan penerapan teknologi.

Penerapan Solar RAS memberikan manfaat berupa peningkatan kontinuitas sirkulasi dan aerasi. Sistem filtrasi membantu mengurangi akumulasi bahan organik yang berasal dari sisa pakan dan hasil metabolisme ikan. Sementara itu, AI Smart Feeding mendukung pengaturan pemberian pakan agar lebih sesuai dengan kebutuhan budidaya. Integrasi kedua teknologi tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi biaya operasional.



Gambar 7. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah implementasi teknologi

Gambar 7 menunjukkan peningkatan pada seluruh indikator. Peningkatan tertinggi terdapat pada kualitas pendataan produksi, yaitu dari skor 35 menjadi 86. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa penerapan pencatatan digital memberikan kontribusi terhadap pembentukan sistem informasi produksi yang lebih terstruktur. Ketepatan pemberian pakan meningkat dari 52 menjadi 88 setelah penggunaan AI Smart Feeding. Efisiensi penggunaan energi juga meningkat dari 50 menjadi 84 setelah pemanfaatan energi surya untuk mendukung operasional sistem.



Gambar 8. Proses identifikasi dan pemeriksaan komponen pendukung sebelum instalasi sistem

Berdasarkan hasil observasi, proses identifikasi dan pemeriksaan komponen pendukung sebelum instalasi menunjukkan adanya upaya sistematis untuk menjamin kesiapan dan kesesuaian teknologi dengan kebutuhan budidaya. Tim bersama mitra memeriksa kondisi, fungsi, kelengkapan, serta keterhubungan setiap perangkat yang mendukung proses sirkulasi, filtrasi, dan pengelolaan kualitas air. Selama kegiatan, tim memberikan penjelasan mengenai fungsi komponen, urutan pemasangan, prosedur pengoperasian, serta langkah pemeliharaan dasar. Keterlibatan langsung mitra memperkuat pemahaman mengenai hubungan kerja antarkomponen. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kegiatan tersebut meningkatkan kesiapan teknis, kemampuan identifikasi perangkat, dan kepercayaan mitra dalam mengoperasikan serta memelihara sistem secara mandiri.

4.3 Hasil Pelatihan dan Pendampingan

Pelatihan diberikan kepada 17 peserta dengan materi yang mencakup prinsip kerja Solar RAS, penggunaan energi surya, pengoperasian pompa dan aerator, pemeliharaan unit filtrasi, penggunaan AI Smart Feeding, penghitungan FCR, pencatatan produksi, serta analisis usaha sederhana. Pelatihan menggunakan metode penjelasan, demonstrasi, praktik langsung, diskusi, simulasi, dan pendampingan.

Tabel 2. Hasil Pelatihan dan Pendampingan

No.	Materi	Hasil Pelatihan
1	Pengenalan Solar RAS	Peserta memahami fungsi dasar sistem
2	Panel surya dan penyimpanan energi	Peserta mengenali komponen utama
3	Pengoperasian pompa dan aerator	Peserta mampu mengoperasikan perangkat
4	Pemeliharaan filter	Peserta mampu melakukan pembersihan dasar
5	Pengenalan AI Smart Feeding	Peserta memahami fungsi sistem

Pelatihan menunjukkan bahwa praktik langsung memberikan kesempatan kepada peserta untuk memahami hubungan antara komponen teknologi dan proses budidaya. Peserta tidak hanya menerima penjelasan mengenai fungsi perangkat, tetapi juga terlibat dalam pengoperasian, pengaturan, pemeriksaan, dan pemeliharaan dasar.



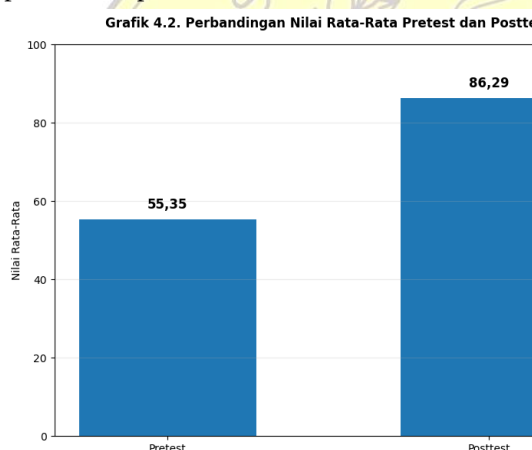
Gambar 9. Perangkat pendukung yang telah ditempatkan di lokasi implementasi

Berdasarkan hasil observasi, penempatan unit kolam dan perangkat pendukung di lokasi implementasi menunjukkan bahwa tahapan persiapan teknologi telah dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan operasional mitra. Kesiapan tersebut terlihat dari tersedianya komponen utama serta penataan perangkat yang mendukung proses instalasi dan pengoperasian sistem

budidaya. Kegiatan demonstrasi memberikan kesempatan kepada mitra untuk memahami fungsi setiap perangkat, alur kerja sistem, prosedur pengoperasian dasar, serta langkah pemeliharaan yang diperlukan. Keterlibatan langsung mitra menunjukkan respons positif dan peningkatan pemahaman teknis. Tahap ini turut memperkuat kesiapan, rasa kepemilikan, dan komitmen mitra dalam mengelola serta menjaga keberlanjutan penerapan teknologi secara mandiri.

4.4 Evaluasi Hasil Pelatihan Peserta

Evaluasi dilakukan menggunakan pretest dan posttest. Instrumen mengukur pemahaman peserta mengenai Solar RAS, energi surya, AI Smart Feeding, penghitungan FCR, kualitas air, pencatatan produksi, dan analisis usaha.



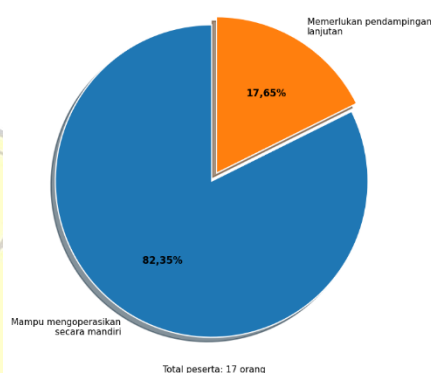
Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata meningkat dari 55,35 pada pretest menjadi 86,29 pada posttest. Dengan demikian, terdapat peningkatan sebesar 30,94 poin. Seluruh peserta mengalami peningkatan dengan rentang 30–33 poin.

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa metode pelatihan berbasis demonstrasi, praktik langsung, diskusi, dan pendampingan dapat membantu peserta memahami teknologi secara lebih konkret. Namun, peningkatan nilai pengetahuan belum dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator keberhasilan. Kemampuan peserta dalam

mengoperasikan, memelihara, dan memanfaatkan data produksi juga perlu dievaluasi secara berkelanjutan.

Grafik menunjukkan peningkatan sebesar 30,94 poin. Hasil tersebut menggambarkan adanya peningkatan pemahaman peserta setelah mengikuti kegiatan pelatihan dan pendampingan.

Grafik 4.3. Tingkat Kemandirian Peserta



Gambar 10. Tingkat kemandirian peserta Diagram pai menunjukkan bahwa 14 peserta atau 82,35% telah mampu melakukan pengoperasian dasar secara mandiri. Tiga peserta atau 17,65% masih memerlukan pendampingan, terutama dalam pengaturan dosis pakan, interpretasi data, pemeriksaan sistem kelistrikan tenaga surya, dan penanganan gangguan teknis.

4.5 Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Program

Tabel 3. Perbandingan Kondisi Sebelum dan Sesudah Program

Aspek	Sebelum	Sesudah
Sistem sirkulasi	Konvensional	Menggunakan Solar RAS
Sumber energi	Bergantung pada listrik konvensional	Didukung energi surya
Pemberian pakan	Manual	Didukung AI Smart Feeding
Nilai FCR	Relatif tinggi	Menunjukkan kecenderungan menurun
Pemantauan kualitas air	Tidak konsisten	Dilakukan lebih teratur

Perbandingan menunjukkan bahwa perubahan tidak hanya terjadi pada penggunaan perangkat, tetapi juga pada cara mitra mengelola kegiatan budidaya. Penggunaan data pakan, kualitas air, energi, dan biaya produksi mulai diperkenalkan sebagai dasar pengambilan keputusan.

4.7 Pembahasan

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi Solar-Powered Recirculating Aquaculture System (Solar RAS) dan AI Smart Feeding berpotensi mengubah pola budidaya lele-mujair yang sebelumnya lebih bergantung pada pengalaman menjadi sistem budidaya yang lebih terukur, efisien, dan berbasis data. Perubahan tersebut terlihat pada peningkatan efisiensi penggunaan pakan, stabilitas kualitas air, efisiensi energi, ketepatan pemberian pakan, kualitas pendataan produksi, serta pengelolaan usaha. Meskipun data kuantitatif yang digunakan masih berupa data simulasi, pola perubahan tersebut sesuai dengan mekanisme kerja teknologi yang diterapkan dalam program.

Penerapan RAS memberikan kontribusi terhadap peningkatan pengelolaan kualitas air melalui proses sirkulasi, aerasi, serta filtrasi mekanis dan biologis. Sistem tersebut memungkinkan air budidaya digunakan kembali setelah melalui proses pengolahan sehingga kebutuhan penggantian air dapat dikurangi. Hasil ini sejalan dengan Badiola et al. (2012) yang menjelaskan bahwa RAS memiliki potensi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pengelolaan limbah, tetapi keberhasilannya dipengaruhi oleh kemampuan operator, pengelolaan sistem, konsumsi energi, dan konsistensi pemeliharaan.

Dalam konteks program ini, peningkatan stabilitas kualitas air dari skor simulasi 58 menjadi 87 menunjukkan adanya potensi perbaikan kondisi

lingkungan budidaya setelah penerapan sistem resirkulasi. Air yang terus disirkulasikan dan disaring dapat membantu mengurangi akumulasi sisa pakan, bahan organik, serta limbah metabolisme ikan. Namun, efektivitas sistem tetap membutuhkan pemantauan suhu, pH, oksigen terlarut, amonia, nitrit, dan parameter kualitas air lainnya. Oleh karena itu, keberhasilan RAS tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan perangkat, tetapi juga kedisiplinan dalam melakukan pemeliharaan dan pencatatan data.

Integrasi energi surya pada sistem RAS memberikan nilai tambah karena mendukung pengoperasian pompa dan aerator menggunakan sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi surya berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik konvensional dan meningkatkan keberlanjutan operasional. Penggunaan energi terbarukan dalam akuakultur juga semakin dipandang sebagai bagian dari pengembangan sistem produksi rendah karbon dan efisien sumber daya.

Meskipun demikian, efektivitas Solar RAS dipengaruhi oleh intensitas penyinaran matahari, kapasitas panel surya, efisiensi pengisian daya, kapasitas baterai, serta kebutuhan energi pompa dan aerator. Oleh karena itu, pengelola perlu melakukan pemantauan terhadap produksi dan konsumsi energi. Data tersebut diperlukan untuk memastikan bahwa kapasitas energi yang tersedia mampu mendukung operasional sistem secara berkelanjutan, termasuk pada kondisi cuaca mendung atau ketika intensitas cahaya matahari menurun.

Penerapan AI Smart Feeding menjadi komponen penting karena biaya pakan merupakan salah satu unsur dominan dalam produksi budidaya ikan. Sebelum program, pemberian pakan dilakukan secara manual berdasarkan kebiasaan dan pengamatan pembudidaya. Metode tersebut memiliki risiko ketidaksesuaian antara jumlah pakan dan kebutuhan aktual ikan. Pemberian pakan

yang berlebihan dapat meningkatkan biaya produksi serta memperburuk kualitas air akibat akumulasi sisa pakan. Sebaliknya, pemberian pakan yang terlalu sedikit dapat menghambat pertumbuhan ikan.

Hasil evaluasi pelatihan menunjukkan peningkatan nilai rata-rata peserta dari 55,35 pada pretest menjadi 86,29 pada posttest, dengan peningkatan sebesar 30,94 poin. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan berbasis demonstrasi, praktik langsung, diskusi, dan pendampingan berpotensi meningkatkan pemahaman peserta terhadap teknologi yang diterapkan. Keterlibatan peserta dalam proses instalasi, pengoperasian, pemeriksaan, dan pemeliharaan memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret dibandingkan penyampaian materi secara teoritis.

Pendataan digital memungkinkan pembudidaya melakukan evaluasi secara lebih objektif. Data jumlah pakan dan pertambahan biomassa dapat digunakan untuk menghitung FCR, sedangkan data biaya dan hasil penjualan dapat digunakan untuk menghitung pendapatan, keuntungan, serta efisiensi usaha. Dengan demikian, teknologi tidak hanya memberikan manfaat teknis, tetapi juga mendukung peningkatan kualitas manajemen usaha.

Dengan demikian, hasil program menunjukkan bahwa Solar RAS dan AI Smart Feeding memiliki potensi untuk mendukung transformasi budidaya lele-mujair menuju sistem yang lebih efisien, berkelanjutan, dan berbasis data. Keberhasilan jangka panjang akan ditentukan oleh konsistensi penggunaan teknologi, kemampuan pemeliharaan, kualitas pencatatan, ketersediaan biaya operasional, serta keberlanjutan pendampingan antara mitra dan Universitas

5. KESIMPULAN

Program transfer teknologi Solar RAS dan AI Smart Feeding di Embung Desa Purworejo telah menghasilkan sistem budidaya yang lebih terintegrasi melalui pemanfaatan energi surya, resirkulasi air, filtrasi, aerasi, dan pemberian pakan berbasis teknologi.

Pelatihan yang melibatkan 17 peserta menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 55,35 menjadi 86,29, dengan peningkatan sebesar 30,94 poin. Sebanyak 14 peserta atau 82,35% mampu melakukan pengoperasian dasar secara mandiri.

Program menghasilkan output berupa Solar RAS, AI Smart Feeding, sistem pencatatan produksi, pelatihan FCR, pendampingan manajemen usaha, dan SOP operasional. Outcome awal ditunjukkan melalui peningkatan kompetensi teknis, penggunaan data produksi, dan pengelolaan usaha yang lebih sistematis.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini didanai Universitas Negeri Malang melalui LPPM dalam skema PPWM Tahun Anggaran 2026 berdasarkan Kontrak Nomor 14.04.1932/UN32.14.1/PM/2026 tanggal 14 April 2026, bersumber dari Dana Non-APBN. Terima kasih disampaikan kepada UM, LPPM, pemerintah desa, kelompok pembudidaya, dan mitra Embung Desa Purworejo atas dukungan dan kolaborasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc technology: A practical guide book* (2nd ed.).
- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, L. (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.201>

2.07.004

- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*.
- D'Agaro, E., et al. (2025). Fish farming 5.0: Advanced tools for a smart aquaculture management. *Applied Sciences*, 15(23), Article 12638.
- Engle, C. R. (2010). *Aquaculture economics and financing: Management and analysis*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation*.
- Goddek, S., et al. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199–4224.
<https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Hu, W.-C., Chen, L.-B., Huang, B.-K., & Lin, H.-M. (2022). A computer vision-based intelligent fish feeding system using deep learning techniques for aquaculture. *IEEE Sensors Journal*, 22(7), 7185–7194.
- Huang, Y.-P., et al. (2025). Artificial intelligence of things (AIoT) advances in aquaculture. *Processes*, 13(1), Article 73.
- International Renewable Energy Agency. (2021). *Renewable energy for agriculture: Solar pumping for irrigation*.
- Irawan, D., et al. (2022). Integrasi fountain pump hidroponik untuk meningkatkan wisata air. *AMMA: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(11), 1528–1536.
<https://journal.mediapublikasi.id/index.php/amma/article/view/1786>
- Irawan, D., et al. (2023). Instalasi sistem filtrasi elektrokoagulasi sebagai penjernihan air keruh pada kolam renang wisata Padusan di Mojokerto. *IRA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (IRAJPKM)*, 1(2), 26–34.
<https://doi.org/10.56862/irajpkm.v1i2>

.68

- Irawan, D., et al. (2024). Penerapan teknologi treatment otomatis berbasis fine bubble untuk meningkatkan hasil budidaya nila Cak Na di Jombang Jawa Timur. *Abdimas Indonesian Journal*, 4(2), 365–374.
<https://doi.org/10.59525/aij.v4i2.463>
- Kassem, Y., Gokcekus, H., Camur, H., & Alsakhni, G. A. A. (2025). Innovative solar-wind powered aquaculture system: A sustainable solution for aquaculture in Karbala, Iraq. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(3), 23649–23658.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2023). *Statistik perikanan budidaya 2023*.
- Li, D., et al. (2020). An intelligent feeding system for aquaculture based on computer vision and deep learning. *Aquacultural Engineering*, 90, Article 102069.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102069>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- Zhou, Z., et al. (2018). Precision feeding in aquaculture: A review of intelligent feeding systems. *Aquaculture*, 496, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.015>