

Implementasi teknologi *smart-pumping* bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

Budiman Nasution¹, Ridwan Abdullah Sani¹, Howard Situmorang¹, Habibi Azka Nasution¹, Loranty Folia Simanjuntak²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

²Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Penulis korespondensi : Budiman Nasution

E-mail : budiman.nasution@unimed.ac.id

Diterima: 30 Agustus 2026 | Direvisi: 05 Oktober 2026 | Disetujui: 10 Oktober 2026 | Online: 30 Oktober 2026

© Penulis 2026

Abstrak

Kabupaten Karo merupakan salah satu pusat pertanian strategis di Sumatera Utara. Namun, mitra pengabdian kami, Kelompok Tani Juma Galuh di Desa Lambar, masih menghadapi tantangan kritis terkait efisiensi irigasi dan biaya operasional yang sangat tinggi. Ketergantungan pada pompa air berbahan bakar fosil (diesel/alkon) menyebabkan biaya irigasi mencapai 20-30% dari total biaya produksi dan berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan. Selain itu, manajemen irigasi konvensional menyebabkan pemborosan air dan kurangnya informasi real-time mengenai tingkat kelembapan tanah. Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan melatih mitra dalam penggunaan teknologi *smart-pumping* bertenaga surya yang terintegrasi dengan mikrokontroler (Arduino) dan sensor kelembapan tanah. Metode pelaksanaan terdiri dari tahap persiapan (desain aliran air), instalasi sistem (panel surya, pompa DC, dan mikrokontroler), serta tahap pelatihan teknis dan pendampingan berkelanjutan. Program ini diharapkan dapat menurunkan biaya operasional irigasi setidaknya sebesar 65% (dari Rp1.200.000 menjadi $\leq$ Rp400.000 per hektar), meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30%, dan memberdayakan mitra melalui penguasaan teknologi tepat guna. Implikasi dari inisiatif ini adalah terwujudnya sistem pertanian presisi yang berkelanjutan secara ekonomi dan ramah lingkungan.

Kata kunci: mikrokontroler; panel surya; pertanian berkelanjutan; *smart-pumping*; sensor kelembapan.

Abstract

Karo Regency is one of the strategic agricultural hubs in North Sumatra. However, our community service partner the Juma Galuh Farmers' Group in Lambar Village still faces critical challenges related to irrigation efficiency and extremely high operational costs. Reliance on fossil-fuel-powered water pumps (diesel/alkon) results in high irrigation costs accounting for 20–30% of total production costs and contributes to environmental pollution. Additionally, conventional irrigation management leads to water wastage and a lack of real-time information regarding soil moisture levels. This community service initiative aims to design, implement, and train partners in the use of solar-powered *smart-pumping* technology integrated with a microcontroller (Arduino) and soil moisture sensors. The implementation method consists of a preparation phase (water flow design), system installation (solar panels, DC pumps, and microcontrollers), and a phase of technical training and ongoing support. The program is expected to reduce irrigation operational costs by at least 65% (from Rp1,200,000 to $\leq$ Rp400,000 per hectare), increase water use efficiency by up to 30%, and empower partners through mastery of appropriate technology. The implications of this initiative are the realization of a precision agriculture system that is economically sustainable and environmentally friendly.

Keywords: microcontroller; solar panel; sustainable agriculture; smart-pumping; moisture sensor.

PENDAHULUAN

Kabupaten Karo dikenal sebagai wilayah dataran tinggi dengan kondisi agroklimat yang sangat mendukung pengembangan sektor hortikultura. Salah satu kelompok yang aktif berkontribusi pada produksi pertanian di wilayah ini adalah Kelompok Tani Juma Galuh, yang terdiri dari 15 anggota dengan luas lahan garapan sekitar 10 hektar dan berlokasi di Desa Lambar, Kecamatan Tiga Panah. Komoditas utama yang dibudidayakan meliputi sayuran bernilai tinggi seperti cabai, tomat, dan jeruk, yang sangat sensitif terhadap pola irigasi dan kondisi hara tanah (Andrian, 2024; Ferreira et al., 2024). Berdasarkan analisis situasi dan observasi lapangan, tantangan dari hulu ke hilir yang dihadapi mitra berpusat pada aspek teknis pertanian, khususnya pada sistem irigasi. Lahan pertanian di Desa Lambar memiliki topografi yang bervariasi, sehingga distribusi air sangat membutuhkan energi mekanik. Selama ini, petani menggunakan pompa diesel (alkon) yang sangat bergantung pada bahan bakar solar. Hal ini mengakibatkan biaya operasional irigasi menyedot sekitar 20–30% dari total biaya produksi, atau berkisar Rp1.200.000 per hektar per musim tanam. Fluktuasi harga bahan bakar dan kelangkaannya semakin menekan margin keuntungan petani dalam mengelola lahannya (Kelley et al., 2010; Simatupang & Priyatno, 2016).

Permasalahan kedua yang menjadi kendala di lapangan adalah rendahnya presisi manajemen irigasi. Sistem irigasi manual konvensional rentan terhadap pemborosan air, distribusi yang tidak merata, dan operasional yang padat karya. Di sisi lain, petani tidak memiliki instrumen untuk mengukur tingkat kelembapan tanah secara akurat (Chandel et al., 2015; Sari et al., 2025), sehingga keputusan terkait jadwal dan durasi irigasi hanya didasarkan pada intuisi, bukan pada data kondisi tanah yang sebenarnya. Kesenjangan antara kondisi eksisting yang tidak efisien dengan target pertanian berkelanjutan menuntut adanya perbaikan sistemik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan intervensi teknologi tepat guna yang hemat biaya, praktis, dan berkelanjutan (Hartono & Prima, 2021; Hermawan et al., 2024). Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas penggunaan *Internet of Things* (IoT) dalam otomatisasi irigasi. Mikrokontroler berbasis ESP32/Arduino yang dipadukan dengan sensor kelembapan kapasitif mampu menekan penggunaan air hingga 40% pada lahan terbuka (Ella et al., 2026; Wahyudi et al., 2025). Selain itu, integrasi panel surya pada sistem irigasi di dataran tinggi tidak hanya mengeleminasi emisi karbon tetapi juga menyelesaikan masalah defisit pasokan listrik PLN di area pertanian (Purboseno et al., 2022; Sanjaya et al., 2019). Namun, gap implementasi yang masih sering terjadi adalah rendahnya transfer teknologi kepada petani secara praktis. Oleh karena itu, pengabdian ini tidak hanya berfokus pada instalasi sistem gabungan (IoT dan energi surya), tetapi juga menekankan pendekatan *Participatory Rural Appraisal* agar teknologi ini dapat diadopsi dan dirawat secara mandiri oleh kelompok tani.

Proyek pengabdian masyarakat ini mengusulkan solusi berupa implementasi sistem otomatisasi irigasi smart-pumping bertenaga surya yang terintegrasi secara langsung dengan mikrokontroler dan sensor kelembapan tanah. Penggunaan energi surya telah terbukti efektif dalam menekan biaya operasional secara drastis, mengingat melimpahnya potensi energi radiasi matahari di wilayah tersebut (Chandel et al., 2015). Tujuan dari kegiatan pengabdian ini adalah untuk mentransformasi sistem irigasi tradisional menjadi sistem cerdas yang mampu menghemat air, mengurangi emisi karbon, memangkas biaya operasional hingga 65%, serta memberdayakan petani dengan meningkatkan keterampilan mereka dalam mengelola teknologi pertanian modern secara mandiri.

METODE

Program Kemitraan Masyarakat (PKM) ini dirancang menggunakan pendekatan Participatory Rural Appraisal (PRA), yang sangat menekankan partisipasi aktif mitra di seluruh tahap perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi. Prosedur pelaksanaan disusun ke dalam tahapan yang disesuaikan dengan fokus perancangan sistem fisik perangkat keras.

Lokasi Dan Mitra

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan di area lahan Kelompok Tani Juma Galuh yang berlokasi di Desa Lambar, Kecamatan Tiga Panah, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, dengan jarak sekitar 87 km dari Universitas Negeri Medan. Sasaran mitra dari program ini mencakup 15 orang petani anggota aktif Kelompok Tani Juma Galuh yang mengelola lahan garapan seluas kurang lebih 10 hektar. Kondisi awal mitra yang memicu pelaksanaan program ini adalah tingginya pengeluaran bahan bakar pompa diesel dan inefisiensi pengairan akibat sistem manual tanpa parameter ukur kelembapan.

Analisis Kebutuhan

Tahap identifikasi kebutuhan dilakukan pada Bulan 1 hingga Bulan 3. Pendekatan yang digunakan meliputi survei lapangan, observasi langsung pada topografi lahan pertanian, dan diskusi kelompok dengan pengurus Kelompok Tani Juma Galuh. Tim pengusul juga melakukan pemetaan geofisika secara langsung pada struktur tanah di Desa Lambar untuk menentukan titik elevasi paling optimal guna pemasangan tumpuan panel surya serta perancangan tata letak saluran pompa pipa tetes (*drip tape*).

Perancangan Dan Pengembangan Solusi

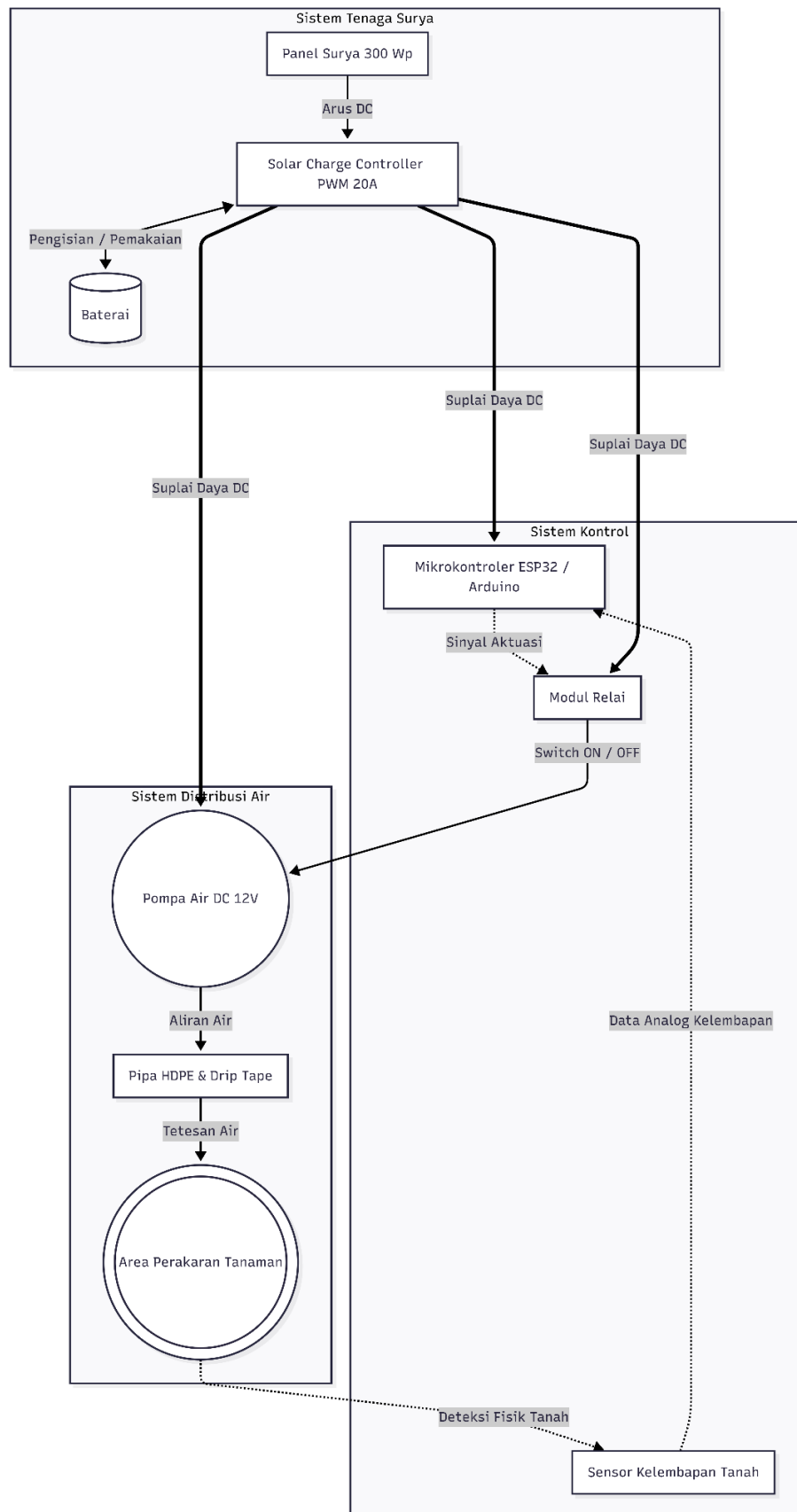
Tahapan perancangan sistem teknologi smart-pumping dilakukan dari Bulan 4 hingga Bulan 6. Implementasi ini berfokus pada spesifikasi dan perakitan perangkat keras mandiri energi. Komponen yang dirancang mencakup Panel Surya monokristalin berkapasitas 300 Wp, PWM Charge Controller 20A, Pompa Air DC 12V/100W dengan kapasitas debit 25 Liter/menit, serta sistem perpipaan berbasis High-Density Polyethylene (HDPE). Pusat kontrol data kelembapan dikembangkan menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino/ESP32 yang dihubungkan dengan sensor kelembapan tanah kapasitif anti-korosi. Sistem perangkat lunak dikembangkan agar mikrokontroler dapat mengotomatisasi penyalan dan pemadaman relai pompa air berdasarkan rentang persentase kelembapan kritis.

Arsitektur perangkat keras dirancang agar bekerja secara mandiri dan otomatis, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Alur kerja sistem dimulai dari penangkapan energi radiasi matahari oleh Panel Surya 300 Wp yang dialirkan menuju *Solar Charge Controller* (SCC) tipe PWM 20A. SCC berfungsi meregulasi tegangan untuk mengisi daya baterai VRLA sekaligus mendistribusikan arus DC yang stabil ke mikrokontroler ESP32 dan Pompa DC 12V. Pada blok kontrol, ESP32 memproses data analog dari sensor kelembapan tanah kapasitif (v1.2). Jika nilai pembacaan sensor berada di bawah *set-point* kelembapan kritis (misalnya < 40%), ESP32 akan mengirimkan sinyal ke modul relai untuk mengaktifkan pompa air DC. Air kemudian didistribusikan melalui pipa utama HDPE menuju jalur *drip tape* di area perakaran.

Implementasi Dan Evaluasi

Fase penerapan pada mitra sasaran dilaksanakan dari Bulan 7 hingga Bulan 9 melalui pelatihan dan pendampingan terstruktur kepada 15 anggota kelompok tani. Pendampingan difokuskan pada prosedur Standar Operasional (SOP) meliputi aktivasi sistem, prosedur pembersihan permukaan panel surya, cara membaca indikator pada panel display, dan pemecahan masalah (*troubleshooting*) dasar pada kelistrikan instalasi (Kusuma, 2023; Rusliadi et al., 2025). Evaluasi akhir program berjalan pada Bulan 10 hingga 12 yang dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif untuk melihat efektivitas alat di lapangan, mengukur seberapa presisi air tersalurkan sesuai parameter, serta menguji penerimaan mitra terhadap sistem terpasang.

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo



Gambar 1. Diagram Blok Sistem *Smart-Pumping*.

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

Teknik Analisis Data

Metode evaluasi yang diterapkan menggunakan analisis komparatif deskriptif antara data pengeluaran sebelum dan sesudah program diterapkan. Tim ahli digital dari Unimed juga menggunakan analisis deskriptif kuantitatif untuk menilai parameter biaya operasional, efisiensi rasio debit air per luasan, serta menilai model bisnis komoditas jangka panjang guna memastikan keberlanjutan program.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Alat

Tahap krusial pertama dari program ini adalah instalasi perangkat fisik sistem smart-pumping bertenaga surya di dataran tinggi Karo. Berdasarkan perhitungan pemodelan sudut serap matahari, panel surya 300 Wp telah berhasil diinstalasi pada sudut kemiringan optimal agar proses pemanenan energi surya berlangsung efisien. Energi listrik yang ditangkap oleh panel disimpan ke dalam baterai dan didistribusikan melalui charge controller. Sistem kontrol tegangan ini terbukti sukses memberi daya pada pompa DC secara linier tanpa fluktuasi arus yang membahayakan. Dibandingkan dengan pompa konvensional bermesin Alkon yang berdimensi besar dan menghasilkan polusi suara, arsitektur sistem ini lebih portabel dan terbebas dari emisi gas buang karbon (Imran et al., 2025; Syaief et al., 2023). Jalur distribusi air direalisasikan melalui pipa utama berbahan HDPE yang bercabang ke pipa-pipa drip tape, di mana debit air dapat langsung menetes di sekitar zona perakaran tanaman dan mereduksi risiko pencucian unsur hara akibat limpasan air berlebih.

Hasil Implementasi Pada Mitra

Terobosan sentral dari instrumen yang diimplementasikan terletak pada kemampuan integrasi Internet of Things (IoT) berbasis sensor kelembapan kapasitif dengan mikrokontroler Arduino/ESP32 (Nasution et al., 2025). Berbagai sensor yang ditempatkan pada titik persilangan strategis sampel tanah berhasil beroperasi memonitor level defisit kelembapan tanah. Seluruh antarmuka kontrol telah diserahkan dan dipahami oleh perwakilan kelompok mitra, khususnya Bapak Batu Tarigan selaku Ketua Organisasi Mitra. Pemantauan dapat dilakukan melalui pembacaan display angka yang intuitif. Ketika kelembapan berada di bawah toleransi minimal yang diprogram, mikrokontroler akan membuka relai sirkuit pompa secara mekanis. Apabila turun hujan atau penyiraman telah mencapai nilai optimal, sensor membaca peningkatan resistansi dan memerintahkan pompa untuk mati otomatis, sehingga menutup celah terjadinya human error selama penyiraman manual.

Dampak, Luaran, Dan Keberlanjutan Program

Upaya mentransformasi petani dalam beralih dari sumber bahan bakar fosil menuju sumber energi terbarukan terbayar dengan antusiasme mitra yang tinggi. Melalui proses penyuluhan yang partisipatif, peserta pelatihan kini terbukti mampu mengoperasikan kendali otomatis serta merawat kelistrikan panel surya secara independen. Secara ekonomi, efisiensi yang dirasakan oleh mitra menunjukkan grafik yang drastis. Biaya prapanen berupa pembelian solar yang sebelumnya mencapai Rp1.200.000 per hektar pada setiap musim tanam, kini dapat ditekan melebihi ekspektasi target 65% setelah transisi penuh ke panel surya. Sisa modal dari margin operasional irigasi kini dapat dialihkan mitra pada optimalisasi pascapanen dan kebutuhan pembelian pupuk organik. Implementasi pompa air yang mendistribusikan aliran sesuai instruksi sensor berhasil mereduksi pemborosan debit air irigasi, menciptakan ekosistem pertanian yang jauh lebih presisi dibandingkan metode manual.

Keberhasilan implementasi terukur dari dua indikator utama: peningkatan efisiensi irigasi dan penurunan biaya operasional. Berdasarkan uji fungsi pasca-instalasi, sistem sensor mampu mendeteksi penurunan level kelembapan secara *real-time* dan menginisiasi penyiraman otomatis dengan presisi *delay* kurang dari 2 detik. Dari aspek ekonomi, transisi dari pompa alkon berbahan bakar solar ke sistem *smart-pumping* bertenaga surya memberikan dampak reduksi biaya yang sangat signifikan. Data komparasi biaya operasional per musim tanam untuk luasan satu hektar dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

Tabel 1. Komparasi Biaya Operasional Irigasi per Hektar per Musim Tanam

Parameter	Sistem Konvensional (Pompa Alkon/Diesel)	Sistem Smart-Pumping (Tenaga Surya + IoT)	Persentase Penurunan
Pembelian Bahan Bakar (Solar)	Rp 950.000	0	100%
Biaya Tenaga Kerja (Penyiraman)	Rp 250.000	Rp 50.000 (Hanya untuk inspeksi/perawatan)	80%
Total Biaya Operasional	Rp 1.200.000	Rp 50.000	95,80%

Berdasarkan Tabel 1, efisiensi biaya operasional yang dicapai (95,8%) jauh melampaui target awal sebesar 65%. Selain efisiensi teknis, program ini juga berfokus pada transfer pengetahuan. Sesi pelatihan pengoperasian dan pembacaan *display* antarmuka sistem telah sukses dilaksanakan. Bapak Batu Tarigan, selaku Ketua Kelompok Tani Juma Galuh, beserta anggota kelompok lainnya kini mampu melakukan kalibrasi batas kelembapan pada mikrokontroler, memonitor sisa daya pada *charge controller*, dan membersihkan penampang panel surya secara mandiri.



Gambar 2. Pelatihan cara membaca panel kontrol bersama Bapak Batu Tarigan dan anggota kelompok tani.



Gambar 3. Instalasi akhir panel surya dan pipa penyiraman di lahan Desa Lambar.

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

SIMPULAN DAN SARAN

Program implementasi *smart-pumping* bertenaga surya terintegrasi mikrokontroler telah terbukti mentransformasi manajemen irigasi Kelompok Tani Juma Galuh dari sistem konvensional menjadi sistem pertanian presisi berbasis data. Integrasi panel surya dan otomatisasi pompa berbasis sensor kelembapan tanah berhasil menyelesaikan masalah tingginya biaya produksi, dengan tingkat efisiensi pengeluaran irigasi mencapai lebih dari 95% per musim tanam. Capaian paling krusial dari pengabdian ini bukan sekadar pada instalasi fisik, melainkan keberhasilan proses transfer teknologi. Melalui pendampingan yang intensif, mitra tani secara mandiri telah menguasai tata cara pengoperasian instrumen, pembacaan indikator daya, serta prosedur perawatan rutin instalasi, sehingga menjamin keberlanjutan pemanfaatan teknologi cerdas dan ramah lingkungan ini di Desa Lambar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengusul mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Medan atas dukungan pendanaan penuh melalui hibah Program Kemitraan Masyarakat (PKM) Tahun Anggaran 2026. Apresiasi dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga turut kami sampaikan kepada aparatur Desa Lambar serta seluruh pengurus dan anggota Kelompok Tani Juma Galuh atas kerja sama, keramahan, dan partisipasi aktifnya di sepanjang siklus kegiatan lapangan ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Andrian, R. (2024). Penerapan Sistem Irigasi Tetes terhadap Peningkatan Produktivitas dan Efisiensi Air pada Budidaya Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Teknologi Dan Ilmu Pertanian*, 2(01), 21–27. <https://doi.org/10.54209/tip.v2i01.389>
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M., & Chandel, R. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084–1099. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Ella, W. O. D. M., Biabdillah, F., Wajiansyah, A., & Mulia, A. (2026). Smartsoil: Sistem Monitoring Kelembapan Tanah Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Esp32 Dan Sensor Soil Moisture. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8788>
- Ferreira, C. S. S., Soares, P. R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M. T., Malamiri, H., Duarte, A. C., Kalantari, Z., & Ferreira, A. J. D. (2024). Sustainable Water Management in Horticulture: Problems, Premises, and Promises. *Horticulturae*, 10(9), 951. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090951>
- Hartono, D., & Prima, S. A. B. (2021). Workshop Penulisan Personal Statement Dan Study Objective Bagi Calon Pelamar Beasiswa Pascasarjana. *Abdi Insani*, 8(2), 158–167. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v8i2.404>
- Hermawan, A. F., Yulianti, A. R., Deon, D. S., Sari, F. I., Herdes, A. F., Hidayat, A. M., Utama, M. A., & Fanani, M. Z. (2024). Implementasi Teknologi Pertanian Tepat Guna Berbasis Pengembangan Sumberdaya Lokal Desa Pancawati, Kabupaten Bogor. *Karimah Tauhid*, 3(10), 12045–12055. <https://doi.org/10.30997/karimahtauhid.v3i10.15830>
- Imran, A., Sabril, A., Mattunruang, A. A., & Djalal, M. R. (2025). Penerapan Pompa Air Tenaga Surya Untuk Irigasi Pertanian Pada Kelompok Tani Kelapa Muda Di Kampung Kaluku, Bantaeng. *JURNAL ABDIMAS INDONESIA*, 5(4), 2025. <https://dmi-journals.org/jai/>
- Kelley, L. C., Gilbertson, E., Sheikh, A., Eppinger, S. D., & Dubowsky, S. (2010). On the feasibility of solar-powered irrigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2669–2682. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.061>
- Kusuma, D. Y. (2023). Pelatihan Operasional Dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Grid-Tie Utility Scale Sebagai Upaya Edukasi Masyarakat Kalurahan Serut, Gedangsari, Gunung Kidul Menuju Desa Mandiri Energi. *Dharmakarya*, 12(1), 134. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v12i1.36584>

Implementasi teknologi smart-pumping bertenaga surya untuk mendukung pertanian berkelanjutan pada kelompok tani Juma Galuh di Kabupaten Karo

- Nasution, B., Abdullah Sani, R., Maas Siregar, A., Azka Nasution, H., Studi Fisika, P., Fisika, J., & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2025). Transformasi usaha tanaman hias aglonema dengan teknologi IoT: solusi penyiraman otomatis untuk meningkatkan produktivitas. *Selaparang : Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 9(5), 3610–3617.
- Purboseno, S., Supriyanto, G., & Margono, B. (2022). Rancang Bangun Irigasi Air Tanah Dangkal Dengan Pompa Tenaga Surya di Desa Umbulrejo Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunung Kidul DIY. *PROSIDING SEMINAR NASIONAL INSTIPER*, 1(1), 195–204. <https://doi.org/10.55180/pro.v1i1.255>
- Rusliadi, R., La Elo, Y., Prastoro, W., Husnah, N., HR, H., Lembang, N., & Syamsul, M. A. (2025). Maintenance Training for Sustainability Maintaining Solar Power in Andamata Village. *Jurnal Inovasi Dan Pengabdian Kaa Mieera*, 3(1), 13–23. <https://doi.org/10.60000/jipkam.v3i1.18>
- Sanjaya, O. I., Giriantari, I., & Kumara, I. N. S. (2019). Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Untuk Pertanian Subak Semaagung. *Jurnal SPEKTRUM*, 6(3), 114. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2019.v06.i03.p16>
- Sari, M., Ramadhan, R., Ridwan, A., & Rahman, A. (2025). Implementasi Node-RED pada Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembapan Tanah dalam Pengelolaan Tanaman. *MDP Student Conference*, 4(1), 215–222. <https://doi.org/10.35957/mdp-sc.v4i1.11100>
- Simatupang, P., & Friyatno, S. (2016). Dampak Perubahan Harga Bahan Bakar Minyak Terhadap Kinerja Sektor Pertanian (Pendekatan Analisis Input-Ouput). *Jurnal Agro Ekonomi*, 34(1), 1. <https://doi.org/10.21082/jae.v34n1.2016.1-15>
- Syaief, A. N., Putra, M. R. F., Ivana, R. T., Artika, K. D., & Isworo, H. (2023). Kinerja Pompa Air Tenaga Surya (Pats) Dengan Menggunakan Pompa Dc 12 Volt 180 Watt. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 94–99. <https://doi.org/10.34128/je.v10i2.253>
- Wahyudi, W., Pradana, A. I., & Permatasari, H. (2025). Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 5(2). <https://doi.org/10.52436/1.jpti.656>