Jurnal Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat Indonesia
Published by
Media Publikasi Cendekia Indonesia
https://www.journalmpci.com/index.php/jppmi/index
ISSN : 2830-2567 (Online - Elektronik)
ISSN 2830-2567

Jurnal Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat Indonesia, Vol. 5 No. 2 (2026): 993-1012

Pemberdayaan Masyarakat Pesisir melalui Diversifikasi Mata Pencaharian dan Teknologi Tepat Guna untuk Adaptasi Perubahan Iklim di Desa Wonorejo, Situbondo

Empowering Coastal Communities through Livelihood Diversification and Appropriate Technology for Climate Change Adaptation in Wonorejo Village, Situbondo

Ervina Wahyu Setyaningrum[1]*, Abu Bakar Sambah[2], Fathurrahman[3], Indah Wahyu Ferawati[4], Annastia Loh jayanti[3], Putri Istianingrum[3], Ahmad Hadi[3], Shinta Hiflina Yuniari[1]

[1] Ilmu Perikanan, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi, Indonesia
[2] Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia
[3] Agroteknologi, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi, Indonesia
[4] Akuntansi, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi, Indonesia

*Email Korespondensi: ervinawahyu@untag-banyuwangi.ac.id

Abstrak

Masyarakat pesisir memiliki kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim karena ketergantungan pada sumber daya alam dan terbatasnya alternatif mata pencaharian. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan kapasitas adaptif masyarakat Desa Wonorejo, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo melalui diversifikasi mata pencaharian dan penerapan teknologi tepat guna. Kegiatan dilaksanakan pada kelompok Putra Nelayan Pandean dan Kelompok Tani Pandean Makmur 2 dengan pendekatan *challenge-based community engagement* melalui identifikasi masalah, perancangan solusi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan, dan evaluasi. Intervensi pada kelompok nelayan meliputi alat tangkap ramah lingkungan, *Handy Talky* (HT), dan aquaponik, sedangkan pada kelompok petani meliputi *hand tractor*, pertanian berkelanjutan, dan produksi pupuk organik berbasis limbah pertanian. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan kapasitas dan keterampilan mitra dalam penerapan teknologi, terbentuknya alternatif usaha melalui aquaponik dan pupuk organik, serta penguatan manajemen, kelembagaan, pengemasan, dan pemasaran. Penyusunan *Action Plan* Pengembangan Kawasan Pesisir bersama pemerintah desa menjadi instrumen keberlanjutan program. Pendekatan integratif antara teknologi tepat guna, diversifikasi mata pencaharian, penguatan kelembagaan, dan pemasaran berpotensi meningkatkan kapasitas adaptif dan ketahanan ekonomi masyarakat pesisir terhadap perubahan iklim.

Kata kunci: Pemberdayaan Masyarakat Pesisir, Perubahan Iklim, Diversifikasi Mata Pencaharian, Teknologi Tepat Guna

Abstract

Coastal communities are highly vulnerable to climate change because of their dependence on natural resources and limited livelihood alternatives. This community service program aimed to strengthen the adaptive capacity of communities in Wonorejo Village, Banyuputih Subdistrict, Situbondo Regency, through livelihood diversification and appropriate technology. The program involved the Pandean Fishermen's Sons Group and Pandean Makmur 2 Farmers' Group using a challenge-based community engagement approach comprising problem identification, solution design, training, technology implementation, mentoring, and evaluation. Interventions for fishermen included environmentally friendly fishing gear, two-way radios, and aquaponics, while farmers received hand tractors, sustainable farming practices, and organic fertilizer production using agricultural waste. The results showed improved partner capacity and skills in technology application, the development of alternative livelihoods through aquaponics and organic fertilizer, and strengthened management, institutional capacity, product packaging, and marketing. A Coastal Zone Development Action Plan developed with the village government provided a framework for program sustainability. Overall, integrating appropriate technology, livelihood diversification, institutional strengthening, and marketing can support adaptive capacity and economic resilience among coastal communities facing climate change.

Keywords: *Empowerment Of Coastal Communities, Climate Change, Livelihood Diversification, Appropriate Technology*

Pesan Utama:

- Integrasi teknologi tepat guna dan diversifikasi mata pencaharian berhasil membekali masyarakat pesisir Desa Wonorejo dengan keterampilan dan alternatif ekonomi baru, sebagai langkah awal yang terencana untuk mendukung ketahanan mereka dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim.

Copyright (c) 2026 Authors.

Received: 15 August 2026
Accepted: 10 October 2026
Published: 01 November 2026

DOI: https://doi.org/10.56303/jppmi.v5i2.1694

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

GRAPHICAL ABSTRACT



PENDAHULUAN

Masyarakat pesisir sangat bergantung pada sumber daya alam, perubahan lingkungan dan iklim sehingga dapat secara langsung memengaruhi kesejahteraan rumah tangga dan keberlanjutan mata pencaharian mereka. Faktor-faktor seperti perubahan musim, cuaca ekstrim, dan ketidakpastian kondisi laut dapat mengurangi peluang masyarakat untuk melakukan aktivitas penangkapan ikan secara efektif. Perubahan iklim menjadi salah satu faktor yang memengaruhi keberlanjutan perikanan tangkap skala kecil, sehingga peningkatan kapasitas nelayan, integrasi antarpemangku kepentingan, dan penguatan pengelolaan menjadi penting dalam

membangun ketahanan masyarakat pesisir (Setyaningrum et al., 2025). Rumah tangga nelayan skala kecil yang memiliki keterbatasan aset produksi dan sumber pendapatan alternatif menjadi lebih membutuhkan kondisi ini. Rumah tangga perikanan skala kecil di Indonesia menghadapi masalah seperti perubahan iklim, kerusakan lingkungan, kemiskinan, dan keterbatasan pilihan mata pencaharian. Manfaat yang berkelanjutan dianggap lebih mungkin dihasilkan oleh intervensi yang menggabungkan penguatan kapasitas masyarakat, diversifikasi mata pencaharian, dan kerja sama dengan pemerintah dan pemangku kepentingan (Stacey et al., 2021).

Desa Wonorejo terletak di Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, di tepi pantai yang memiliki banyak sumber daya pertanian dan perikanan. Selain itu, lokasinya berada di daerah penyangga Taman Nasional Baluran. Potensi ini memberikan peluang untuk pertumbuhan ekonomi yang bergantung pada sumber daya lokal, tetapi masyarakat masih menghadapi masalah sosial dan ekonomi. Berdasarkan hasil survei awal yang dilakukan oleh tim pengabdian pada tahun 2026, terdapat 425 keluarga penerima Bantuan Pangan Non Tunai (BPNT) di Desa Wonorejo. Hasil survei awal juga menunjukkan bahwa sebagian masyarakat bekerja sebagai nelayan. Dari hasil pendataan terhadap rumah tangga nelayan, terdapat 120 rumah tangga yang bekerja sebagai nelayan skala kecil. Sebanyak 84 rumah tangga tidak memiliki perahu, dan 42 rumah tangga menggunakan perahu motor tempel. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa aset produksi sangat terbatas dan bahwa masyarakat sangat bergantung pada ekonomi pesisi.

Hasil identifikasi masalah dan survei awal program pengabdian tahun 2026, masing-masing kelompok mitra menghadapi permasalahan yang berbeda sesuai dengan karakteristik mata pencahariannya. Kelompok Putra Nelayan Pandean menghadapi keterbatasan teknologi produksi dan komunikasi dalam aktivitas penangkapan, produktivitas hasil tangkapan yang tidak stabil, belum tersedianya mata pencaharian alternatif ketika hasil tangkapan menurun akibat musim dan kondisi perairan, serta masih rendahnya penerapan praktik perikanan berkelanjutan. Prioritas intervensi pada kelompok nelayan diarahkan pada peningkatan ketahanan dan keberlanjutan usaha melalui penerapan jaring ramah lingkungan, penggunaan Handy Talky (HT) untuk meningkatkan komunikasi dan keselamatan selama melaut, serta pengembangan aquaponik sebagai alternatif mata pencaharian. Sementara itu, Kelompok Tani Pandean Makmur 2 menghadapi keterbatasan penerapan teknologi pertanian berkelanjutan, belum tersedianya mekanisasi pengolahan lahan secara mandiri, rendahnya pemanfaatan limbah pertanian, serta terbatasnya diversifikasi produk pertanian bernilai tambah. Oleh karena itu, prioritas intervensi pada kelompok tani diarahkan pada peningkatan efisiensi dan keberlanjutan produksi melalui penggunaan hand tractor, pelatihan dan pendampingan produksi pupuk organik berbasis limbah pertanian, serta penguatan kapasitas dalam penerapan pertanian berkelanjutan. Pada kedua kelompok, permasalahan produksi juga diperkuat oleh keterbatasan pengelolaan usaha, administrasi, kelembagaan, dan pemasaran, sehingga intervensi dilengkapi dengan penguatan manajemen usaha, kelembagaan kelompok, pengemasan, dan pemasaran produk. Dengan demikian, perubahan iklim ditempatkan sebagai konteks yang meningkatkan kerentanan aktivitas ekonomi masyarakat pesisir, sedangkan intervensi program difokuskan pada permasalahan nyata dan spesifik yang diidentifikasi pada masing-masing kelompok mitra. Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi yang tidak hanya diarahkan pada peningkatan efisiensi aktivitas utama masyarakat, tetapi juga pada penciptaan mata pencaharian alternatif yang dapat dilakukan ketika aktivitas penangkapan mengalami kendala, terutama pada musim paceklik. Diversifikasi mata pencaharian merupakan salah satu strategi penting dalam menghadapi ketidakpastian lingkungan karena dapat mengurangi ketergantungan rumah tangga terhadap satu sumber pendapatan. Studi pada komunitas nelayan skala kecil di Indonesia menunjukkan bahwa diversifikasi sumber pendapatan merupakan salah satu strategi adaptasi rumah tangga dalam menghadapi perubahan musim dan ketidakpastian aktivitas penangkapan (Susilo et al., 2021).

Pendekatan diversifikasi juga relevan karena masyarakat pesisir memiliki sumber daya pertanian dan ruang pekarangan yang dapat digunakan untuk mengembangkan bisnis alternatif selain sektor perikanan tangkap.

Dalam rangka mengurangi ketergantungan kelompok nelayan terhadap aktivitas penangkapan ikan yang sangat dipengaruhi oleh musim, cuaca, dan kondisi perairan, program memperkenalkan teknologi aquaponik sebagai alternatif mata pencaharian. Pemilihan aquaponik didasarkan pada hasil identifikasi kebutuhan mitra yang menunjukkan bahwa Kelompok Putra Nelayan Pandean belum memiliki usaha alternatif berbasis budidaya yang dapat dijalankan ketika aktivitas melaut terkendala kondisi lingkungan. Selain itu, aquaponik sesuai dengan karakteristik program karena memungkinkan produksi ikan dan sayuran dalam satu sistem dengan penggunaan air yang lebih efisien dibandingkan sistem produksi yang terpisah. Unit demonstrasi aquaponik kemudian dikembangkan melalui pelatihan desain instalasi, pengelolaan kualitas air, pemeliharaan ikan dan tanaman, serta analisis sederhana kelayakan usaha. Dengan demikian, aquaponik dipilih bukan hanya sebagai teknologi budidaya, tetapi sebagai strategi diversifikasi mata pencaharian dan penguatan ketahanan ekonomi rumah tangga nelayan terhadap ketidakpastian aktivitas penangkapan. Dengan menggabungkan produksi tanaman dan ikan dalam satu sistem, sistem aquaponik dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan ruang dan air sekaligus menghasilkan lebih dari satu komoditas. Dengan demikian, pengembangan sistem produksi yang terintegrasi juga dapat menjadi bagian dari strategi diversifikasi untuk memperkuat ketahanan ekonomi rumah tangga kecil terhadap gangguan dari luar. Studi mengenai sistem aquakultur-pertanian skala kecil menunjukkan bahwa diversifikasi produksi dapat membantu menjaga pendapatan dan ketersediaan pangan ketika rumah tangga menghadapi gangguan terhadap mata pencaharian utama (Wang et al., 2024).

Melalui penerapan teknologi pertanian berkelanjutan, mekanisasi, dan pemanfaatan limbah pertanian, permasalahan adaptasi pada kelompok tani berpotensi ditangani melalui intervensi program yang diberikan. Pada kelompok tani, permasalahan yang dihadapi adalah rendahnya efisiensi pengolahan lahan serta belum optimalnya pemanfaatan limbah pertanian. Kondisi tersebut menunjukkan kebutuhan akan mekanisasi pengolahan lahan dan teknologi pengolahan limbah pertanian agar sumber daya yang tersedia dapat dimanfaatkan secara lebih efektif. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, program memperkenalkan hand tractor untuk mendukung efisiensi pengolahan lahan serta memberikan pelatihan dan pendampingan pembuatan pupuk organik berbahan limbah pertanian. Intervensi tersebut berpotensi meningkatkan efisiensi proses produksi sekaligus mendorong pemanfaatan limbah menjadi input pertanian yang bernilai guna, sehingga dapat mendukung peningkatan kapasitas produksi dan diversifikasi peluang ekonomi kelompok tani. Pendekatan pembangunan mata pencaharian berkelanjutan yang mengintegrasikan aspek ekonomi dan lingkungan melibatkan pemanfaatan sumber daya lokal dan diversifikasi usaha. Diversifikasi usaha pertanian juga berpotensi meningkatkan keberlanjutan penggunaan sumber daya dengan memperkuat hubungan antara produksi pangan, penggunaan sumber daya, dan pengelolaan lingkungan (Peng et al., 2022).

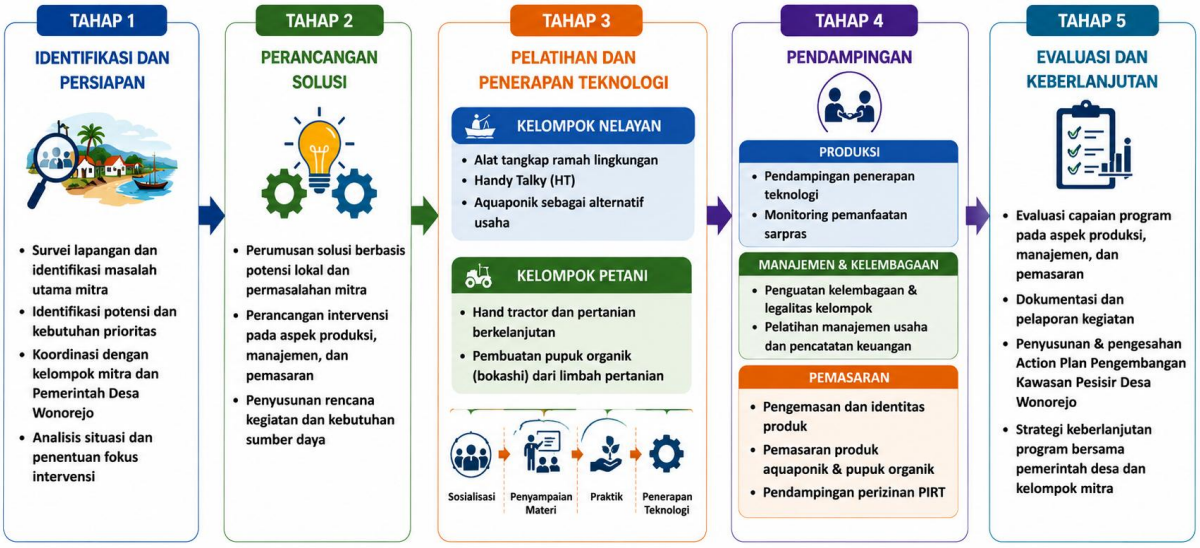
Masyarakat Desa Wonorejo menghadapi sejumlah permasalahan, namun prioritas program diarahkan pada keterbatasan teknologi dan efisiensi produksi, ketergantungan rumah tangga nelayan terhadap aktivitas penangkapan ikan yang dipengaruhi musim dan kondisi cuaca, keterbatasan usaha alternatif, serta lemahnya kapasitas manajemen dan pemasaran kelompok. Pada kelompok nelayan, prioritas tersebut ditangani melalui penerapan alat tangkap yang lebih ramah lingkungan, penyediaan sarana komunikasi dan keselamatan, serta pengembangan aquaponik sebagai alternatif usaha. Sementara itu, pada kelompok tani, prioritas diarahkan pada peningkatan efisiensi pengolahan lahan dan pemanfaatan limbah pertanian melalui penggunaan hand tractor dan pengolahan limbah menjadi pupuk organik. Berdasarkan kondisi tersebut, masyarakat Desa Wonorejo tidak hanya menghadapi masalah keterbatasan teknologi produksi, tetapi juga bergantung pada mata pencaharian utama, kurangnya diversifikasi sumber pendapatan, keterbatasan manajemen usaha, dan kebutuhan untuk memperkuat kelembagaan dan mendapatkan akses ke pasar. Selanjutnya, program pemberdayaan desa binaan dibuat melalui pendekatan partisipatif yang menggabungkan teknologi pertanian dan perikanan berkelanjutan dengan diversifikasi mata pencaharian. Oleh karena itu, tujuan kegiatan pengabdian ini adalah meningkatkan kapasitas

produksi dan pengelolaan usaha masyarakat pesisir Desa Wonorejo melalui penerapan teknologi tepat guna dan diversifikasi mata pencaharian sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim. Secara khusus, kegiatan diarahkan untuk meningkatkan kemampuan kelompok nelayan dalam menerapkan teknologi penangkapan yang lebih ramah lingkungan dan mengembangkan usaha alternatif melalui aquaponik, serta meningkatkan kemampuan kelompok tani dalam menerapkan mekanisasi pengolahan lahan dan memanfaatkan limbah pertanian menjadi pupuk organik. Pencapaian tujuan dievaluasi melalui perubahan tingkat kapasitas mitra pada aspek produksi dan manajemen sebelum dan setelah intervensi program. Program ini juga diharapkan dapat menjadi model pemberdayaan masyarakat pesisir yang mengintegrasikan potensi pertanian dan perikanan lokal.

METODE

Kegiatan pengabdian dilaksanakan di Desa Wonorejo, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Situbondo, tahun 2026. Rangkaian kegiatan dilakukan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan masing-masing kelompok mitra. Pelatihan diberikan kepada Kelompok Putra Nelayan Pandean dan Kelompok Tani Pandean Makmur 2 dengan materi yang disesuaikan dengan permasalahan prioritas masing-masing kelompok, sedangkan pendampingan dilakukan selama periode pelaksanaan program untuk memastikan penerapan teknologi dan keterampilan yang telah diberikan. Secara keseluruhan, kegiatan mencakup tahap identifikasi kebutuhan, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan, monitoring, dan evaluasi. Kelompok Putra Nelayan Pandean merupakan kelompok nelayan skala kecil yang menggunakan alat tangkap pancing dan jaring, sedangkan Kelompok Tani Pandean Makmur 2 terdiri atas petani dengan komoditas padi, jagung, sayuran, dan bawang merah. Kedua kelompok berada dalam lingkungan geografis yang sama dan memiliki keterkaitan antara sumber daya perikanan dan pertanian.

Pelaksanaan program menggunakan metode *Challenge-Based Learning* yang menekankan keterlibatan dalam masalah nyata, kolaborasi dengan pemangku kepentingan, penyelidikan terhadap tantangan, dan pengembangan solusi yang dapat diterapkan (Gallagher & Savage, 2023; Leijon et al., 2022). Dengan menggunakan pendekatan challenge-based community engagement, yaitu pendekatan pemberdayaan yang diawali dengan identifikasi permasalahan utama mitra, dilanjutkan dengan perancangan solusi lintas disiplin berbasis potensi lokal, penerapan intervensi berbasis sains dan teknologi, pelatihan, pendampingan, dokumentasi, evaluasi, serta penyusunan luaran dan publikasi kegiatan. Pendekatan ini melibatkan tim dosen dan mahasiswa dalam seluruh rangkaian kegiatan.



Gambar 1. Bagan Alur pelaksanaan kegiatan Pengabdian.

Berdasarkan Gambar 1, maka pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui lima tahapan utama, yaitu:

1. Identifikasi dan persiapan.

Tahap pertama bertujuan memperoleh gambaran kondisi awal, mengidentifikasi permasalahan dan potensi mitra, serta menetapkan masalah prioritas yang menjadi dasar intervensi. Kegiatan dilakukan melalui survei lapangan, observasi, wawancara, diskusi kelompok, dan koordinasi dengan pengurus dan anggota kelompok mitra serta Pemerintah Desa Wonorejo. Identifikasi dilakukan pada dua kelompok mitra, yaitu Kelompok Putra Nelayan Pandean dan Kelompok Tani Pandean Makmur 2. Pada kelompok nelayan, identifikasi mencakup kondisi teknologi penangkapan, komunikasi dan keselamatan, produktivitas, diversifikasi mata pencaharian, serta kapasitas manajemen. Pada kelompok tani, identifikasi mencakup metode dan efisiensi pengolahan lahan, ketersediaan sarana produksi, pemanfaatan limbah pertanian, serta kapasitas pengelolaan usaha. Pada kedua kelompok juga diidentifikasi aspek kelembagaan, administrasi, dan pemasaran. Pihak yang terlibat pada tahap ini adalah tim pelaksana, pengurus dan anggota kelompok mitra, serta Pemerintah Desa Wonorejo. Luaran tahap ini berupa data kondisi awal mitra, identifikasi potensi dan masalah, penetapan masalah prioritas, serta kesepakatan kebutuhan intervensi.

2. Perancangan solusi.

Tahap kedua dilakukan berdasarkan hasil identifikasi dan penetapan masalah prioritas. Perancangan solusi dilakukan secara partisipatif melalui diskusi antara tim pelaksana, kelompok mitra, dan Pemerintah Desa Wonorejo dengan mempertimbangkan kondisi, kemampuan, serta potensi sumber daya lokal. Pada kelompok nelayan, masalah prioritas berupa keterbatasan teknologi produksi dan komunikasi serta belum tersedianya usaha alternatif diarahkan pada tiga bentuk intervensi, yaitu alat tangkap yang lebih ramah lingkungan, Handy Talky (HT), dan aquaponik sebagai alternatif mata pencaharian. Pada kelompok tani, masalah rendahnya efisiensi pengolahan lahan dan belum optimalnya pemanfaatan limbah pertanian diarahkan pada penggunaan hand tractor dan pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk organik. Pada kedua kelompok, kebutuhan penguatan produksi juga diikuti dengan kebutuhan penguatan manajemen, kelembagaan, administrasi, pengemasan, dan pemasaran. Dengan demikian, solusi dirancang dalam tiga kelompok intervensi, yaitu produksi, manajemen dan kelembagaan, serta pemasaran. Kegiatan pada tahap ini meliputi penyusunan rencana kerja, penentuan bentuk teknologi yang digunakan, penyusunan materi pelatihan, penentuan kebutuhan sarana dan bahan, pembagian peran tim dan mitra, serta penyusunan jadwal pelaksanaan. Luaran tahap ini adalah rencana intervensi, materi pelatihan, kebutuhan sarana dan bahan, pembagian tugas, serta jadwal kegiatan.

3. Pelatihan dan penerapan teknologi.

Pelatihan dilaksanakan menggunakan metode sosialisasi, penyampaian materi, diskusi, demonstrasi, praktik langsung, dan *learning by doing*. Metode praktik digunakan agar peserta tidak hanya memahami materi secara teoritis, tetapi mampu menerapkan teknologi yang diperkenalkan dalam kegiatan usaha kelompok. Pada kelompok nelayan, materi pelatihan meliputi teknologi perikanan berkelanjutan, penggunaan alat tangkap ramah lingkungan, penggunaan Handy Talky (HT), dan aquaponik sebagai alternatif usaha. Pelatihan aquaponik mencakup pengenalan sistem, desain dan pemasangan instalasi, pengelolaan kualitas air, pemeliharaan ikan dan tanaman, serta pengenalan kelayakan usaha. Praktik dilakukan melalui penggunaan alat dan penerapan langsung pada unit aquaponik. Pada kelompok tani, materi pelatihan meliputi pertanian berkelanjutan, pengoperasian dan pemanfaatan hand tractor, serta pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk organik. Praktik dilakukan melalui pengoperasian hand tractor pada lahan dan praktik pembuatan pupuk organik menggunakan bahan limbah pertanian yang tersedia di lingkungan mitra. Pada aspek manajemen dan pemasaran, materi mencakup pengelolaan usaha, pencatatan keuangan sederhana, penguatan administrasi dan kelembagaan kelompok, pengemasan, identitas produk, serta pemasaran produk. Setiap pelatihan dievaluasi melalui observasi keterlibatan peserta, tanya jawab, penilaian pemahaman materi, dan observasi kemampuan praktik. Keberhasilan

pelatihan ditunjukkan oleh kemampuan peserta menjelaskan kembali materi, melakukan praktik sesuai prosedur, dan menerapkan teknologi pada kegiatan kelompok. Luaran tahap ini berupa peningkatan pengetahuan dan keterampilan mitra, penerapan teknologi produksi, unit aquaponik, penggunaan hand tractor, dan kemampuan awal memproduksi pupuk organik.

4. Pendampingan.

Pendampingan dilakukan setelah pelatihan dan penerapan teknologi untuk memastikan bahwa teknologi dan keterampilan yang diperoleh dapat diterapkan secara konsisten oleh mitra. Pendampingan dilakukan melalui kunjungan lapangan, observasi, konsultasi, diskusi pemecahan masalah, dan praktik ulang apabila ditemukan kendala. Pada aspek produksi, pendampingan kelompok nelayan meliputi penerapan alat tangkap ramah lingkungan, penggunaan HT, dan pengelolaan aquaponik. Pada kelompok tani, pendampingan meliputi penggunaan hand tractor dan penerapan produksi serta pemanfaatan pupuk organik. Pada aspek manajemen dan kelembagaan, pendampingan diarahkan pada pengelolaan administrasi kelompok, pencatatan usaha dan keuangan sederhana, pembagian tugas, penguatan kelembagaan, serta legalitas kelompok. Pada aspek pemasaran, pendampingan mencakup pengemasan dan identitas produk, serta pengembangan pemasaran.

Parameter yang diamati selama pendampingan meliputi kemampuan mitra mengoperasikan teknologi, konsistensi penerapan teknologi, kemampuan melakukan pencatatan usaha, kelengkapan administrasi kelompok, penerapan pengemasan, dan aktivitas pemasaran. Luaran tahap ini berupa penerapan teknologi secara lebih mandiri, peningkatan kemampuan pengelolaan usaha, penguatan kelembagaan, tersedianya administrasi usaha, dan peningkatan kesiapan pemasaran produk.

5. Evaluasi dan keberlanjutan.

Evaluasi dilakukan untuk mengukur perubahan kapasitas mitra setelah mengikuti rangkaian pelatihan dan pendampingan. Evaluasi menggunakan pendekatan sebelum dan sesudah intervensi (*pre-test–post-test*), dengan membandingkan kondisi awal (*baseline*) dan kondisi akhir program. Instrumen evaluasi terdiri atas lembar penilaian kapasitas produksi, lembar penilaian kapasitas manajemen, lembar observasi penerapan teknologi, daftar cek keterampilan, dokumentasi kegiatan, dan wawancara dengan mitra. Indikator evaluasi meliputi: a) Aspek produksi, yaitu kemampuan menerapkan teknologi yang diperkenalkan, keterampilan teknis, dan tingkat penerapan teknologi dalam kegiatan usaha; b) Aspek manajemen, yaitu kemampuan administrasi, pencatatan usaha dan keuangan, pembagian tugas, serta pengelolaan kelompok; c) Aspek kelembagaan, yaitu keberfungsian kelompok, pembagian peran, administrasi, dan legalitas; d) Aspek pemasaran, yaitu kemampuan pengemasan, identitas produk, akses pemasaran, dan penerapan strategi pemasaran. Pengukuran dilakukan pada awal program sebagai baseline dan pada akhir program setelah pelatihan serta pendampingan selesai. Skor akhir dibandingkan dengan skor awal untuk mengetahui perubahan kapasitas mitra. Selain penilaian kuantitatif, evaluasi juga menggunakan observasi dan wawancara untuk mengidentifikasi perubahan kemampuan penerapan teknologi, kendala, dan kebutuhan tindak lanjut. Keberlanjutan program diperkuat melalui penyusunan Action Plan Pengembangan Kawasan Pesisir Desa Wonorejo. Action Plan disusun secara partisipatif dengan melibatkan Pemerintah Desa Wonorejo, kelompok nelayan, kelompok tani, tim pelaksana, serta pemangku kepentingan terkait yang relevan. Penyusunan Action Plan dilakukan melalui beberapa langkah, yaitu identifikasi potensi dan permasalahan kawasan, pemetaan kebutuhan dan prioritas pengembangan, diskusi kelompok/FGD untuk merumuskan program prioritas, penyusunan rancangan Action Plan, pembahasan dan penyempurnaan Bersama, serta pengesahan atau penetapan dokumen bersama pemerintah desa dan kelompok masyarakat. Komponen Action Plan meliputi arah pengembangan kawasan, permasalahan prioritas, potensi lokal, program dan kegiatan prioritas, target pengembangan, tahapan pelaksanaan, kebutuhan sumber daya, pembagian peran para pihak, serta mekanisme pemantauan keberlanjutan. Dengan pendekatan tersebut, Action Plan tidak hanya menjadi dokumen luaran program, tetapi menjadi instrumen perencanaan yang dapat digunakan oleh Pemerintah Desa

dan kelompok masyarakat untuk melanjutkan kegiatan setelah program pengabdian berakhir.

Sedangkan metode intervensi kepada mitra, mengikuti rancangan kegiatan yang mengintegrasikan sosialisasi, pelatihan penerapan teknologi, pendampingan, dan evaluasi pada aspek produksi, manajemen, dan pemasaran.

Tabel 1. Metode Intervensi pada Mitra

Aspek	Intervensi	Indikator keberhasilan	Metode evaluasi
Produksi – Nelayan	Pelatihan dan praktik penggunaan alat tangkap ramah lingkungan	Peserta mampu menjelaskan fungsi dan prinsip penggunaan alat tangkap ramah lingkungan serta menerapkannya sesuai prosedur	Pre-test–post-test, observasi praktik, dan checklist keterampilan
Produksi – Nelayan	Pelatihan dan praktik penggunaan Handy Talky (HT)	Peserta mampu mengoperasikan HT untuk komunikasi kelompok dan keselamatan selama aktivitas melaut	Demonstrasi dan observasi praktik
Produksi – Nelayan	Pelatihan dan penerapan aquaponik	Peserta mampu memasang, mengoperasikan, dan melakukan pemeliharaan dasar sistem aquaponik	Observasi praktik dan checklist penerapan teknologi
Produksi – Petani	Pelatihan dan praktik penggunaan hand tractor	Peserta mampu mengoperasikan hand tractor sesuai prosedur dasar pengolahan lahan	Demonstrasi dan observasi praktik
Produksi – Petani	Pelatihan dan praktik pembuatan pupuk organik berbahan limbah pertanian	Peserta mampu mengolah bahan limbah pertanian menjadi pupuk organik sesuai tahapan yang diajarkan	Observasi praktik, checklist tahapan, dan dokumentasi hasil
Produksi – Petani	Pelatihan pertanian berkelanjutan	Peningkatan pengetahuan peserta mengenai praktik pertanian berkelanjutan dan kemampuan menerapkannya	Pre-test–post-test dan observasi penerapan
Manajemen	Pelatihan manajemen usaha dan pencatatan keuangan sederhana	Mitra mampu melakukan pencatatan kegiatan dan transaksi usaha secara lebih terstruktur	Kuesioner/lembar penilaian dan pemeriksaan dokumen pencatatan
Kelembagaan	Pendampingan penguatan kelembagaan, pembagian peran, komunikasi, dan legalitas kelompok	Tersedianya dokumen administrasi/kelembagaan dan meningkatnya kejelasan pembagian peran kelompok	Checklist dokumen, observasi, dan dokumentasi
Pemasaran	Pelatihan pengemasan dan identitas produk	Produk memiliki kemasan dan identitas yang sesuai dengan hasil pendampingan	Checklist kelayakan kemasan dan dokumentasi produk
Pemasaran/Legalitas	Pendampingan pengurusan PIRT	Dokumen/proses pengurusan legalitas produk tersedia sesuai tahap pengajuan yang telah dilakukan	Checklist dokumen dan dokumentasi proses
Kapasitas umum	Pendampingan penerapan teknologi dan pengelolaan usaha	Terjadi peningkatan skor kapasitas produksi dan manajemen dibandingkan kondisi awal	Perbandingan skor baseline dan evaluasi akhir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Kapasitas Adaptif dan Penerapan Teknologi Tepat Guna

Program pemberdayaan masyarakat di Desa Wonorejo menghasilkan peningkatan kapasitas mitra dalam memahami dan menerapkan teknologi yang mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim. Peningkatan tersebut diukur secara kuantitatif melalui pre-test dan post-test menggunakan skala Likert. Pada Kelompok Putra Nelayan Pandean, kapasitas aspek produksi setelah intervensi mencapai skor rata-rata 62.15 dari skor maksimum 75 (82.87%) dan berada pada Level 2 (Berkembang). Pada aspek manajemen, skor mencapai 64.50 dari 75 (86%), sedangkan aspek pemasaran mencapai 60.15 dari 75 (80.2%). Pada Kelompok Tani Pandean Makmur 2, pengukuran aspek produksi menunjukkan perubahan dari kondisi awal Level 1 (Kapasitas Dasar) menuju Level 2 (Berkembang), dengan peningkatan kemampuan dalam penerapan teknologi pertanian berkelanjutan, pemanfaatan limbah pertanian, pembuatan pupuk organik, dan diversifikasi produk. Intervensi dilakukan pada dua kelompok sasaran, yaitu kelompok nelayan dan kelompok petani. Pada kelompok nelayan, teknologi yang diterapkan meliputi alat tangkap ramah lingkungan dan *Handy Talky* (HT), sedangkan pada kelompok petani diterapkan *hand tractor* dan teknik pertanian berkelanjutan. Pelaksanaan dilakukan melalui sosialisasi, pelatihan, praktik langsung, dan pendampingan sehingga masyarakat tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga pengalaman dalam mengoperasikan teknologi yang diberikan. Hasil tersebut penting dalam konteks perubahan iklim karena masyarakat pesisir merupakan kelompok yang mata pencahariannya sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan. Sehingga peningkatan kapasitas nelayan, integrasi antarpemangku kepentingan, dan penguatan pengelolaan sebagai bagian dari respons terhadap perubahan iklim (Setyaningrum et al., 2025). Dengan demikian, peningkatan kapasitas melalui pelatihan dan penerapan teknologi dalam program Desa Wonorejo memiliki relevansi langsung dengan kebutuhan adaptasi masyarakat perikanan skala kecil.

Penggunaan alat tangkap ramah lingkungan dan teknologi pendukung memberikan manfaat pada aspek produksi, keberlanjutan sumber daya, serta kapasitas sosial nelayan. Alat tangkap yang lebih selektif dapat mengurangi dampak penangkapan terhadap habitat, biodiversitas, dan stok sumber daya ikan, sementara adopsi alat tangkap ramah lingkungan juga berpotensi memberikan manfaat ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan nelayan (Yulisti et al., 2024). Penggunaan radio komunikasi atau *handy talky* selanjutnya dapat mendukung koordinasi dan komunikasi nelayan selama kegiatan penangkapan, terutama dalam penyampaian informasi kondisi lapangan dan keselamatan. Pada kelompok petani, penggunaan *hand tractor* dapat meningkatkan efisiensi pengolahan lahan dan mempercepat persiapan tanam dibandingkan metode manual. Pemilihan teknologi yang disesuaikan dengan kebutuhan, kapasitas, dan karakteristik masyarakat menjadi penting agar teknologi tidak hanya dapat diterapkan, tetapi juga dapat dioperasikan dan dipelihara secara mandiri oleh mitra.

Efektivitas pendekatan tersebut berkaitan erat dengan pembelajaran berbasis praktik (*learning by doing*) dan transfer teknologi secara partisipatif. Pelibatan masyarakat sejak identifikasi kebutuhan, perencanaan, pelatihan, penerapan teknologi, hingga evaluasi dapat meningkatkan kesesuaian teknologi dengan kondisi lokal dan memperkuat kapasitas pengguna. Kajian terhadap 20 program penghidupan perikanan skala kecil di Indonesia menunjukkan bahwa pendekatan yang inklusif dan holistik, pengembangan kapasitas secara partisipatif, fasilitasi berbasis konteks lokal, serta keterlibatan pemerintah dan pemangku kepentingan lokal merupakan faktor yang mendukung hasil intervensi yang lebih positif. Bukti pada sektor akuakultur juga menunjukkan bahwa *field school* yang menggabungkan pelatihan dengan praktik lapangan mampu meningkatkan adopsi praktik budidaya, produktivitas, dan margin usaha pembudidaya (Widowati et al., 2021). Tabel 2 menyajikan kondisi Awal, Permasalahan, Intervensi, dan Potensi Mitra.

Tabel 2. Kondisi Awal, Permasalahan, Intervensi, dan Potensi Mitra

Mitra	Kondisi/Permasalahan Utama	Intervensi Program	Potensi yang Dikembangkan
Kelompok Putra Nelayan Pandean	Ketergantungan pada aktivitas penangkapan dan kerentanan terhadap kondisi cuaca	Alat tangkap ramah lingkungan, HT, pelatihan adaptasi dan aquaponik	Sumber daya perikanan, pengalaman nelayan, dan diversifikasi usaha
Kelompok Tani Pandean Makmur 2	Efisiensi pengolahan lahan dan pemanfaatan limbah pertanian masih perlu diperkuat	*Hand tractor*, pertanian berkelanjutan, dan produksi pupuk organik	Lahan pertanian, tenaga kerja, dan limbah pertanian
Kedua kelompok	Kapasitas manajemen, kelembagaan, dan pemasaran perlu diperkuat	Pelatihan manajemen, legalitas, pengemasan, pemasaran, dan pendampingan	Kelembagaan kelompok dan potensi pengembangan usaha

Diversifikasi Mata Pencaharian dan Peningkatan Nilai Tambah

Hasil penting lainnya adalah terbentuknya alternatif mata pencaharian melalui diversifikasi usaha. Pada kelompok nelayan dikembangkan budidaya aquaponik, sedangkan pada kelompok petani dikembangkan produksi pupuk organik berbasis limbah pertanian. Sebagai bentuk diversifikasi mata pencaharian, program memperkenalkan teknologi aquaponik kepada Kelompok Putra Nelayan Pandean. Pelatihan meliputi pengenalan desain dan pembangunan instalasi, pengelolaan kualitas air, serta pemeliharaan ikan dan tanaman. Komoditas yang dikembangkan terdiri atas ikan lele, pakcoy, kangkung, dan sayuran lainnya. Karena aquaponik merupakan lini produksi baru bagi kelompok, produksi awal belum memiliki baseline dan capaian produksi digunakan sebagai target pengembangan. Estimasi satu siklus awal ditetapkan sebesar 25 kg ikan lele, 30 kg pakcoy, 25 kg kangkung, dan 20 kg sayuran lainnya atau sekitar 100 kg total produksi per siklus. Setelah pelatihan, mitra memperoleh pendampingan dalam pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan unit aquaponik. Dengan demikian, pada tahap awal implementasi, keberhasilan intervensi lebih diarahkan pada terbentuknya unit aquaponik dan kemampuan mitra dalam mengoperasikan serta memeliharanya, sedangkan evaluasi produksi aktual memerlukan pengamatan pada siklus produksi berikutnya. Setelah pelatihan, kegiatan dilanjutkan dengan pembangunan dan pengoperasian unit demonstrasi aquaponik. Pada kelompok petani, pelatihan pupuk organik mencakup pembuatan kompos, penggunaan aktivator, fermentasi, dan pengendalian mutu.

Gambar 2 memperlihatkan penerapan teknologi tepat guna dan diversifikasi mata pencaharian pada mitra. Diversifikasi tersebut memiliki arti strategis karena ketergantungan pada satu sumber penghidupan dapat meningkatkan kerentanan rumah tangga ketika terjadi gangguan lingkungan. Mata pencaharian budidaya udang vannamei di Banyuwangi berada dalam kategori rentan terhadap perubahan iklim, dengan nilai *Livelihood Vulnerability Index* sebesar 3.30, sedikit di bawah batas kategori tidak rentan sebesar 3.34 (Setyaningrum et al., 2024). Temuan tersebut memperkuat argumentasi bahwa penguatan kapasitas adaptif masyarakat pesisir perlu dilengkapi dengan strategi untuk mengurangi ketergantungan pada satu aktivitas ekonomi. Dalam konteks Desa Wonorejo, aquaponik berfungsi bukan hanya sebagai teknologi budidaya, tetapi sebagai strategi diversifikasi mata pencaharian yang dapat dilakukan ketika aktivitas melaut mengalami keterbatasan akibat kondisi cuaca. Sistem ini mengintegrasikan produksi ikan dan tanaman sehingga menghasilkan lebih dari satu komoditas dalam satu unit produksi. Laporan menunjukkan bahwa unit aquaponik dikembangkan sebagai percontohan sekaligus media pembelajaran bagi kelompok nelayan.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian tentang sistem *small-scale aquaculture-agriculture* yang menunjukkan bahwa diversifikasi melalui polikultur dan integrasi akuakultur–pertanian dapat membantu menstabilkan pendapatan dan ketersediaan pangan ketika rumah tangga menghadapi guncangan penghidupan

(Wang et al., 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa rumah tangga yang mengadopsi akuakultur memiliki diversifikasi tanaman dan manfaat ketahanan pangan yang lebih baik dibandingkan rumah tangga tanpa akuakultur (Kaminski et al., 2024). Dengan demikian, penerapan aquaponik dalam program ini memiliki dasar yang kuat sebagai teknologi diversifikasi, meskipun dampak terhadap pendapatan aktual belum dapat dikuantifikasi dari data laporan yang tersedia.



Keterangan: (a) penggunaan alat tangkap ramah lingkungan; (b) unit budidaya aquaponik (ikan dan sayuran); (c) penggunaan hand tractor untuk pengolahan lahan; (d) produksi pupuk organik berbasis limbah pertanian.

Gambar 2. Penerapan teknologi tepat guna dan diversifikasi mata pencaharian pada mitra.

Pada kelompok petani, diversifikasi dilakukan melalui produksi pupuk organik dengan memanfaatkan limbah pertanian. Pendekatan ini menghasilkan nilai tambah dengan mengubah bahan yang sebelumnya kurang termanfaatkan menjadi input pertanian dan produk yang berpotensi dipasarkan. Laporan menunjukkan bahwa mitra telah memperoleh keterampilan produksi pupuk secara mandiri. Pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular yang mendorong pemanfaatan kembali sumber daya dan pengurangan limbah dalam sistem produksi. Kajian terbaru mengenai ekonomi sirkular pada sektor akuakultur juga menekankan pentingnya pemulihan sumber daya, efisiensi penggunaan bahan, dan pengurangan limbah sebagai bagian dari transformasi sistem produksi yang lebih berkelanjutan (Chary et al., 2024).

Dengan demikian, diversifikasi usaha yang dilakukan tidak hanya menghasilkan alternatif sumber pendapatan, tetapi juga memperkuat efisiensi pemanfaatan sumber daya lokal. Integrasi ikan–tanaman melalui aquaponik dan pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk menunjukkan adanya pendekatan yang menghubungkan aspek ekonomi dan lingkungan secara bersamaan.

Tabel 7 menunjukkan bahwa program pengabdian menghasilkan capaian pada tujuh aspek utama, yaitu adaptasi, produksi, diversifikasi mata pencaharian, manajemen, kelembagaan, pemasaran, dan keberlanjutan. Pada aspek adaptasi, sosialisasi dan pelatihan perubahan iklim meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra dalam menghadapi risiko lingkungan. Temuan ini sejalan dengan kajian terbaru mengenai strategi adaptasi perikanan skala kecil yang menempatkan penguatan kapasitas, komunikasi, kelembagaan, dan diversifikasi mata pencaharian sebagai komponen penting dalam membangun ketahanan masyarakat terhadap perubahan iklim. Berkaitan dengan itu maka strategi adaptasi masyarakat perikanan skala kecil perlu bergerak dari sekadar

respons jangka pendek menuju strategi adaptasi jangka panjang yang memperkuat kapasitas dan ketahanan penghidupan (Shah et al., 2025).

Tabel 3. Capaian Pemberdayaan Masyarakat Berdasarkan Aspek Program

Aspek	Intervensi	Capaian Program	Makna Pemberdayaan
Adaptasi	Sosialisasi dan pelatihan perubahan iklim serta strategi adaptasi	Pengetahuan dan keterampilan mitra mengenai adaptasi dan diversifikasi mata pencaharian diperkuat melalui pelatihan dan pendampingan. Perubahan kapasitas mitra selanjutnya dievaluasi melalui indikator kapasitas produksi dan manajemen.	Kapasitas masyarakat dalam mengenali risiko dan merespons perubahan kondisi lingkungan diperkuat.
Produksi nelayan	Jaring ramah lingkungan dan Handy Talky (HT)	Mitra telah memperoleh dan mulai menerapkan teknologi alat tangkap ramah lingkungan serta HT untuk mendukung komunikasi dan keselamatan selama aktivitas melaut. Secara agregat, skor capaian kapasitas produksi nelayan pada evaluasi pascaprogram mencapai 62.15 dari skor maksimum 75 (82.87%), termasuk Level 2 (Berkembang).	Kapasitas teknis nelayan dalam menerapkan teknologi produksi dan mendukung keselamatan aktivitas penangkapan diperkuat.
Diversifikasi nelayan	Aquaponik	Aquaponik dikembangkan sebagai usaha alternatif baru bagi kelompok nelayan. Komoditas yang dikembangkan terdiri atas ikan lele, pakcoy, kangkung, dan sayuran lainnya. Estimasi target satu siklus awal adalah 25 kg lele, 30 kg pakcoy, 25 kg kangkung, dan 20 kg sayuran lainnya, atau sekitar 100 kg/siklus. Karena aquaponik merupakan lini produksi baru, angka tersebut merupakan estimasi capaian awal, bukan hasil produksi aktual.	Aquaponik berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap aktivitas melaut melalui diversifikasi sumber mata pencaharian. Dampak terhadap proporsi pendapatan atau waktu melaut belum diukur.
Produksi petani	*Hand tractor*	*Hand tractor* telah diperkenalkan dan diterapkan dalam kegiatan pengolahan lahan. Evaluasi kapasitas produksi kelompok tani menunjukkan peningkatan dari Level 1 (awal) menuju Level 2 (berkembang). Namun, perubahan waktu pengolahan, kebutuhan tenaga kerja, luas lahan yang diolah, dan biaya operasional sebelum–sesudah belum terdokumentasi secara kuantitatif.	Kapasitas petani dalam memanfaatkan mekanisasi produksi diperkuat, tetapi efisiensi teknis belum dapat diklaim secara kuantitatif.
Diversifikasi petani	Pupuk organik berbahan limbah pertanian	Pelatihan dan pendampingan produksi pupuk organik telah dilakukan dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan baku. Keterampilan produksi telah diperkenalkan dan dipraktikkan oleh mitra. Data kuantitatif mengenai berat limbah, volume pupuk yang dihasilkan, biaya produksi, jumlah anggota yang memproduksi secara mandiri, dan nilai ekonomi belum terdokumentasi dalam evaluasi program.	Limbah pertanian mulai diarahkan menjadi input produksi yang bernilai guna dan berpotensi menjadi sumber nilai tambah.

Aspek	Intervensi	Capaian Program	Makna Pemberdayaan
Manajemen	Pelatihan usaha dan administrasi	Skor kapasitas manajemen kelompok nelayan mencapai 64.50 dari 75 (86%) dan berada pada Level 2 (Berkembang). Capaian ini menunjukkan bahwa kapasitas manajemen kelompok telah berkembang setelah intervensi, namun perubahan khusus pada praktik pencatatan administrasi usaha belum diukur secara terpisah.	Kapasitas kelompok dalam pengelolaan usaha dan organisasi diperkuat, dengan kebutuhan tindak lanjut berupa pembiasaan dan dokumentasi administrasi usaha secara rutin.
Kelembagaan	Penguatan organisasi dan legalitas	Dokumen kelembagaan dan administrasi kelompok diperkuat melalui pendampingan organisasi, administrasi, dan legalitas.	Kapasitas kelembagaan dan kesiapan kelompok untuk mengakses program serta membangun kemitraan diperkuat.
Pemasaran	Kemasan, label, dan strategi pemasaran	Skor capaian kapasitas pemasaran kelompok nelayan mencapai 60.15 dari 75 (80.20%), termasuk Level 2 (Berkembang).	Kesiapan kelompok dalam pengemasan, identitas produk, dan pemasaran diperkuat.
Keberlanjutan	*Action Plan* Pengembangan Kawasan Pesisir Desa Wonorejo	*Action Plan* pengembangan kawasan pesisir telah disusun sebagai arah pengembangan program dan tindak lanjut bersama kelompok dan pemerintah desa.	Keberlanjutan program diarahkan melalui rencana tindak lanjut yang melibatkan kelompok masyarakat dan pemerintah desa.

Pada aspek produksi, penerapan jaring ramah lingkungan dan *Handy Talky* (HT) pada kelompok nelayan serta *hand tractor* pada kelompok petani menunjukkan bahwa teknologi yang diberikan diarahkan pada kebutuhan nyata masyarakat. Pendekatan tersebut penting karena teknologi adaptasi tidak dapat diterapkan secara seragam, tetapi perlu disesuaikan dengan karakteristik sosial, ekonomi, dan lingkungan masyarakat. Dalam hal ini penerapan teknologi tepat guna dalam program ini dapat dipandang sebagai bagian dari upaya meningkatkan kemampuan masyarakat dalam menyesuaikan praktik produksi terhadap perubahan kondisi lingkungan (Mulyasari et al., 2025).

Melalui penerapan aquaponik pada kelompok nelayan dan produksi pupuk organik pada kelompok petani, aspek diversifikasi mata pencaharian menjadi salah satu capaian penting program. Pupuk organik memanfaatkan limbah pertanian sebagai sumber daya produktif, sedangkan aquaponik menggabungkan produksi tanaman dan ikan sebagai bisnis alternatif (Yuliana et al., 2024). Dengan demikian, terdapat kesesuaian yang kuat dengan program Desa Wonorejo karena aquaponik dikembangkan sebagai alternatif mata pencaharian bagi kelompok nelayan melalui pelatihan dan pendampingan.

Diversifikasi juga menjadi strategi penting dalam menghadapi ketidakpastian aktivitas penangkapan. Kajian terbaru mengenai *climate adaptation toolbox* pada perikanan skala kecil menunjukkan bahwa diversifikasi penghidupan merupakan salah satu kelompok strategi adaptasi yang dapat dilakukan melalui pengembangan kegiatan ekonomi alternatif, termasuk akuakultur, pertanian, dan integrasi akuakultur–pertanian (Bossier et al., 2025). Dengan demikian, penerapan aquaponik pada program ini tidak hanya memiliki fungsi sebagai teknologi produksi pangan, tetapi juga berperan sebagai instrumen diversifikasi penghidupan yang dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap aktivitas melaut.

Pada kelompok petani, produksi pupuk organik berbasis limbah pertanian memberikan manfaat tambahan berupa pemanfaatan sumber daya yang sebelumnya kurang optimal. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip circular economy, yaitu mempertahankan sumber daya agar tetap berada dalam sistem produksi melalui penggunaan kembali dan pengolahan limbah. Pengembangan usaha pupuk organik pada kelompok tani dapat dikembangkan menggunakan pendekatan *circular economy* dan strategi bisnis untuk meningkatkan nilai ekonomi produk (Lestari et al., 2024). Pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk organik melalui pelatihan dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani sekaligus memberikan manfaat lingkungan dan nilai tambah

ekonomi (Cerya et al., 2024).

Pada aspek keberlanjutan, penyusunan *Action Plan* Pengembangan Kawasan Pesisir menjadi capaian strategis karena memberikan kerangka bagi keberlanjutan kegiatan setelah program pengabdian selesai. Pendekatan berbasis perencanaan bersama juga sejalan dengan penelitian terbaru mengenai pemberdayaan masyarakat pesisir di Indonesia yang menunjukkan bahwa integrasi inovasi teknologi, pengetahuan lokal, dan partisipasi masyarakat dapat mendukung adaptasi perubahan iklim sekaligus pengembangan penghidupan berkelanjutan (Ridwan et al., 2025). Dengan demikian, *Action Plan* tidak hanya berfungsi sebagai dokumen administratif, tetapi dapat menjadi instrumen untuk menghubungkan hasil kegiatan dengan agenda pembangunan kawasan dan peran masing-masing pemangku kepentingan.

Penguatan Manajemen, Kelembagaan, dan Pemasaran

Pemberdayaan tidak berhenti pada penerapan teknologi produksi, tetapi dilanjutkan dengan penguatan kapasitas manajemen dan kelembagaan. Pada aspek kelembagaan, kegiatan meliputi penguatan struktur organisasi, pembagian tugas, kepemimpinan, komunikasi kelompok, mekanisme pengambilan keputusan, serta pendampingan pengurusan legalitas kelompok. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa kedua kelompok telah melakukan proses pengurusan legalitas yang berjalan sesuai ketentuan. Penguatan kelembagaan menjadi penting karena keberlanjutan teknologi yang diberikan sangat bergantung pada kemampuan kelompok dalam mengelola aset, mengambil keputusan, membangun jejaring, dan mengakses sumber daya eksternal. Kajian terhadap intervensi penghidupan perikanan skala kecil di Indonesia menunjukkan bahwa keterlibatan masyarakat dan pemerintah lokal merupakan salah satu faktor pendukung keberhasilan program (Stacey et al., 2021). Dengan demikian, pendampingan legalitas dalam program ini tidak hanya bersifat administratif, tetapi merupakan bagian dari strategi memperkuat kapasitas kelompok untuk mengakses program pemerintah, pembiayaan, dan kemitraan.

Pada aspek manajemen usaha, mitra memperoleh pelatihan mengenai perencanaan usaha, pencatatan keuangan sederhana, pengendalian biaya produksi, pengelolaan persediaan, pengendalian kualitas, penentuan harga, serta penyusunan rencana pengembangan usaha. Pelatihan dan pendampingan memberikan penguatan terhadap kapasitas manajemen dan administrasi kelompok; namun, perubahan praktik pencatatan administrasi usaha belum diukur secara terpisah. Penguatan kapasitas tersebut penting karena keberhasilan diversifikasi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan menghasilkan produk, tetapi juga oleh kemampuan menghitung biaya, menetapkan harga, menjaga kualitas, dan mengelola keuntungan.

Aspek pemasaran kemudian digunakan untuk menghubungkan produk yang dihasilkan dengan peluang pasar. Pelatihan meliputi pengemasan, pelabelan, identitas merek, informasi produk, dan strategi promosi melalui pemasaran langsung maupun media digital. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa kualitas pengemasan produk meningkat dan produk menjadi lebih siap untuk dipasarkan. Literatur mengenai pengembangan usaha mikro juga menunjukkan bahwa inovasi kemasan dan pelatihan pemasaran digital dapat meningkatkan kemampuan pemasaran dan kinerja penjualan (Pranowo et al., 2024).

Namun demikian, hasil pada aspek pemasaran dalam artikel ini sebaiknya ditafsirkan sebagai peningkatan kesiapan pasar, bukan sebagai bukti peningkatan penjualan. Laporan memang mencatat peningkatan kualitas kemasan dan kesiapan produk untuk dipasarkan, tetapi belum menyediakan data penjualan sebelum dan sesudah program. Penegasan ini penting agar interpretasi hasil tetap sesuai dengan data empiris dan tidak *overclaim*.

Keberlanjutan dan Dampak Terintegrasi Program

Keberlanjutan menjadi salah satu capaian penting program melalui penyusunan Action Plan Pengembangan Kawasan Pesisir Desa Wonorejo secara partisipatif. Penyusunan dokumen melibatkan pemerintah desa, kelompok nelayan, kelompok tani, tim pengabdian, dan pemangku kepentingan lainnya. Dokumen tersebut memuat tujuan, program prioritas, pembagian peran, jadwal pelaksanaan, indikator keberhasilan, serta

mekanisme monitoring dan evaluasi. Tabel 4 menyajikan ringkasan Action Plan Pengembangan Desa Wonorejo 2027–2031.

Tabel 4. Ringkasan Action Plan Pengembangan Desa Wonorejo 2027–2031

Program Prioritas	Fokus Kegiatan	Penanggung Jawab Utama	Jadwal	Indikator Keberhasilan/Target
P1. Wonorejo Climate Resilient Village	Pemetaan risiko abrasi, rob dan cuaca, sistem informasi/peringatan cuaca, pelatihan adaptasi iklim	Pemerintah Desa dan kelompok masyarakat	2027–2031	Tersedia peta risiko; sistem informasi berjalan, ≥80% sasaran pelatihan menerapkan tindakan adaptasi
P2. Perikanan Pesisir Berkelanjutan	Optimalisasi alat tangkap ramah lingkungan, pemanfaatan HT, keselamatan melaut, pencatatan hasil tangkapan dan pengolahan hasil	Kelompok Nelayan	2027–2031	≥80% anggota sasaran menerapkan praktik perikanan berkelanjutan, penggunaan HT rutin, data produksi bulanan tersedia, ≥2 produk olahan aktif
P3. Pertanian Adaptif	Optimalisasi *hand tractor* dan penerapan pertanian adaptif/berkelanjutan	Kelompok Tani	2027–2031	Tersedia jadwal dan log penggunaan *hand tractor*, ≥50% anggota sasaran menerapkan praktik pertanian adaptif
P4. Wonorejo Aquaponic Center	Pendampingan unit aquaponik, peningkatan skala produksi dan pengembangan pasar	Kelompok Nelayan	2027–2031	Unit aquaponik berproduksi secara rutin, tersedia kanal pasar aktif
P5. Wonorejo Organic Fertilizer	Standardisasi, produksi rutin dan pengembangan pasar pupuk organik	Kelompok Tani	2027–2031	SOP produksi tersedia, produksi pupuk organik dilakukan secara rutin, legalitas sesuai ketentuan
P6. Sentra Produk Lokal Wonorejo	Pengembangan produk olahan ikan/pertanian, branding, kemasan dan pemasaran digital	Kelompok/UMKM	2027–2031	≥4 produk prioritas; identitas dan kemasan tersedia, ≥2 kanal pemasaran digital aktif
P7. UMKM dan BUM Desa	Penguatan tata kelola kelompok, unit usaha, agregasi produk dan akses pembiayaan	Pemerintah Desa/BUM Desa	2027–2031	Administrasi kelompok berjalan, ≥2 unit usaha terhubung dengan BUM Desa, kemitraan pembiayaan aktif
P8. Wonorejo Coastal Tourism	Penyusunan paket wisata, wisata	Pokdarwis	2028–2031	≥3 paket wisata, ≥2 atraksi edukatif,

Program Prioritas	Fokus Kegiatan	Penanggung Jawab Utama	Jadwal	Indikator Keberhasilan/Target
	edukasi aquaponik/pertanian dan promosi digital			media promosi aktif
P9. Wonorejo Green Coastal Village	Baseline sampah pesisir, aksi bersih dan rehabilitasi vegetasi/mangrove	Pemerintah Desa dan masyarakat	2027–2031	Tersedia baseline lingkungan, aksi bersih rutin, area prioritas rehabilitasi ditetapkan berdasarkan baseline
P10. Forum Kemitraan Desa	Forum lintas pihak, integrasi program ke RKPDes/RPJMDes dan pengembangan kemitraan	Pemerintah Desa	2027–2031	≥2 forum/tahun, program prioritas terintegrasi dalam perencanaan desa, ≥3 kemitraan aktif

Pendekatan tersebut menunjukkan adanya pergeseran dari pemberdayaan berbasis kegiatan menuju pemberdayaan berbasis kelembagaan dan perencanaan keberlanjutan. Hal ini penting karena berbagai intervensi pemberdayaan masyarakat dapat kehilangan dampak setelah pendanaan atau pendampingan berakhir apabila tidak terdapat mekanisme lokal untuk melanjutkan kegiatan. Kajian terhadap 20 program penghidupan perikanan skala kecil di Indonesia menunjukkan bahwa keberhasilan jangka panjang lebih mungkin dicapai ketika program menggunakan pendekatan partisipatif, melibatkan pemerintah lokal, dan memiliki kerangka pengembangan kapasitas yang memadai (Stacey et al., 2021).

Secara keseluruhan, program memberikan dampak pada lima dimensi, yaitu kapasitas sumber daya manusia, produktivitas, ekonomi, kelembagaan, dan lingkungan. Pada aspek SDM, masyarakat memperoleh pengetahuan dan keterampilan mengenai adaptasi perubahan iklim, teknologi perikanan dan pertanian berkelanjutan, aquaponik, produksi pupuk organik, manajemen usaha, dan pemasaran. Pada aspek produktivitas, *hand tractor* mendukung efisiensi pengolahan lahan, aquaponik mengintegrasikan produksi ikan dan tanaman, dan pupuk organik memberikan nilai tambah dari limbah pertanian.

Dari perspektif ekonomi, aquaponik dan pupuk organik membuka peluang aktivitas usaha alternatif sehingga rumah tangga tidak hanya bergantung pada satu sumber penghidupan. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa diversifikasi pada sistem akuakultur skala kecil dapat membantu stabilisasi pendapatan dan ketahanan pangan ketika terjadi guncangan terhadap mata pencaharian. Namun, dalam konteks artikel ini, manfaat ekonomi tersebut sebaiknya diposisikan sebagai potensi dan capaian awal, karena data laporan belum memungkinkan estimasi perubahan pendapatan secara kuantitatif (Wang et al., 2024).

Pada aspek lingkungan, penggunaan alat tangkap ramah lingkungan, aquaponik, pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk organik, dan praktik pertanian berkelanjutan berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Secara khusus, penelitian mengenai sistem aquaponik menunjukkan bahwa integrasi ikan dan tanaman dapat menjadi pendekatan yang mendukung efisiensi air, pemanfaatan kembali nutrien, dan prinsip ekonomi sirkular (Zhu et al., 2024). Oleh karena itu, pendekatan teknologi dalam program ini memiliki dimensi lingkungan selain dimensi ekonomi. Gambar 3 memperlihatkan model Integratif Pemberdayaan masyarakat Pesisir untuk Adaptasi Perubahan Iklim.



Gambar 3. Model Integratif Pemberdayaan masyarakat Pesisir untuk Adaptasi Perubahan Iklim.

Model tersebut memperlihatkan bahwa kontribusi program tidak semata-mata terletak pada pemberian alat atau pelaksanaan pelatihan, tetapi pada integrasi antara teknologi, kapasitas manusia, diversifikasi mata pencaharian, penguatan kelembagaan, pemasaran, dan perencanaan kawasan. Pendekatan integratif ini konsisten dengan temuan bahwa intervensi penghidupan masyarakat perikanan skala kecil yang menggunakan pendekatan partisipatif dan melibatkan berbagai pemangku kepentingan memiliki peluang lebih besar untuk menghasilkan dampak positif. Lebih lanjut, hasil kegiatan dapat diposisikan sebagai bentuk hilirisasi penelitian mengenai kerentanan masyarakat pesisir terhadap perubahan iklim ke dalam intervensi pemberdayaan masyarakat, sehingga perlu peningkatan kapasitas dan integrasi pemangku kepentingan untuk memperkuat keberlanjutan perikanan tangkap skala kecil (Setyaningrum et al., 2025), sedangkan mata pencaharian berbasis budidaya udang juga berada dalam kondisi rentan terhadap perubahan iklim (Setyaningrum et al., 2024). Program Desa Wonorejo merespons persoalan tersebut dengan memperkuat kapasitas adaptif sekaligus menyediakan alternatif penghidupan melalui aquaponik dan pupuk organik, tanpa menghilangkan mata pencaharian utama masyarakat.

Dengan demikian, hasil utama program bukan hanya terbentuknya unit aquaponik, produksi pupuk organik, penggunaan alat tangkap ramah lingkungan, HT, dan *hand tractor*, tetapi terbentuknya mekanisme pemberdayaan yang menghubungkan kapasitas masyarakat dengan teknologi, diversifikasi usaha, penguatan kelembagaan, nilai tambah, dan keberlanjutan kawasan. Laporan mencatat bahwa program telah menghasilkan peningkatan kapasitas, terbentuknya unit usaha alternatif, penguatan kelembagaan, peningkatan kesiapan produk untuk dipasarkan, serta *Action Plan* sebagai dasar sinergi masyarakat dan pemerintah desa.

KESIMPULAN

Program Pemberdayaan Desa Binaan Tahun II di Desa Wonorejo meningkatkan kapasitas mitra dari Level 1 (Kapasitas Dasar) menjadi Level 2 (Berkembang), yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan dalam menerapkan teknologi dan mengelola kegiatan usaha setelah intervensi program. Peningkatan tersebut menjadi dasar untuk melanjutkan pengembangan perikanan dan pertanian berkelanjutan, diversifikasi usaha, serta penguatan manajemen dan pemasaran. Sebagai tindak lanjut, *Action Plan* Pengembangan Desa Wonorejo 2027–2031 telah disusun secara partisipatif bersama Pemerintah Desa dan pemangku kepentingan sebagai instrumen perencanaan keberlanjutan, bukan sebagai bukti bahwa keberlanjutan program telah tercapai. Dokumen tersebut memuat program prioritas, pembagian peran, jadwal, indikator keberhasilan, serta mekanisme monitoring dan evaluasi untuk mendukung pengembangan program secara bertahap menuju kemandirian. Keterbatasan program adalah periode evaluasi yang masih relatif pendek dan belum tersedianya data longitudinal mengenai perkembangan produksi, pendapatan, keuntungan, akses pasar, dan dampak ekonomi maupun kapasitas adaptif masyarakat dalam jangka panjang. Oleh karena itu, diperlukan pendampingan dan evaluasi lanjutan untuk memantau keberlanjutan adopsi teknologi, perkembangan usaha, akses pasar, serta perubahan kondisi ekonomi dan kapasitas adaptasi masyarakat pesisir.

PENDANAAN

Pengabdian kepada masyarakat ini didanai oleh Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia skema Pengabdian kepada Masyarakat (P2M) dengan klaster Pemberdayaan Berbasis Wilayah (PBW) Program Pemberdayaan Desa Binaan (PDB) nomor hibah 94/DST/C/AL.04.02/2026.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Tim yang termasuk pada Mitra 1 dan 2, serta Pemerintah Desa Wonorejo, sekaligus Taman Nasional Baluran, yang sudah bekerjasama dalam kegiatan pengabdian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

Bossier, S., Ota, Y., Pozas-Franco, A. L., & Cisneros-Montemayor, A. M. (2025). How much time and who will do it? Organizing the toolbox of climate adaptations for small-scale fisheries. *Frontiers in Marine Science*, *12*(1521526), 1–21. https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1521526

Cerya, E., Darussyamsu, R., & Amelia, K. (2024). Optimasi Penggunaan Limbah Ubi Kayu Menjadi Pupuk Organik: Menuju Pertanian Ramah Lingkungan Berbasis Circular Economy. *Jurnal Karinov*, *7*(3), 148–154. https://doi.org/10.17977/um045v7i3p148

Chary, K., van Riel, A. J., Muscat, A., Wilfart, A., Harchaoui, S., Verdegem, M., Filgueira, R., Troell, M., Henriksson, P. J. G., de Boer, I. J. M., & Wiegertjes, G. F. (2024). Transforming sustainable aquaculture by applying circularity principles. *Reviews in Aquaculture*, *16*(2), 656–673. https://doi.org/10.1111/raq.12860

Gallagher, S. E., & Savage, T. (2023). Challenge-based learning in higher education: an exploratory literature review. *Teaching in Higher Education*, *28*(6), 1135–1157. https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1863354

Kaminski, A. M., Cole, S. M., Johnson, J., Thilsted, S. H., Lundeba, M., Genschick, S., & Little, D. C. (2024). Smallholder aquaculture diversifies livelihoods and diets thus improving food security status: evidence from northern Zambia. *Agriculture and Food Security*, *13*(1), 1–21. https://doi.org/10.1186/s40066-023-00452-2

Leijon, M., Gudmundsson, P., Staaf, P., & Christersson, C. (2022). Challenge based learning in higher education – A systematic literature review literature review. *Innovations in Education and Teaching International*, *59*(5),

609–618. https://doi.org/10.1080/14703297.2021.1892503

Lestari, D. T., Aminah, M., & Munandar, J. M. (2024). Circular Economy Business Strategy of Organic Fertilizer in Parikesit Farmer Group. *Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship*, *10*(2), 400–410. https://doi.org/10.17358/ijbe.10.2.400

Mulyasari, G., Cahyadinata, I., Irham, & Hadi, A. I. (2025). Modelling Adaptation to Climate Change among Small-Scale Fishermen in Bengkulu Province in Indonesia. *Challenges in Sustainability*, *13*(4), 508–524. https://doi.org/10.56578/cis130403

Peng, W., Zheng, H., Robinson, B. E., Li, C., & Li, R. (2022). Comparing the importance of farming resource endowments and agricultural livelihood diversification for agricultural sustainability from the perspective of the food–energy–water nexus. *Journal of Cleaner Production*, *380*(135193), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135193

Pranowo, A. S., Herdiyana, Hannan, S., & Muharram, H. (2024). Packaging Innovation And Selling Performance In Microenterprises: Role Of Digital Marketing Training. *Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics (IIJSE)*, *2*(3), 306–312. https://doi.org/10.31538/iijse.v7i3.5285

Ridwan, R. E., Julianto, M. A., Marpaung, P. N., Utami, A. R., Ismail, T., Wijayanti, S. W., Subroto, S. T., F. Farizan, D., Ma'ruf, K., & Setiawan, R. J. (2025). Coastal Community Empowerment Based on Local Wisdom and Technological Innovation for Climate Change Adaptation, Erosion Control, and Sustainable Ecotourism Development. *Sustainable Marine Structures*, *7*(4), 9–35. https://doi.org/10.36956/sms.v7i4.2701

Setyaningrum, E. W., Sambah, A. B., & Wiadnya, D. G. R. (2025). Sustainability of Small-Scale Capture Fisheries to Climate Change in Pangpang Bay, Banyuwangi Regency, Indonesia. *Journal of Fisheries and Environment*, *49*(2), 162–176. https://doi.org/10.34044/j.jfe.2025.49.2.12

Setyaningrum, E. W., Yuniartik, M., & Yuniari, S. H. (2024). The Livelihood Vulnerability of Vannamei Shrimp Culture as the Impact of Climate Change in Banyuwangi Regency, East Java Province, Indonesia. *JIPK (Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan) Scientific Journal of Fisheries and Marine*, *16*(1), 1–10. https://doi.org/10.20473/jipk.v16i1.45301

Shah, B. V., O'Leary, B. C., Rejula, K., Kemp, P., Sandhya, K. M., Madhu, V. R., & Gopal, N. (2025). Adaptation Strategies of Small-Scale Marine Fisheries in Response to Climate Change, Resource Changes, and Sudden Systemic Shocks. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *16*(5), 1–15. https://doi.org/10.1002/wcc.70019

Stacey, N., Gibson, E., Loneragan, N. R., Warren, C., Wiryawan, B., Adhuri, D. S., Steenbergen, D. J., & Fitriana, R. (2021). Developing sustainable small-scale fisheries livelihoods in Indonesia: Trends, enabling and constraining factors, and future opportunities. *Marine Policy*, *132*(104654), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104654

Susilo, E., Purwanti, P., Fattah, M., Qurrata, V. A., & Narmaditya, B. S. (2021). Adaptive coping strategies towards seasonal change impacts: Indonesian small-scale fisherman household. *Heliyon*, *7*(4), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06919

Wang, Q., Rossignoli, C. M., Dompreh, E. B., Su, J., Griffiths, D., Htoo, K. K., Nway, H. M., Akester, M., & Gasparatos, A. (2024). Diversification strategies have a stabilizing effect for income and food availability during livelihood shocks: Evidence from small-scale aquaculture-agriculture systems in Myanmar during the COVID-19 pandemic. *Agricultural Systems*, *217*(103935), 1–16. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103935

Widowati, L. L., Ariyati, R. W., Rejeki, S., & Bosma, R. H. (2021). The impact of aquaculture field school on the shrimp and milkfish yield and income of farmers in Demak, Central Java. *Journal of the World Aquaculture Society*, *52*(2), 362–377. https://doi.org/10.1111/jwas.12770

Yuliana, A. I., Nasirudin, M., & Hidayat, R. (2024). Implementation of aquaponics as an alternative income for CATFISH farmers group in Gajah Village, Jombang. *Community Empowerment*, *9*(10), 1463–1468.

https://doi.org/10.31603/ce.12215

Yulisti, M., Hidayat, A. S., Firdausy, C. M., Mu'awanah, U., Kurniasari, N., & Nurjati, E. (2024). Effects of eco-friendly fishing gears on fishermen's welfare and sustainable fisheries: Lessons learned from Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, *198*(115888), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115888

Zhu, Z., Yogev, U., Keesman, K. J., & Gross, A. (2024). Promoting circular economy: Comparison of novel coupled aquaponics with anaerobic digestion and conventional aquaponic systems on nutrient dynamics and sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, *208*(107716), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107716