

Pemberdayaan Kelompok Tani Sido Maju dengan Pengembangan Mesin *Spray Portable* untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan

Firman Ardiansyah Ekoanindiyo¹, Kasmari², Sri Eniyati³, Antoni Yohanes⁴, Muhammad Ari Kurniawan⁵

¹²³⁴ Universitas Stikubank Semarang

⁵ Universitas Selamat Sri Kendal

E-mail: ¹firmam@edu.unisbank.ac.id, ²fkasmari@edu.unisbank.ac.id, ³eniyati@mail.edu.unisbank.ac.id

⁴antoni@edu.unisbank.ac.id, ⁵arikurniawan19a@gmail.com

INFO ARTIKEL

Article history:

Available online

DOI://journal.unuha.ac.id/index.php/JIMi/

How to cite (APA):

Ekoanindiyo, F.A., Kasmari, K., Eniyati, S., Yohanes, A., Kurniawan, M.A. (2025).

Pemberdayaan Kelompok Tani Sido Maju dengan Pengembangan Mesin Spray Portable untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan. *Jurnal Indonesia Mengabdi*, 7(2), 121-128.

ISSN 2685-3035



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

ABSTRAK

Abstrak

Kelompok Tani Sido Maju satu Poktan yang ada di Desa Juwiring. Pada musim kemarau, petani menggunakan pompa air berbahan bakar fosil dengan biaya penyiraman mencapai Rp 1.200.000 per musim tanam. Metode pelaksanaan memiliki tahapan (1) Sosialisasi Program, (2) Pelatihan, (3) Penerapan Teknologi, (4) Pendampingan, (5) Evaluasi, (6) Keberlanjutan Program. Hasil implementasi menunjukkan petani mampu mengoperasikan alat *spray nozzle portable*, pembuatan alat penyiraman *spray portable*, buku panduan pengoperasian alat, tingkat kepuasan terhadap pelatihan mencapai 90%, pemahaman penggunaan BBM vs energi surya meningkat, perubahan jangka pendek yaitu petani mulai menggunakan alat *spray portable* dalam penyiraman sedangkan perubahan jangka panjang yaitu petani lebih mandiri dalam teknologi tepat guna dan pendapatan meningkat karena biaya operasional turun. Selain manfaat ekonomi, kegiatan ini juga berdampak positif pada aspek sosial-edukatif melalui transfer pengetahuan dan keterampilan. Petani mitra dapat mengoperasikan serta merawat alat secara mandiri, menandakan tercapainya peningkatan kapasitas dan kemandirian kelompok tani dalam memanfaatkan teknologi tepat guna.

Kata kunci: Ketahanan Pangan, Mesin *Spray Portable*, Panel Surya, Teknologi Pertanian.

Abstract

The Sido Maju Farmer Group is one of the farmer groups located in Juwiring Village. During the dry season, farmers use fossil-fuel-powered water pumps, with irrigation costs reaching IDR 1,200,000 per planting season. The implementation method consists of several stages: (1) Program Socialization, (2) Training, (3) Technology Application, (4) Assistance, (5) Evaluation, and (6) Program Sustainability. The implementation results show that farmers are able to operate the portable spray nozzle device, construct portable spraying tools, and use the operation manual. The satisfaction level toward the training reached 90%, and farmers' understanding of fossil fuel versus solar energy increased. Short-term changes include farmers beginning to use portable spray devices for irrigation, while long-term changes include greater independence in using appropriate technology and increased income due to reduced operational costs. In addition to the economic benefits, this activity also has positive socio-educational impacts through knowledge and skill transfer. The partner farmers are able to operate and maintain the equipment independently, indicating the achievement of capacity building and increased self-reliance of the farmer group in utilizing appropriate technology.



Keywords: *Agricultural Technology, Food Security, Portable Spray Machines, Solar Panels.*

PENDAHULUAN

Kelompok Tani Sido Maju adalah salah satu kelompok tani yang ada di Desa Juwiring. Desa Juwiring Kecamatan Cepiring, Kabupaten Kendal memiliki luas lahan sekitar 200 hektar dengan kontur tanah datar yang mendukung aktivitas pertanian. Dari total lahan tersebut, 180 hektar dimanfaatkan untuk budidaya padi dan jagung. Namun, sistem pengairan masih bergantung pada curah hujan. Pada musim kemarau, petani menggunakan pompa air berbahan bakar fosil dengan biaya penyiraman mencapai Rp 1.200.000 per musim tanam, sehingga menambah beban produksi dan mengurangi pendapatan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan *spray portable* bertenaga surya menjadi solusi yang relevan. Alat ini ramah lingkungan, hemat energi, serta mudah dipindahkan dari satu petakan sawah ke petakan lainnya. Selain itu, kegiatan pengabdian juga meliputi pelatihan pemasaran daring untuk meningkatkan kapasitas petani dalam memasarkan hasil panen mereka.

Hasil penelitian Idkham et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem penyiraman berbasis energi surya mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air, menghemat waktu, serta mengurangi biaya operasional. Teknologi ini bahkan dapat diintegrasikan dengan sistem *Internet of Things* (IoT) sehingga proses penyiraman dapat dikendalikan dan dipantau melalui gawai (Aditya et al., 2024). Dengan penerapan teknologi ini, produktivitas pertanian meningkat dan masyarakat dapat melakukan penanaman hingga 2–3 kali dalam setahun (Rizal et al., 2024).

Selain pada sistem penyiraman, teknologi tenaga surya juga telah berhasil diterapkan pada berbagai alat pertanian seperti mesin perontok dan pemipil jagung (Ekoanindiyo et al., 2022, 2024). Hasilnya, penggunaan energi surya terbukti lebih ramah lingkungan, mengurangi biaya operasional, serta mendukung keberlanjutan pertanian (Rusdi et al., 2023). Oleh karena itu, kegiatan PkM ini difokuskan pada pengembangan alat penyiraman hemat energi berbasis tenaga surya untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan mendukung ketahanan pangan di tingkat lokal.

METODE PELAKSANAAN

Pendekatan pada kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) yang sesuai dengan kebutuhan lapangan dan menghasilkan solusi aplikatif serta berkelanjutan adalah pendekatan aplikatif (Gambar 1), dimana pendekatan ini melibatkan secara aktif Mitra Kelompok Tani (Poktan) Sido Maju. Dengan tahapan yang dimulai dengan identifikasi masalah mitra, pelaksanaan kegiatan, serta evaluasi.

Pengabdian kepada Masyarakat ini melibatkan Kelompok Tani Sido Maju secara aktif dalam seluruh tahapan kegiatan, dimana kegiatan PkM ini terdapat tahapan utama sebagai berikut :

1. Sosialisasi Program

Sosialisasi program merupakan tahap awal dalam PkM ini, dimana dilakukan diskusi bersama mitra untuk mengidentifikasi permasalahan utama kelompok tani. Pada tahap ini, tim PkM akan menjelaskan secara rinci tentang tujuan program, manfaat yang diharapkan, serta peran dan kontribusi masing-masing pihak dalam kegiatan ini. Pihak yang terlibat Tim PkM (dosen dan mahasiswa) dan mitra utama Kelompok Tani Sido Maju, dan perangkat desa Juwiring yang akan mendukung kegiatan ini. Sosialisasi dilakukan dalam bentuk diskusi dan wawancara dengan ketua kelompok tani dan anggota. Tujuannya mengidentifikasi permasalahan utama yang akan diselesaikan oleh program PkM dan menjalin komunikasi yang baik antara tim PkM dan mitra.

2. Pelatihan

Pada tahap pelatihan membekali ketrampilan teknis komponen alat, cara kerja, tata cara perawatan, serta penanganan kendala ringan pada alat *spray portable* kepada mitra. Pelatihan ini juga mencakup penggunaan teknologi yang dapat membantu mereka mengoperasikan alat secara mandiri dalam jangka panjang. Pihak yang terlibat Tim PkM



(dosen dan mahasiswa) dan mitra utama Kelompok Tani Sido Maju. Pelatihan dilakukan dengan cara teori menjelaskan komponen alat *spray portable* dan praktik langsung mengoperasikan alat *spray portable*. Tujuannya membekali mitra dengan keterampilan yang diperlukan untuk menggunakan dan merawat alat secara mandiri,

3. Penerapan Teknologi

Pada tahap penerapan teknologi, tim PkM merancang alat penyiraman *spray portable* khusus untuk mitra Kelompok Tani Sido Maju. Tim PkM bersama mitra melakukan perakitan alat penyiraman, pengujian fungsionalitas, serta instalasi langsung dilakukan di lahan pertanian mitra. Uji coba dilakukan di petakan sawah yang terbesar untuk memastikan alat dapat bekerja secara optimal dengan berbagai kondisi. Pihak yang terlibat Tim PkM (dosen dan mahasiswa) dan mitra utama Kelompok Tani Sido Maju. Pelaksanaannya desain alat, pembuatan dan perakitan, uji coba, instalasi dan pengujian. Tujuannya mengaplikasikan teknologi yang telah dirancang langsung di lapangan dan memastikan alat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan mitra.

4. Pendampingan

Setelah pelatihan dan penerapan teknologi, dilakukan tahapan pendampingan dan evaluasi secara berkala. Tim PkM memantau keberhasilan alat dalam membantu proses penyiraman serta mengidentifikasi kendala teknis yang mungkin muncul. manfaat yang diharapkan, serta peran dan kontribusi masing-masing pihak dalam kegiatan ini. Pihak yang terlibat Tim PkM (dosen dan mahasiswa) dan mitra utama Kelompok Tani Sido Maju. Pelaksanaannya dengan monitoring dan bimbingan teknis. Tujuannya memastikan kelancaran penggunaan alat dan keberhasilan implementasi teknologi dan emberikan bantuan teknis untuk mengatasi masalah yang muncul

5. Evaluasi

Evaluasi dilaksanakan untuk menilai sejauh mana program berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Tim PkM akan melakukan pengamatan langsung terhadap penggunaan alat dan hasil yang dicapai, serta mengumpulkan feedback dari mitra untuk menilai keberhasilan dan kekurangan program. Pihak yang terlibat Tim PkM (dosen dan mahasiswa) dan mitra utama Kelompok Tani Sido Maju. Pelaksanaan dilaksanakan dengan pengamatan langsung, wawancara dengan nilai, dan pengukuran hasil. Tujuannya menilai keberhasilan penerapan teknologi dan mengidentifikasi tantangan yang masih perlu diatasi

6. Keberlanjutan Program

Strategi keberlanjutan yang diterapkan untuk program ini dengan cara menyerahkan alat penyiram secara resmi kepada kelompok tani untuk digunakan secara mandiri agar tidak tergantung dengan pihak luar, petani yang telah dilatih menjadi rujukan dan tutor bagi anggota yang lain dalam mengoperasikan alat. Selanjutnya dibentuk tim kecil di internal kelompok tani yang terdiri dari petani yang telah mengikuti pelatihan sebelumnya, sehingga terjadi transfer pengetahuan dan regenerasi dalam mengelola usaha tani. Tim PkM tetap berkomitmen untuk melakukan monitoring informal selama 3-6 bulan setelah program berakhir untuk membantu dalam mengembangkan kelompok tani baik secara daring, kunjungan lapangan berkala, dan forum diskusi lanjutan.





Gambar 1. Sosialisasi tim PkM dengan Ketua Poktan dan survei lokasi lahan pertanian Dengan rangkaian tahapan ini, diharapkan program PkM tidak hanya menyelesaikan masalah jangka pendek akan tetapi juga mendorong kemandirian, produktivitas, dan transformasi teknologi yang berkelanjutan di kalangan petani desa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kegiatan PkM yang dilaksanakan oleh tim, merujuk pada fokus utama yaitu meningkatkan efisiensi dan efektivitas penyiraman dilakukan pengembangan dan penerapan alat penyiram *spray portable* bertenaga surya serta sebagai solusi berkelanjutan, sekaligus mendukung ketahanan pangan tingkat lokal. Tahapan kegiatan ini telah dilaksanakan sesuai rencana, mulai dari sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, hingga pendampingan dan evaluasi.

Sosialisasi ini melibatkan seluruh anggota Kelompok Tani Sido Maju untuk memastikan bahwa mereka memahami permasalahan yang ada dan kontribusi mereka dalam solusi yang akan diimplementasikan. Pelaksanaan kegiatan PkM mendapatkan respons sangat baik dari mitra. Keterlibatan anggota kelompok tani tergolong tinggi, yaitu sebanyak 9 orang hadir penuh mengikuti seluruh rangkaian kegiatan 10 orang anggota kelompok tani atau 90% keterlibatan aktif. Peningkatan pengetahuan petani diukur melalui pre-test dan post-test pada tiga aspek utama, yaitu: (1) pengetahuan tentang komponen alat *spray portable* dan (2) pemahaman tentang cara perawatan dan *troubleshooting* ringan. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan signifikan, yaitu pengetahuan komponen alat meningkat dari 48% menjadi 90% ($\pm 42\%$). Pemahaman perawatan meningkat dari 40% menjadi 85% ($\pm 45\%$). Secara keseluruhan, terjadi rata-rata peningkatan pengetahuan sebesar 43,5%, yang menunjukkan bahwa pelatihan berhasil mentransformasi pemahaman dan kemampuan teknis petani.



Gambar 2. Pengarahan dan Pemberian Informasi Terkait Penyusunan dan Pengembangan Rancangan Alat *Spray Portable*



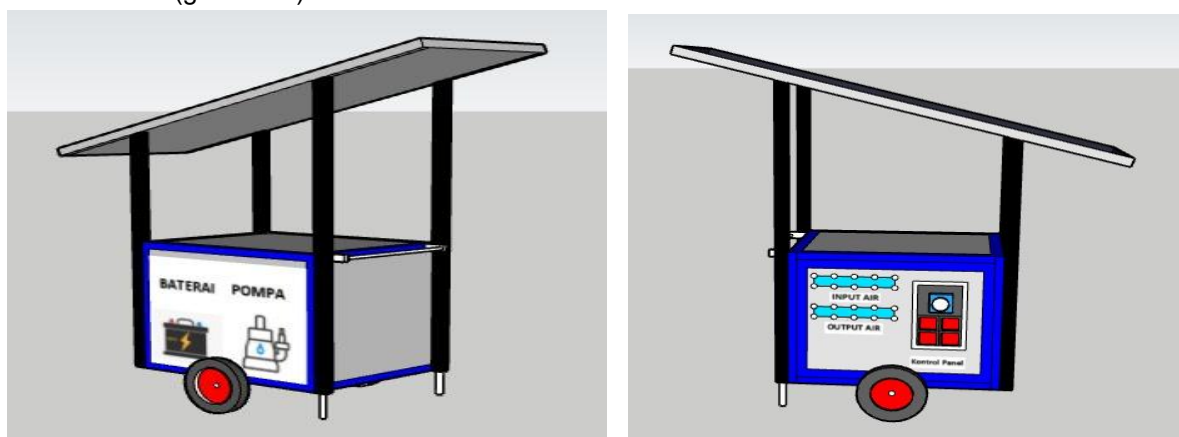
Teknologi *spray portable* tenaga surya yang dikembangkan dalam kegiatan ini dirancang khusus untuk menurunkan biaya operasional penyiraman dan meningkatkan efisiensi waktu. Adapun spesifikasi alat yang telah diterapkan kepada kelompok tani adalah panel surya 72 sel 350 WP, baterai 12 volt 120 Ah, pompa DC 12V, kapasitas 5–7 liter/menit, inverter 1000 watt PSW, tabung pemipil silinder 12 inch yang dilengkapi bilah pemipil, rangka mesin dibuat dari besi hollow 4x6 (100 x 80 x 100) dan dilengkapi empat roda 12 inch, menjadikan alat ini bersifat *mobile*, mudah dipindahkan. Setelah menggunakan alat *spray portable* tenaga surya, penyiraman tanpa biaya bahan bakar karena memanfaatkan energi surya.



Gambar 3. Pengujian Pompa Air dan Spray Tenaga Surya

Penerapan teknologi *spray portable* tenaga surya memiliki implikasi luas dalam aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Implikasi ekonomi, petani tidak lagi mengeluarkan biaya penyiraman sebesar Rp 400.000 per bulan sebagaimana saat menggunakan pompa berbahan bakar fosil. Dengan alat baru, biaya penyiraman menjadi Rp 0, sehingga terdapat penghematan Rp 1.200.000 per musim tanam. Implikasi sosial, pelatihan dan pendampingan meningkatkan kemandirian teknologi petani. Sebanyak 90% peserta mampu melakukan perawatan dan perbaikan ringan secara mandiri tanpa bantuan tim PkM. Implikasi Lingkungan, penggantian pompa berbahan bakar fosil dengan pompa tenaga surya mengurangi emisi karbon dan ramah lingkungan.

Keberhasilan program ditunjukkan dengan partisipasi aktif dari mitra dalam mengikuti setiap kegiatan. Mitra kelompok tani aktif terlibat dalam diskusi identifikasi masalah, pengoperasian mesin, hingga evaluasi kinerja alat penyiram otomatis. Sebagai pendukung ditampilkan desain alat penyiram *sprary portable* seperti pada gambar 4 dan 5. Mesin ini telah di uji coba dan digunakan rutin di lahan pertanian mitra (gambar 6).



Gambar 4. Alat penyiram tampak samping dan tampak depan





Gambar 5. Alat Spray Portable



Gambar 6. Proses Penyiraman di Lahan Mitra dan Serah Terima Alat

Pembahasan

Hasil pelaksanaan program PkM menunjukkan bahwa pengembangan dan penerapan *spray portable* bertenaga surya memberikan dampak yang signifikan terhadap kelompok tani mitra. Penurunan biaya penyiraman hingga $\pm 100\%$ pada satu periode tanam mengindikasikan bahwa teknologi ini mampu menekan biaya produksi secara substansial. Efisiensi biaya tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pemanfaatan energi surya dalam sistem irigasi pertanian dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menurunkan biaya operasional secara signifikan (Loo et al., 2025).

Selain aspek ekonomi, keberhasilan program ini juga terlihat pada aspek peningkatan kapasitas petani. Setelah mengikuti sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan, petani mitra mampu mengoperasikan dan merawat alat secara mandiri. Hal ini mencerminkan adanya transfer pengetahuan dan keterampilan yang efektif antara tim pelaksana dan mitra, sebagaimana dikemukakan oleh Astar et al. (2025) bahwa adopsi teknologi pertanian sangat dipengaruhi oleh proses edukasi dan pendampingan yang berkelanjutan. Keaktifan petani dalam setiap tahapan kegiatan memperkuat temuan bahwa pendekatan partisipatif mampu meningkatkan kemandirian dan keberlanjutan adopsi teknologi.

Secara teknis, penggunaan *spray portable* bertenaga surya terbukti meningkatkan efektivitas penyiraman. Alat ini mampu mempercepat distribusi air secara merata dan dapat dipindahkan dengan mudah ke berbagai petakan sawah. Efisiensi waktu dan tenaga kerja yang dicapai sejalan dengan temuan Yadav et al. (2020) yang melaporkan bahwa sistem irigasi berbasis energi terbarukan tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga meningkatkan produktivitas lahan melalui pengelolaan air yang lebih optimal. Dengan demikian, implementasi teknologi ini berpotensi mendukung peningkatan intensitas tanam hingga 2–3 kali per tahun sebagaimana ditunjukkan oleh studi serupa (Rizal et al.,



2024).

Dengan mempertimbangkan aspek ekonomi, teknis, dan sosial-edukatif, kegiatan PkM ini berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya pada tujuan ke-2 (*Zero Hunger*) dan tujuan ke-7 (*Affordable and Clean Energy*). Penerapan teknologi tenaga surya dalam sistem penyiraman tidak hanya memberikan solusi praktis terhadap permasalahan keterbatasan air dan tingginya biaya operasional, tetapi juga menjadi langkah strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan. Ke depan, pengembangan lebih lanjut melalui integrasi dengan sistem berbasis IoT atau kecerdasan buatan dapat meningkatkan presisi penyiraman sekaligus memperluas manfaat teknologi bagi sektor pertanian.

SIMPULAN

Kegiatan PkM yang berfokus pada pengembangan dan penerapan *spray portable* bertenaga surya telah berhasil dilaksanakan sesuai rencana, meliputi sosialisasi, pelatihan, pendampingan, hingga evaluasi. Hasil implementasi menunjukkan bahwa penggunaan alat ini mampu menurunkan biaya penyiraman hingga $\pm 80\%$ dalam satu periode tanam, sekaligus meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga kerja.

Selain manfaat ekonomi, kegiatan ini juga berdampak positif pada aspek sosial-edukatif melalui transfer pengetahuan dan keterampilan. Petani mitra dapat mengoperasikan serta merawat alat secara mandiri, menandakan tercapainya peningkatan kapasitas dan kemandirian kelompok tani dalam memanfaatkan teknologi tepat guna.

Dengan demikian, program ini tidak hanya menjawab permasalahan tingginya biaya produksi, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam mendukung ketahanan pangan dan penerapan pertanian berkelanjutan berbasis energi terbarukan. Ke depan, teknologi ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi dengan sistem berbasis digital seperti IoT untuk meningkatkan presisi, efektivitas, serta memperluas dampaknya pada sektor pertanian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

- Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas Pendanaan PKM Tahun 2025
- Direktorat Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Publikasi (DPPMP) Universitas Stikubank (UNISBANK) Semarang atas Pendampingannya
- Kepala Desa, Perangkat Desa, dan Kelompok Tani Sido Maju Desa Juwiring Kecamatan Cepiring Kabupaten Kendal atas Dukungan dan Partisipasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, L., Purwo Santosa, S., Fikri Triyanto, B., Bintang Pratama, A., & Sayyid Fadhilah, A. (2024). Penerapan Alat Penyiram Otomatis Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Energi Surya Dalam Mendukung Program Kampung Sejuta Anggrek Di Kelurahan Baru, Jakarta Timur. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, 6(2), 98–105. <https://doi.org/10.24853/jpmt.6.2.98-105>
- Ekoanindiyo, F. A., Yohanes, A., & Prihastono, E. (2022). Pengembangan desain mesin pemipil jagung tenaga matahari. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 22(2), 283–290. <https://doi.org/dx.doi.org/10.36275/stsp.v22i2.520>
- Astar, I., Setiawan, Suyanto, A., Rahayu, S., Irianti, A. T. P., Hamdani, Oktarianty, S., Widiarti, S., Ayen, R. Y., Bancin, H. D., & Asti. (2025). Sosialisasi dan Pendampingan Pertanian Organik untuk Meningkatkan Adopsi Teknologi Pertanian Berkelanjutan di Desa Temiang Mali, Kalimantan Barat melalui Pendekatan Partisipatif. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia*, 5(1), 217–222. <https://doi.org/10.54082/jamsi.1677>
- Ekoanindiyo, F. A., Kasmari, Eniyati, S., & Hayati, E. N. (2024). Empowering The Sido Maju Farmers



- Group Through The Development of A Solar-Powered Corn Thresher. *Jurnal Abdimas Musi Charitas (JAMC)*, 8(2), 165–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.32524/jamc.v8i2.1245>
- Idkham, M., Dhafir, M., & Safrizal. (2023). Peningkatan Omset Melalui Perbaikan Teknologi Produksi Petani Tauge (*Vigna Radiata*) Skala Home Industry dengan Sistem Penyiraman Otomatis Berbasis Timer. *Jurnal Pengabdian Pembangunan Pertanian Dan Lingkungan*, 1(1). <https://jurnal.lkppl.org/index.php/jp3l/article/view/14>
- Rizal, A., Abri, Taking, Muh. I., Swandi, A., & Putri, F. M. (2024). Pemanfaatan Sistem Penampungan dan Perpipaan Air Berbasis Tenaga Surya untuk Mengatasi Kekeringan dan Meningkatkan Hasil Pertanian Kelompok Tani Mekar Jaya. *Communnity Development Journal*, 5(5), 10441–10449. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/cdj.v5i5.36725>
- Rusdi, M., Muriani, Corputty, R. P., Yoga, M. P., Ronsumbre, G. C. A., & Titisari, D. B. (2023). Implementasi Teknologi Penyiraman Sistem Pengkabutan Otomatis dan Monitoring Pintar Berbasis Tenaga Surya untuk Tempat Budidaya Tanaman Anggrek UD Fairus di Kabupaten Merauke. *Akselerasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 53–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.70210/ajpm.v1i2.40>
- Loo, M. van de, Poyato, E. C., & Díaz, J. A. R. (2025). Using Solar Energy For Irrigation in Large Water Distribution Networks: A Benchmark Study About Six Irrigation Systems in The South of Spain. *Energy Nexus*, 17, 100386. <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2025.100386>
- Yadav, G., Kumar, A., Luthra, S., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., & Batista, L. (2020). A Framework to Achieve Sustainability in Manufacturing Organisations of Developing Economies using Industry 4.0 Technologies' Enablers. *Computers in Industry*, 122, 103280. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2020.103280>

