

NASKAH ORISINAL

Inovasi *Aerator Diffuser* Otomatis Berbasis *IoT* Bertenaga *Hybrid Solar System* Guna Meningkatkan Kualitas dan Profitabilitas Produksi Budidaya Perikanan Desa Wringinrejo, Banyuwangi

Vita Lystianingrum Budiharto Putri* | Ardyono Priyadi | Margo Pujiantara | Sjamsjul Anam | Trihastuti Agustinah

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Vita Lystianingrum Budiharto Putri,
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: lystianingrum@its.ac.id

Alamat

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

Abstrak

Budidaya ikan lele merupakan salah satu subsektor perikanan air tawar yang memiliki kontribusi signifikan terhadap ketahanan pangan dan ekonomi lokal di Jawa Timur. Meskipun demikian, hasil studi lapangan pada kelompok peternak “Patel Lele” di Dusun Mulyorejo, Banyuwangi, mengindikasikan adanya permasalahan mendasar dalam pengelolaan kualitas air, khususnya terkait kestabilan kadar oksigen terlarut yang selama ini masih dipantau secara manual. Permasalahan ini berimplikasi pada rendahnya efisiensi produksi serta tingginya biaya operasional listrik. Untuk menjawab tantangan tersebut, tim pengabdian masyarakat ini mengusulkan dan merealisasikan implementasi sistem aerator diffuser otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang dipadukan dengan teknologi hybrid photovoltaic. Metodologi pelaksanaan mencakup tahap perancangan perangkat, integrasi sistem monitoring berbasis sensor oksigen, uji coba kinerja, serta instalasi dan pendampingan mitra. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kadar oksigen pada level optimal, beroperasi secara berkelanjutan melalui pemanfaatan energi surya, dan secara signifikan menurunkan ketergantungan pada suplai listrik konvensional. Selain memberikan peningkatan produktivitas budidaya, kegiatan ini juga menghasilkan transfer pengetahuan mengenai teknologi energi terbarukan dan sistem budidaya berkelanjutan. Dengan demikian, implementasi sistem ini berpotensi memperkuat kapasitas produksi perikanan lokal sekaligus mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) terkait energi bersih dan efisiensi sumber daya.

Kata Kunci:

Aerator Diffuser, Budidaya Ikan Lele, Energi Terbarukan, *Hybrid Solar Photovoltaic*, *Internet of Things (IoT)*.

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang kaya akan sumber daya air, baik air laut maupun air tawar, yang mendukung potensi kapasitas produksi sektor perikanan. Salah satu komoditas perikanan air tawar yang diminati oleh masyarakat adalah ikan lele. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, Provinsi Jawa Timur menduduki peringkat ketiga sebagai provinsi penghasil ikan lele terbesar di Indonesia, setelah Jawa Barat dan Jawa Tengah, dimana total produksinya mencapai 145.288 ton. Di tingkat daerah, Banyuwangi merupakan salah satu kontributor utama dengan produksi mencapai sekitar 5,3 ton atau setara dengan nilai Rp 99.644.000^[1]. Salah satu kelompok peternak lele di Banyuwangi, dikenal dengan nama “Patel Lele”, dikelola oleh Bapak Abdul Rochim di Dusun Mulyorejo. Berdasarkan wawancara dengan beliau yang dilaksanakan pada tanggal 30 Desember 2024, kelompok yang terdiri dari tiga anggota ini mampu memproduksi rata-rata 300 kg ikan lele per bulannya melalui sistem budidaya mandiri yang dijalankan secara swadaya tanpa naungan organisasi formal manapun. Hasil wawancara menunjukkan bahwa Bapak Abdul beserta kelompoknya menghadapi berbagai tantangan dalam pengelolaan kolam budidaya, terutama dalam menjaga kualitas air agar tetap ideal. Mereka biasanya menggunakan kolam uji untuk memastikan kelayakan air sebelum dialirkan ke kolam utama, dengan memantau respons ikan secara berkala sebagai indikator penentu. Apabila ikan tidak menunjukkan perilaku aneh, maka air dianggap layak digunakan. Di sisi lain, apabila ikan tampak gelisah, berenang tidak normal, atau terlihat stres, air akan segera diganti dan proses pengujian diulang. Faktor suhu air juga berperan penting, di mana lele dapat hidup pada rentang suhu 20–34°C, tetapi suhu paling ideal berada pada kisaran 26–30°C karena dapat mempercepat metabolisme, meningkatkan nafsu makan, dan memperbaiki efisiensi konversi pakan menjadi bobot tubuh. Suhu yang terlalu rendah membuat ikan pasif, lambat makan, dan rentan penyakit, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan kadar oksigen terlarut yang berisiko memicu stres pada ikan. Kadar oksigen juga menjadi aspek vital, dengan kebutuhan minimum ≥ 4 mg/L agar pertumbuhan ikan optimal. Untuk menjaga ketersediaan oksigen, peternak biasa menggunakan aerator atau alat untuk menambahkan oksigen ke dalam air dengan mengalirkan udara atau menciptakan pergerakan pada air. Kejernihan air pun harus diperhatikan agar tidak terlalu berlumpur karena dapat menyumbat saluran pernapasan ikan. Selain itu, ukuran kolam perlu disesuaikan dengan jumlah ikan yang dibudidayakan agar ruang gerak dan suplai oksigen tetap mencukupi. Namun, seluruh proses ini masih dikerjakan secara manual, sehingga kurang efisien, khususnya saat musim kemarau dengan keterbatasan air, maupun musim hujan ketika rembesan air sawah berpotensi masuk ke kolam. Di sisi lain, biaya operasional listrik dari PLN juga cukup besar, yaitu sekitar Rp400.000 setiap bulan. Tingginya ketergantungan pada listrik dan sistem aerasi konvensional yang membutuhkan intervensi manual menjadi pokok permasalahan yang dihadapi oleh para peternak lele.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya, penulis yang merupakan bagian dari Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember menawarkan solusi berupa implementasi aerator *diffuser* otomatis berbasis *Internet of Things (IoT)* yang didukung oleh sistem *hybrid solar system*. Alat ini dilengkapi dengan sensor oksigen yang mampu memantau dan menjaga kadar oksigen secara stabil, sementara data kondisi air dapat diakses secara *real-time* melalui *platform* digital. Teknologi *IoT* memungkinkan sistem beroperasi secara otonom, yang tidak hanya mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual tetapi juga meminimalkan frekuensi penggantian air, sehingga menghemat waktu dan tenaga kerja para peternak.

Solusi yang kami tawarkan juga mengintegrasikan *photovoltaic panel* sebagai sumber energi utama untuk mengurangi ketergantungan pada pasokan listrik konvensional dari PLN. Pemanfaatan *photovoltaic panel* juga selaras dengan potensi energi cahaya matahari di Dusun Mulyorejo yang mencapai rata-rata 4.071 kWh/kWp per harinya. Selain ramah lingkungan dan bebas emisi karbon, penggunaan *photovoltaic panel* sejalan dengan prinsip *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya tujuan ke-7 (Energi Bersih dan Terjangkau) dan tujuan ke-13 (Penanganan Perubahan Iklim). Namun, untuk mengatasi keterbatasan produksi energi cahaya matahari yang bersifat intermiten akibat pengaruh cuaca dan waktu, sistem kami dilengkapi dengan baterai berkapasitas 7665,6 Wh sebagai tempat penyimpanan energi. Agar proses pengisian baterai berlangsung optimal, digunakan *MPPT (Maximum Power Point Tracking)* yang memastikan *photovoltaic panel* selalu beroperasi pada titik daya maksimum dengan menyesuaikan *output* tegangan dan arus sesuai kondisi baterai. Melalui konfigurasi sistem yang komprehensif ini, diharapkan dapat dicapai peningkatan signifikan dalam produktivitas budidaya ikan lele, baik dari segi kuantitas maupun kualitas hasil

panen. Kadar oksigen yang terpantau secara otomatis akan menciptakan lingkungan ideal bagi pertumbuhan ikan, sementara penghematan biaya operasional melalui energi terbarukan akan meningkatkan margin keuntungan mitra.

Strategi kegiatan yang kami laksanakan disusun secara sistematis melalui beberapa tahapan. Dimulai dengan penyusunan perencanaan teknis yang komprehensif, dilanjutkan dengan proses identifikasi dan pencarian mitra yang sesuai. Tahap berikutnya meliputi persiapan alat dan bahan untuk sistem yang akan diterapkan, disertai penyusunan buku panduan penggunaan yang detail. Implementasi dilaksanakan melalui pemasangan alat langsung di lokasi mitra di Dusun Mulyorejo, diikuti dengan program sosialisasi yang mencakup tiga aspek utama, yaitu tata cara pengoperasian alat, pemanfaatan energi baru terbarukan, dan pendampingan serta akses terhadap teknologi yang lebih luas. Seluruh proses ini akan dilengkapi dengan kegiatan *monitoring* dan evaluasi berkelanjutan untuk memastikan keberlanjutan program dan optimalisasi sistem yang telah direalisasikan.

1.3 | Target Luaran

Target luaran dari pelaksanaan program pengabdian masyarakat yang kami, Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, adalah terealisasinya potensi produksi budidaya ikan lele di Dusun Mulyorejo. Hal tersebut dilakukan melalui pengendalian kadar oksigen pada kolam budidaya dengan merancang serta mengoperasikan aerator *diffuser* berbasis *Internet of Things (IoT)* yang menggunakan sumber energi *hybrid solar system*. Teknologi ini diharapkan dapat menjaga kualitas air tetap optimal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap listrik konvensional.

Selain itu, program ini juga mendorong peningkatan efisiensi waktu dalam proses penggantian air kolam. Dengan adanya sistem aerasi otomatis, peternak dapat mengurangi frekuensi penggantian air manual yang sering kali menyita waktu. Upaya ini juga membantu mengatasi masalah lingkungan, seperti keterbatasan ketersediaan air pada musim kemarau serta masuknya air rembesan dari sawah pada musim penghujan yang berpotensi menurunkan kualitas air kolam. Melalui program ini, kami juga berfokus pada pemberdayaan peternak ikan di Dusun Mulyorejo melalui pelaksanaan penyuluhan mengenai cara mengoperasikan aerator *diffuser* berbasis *IoT* agar mampu memanfaatkan sistem secara optimal dan berkelanjutan. Dengan pengetahuan yang memadai, peternak diharapkan dapat menjaga kadar oksigen kolam secara otomatis serta memperpanjang usia pakai sistem. Di samping itu, kegiatan ini berperan dalam meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pemanfaatan teknologi serta energi ramah lingkungan. Pemahaman ini diharapkan dapat mendorong masyarakat untuk lebih terbuka terhadap penerapan inovasi yang mendukung keberlanjutan lingkungan.

Secara keseluruhan, implementasi program diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan peternak ikan dan masyarakat Dusun Mulyorejo secara bertahap dan dalam jangka panjang. Melalui pemanfaatan teknologi tepat guna, efisiensi operasional, serta peningkatan kualitas hasil panen, program ini dapat memberikan manfaat ekonomi, sosial, dan lingkungan bagi komunitas setempat.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

2.1 | Budidaya Ikan Lele di Indonesia

Ikan lele (*Clarias sp.*) merupakan salah satu komoditas perikanan air tawar yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Popularitas lele didukung oleh beberapa faktor, antara lain pertumbuhan yang cepat, tingkat adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta permintaan pasar yang stabil^[2]. Dalam proses budidaya, kualitas air menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan. Parameter penting seperti oksigen terlarut (*DO*), pH, suhu, serta kadar amonia harus dijaga pada kondisi optimal untuk mendukung pertumbuhan ikan dan mencegah stres. Oksigen terlarut khususnya memegang peranan penting, karena ikan lele meskipun dikenal tahan terhadap kondisi lingkungan rendah oksigen, tetap membutuhkan suplai oksigen yang cukup untuk mencapai produktivitas maksimal^[3].

2.2 | Sistem Aerator Diffuser

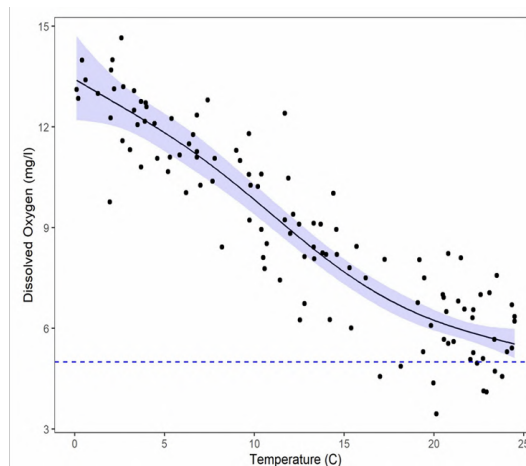
Aerasi merupakan salah satu aspek vital dalam sistem budidaya perikanan karena berfungsi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (*DO*) di dalam air. Oksigen tidak hanya dibutuhkan oleh ikan untuk respirasi, tetapi juga oleh mikroorganisme yang berperan dalam menguraikan bahan organik. Pada sistem budidaya intensif, kebutuhan oksigen semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kepadatan tebar, sehingga keberadaan aerator menjadi komponen yang sangat penting^[4]. Di antara berbagai

jenis aerator, seperti *paddle wheel*, *air stone*, dan *diffuser*. Aerator *diffuser* unggul dalam aplikasi kolam budidaya ikan berkat gelembung mikro (*microbubble*) yang memperbesar luas kontak antara udara dan air, sehingga meningkatkan efisiensi transfer oksigen^[4].

Aerator *diffuser* bekerja dengan cara mengalirkan udara bertekanan melalui membran atau pipa berpori halus sehingga menghasilkan gelembung mikro (sekitar 140–200 μm). Gelembung berukuran kecil ini memiliki luas permukaan yang besar, sehingga meningkatkan laju perpindahan oksigen dari udara ke air^[5]. Sistem ini banyak digunakan dalam *Recirculating Aquaculture Systems* (RAS) maupun kolam dengan kedalaman besar, karena mampu menjaga distribusi oksigen secara merata di seluruh perairan. Berbeda dengan aerator tipe *paddle wheel* yang menimbulkan arus kuat di permukaan, *diffuser* tidak menciptakan arus air yang berlebihan, sehingga lebih sesuai untuk spesies ikan yang membutuhkan lingkungan stabil^[5]. Penggunaan aerator *diffuser* pada skala besar mampu mencapai *Standard Oxygen Transfer Rate* (SOTR) sebesar 19,20 kg O₂/jam dengan SOTE sebesar 29,3%. Nilai *volumetric oxygen transfer coefficient* (KLa) juga tercatat cukup tinggi, yaitu mencapai 3,16 h⁻¹, yang menunjukkan efektivitas sistem ini dalam melarutkan oksigen ke dalam air^[5].

2.3 | Sistem *Internet of Things* pada Budidaya Perikanan

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat fisik dengan jaringan internet sehingga mampu saling bertukar data dan dikendalikan secara jarak jauh. Dalam bidang akuakultur, penerapan IoT memberikan peluang baru dalam pengelolaan tambak ikan melalui pemantauan otomatis terhadap parameter lingkungan yang berpengaruh langsung pada kesehatan dan pertumbuhan ikan, seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut, dan kualitas air secara keseluruhan^[6]. Informasi suhu sangat krusial karena berkaitan erat dengan ketersediaan oksigen terlarut. Dimana, suhu air dan kadar DO memiliki hubungan negatif, semakin tinggi suhu air, kemampuan air melarutkan oksigen semakin menurun^[7].



Gambar 1 Ilustrasi Relasi antara *Dissolved Oxygen* & *Temperature*^[8].

Sebagai implementasi praktis, sistem IoT untuk pemantauan suhu pada kolam ikan dapat menggunakan sensor DS18B20^[8]. Data dari sensor ini diproses oleh mikrokontroler Arduino dengan memanfaatkan *library Dallas Temperature* sebagai pengolah data suhu. Informasi hasil pengukuran kemudian ditampilkan secara langsung melalui LCD I2C, sehingga pengguna dapat memantau kondisi suhu air secara *real-time*^[9].

2.4 | Pemanfaatan Energi Surya *Hybrid* dalam Budidaya Perikanan

Pemanfaatan energi surya dalam bentuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hibrida merupakan solusi strategis untuk menunjang kebutuhan energi pada budidaya perikanan^[10]. Istilah hibrida dalam penelitian ini merujuk pada kombinasi panel surya (PV) dan baterai penyimpanan energi yang saling melengkapi. Panel surya menghasilkan energi listrik dari cahaya matahari di siang hari, sementara baterai berfungsi menyimpan energi cadangan untuk memastikan suplai tetap tersedia pada

malam hari atau ketika intensitas matahari rendah. Dengan mekanisme ini, pasokan energi untuk peralatan vital seperti aerator *diffuser* dan sistem *Internet of Things (IoT)* dapat berlangsung secara kontinyu tanpa terhenti saat malam hari atau cuaca mendung^[11].

Secara teknis, sistem PLTS hibrida terdiri atas beberapa komponen utama. Energi listrik dihasilkan dari panel surya (*PV*) yang mengubah energi radiasi matahari menjadi arus searah (*DC*)^[12]. Arus listrik ini kemudian masuk ke *Maximum Power Point Tracker (MPPT) charge controller*, yang bertugas mengoptimalkan kerja panel surya agar daya yang diperoleh maksimal, sekaligus mengatur arus pengisian ke baterai^[13]. Energi yang tersimpan di dalam baterai menjadi cadangan yang dapat dimanfaatkan pada malam hari atau saat langit mendung. Untuk menyalakan peralatan kolam yang menggunakan arus bolak-balik (*AC*), energi dari baterai atau *PV* dikonversi melalui *inverter* sebelum dialirkan ke beban^[14]. Skema ini memastikan seluruh sistem tambak berjalan stabil dan dapat dioperasikan dengan lebih sedikit ketergantungan pada jaringan PLN.

Dari sisi lingkungan, sistem PLTS hibrida mendukung prinsip keberlanjutan karena mengurangi emisi gas rumah kaca yang biasanya timbul dari bahan bakar fosil^[3]. Dengan beralih pada energi surya, budidaya ikan dapat lebih ramah lingkungan sekaligus mendukung agenda nasional dalam transisi menuju energi bersih. Hal ini sejalan dengan komitmen Indonesia dalam pencapaian *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya pada poin 7 (energi bersih dan terjangkau).

Kondisi geografis Banyuwangi juga sangat mendukung penerapan PLTS hibrida. Daerah ini memiliki tingkat radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8–5,2 kWh/m²/hari^[15], yang tergolong tinggi di Indonesia. Potensi tersebut memungkinkan panel surya bekerja optimal sepanjang tahun. Hal ini menjadikan PLTS hibrida relevan untuk diaplikasikan pada skala rumah tangga petani ikan maupun dalam bentuk kelompok pembudidaya.

2.5 | Inovasi Aerator Diffuser Otomatis Berbasis IoT Bertenaga Surya Hybrid

Integrasi aerator *diffuser* dengan sistem *Internet of Things (IoT)* dan sumber energi surya hibrid menghadirkan sebuah inovasi dalam budidaya ikan lele yang mampu menjawab tantangan efisiensi, keberlanjutan, dan keandalan energi^[16]. Sistem ini tidak hanya berfokus pada peningkatan kadar oksigen terlarut (*DO*) melalui aerasi, tetapi juga pada aspek otomatisasi berbasis sensor serta penyediaan energi yang bersih dan berkesinambungan. Dengan demikian, seluruh kebutuhan vital dalam budidaya dapat terpenuhi tanpa ketergantungan penuh pada jaringan listrik konvensional. Komponen utama dari inovasi ini adalah aerator *diffuser* yang menghasilkan gelembung mikro berukuran 140–200 μm dari membran berpori atau pipa difusi. Gelembung-gelembung kecil tersebut memberikan luas permukaan kontak yang lebih besar, sehingga meningkatkan laju transfer oksigen ke dalam air dan menjaga distribusi *DO* secara merata di kolam. Sistem ini lebih unggul dibandingkan *paddle wheel* aerator karena tidak menciptakan arus permukaan yang kuat, menjadikannya ideal untuk budidaya lele yang membutuhkan kondisi air relatif stabil. Efektivitas aerator *diffuser* semakin optimal ketika dioperasikan secara adaptif sesuai dengan kondisi kualitas air yang dipantau melalui sistem *IoT*^[16].

Sistem *IoT* dalam inovasi ini terdiri atas sensor suhu DS18B20 yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino. Sensor ini menggunakan *library Dallas Temperature* untuk mengolah data suhu yang kemudian ditampilkan secara *real-time* pada *LCD I2C*. Informasi suhu berperan penting karena adanya korelasi negatif antara suhu air dan kadar oksigen terlarut, di mana kenaikan suhu menyebabkan penurunan kemampuan air melarutkan oksigen. Dengan memanfaatkan sistem ini, aerator *diffuser* dapat diaktifkan atau dikendalikan secara lebih presisi sesuai kondisi kolam, sehingga konsumsi energi dapat dihemat sekaligus menjamin ikan tetap berada pada kondisi lingkungan yang optimal.

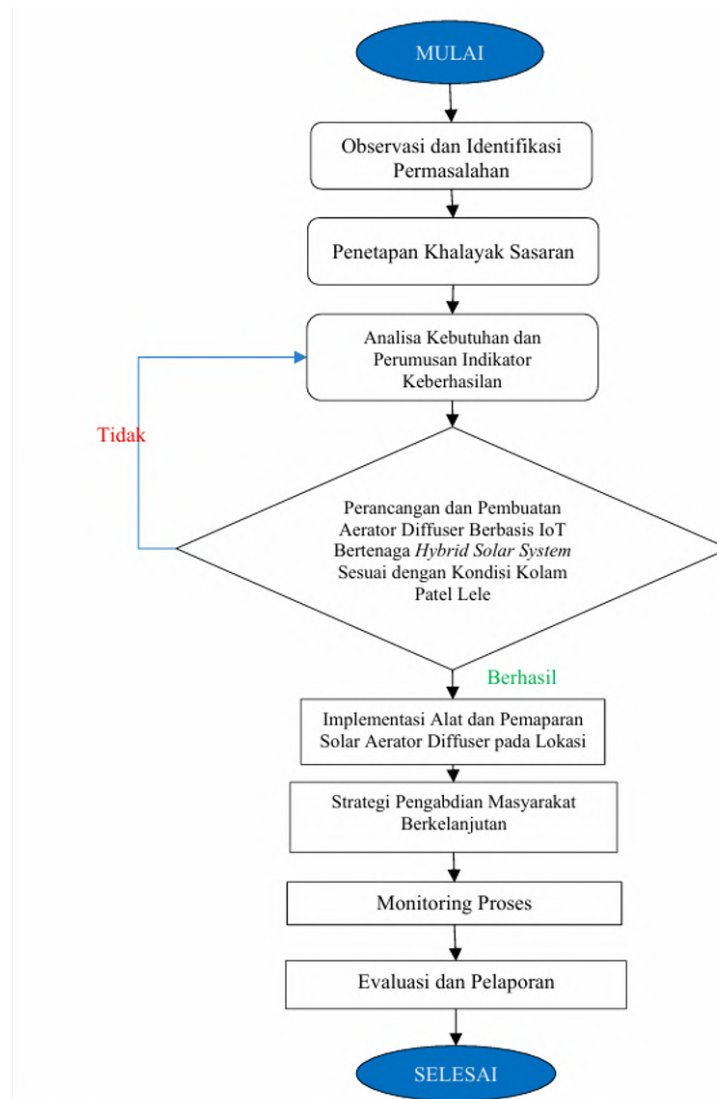
Sumber energi dari inovasi ini berasal dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) hibrid, yang memadukan panel surya dan baterai penyimpanan energi. Energi listrik dihasilkan dari panel surya, kemudian dialirkan ke *MPPT charge controller* yang bertugas mengoptimalkan penyerapan daya dan mengisi baterai. Selanjutnya, energi dari baterai digunakan untuk mengoperasikan aerator dan sistem *IoT*, dengan bantuan *inverter* untuk mengubah arus searah (*DC*) menjadi arus bolak-balik (*AC*) bila diperlukan. Dengan mekanisme ini, sistem dapat beroperasi siang dan malam hari tanpa tergantung pada pasokan listrik PLN. Potensi energi surya di Banyuwangi yang berkisar 4,8–5,2 kWh/m²/hari menjadikan sistem ini sangat layak dan efisien untuk diterapkan.

Selain manfaat teknis, inovasi aerator *diffuser* otomatis berbasis *IoT* bertenaga surya hibrid juga membawa dampak positif terhadap keberlanjutan lingkungan dan ekonomi. Penggunaan energi terbarukan mengurangi emisi karbon dari pembangkit listrik berbahan fosil, sementara otomatisasi sistem memungkinkan pengelolaan tambak yang lebih hemat biaya operasional.

Teknologi ini selaras dengan agenda transisi energi bersih di Indonesia serta mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya pada poin 7 (Energi Bersih dan Terjangkau). Dengan demikian, penerapan inovasi ini tidak hanya meningkatkan produktivitas budidaya ikan lele, tetapi juga berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan di sektor perikanan air tawar.

3 | METODE KEGIATAN

Kegiatan pengabdian terhadap budidaya ikan lele di RT 002, RW 001, Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Gambiran, Banyuwangi dilakukan dengan sistematika pelaksanaan sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram Alir Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat.

1. Observasi

Observasi pada kegiatan pengabdian masyarakat bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis permasalahan yang terdapat pada RT 002, RW 001, Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Gambiran, Banyuwangi, agar bisa memastikan ketepatan solusi

yang akan menjadi tujuan pengabdian. Adapun narasumber yang kami temui pada 30 Desember 2024 yakni Ketua Budi-daya Ikan Lele, Bapak Abdul Rochim. Dalam wawancara tersebut, Bapak Abdul Rochim menyatakan bahwa permasalahan utama yang dihadapi oleh para kelompok Patel Lele adalah menjaga kualitas air kolam agar tetap optimal. Selain itu, para anggota juga perlu memperhatikan ukuran kolam untuk menentukan jumlah ikan yang bisa dipelihara dan kebutuhan suplai oksigen yang diperlukan. Seluruh kegiatan yang dilakukan oleh kelompok Patel Lele masih dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien terutama jika memasuki pergantian musim. Saat memasuki musim kemarau kendala yang dihadapi adalah berkurangnya ketersediaan air dan jika memasuki musim hujan kendala yang dihadapi adalah kesulitan dalam menjaga kadar oksigen yang ideal, dan ditambah risiko masuknya air sawah ke dalam kolam saat curah hujan tinggi. Usaha ini didirikan secara mandiri tanpa naungan organisasi resmi dan dijalankan atas dasar inisiatif komunitas kecil pert-ernak ikan. Usaha ini terdiri dari dua puluh lima hingga tiga puluh lima anggota aktif. Adapun penggunaan listrik dari PLN untuk operasional kolam turut memberikan beban biaya yang cukup besar. Kelompok Patel Lele menghabiskan sekitar Rp400.000,00 setiap bulan untuk kebutuhan listrik. Ketergantungan pada suplai listrik sangat tinggi karena aerasi kolam masih dilakukan secara manual, sehingga efisiensi biaya operasional menjadi hal yang sangat diperhatikan. Sampai saat ini kelompok Patel Lele belum memiliki sistem aerasi otomatis yang dapat berfungsi berdasarkan tingkat oksigen dalam air, sehingga masih diperlukan intervensi manual yang memakan waktu dan tenaga tambahan. Dengan segala pertimbangan dan diskusi mengenai permasalahan yang ada, kami mendapatkan kesimpulan bahwa wilayah Dusun Mulyorejo, RT 002, RW 00, Wringinrejo, Gambiran, Banyuwangi merupakan lokasi yang strategis untuk dijadikan sampel dan target dari pengabdian kepada masyarakat yang bertemakan produk energi baru dan terbarukan khususnya energi matahari. Selain memiliki potensi energi matahari yang cukup tinggi, peningkatan kesejahteraan masyarakat dusun ini khususnya pada kelompok Patel Lele juga perlu untuk ditingkatkan. Untuk pelaksanaan observasi dan melakukan survey lokasi pengab-dian masyarakat kali ini dilakukan oleh mahasiswa sebagai anggota pada tim abdimas ITS. Saat tiba dilokasi hal pertama yang dilakukan oleh mahasiswa dengan berdasarkan arahan dari dosen, yaitu melakukan pengambilan data dan infor-masi yang diperlukan dalam merancang pemanfaatan sistem aerator *diffuser* otomatis dengan menggunakan *photovoltaic panel* (panel surya). Hal tersebut dikarenakan letak geografis dari Dusun Mulyorejo yang tergolong memiliki intensi-tas sinar matahari dan potensi yang tinggi di wilayah Dusun Mulyorejo, dengan rata-rata intensitasnya mencapai 4.071 kWh/kWp per hari. Oleh karena itu, langkah ini tidak hanya meningkatkan kebermanfaatan teknologi dalam pembuatan aerator *diffuser* otomatis, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga lingkungan melalui penggunaan sumber energi baru dan terbarukan.



Gambar 3 Observasi: (A) Lokasi Kelompok Patel Lele, (B) Wawancara Dengan Ketua Budidaya Ikan Lele Kelompok Patel Lele.

2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, permasalahan yang dijumpai oleh kelompok Patel Lele ini adalah kesuli-tan menjaga kualitas air kolam agar tetap optimal dan seluruh kegiatan yang dilakukan oleh kelompok Patel Lele masih dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien terutama jika memasuki pergantian musim. Saat memasuki musim kemarau kendala yang dihadapi adalah berkurangnya ketersediaan air dan jika memasuki musim hujan kendala yang

dihadapi adalah kesulitan dalam menjaga kadar oksigen yang ideal, dan ditambah risiko masuknya air sawah ke dalam kolam saat curah hujan tinggi. Selain itu terciptanya juga ketergantungan pada suplai listrik karena seluruh kegiatan masih dilakukan secara manual. Permasalahan lainnya yaitu belum tersedianya penggunaan sistem aerasi otomatis sehingga masih diperlukan intervensi manual yang memakan waktu dan tenaga tambahan.

3. Analisis Kebutuhan

Berdasarkan identifikasi masalah diatas, dapat diketahui bahwa kebutuhan kelompok Patel Lele di Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Banyuwangi adalah ketersediaan sistem yang efisien untuk membantu meningkatkan pengelolaan kualitas air dan kadar oksigen di kolam. Selain itu, biaya operasional pun perlu menjadi prioritas utama untuk menjadi lebih ekonomis terutama dari segi ketergantungan terhadap listrik dari PLN.

4. Perancangan dan Pembuatan Aerator Diffuser

Perancangan alat dibuat berdasarkan hasil data yang telah berhasil dikumpulkan sebelumnya oleh mahasiswa tim abdimas ITS pada bagian 3.3. Data yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung kebutuhan seluruh perangkat utama maupun pendukung dalam merealisasikan sistem aerator *diffuser* otomatis. Adapun seluruh proses perancangan dilakukan dengan menggunakan perhitungan secara matematis berdasarkan formula atau teori yang sesuai dengan apa yang telah dipelajari oleh tim dibidang pengetahuan energi baru dan terbarukan (*EBT*) Teknik Elektro ITS. Berikut merupakan hasil perhitungan terkait kebutuhan dari perancangan dan pembuatan aerator *diffuser* ini.

Tabel 1 Analisis Kebutuhan Daya

Kebutuhan Daya (<i>Load Analysis</i>)								
No	Load	Power (W)	PF	Qty	Total Power (W)	Hr/day	Wh/day	VA
1	LP100	230	0.8	1	230	24	5520	228.8
TOTAL					230		5520	228.8

Pada tabel 2, dijelaskan perancangan alat aerator *diffuser* menggunakan pompa udara LP200 berdaya 230 Watt, dengan PF 0.8 maka mesin ini dapat membutuhkan daya sebesar 5520 Wh atau 228.8 VA per harinya.

Tabel 2 Analisis Kebutuhan Kapasitas Baterai

Baterai		
Parameter	Value	Unit
Coulomb Efficiency	0.8947	N/A
Discharge Energy	2040	Watt Hour
DOD (<i>Depth of Discharge</i>)	0.8	Watt Hour
Minimum Battery Capacity	7665.6	Watt Hour
Installed Capacity	4080	Watt Hour
Battery Ampere	340	Ampere Hour
Battery Voltage	12	Volt

Dalam memenuhi kebutuhan beban sebesar 5520 Wh per harinya maka dibutuhkan minimal baterai yang mampu menghasilkan daya sebesar 7665.6 Wh. Dengan minimal kapasistas baterai itu sistem terhitung tetap aman dikarenakan akan digunakan secara *hybrid*. Selain dari *minimum battery capacity*, parameter lainnya yang perlu diperhatikan dari penggunaan baterai untuk sistem aerator *diffuser* ini adalah *Coloumb Efficiency Battery*, *Discharge Energy*, *DOD*, dan lain sebagainya seperti tertera pada tabel 3. Terkait *installed capacity*, digunakan baterai dengan kapasitas total terpasang

sebesar 4080 Wh karena akan menggunakan 2 baterai yang diparalelkan. Dengan kapasitas per baterai adalah sebesar 170 Ah (*Q discharge*) kemudian akan diperoleh 340 Ah yang akan dikalikan dengan *battery voltage* yang digunakan, yaitu sebesar 12 V.

Tabel 3 Spesifikasi *Photovoltaic*

Spesifikasi <i>Photovoltaic</i>		
Parameter	Value	Unit
Peak Power	600	Wp
G	1002.7	W/m ²
Tcell	-40 – 85	°C
Actual Power	633.5	Watt

Tabel 4 Analisis *Photovoltaic Sizing*

<i>Photovoltaic Sizing</i>		
Parameter	Value	Unit
Required Energy from PV	6113.3	Wh/day
Number of PV Module @NOCT	1	Pcs
Installed PV Module	1	Pcs
Daily Generate Energy	0.471	Kwh
Excess Energy	0	Wh/day
Power of Installed Modul	600	Wp

Setelah melakukan analisis terkait komponen pendukung yang akan dilakukan dalam menyusun sistem aerator *diffuser* ini, maka kita dapat menentukan sumber utama atau pembangkit PLTS yang akan digunakan untuk menyuplai daya ke beban sesuai dengan kebutuhan yang ada. Dapat dilihat pada tabel 4 dan tabel 5, terdapat analisis *photovoltaic* yang akan digunakan dan diambil kesimpulan bahwa dengan spesifikasi daya 2040 Wh (DC) ke *inverter* maka *photovoltaic* yang digunakan harus mampu menghasilkan daya sebesar 6113.3 Wh (DC) sehingga *installed module*-nya adalah 600 Wp untuk menyuplai beban 230 W selama 24 jam dengan sistem 75% efisiensi dan penyinaran 5 jam per hari. Hal ini telah mempertimbangkan dari segi efisiensi dan penggunaan baterai yang *hybrid*. Adapun desain spesifikasi peralatan yang didapatkan yaitu, 1 unit *solar panel* 600 Wp, 2 unit baterai dengan spesifikasi 12 V 170 Ah yang diparalelkan, 1 unit *inverter hybrid* 1.5 kVA, *arduino nano*, *ESP32*, *charger USB arduino*, *LCD* 16 x 2, 1 unit MCB, *battery equalizer* Aki Accu Balancer 24V, kabel penunjang rangkaian, *MC4 connector*, *grounding arde* 5/8, *SPD DC* 2P, *LVD*, *fan box panel*, sensor suhu DS18B20, dan pipa paralon pvc 1/2inc.

5. Launching Alat

Pada kegiatan ini dilakukan tahap pemasangan dan penerapan alat-alat yang telah tersusun menjadi sistem aerator *diffuser* otomatis yang telah diuji secara fungsional sebelumnya dan siap untuk di-*launching*. Perakitan dan pemasang alat dilakukan di lokasi yang telah ditentukan pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Perihal pemasangan sistem aerator *diffuser* otomatis untuk budidaya ikan lele ini akan diletakkan di lokasi milik kelompok Patel Lele Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Banyuwangi.

6. Pemaparan Aerator Diffuser pada Lokasi

Kegiatan pemaparan pada pengabdian kepada masyarakat kali ini bertujuan untuk membagikan ilmu praktis bagi para anggota kelompok Patel Lele untuk dapat mengaplikasikan sistem secara keseluruhan serta cara perawatan sistem secara

benar, gambaran tentang penggunaannya dan produktivitas dari sistem alat itu sendiri. Setelah kegiatan pemaparan alat telah dilaksanakan, langkah berikutnya adalah penyerahan alat aerator *diffuser* otomatis yang berbasis *IoT* bertenaga *hybrid solar system* secara simbolis. Alat ini nantinya dapat digunakan sebagai media pembelajaran bagi masyarakat khususnya para anggota kelompok Patel Lele dan masyarakat sekitar untuk memahami aplikasi dari energi terbarukan dalam kehidupan sehari-hari. Harapan keduanya yaitu sistem ini dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam mengaplikasikannya ke dalam bentuk usaha untuk mewujudkan teknologi yang ramah lingkungan di Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Banyuwangi.

7. Strategi Pengabdian Masyarakat Berkelanjutan

Setelah dilakukan pemaparan mengenai aerator *diffuser* otomatis yang berbasis *IoT* bertenaga *hybrid solar system* pada kelompok Patel Lele, kami berencana membuat strategi yang berkelanjutan kepada masyarakat dan kelompok nelayan. Studi lebih lanjut akan dilakukan untuk mengetahui apa yang dibutuhkan masyarakat dan kelompok Patel Lele. Kami juga merumuskan rencana berkelanjutan untuk mengatasi berbagai permasalahan yang dihadapi oleh kelompok Patel Lele ini. Permasalahan lainnya yaitu belum tersedianya penggunaan sistem aerasi otomatis sehingga masih diperlukan intervensi manual yang memakan waktu dan tenaga tambahan. Kondisi ini menyebabkan proses aerasi masih dilakukan secara manual, yang memerlukan waktu dan tenaga ekstra. Sebagai strategi tambahan, kami juga mempertimbangkan pengembangan pelatihan teknis berkala, penyediaan sistem pemantauan kualitas air secara *real-time*, serta kolaborasi dengan instansi terkait untuk pendampingan dan akses bantuan teknologi yang lebih luas.

8. Monitoring Proses

Kegiatan ini akan dilakukan pemantauan secara berkala terhadap alat yang telah dipasang di lokasi budidaya ikan lele milik kelompok Patel Lele. Dalam kegiatan *monitoring* ini maka dapat mengetahui efektivitas penggunaan alat yang telah terpasang apakah sudah sesuai spesifikasi alat yang dapat memenuhi kemampuan dalam menjaga kadar oksigen dan peningkatan pengelolaan kualitas air di kolam. *Monitoring* proses ini berguna untuk mengidentifikasi adanya peluang berkelanjutan yang dapat dikembangkan di Dusun Mulyorejo sehingga apabila terjadi masalah terhadap alatnya maka dapat dicegah agar mengurangi risiko kesalahan pada alat.

9. Evaluasi dan Pelaporan

Setelah pengimplementasian dan penggunaan alat oleh masyarakat, evaluasi akan dilakukan ke kelompok Patel Lele di Dusun Mulyorejo, Wringinrejo, Banyuwangi setiap satu bulan sekali serta melakukan pelaporan terhadap evaluasinya.

4 | HASIL DAN DISKUSI

4.1 | Hasil Kegiatan

Rincian mengenai hasil kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilaksanakan dapat dituliskan pada poin-poin berikut:

1. Perancangan dan Pembuatan Sistem Aerator Diffuser Otomatis berbasis Photovoltaic

Pembuatan sistem alat dimulai dengan *design* mekanik komponen dalam bentuk tiga dimensi pada aplikasi *CAD* dan pembuatan *design electrical wiring*. Dari *design* tersebut, kemudian di realisasikan dalam bentuk perangkaian dan perakitan. Komponen dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, sistem *photovoltaic*, sistem aerator dengan *diffuser*, serta sistem *Internet of Thing (IOT)* untuk fungsi *monitoring*.

2. Uji Coba Fungsi Sistem Aerator Diffuser Otomatis berbasis Photovoltaic

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sistem secara keseluruhan, dari sistem pembangkitan listrik dari panel surya, sistem penyerapan beban elektrik pada aerator, hingga sistem integrasi *monitoring* berbasis *IOT*. Pada tahap ini, permasalahan yang ditemui dapat diselesaikan lebih dini dan dicari solusinya secara segera.

3. Instalasi dan Implementasi Sistem Aerator Diffuser Otomatis berbasis Photovoltaic di Lokasi Mitra

Implementasi dari kegiatan pengabdian masyarakat dan instalasi dari sistem alat keseluruhan dilaksanakan selama tiga hari pada tanggal 15 Agustus – 17 Agustus 2025. Kegiatan dimulai dengan perencanaan posisi tata letak dari seluruh komponen sistem. Kemudian, dilaksanakan pemasangan dan perakitan sistem antar seperti *rail* panel surya, panel listrik, aerator, hingga pembuatan jalur pipa *diffuser*. Selanjutnya, *wiring* elektrik untuk seluruh komponen diintegrasikan. Setelah

seluruh bagian terkoneksi, dilaksanakan uji coba keseluruhan sistem untuk memastikan proses berjalan dengan normal. Sistem dapat beroperasi secara optimal dan dapat aktif secara berkelanjutan.

4. Pendampingan dan Pembinaan kepada Mitra

Setelah seluruh sistem berjalan, kegiatan selanjutnya adalah melaksanakan pendampingan dan pembinaan kepada mitra penerima manfaat dari pengabdian masyarakat. Pembinaan yang dilaksanakan antara lain adalah petunjuk cara penggunaan sistem, tata cara perawatan alat, pembinaan mengenai teknologi baru ramah lingkungan, serta diskusi terkait kelistrikan sistem. Terdapat komunikasi di antara dua belah pihak yaitu tim pengabdian masyarakat dan mitra terkait luaran pada kemudian hari yang dihasilkan dari proyek pengabdian yang telah dilaksanakan.

5. Penyerahan sistem aerator diffuser otomatis berbasis Photovoltaic kepada mitra

Sebagai penutup, sistem yang telah dikonfirmasi keseluruhannya dalam kondisi siap kerja, kemudian diserahkan kepada mitra. Mitra sebagai penerima manfaat telah berhak mengoptimalkan hasil produk dari pengabdian masyarakat ini. Selain itu, mitra juga membuka kesempatan untuk kolaborasi terkait riset dalam lingkup dampak pasca sistem alat aerator *diffuser* bertenaga surya berbasis *IoT* diterapkan di tambak lele.



Gambar 4 Hasil Kegiatan: (A) Proses Wiring dan Perakitan Sistem, (B) Uji Coba Fungsi Sistem, (C) Instalasi Sistem di Lokasi Pengabdian Masyarakat, (D) Pendampingan Operasi Sistem kepada Mitra Penerima Manfaat, (E) Serah terima sistem alat kepada mitra.

4.2 | Diskusi

Sistem alat yang dibuat, diterima dengan baik oleh masyarakat. Mitra setempat menerima dengan antusias pemanfaatan teknologi yang diaplikasikan pada tambak peternakan lele seluas 400 m². Masyarakat berterima kasih atas adanya transfer teknologi yang dilaksanakan. Selain itu, warga yang berlaku sebagai pelaku usaha secara langsung, berharap sistem yang diaplikasikan dapat berdampak langsung terhadap peningkatan hasil produksi dari segi kuantitas maupun kualitas. Peningkatan kesejahteraan masyarakat diharapkan juga berjalan seiringan dengan peningkatan nilai produksi. Tim pengabdian dan masyarakat juga telah sepakat untuk saling bahu – membahu untuk mewujudkan visi ini. Pengembangan kualitas dan pemahaman dari sumber daya manusia yang ada juga meningkat seiring adanya pembekalan teknis maupun non teknis dari tim pengabdian mengenai teknologi dan tata kelola.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai tim inisiator pengabdian masyarakat, kami telah menyelesaikan seluruh program dan sistem alat yang direncanakan secara sukses. Tim telah menyelesaikan seluruh kegiatan dari perencanaan, *design* sistem, perangkaian komponen, implementasi, hingga pendampingan dengan optimal. Sistem aerator *diffuser* dengan tenaga surya dan didukung perangkat *monitoring IOT* ini, akan memberikan dampak berupa perbaikan kualitas air dengan menambah jumlah oksigen terlarut dalam air. Keseluruhan sistem ini memiliki empat daya dari matahari sehingga dapat mengurangi biaya operasi yang digunakan dalam operasi tambak lele. Dengan adanya alat ini, ikan dapat tumbuh dengan kualitas dan kuantitas lebih baik dari sebelumnya. Dari sudut pandang mitra, penerima manfaat memiliki pemahaman dan pengetahuan baru mengenai teknologi tepat guna masa kini, yang mendukung operasional dalam kegiatan ekonomi warga masyarakat. Selain itu, pemahaman mengenai peralihan ke energi bersih dapat diterima dan diseberluaskan di tengah – tengah masyarakat.

Saran yang tim berikan kepada mitra antara lain adalah untuk bisa melakukan perawatan secara berkala pada seluruh komponen kelistrikan baik dari panel surya, *box* panel listrik, kabel dan koneksi *MC4*, hingga ke bagian pembersihan *diffuser*. Perangkat *inverter* dan *solar charge controller (SCC)* juga perlu untuk dicek secara berkala untuk memastikan bahwa proses pembangkitan daya dari panel surya dan pengisian daya menuju baterai dan beban dapat berjalan normal. Selain hal tersebut, tim memberikan rekomendasi kepada mitra untuk dapat melakukan perbaikan dinding dan atap sehingga mengurangi kemungkinan air masuk ke perangkat kelistrikan yang berpotensi merusak dengan gangguan *short circuit*.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tim sampaikan kepada Direktorat Pengabdian Masyarakat (DRPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan bimbingan, pembinaan, fasilitas, dan dukungan secara materi maupun non-materi sehingga seluruh kegiatan pengabdian masyarakat dapat dilaksanakan dan memberikan manfaat untuk masyarakat.

Referensi

1. Badan Pusat Statistik, Produksi dan Nilai Produksi Perikanan Budidaya Menurut Kabupaten/Kota dan Komoditas Utama di Provinsi Jawa Timur 2022; 2022. Accessed: 2026-01-19. <https://jatim.bps.go.id/en/statistics-table/3/TkdGeFN5OUJVmxVTjBSclZrbFROalUzVW5KQmR6MDkjMw==/produksi-dan-nilai-produksi-perikanan-budidaya-menurut-kabupaten-kota-dan-komoditas-utama-di-provinsi-jawa-timur--2022.html>.
2. Romadhon M, Oktarini D, Suryani F. Optimalisasi produksi olahan lele menggunakan metode simpleks di CV. Rule Athallah. Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri 2021;6(1):62–70.
3. Tauviquirrahman M, Akram GN, Muchammad M. Effect of fine-pore aeration tube layout on dissolved oxygen distribution and aeration performance in large-scale pond. Water 2024;16(19):2763.
4. Herlina A, Ardiansah MS, Fadilah R, Putra SAHM. Sistem monitoring kualitas air kolam lele berbasis IoT dengan sistem tenaga hibrida. Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya 2024;6(1):136.
5. Nugraha IMA, Desnanjaya IGMN. Energy efficiency in aeration systems for aquaculture ponds: a comprehensive review. Jurnal Riset Akuakultur 2025;20(1):1–25.
6. Palya N, MacPhee DW. Effect of bubble size and column depth on diffused aerator efficiency. Energy Efficiency 2023;16(1).
7. Chen CH, Wu YC, Zhang JX, Chen YH. IoT-based fish farm water quality monitoring system. Sensors 2022;22(17):6700.
8. Schmit JP, Brolis A. Trends in water quality in Youngs Branch, Manassas National Battlefield Park. Fort Collins, CO: National Park Service; 2021.
9. Irawan AI, Patmasari R, Hidayat MR. Peningkatan kinerja sensor DS18B20 pada sistem IoT monitoring suhu kolam ikan. Jurnal Teknologi Rekayasa 2020;5(1):101–110.

10. Ibrahim FR, Syifa FT, Pujiharsono H. Penerapan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH sebagai otomatisasi pakan ikan berbasis IoT. *Jurnal Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)* 2023;5(2):63–73.
11. Lubis MI, Erivianto D, Rahmانيar. Kajian perencanaan pembangkit listrik tenaga surya untuk budidaya ikan. *Jurnal Nasional Teknologi Komputer* 2025;5(3).
12. Soewarto, Alamsyah T, Budiman A. Optimalisasi beban pada pembangkit listrik tenaga surya off-grid 2000 Wp. In: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 5; 2020. .
13. Chandra Y. Perancangan pembangkit listrik tenaga surya off grid untuk penerangan dan pengeras suara pada Mushola Hidayatullah Desa Harapan Baru. *ENTRIES: Jurnal of Electrical, Network, Systems, and Sources* 2022;1(2):33–39.
14. Omar MA, Mahmoud MM. Improvement approach for matching PV-array and inverter of grid connected PV systems verified by a case study. *International Journal of Renewable Energy Development* 2021;10(4):687–697.
15. World Bank Group, Global Solar Atlas; 2023. Accessed: 2025-09-11. <https://globalsolaratlas.info/>.
16. Hidayat S, Sumarjo J, Hanif R. Uji Eksperimen Inovasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Menggerakan Microbubble Kolam Ikan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 2023;9(12):515–527.

Cara mengutip artikel ini: Putri, V. L. B., Priyadi, A., Pujiantara, M., Anam, S., Agustinah, T., (2025), *Inovasi Aerator Dif-fuser 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>.