

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Sukarman Purba¹, Muchsin Harahap¹, Dian Putra Saragi¹, Bakti Dwi Waluyo¹, Aditiya Pratama Daryana²

¹Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Tata Boga, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia

Penulis korespondensi : Bakti Dwi Waluyo

E-mail : bakti_dw@unimed.ac.id

Diterima: 10 Juni 2025 | Direvisi: 18 Juli 2025 | Disetujui: 20 Juli 2025 | Online: 31 Juli 2025

© Penulis 2025

Abstrak

Desa Sidomulyo Kecamatan Binjai Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara menghadapi permasalahan rendahnya efisiensi sistem irigasi akibat dominasi penggunaan metode manual dan pompa berbahan bakar diesel yang menyebabkan tingginya biaya operasional serta menurunnya produktivitas lahan. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian melalui penerapan sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things (IoT) dan tenaga surya. Mitra dalam kegiatan ini adalah Kelompok Tani “Gapoktan Mulia Tani” dengan jumlah peserta sebanyak 20 petani aktif. Metode pelaksanaan mencakup sosialisasi teknologi, pelatihan praktikum penggunaan sistem, instalasi perangkat irigasi otomatis, serta pendampingan teknis selama masa implementasi. Evaluasi dilakukan melalui observasi lapangan, kuesioner, dan perbandingan data sebelum dan sesudah pelaksanaan. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan hasil panen sebesar 31% (dari 4,2 menjadi 5,5 ton per hektar), efisiensi biaya operasional sebesar 60% (dari Rp250.000 menjadi Rp100.000 per musim), serta penghapusan total penggunaan BBM. Selain itu, sebanyak 90% petani menyatakan mampu mengoperasikan dan merawat sistem secara mandiri. Program ini terbukti efektif dalam mengintegrasikan teknologi terbarukan ke dalam praktik pertanian desa dan mendukung pencapaian SDGs bidang pangan, energi bersih, dan iklim.

Kata kunci: irigasi cerdas; IoT; energi surya; petani; efisiensi pertanian.

Abstract

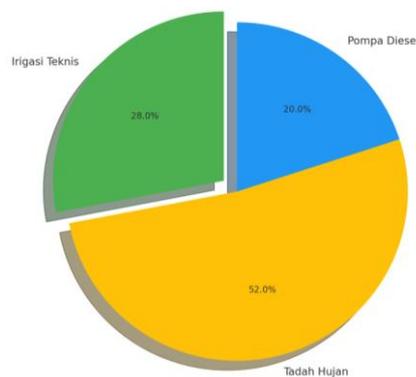
Sidomulyo Village faces low irrigation efficiency due to the widespread use of manual methods and diesel pumps, resulting in high operational costs and reduced land productivity. This community service activity aims to improve agricultural efficiency and productivity through the implementation of an Internet of Things (IoT)-based smart irrigation system powered by solar energy. The partner involved was the “Gapoktan Mulia Tani” farmer group, with 20 active farmers participating. The method included technology socialization, hands-on system operation training, device installation, and technical mentoring during the implementation phase. Evaluation was carried out through field observation, questionnaires, and pre-post implementation data comparison. The program resulted in a 31% increase in crop yields (from 4.2 to 5.5 tons/ha), a 60% reduction in irrigation costs (from Rp250,000 to Rp100,000 per season), and total elimination of fossil fuel usage. Additionally, 90% of farmers reported being able to independently operate and maintain the system. This program effectively integrates renewable technology into village farming practices and supports SDGs in food security, clean energy, and climate action.

Keywords: smart irrigation; IoT; solar energy; farmers; agricultural.

PENDAHULUAN

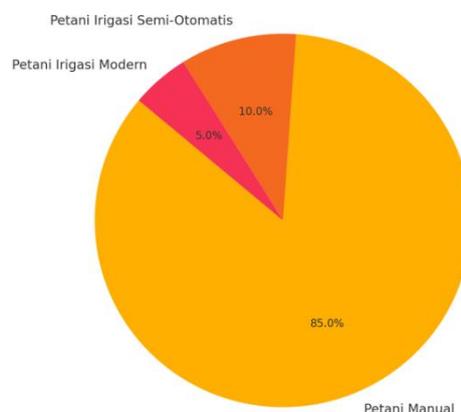
Desa Sidomulyo, yang terletak di Kecamatan Binjai, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara, merupakan wilayah dengan potensi pertanian yang besar (Lubis et al., 2024; Siregar et al., 2016). Dari total luas 2.500 hektar, sekitar 1.800 hektar atau 72% digunakan sebagai lahan pertanian produktif. Faktor agroklimat yang mendukung, seperti intensitas penyinaran matahari rata-rata 5–7 jam per hari, menjadikan desa ini ideal untuk pengembangan pertanian berkelanjutan. Namun, tantangan dalam sistem irigasi masih menjadi kendala utama yang menghambat produktivitas petani (BPS Kabupaten Langkat, 2024).

Sebagian besar lahan pertanian di Desa Sidomulyo masih bergantung pada sumber air non-teknis. Berdasarkan hasil pemetaan awal, sekitar 52% lahan mengandalkan tadah hujan, 20% menggunakan pompa berbahan bakar diesel, dan hanya 28% yang telah terhubung dengan sistem irigasi teknis. Gambar 1 menunjukkan distribusi sumber air yang digunakan oleh para petani, yang mengindikasikan bahwa sebagian besar wilayah belum terjangkau teknologi irigasi modern.



Gambar 1. Persentase Sumber Air di Desa Sidomulyo.

Hasil survei awal terhadap 20 petani mitra menunjukkan bahwa sebanyak 85% masih menggunakan sistem irigasi manual. Sistem ini bersifat tidak efisien karena memerlukan intervensi tenaga kerja yang besar dan tidak responsif terhadap kebutuhan air tanaman. Ketidakefisienan distribusi air, terutama saat musim kemarau, menyebabkan terjadinya penurunan produktivitas lahan hingga 30%. Selain penurunan hasil panen, ketergantungan pada sistem manual juga berimplikasi pada penurunan pendapatan petani, dari rata-rata Rp3.000.000 menjadi Rp1.500.000 per bulan.

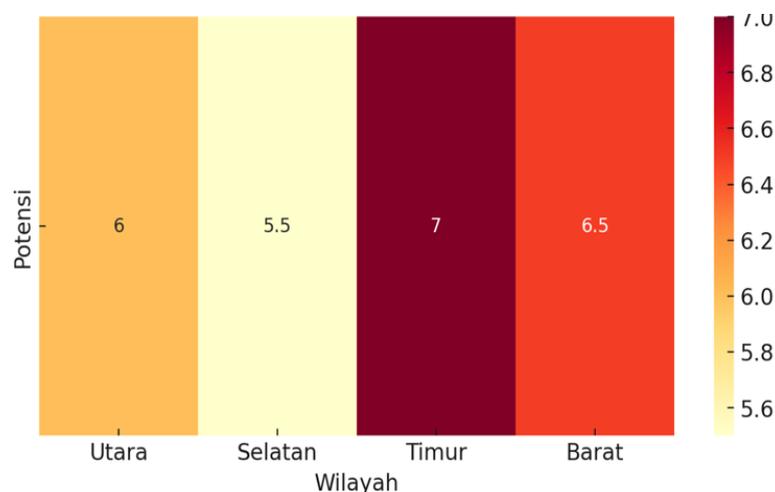


Gambar 2. Distribusi Sistem Irigasi Petani di Desa Sidomulyo.

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Sebaran sistem irigasi yang digunakan oleh petani tergambar dalam Gambar 2, di mana pendekatan tradisional masih mendominasi, dan hanya sebagian kecil petani yang mulai mengakses sistem semi otomatis maupun berbasis teknologi. Dari aspek sosial, 65% penduduk desa bekerja di sektor pertanian. Tingkat pendidikan mayoritas petani berada pada jenjang dasar dan menengah, dengan hanya 5% yang menyelesaikan pendidikan tinggi. Kesenjangan ini berdampak pada rendahnya literasi teknologi dan lambatnya adopsi sistem pertanian presisi, termasuk penggunaan sensor kelembaban, aktuator otomatis, atau sistem berbasis *Internet of Things* (IoT). Data literasi teknologi tersebut menjadi salah satu hambatan utama dalam transformasi pertanian di tingkat desa (Nagara et al., 2024; Saidah et al., 2022).

Tantangan lain yang signifikan adalah tingginya biaya operasional pertanian (Budiawati et al., 2025). Sistem irigasi berbasis pompa diesel menyumbang sekitar 20% dari total biaya produksi, dengan rerata pengeluaran mencapai Rp250.000 per hektar per musim tanam. Desa Sidomulyo memiliki potensi energi surya yang sangat baik, dengan intensitas penyinaran rata-rata mencapai 5–7 jam per hari sepanjang tahun (Gambar 3). Kondisi ini menjadikan desa tersebut sangat cocok untuk penerapan sistem energi fotovoltaik, terutama pada sektor pertanian yang memerlukan pasokan daya berkelanjutan namun minim emisi.



Gambar 3. Potensi Tenaga Surya di Desa Sidomulyo.

Menurut data potensi energi surya nasional, wilayah Sumatera bagian timur termasuk Kabupaten Langkat memiliki tingkat radiasi matahari rata-rata $>4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$, yang masuk kategori ideal untuk pengembangan sistem tenaga surya skala kecil-menengah (Afif & Martin, 2022; Nasution & Nuh, 2018). Sayangnya, potensi ini belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat setempat karena keterbatasan akses informasi, biaya awal, dan keterampilan teknis. Integrasi teknologi irigasi cerdas dengan sistem panel surya memberikan dua keuntungan utama sekaligus: kemandirian energi dan efisiensi biaya jangka panjang. Sistem ini juga mendukung tujuan pengurangan emisi karbon di sektor pertanian serta meningkatkan ketahanan energi desa (Megawati et al., 2021; Rimbawati et al., 2021).

Menanggapi permasalahan tersebut, tim pengabdian dari Universitas Negeri Medan menginisiasi penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi kebutuhan air secara real-time, yang dikendalikan oleh mikrokontroler (ESP32/Arduino) dan diintegrasikan dengan pompa air DC yang didayai oleh panel surya. Dengan sistem ini, air dialirkan secara otomatis hanya ketika kadar kelembaban tanah berada di bawah ambang batas tertentu (Ilamsyah et al., 2022; Saputra & Suryono, 2024).

Selain instalasi perangkat keras, program pengabdian ini dirancang untuk menciptakan keberlanjutan melalui pelatihan teknis dan pendampingan kepada kelompok tani mitra. Petani akan dilibatkan dalam pelatihan berbasis praktik langsung serta pengembangan kelompok tani digital sebagai bagian dari upaya pembentukan ekosistem teknologi pertanian yang mandiri.

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Program ini dilaksanakan bersama Kelompok Tani “Gapoktan Mulia Tani” sebagai mitra utama, dengan pendekatan partisipatif berbasis kebutuhan masyarakat (*community needs-based*). Kegiatan ini juga mendukung tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 2 (Tanpa Kelaparan), poin 6 (Air Bersih dan Sanitasi), poin 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), dan poin 13 (Penanganan Perubahan Iklim) (Amirya & Irianto, 2023; Prabu Aji & Kartono, 2022). Dengan pendekatan yang tepat dan dukungan teknologi, diharapkan program ini menjadi model percontohan pengembangan pertanian cerdas dan berkelanjutan di wilayah pedesaan lainnya.

METODE

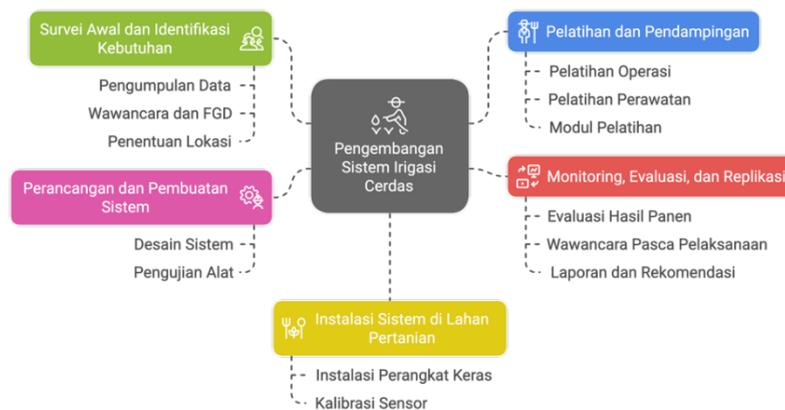
Pendekatan Kegiatan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan pendekatan partisipatif berbasis kebutuhan komunitas (*community needs-based approach*) dengan prinsip kolaborasi dan pemberdayaan. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa masyarakat, dalam hal ini Kelompok Tani Gapoktan Mulia Tani, tidak hanya menjadi penerima manfaat, tetapi juga menjadi mitra aktif dalam setiap tahapan kegiatan. Metode pelaksanaan mengacu pada prinsip *Community-Based Participatory Research* (CBPR), di mana desain, pelaksanaan, dan evaluasi kegiatan dilakukan secara inklusif dan adaptif terhadap kondisi sosial, ekonomi, dan budaya lokal. Kegiatan ini dirancang agar teknologi yang diperkenalkan tidak hanya terpasang secara fisik, tetapi juga terintegrasi dalam praktik pertanian masyarakat secara berkelanjutan.

Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Program ini dilaksanakan di Desa Sidomulyo, Kecamatan Binjai, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara, dengan melibatkan 20 petani aktif dari Kelompok Tani Gapoktan Mulia Tani. Pelaksanaan kegiatan berlangsung selama 4 bulan, dari Februari hingga Mei 2025, meliputi tahapan survei, instalasi, pelatihan, dan evaluasi.

Tahapan Pelaksanaan



Gambar 4. Alur Pelaksanaan Program Pengabdian Kepada Masyarakat.

Tahapan kegiatan dirancang secara sistematis dan dijelaskan melalui diagram pada Gambar 4, serta dirincikan sebagai berikut:

1. Survei Awal dan Identifikasi Kebutuhan

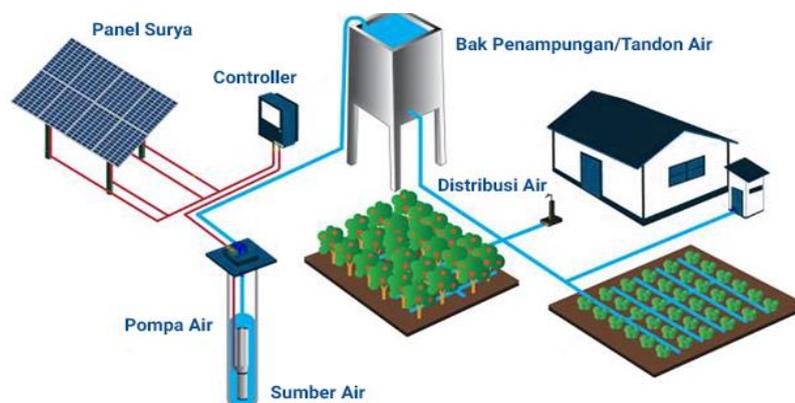
Tahap awal pelaksanaan kegiatan diawali dengan pemetaan kondisi eksisting sistem irigasi yang digunakan oleh petani di Desa Sidomulyo serta identifikasi potensi pemanfaatan energi surya sebagai sumber daya alternatif. Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai tantangan teknis dan peluang implementasi teknologi tepat guna di tingkat lokal. Proses ini dilanjutkan dengan penyelenggaraan wawancara mendalam dan diskusi kelompok terfokus (*Focus Group Discussion/FGD*) yang melibatkan petani, tokoh masyarakat, dan perangkat desa.

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Tujuannya adalah untuk menggali persepsi petani terhadap teknologi irigasi otomatis, menilai kesiapan adopsi teknologi baru, serta merumuskan kebutuhan pelatihan dan pendampingan. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, ditetapkan lokasi lahan percontohan yang representatif serta ditentukan sejumlah petani mitra yang akan dilibatkan secara aktif dalam proses instalasi, pelatihan, dan pemeliharaan sistem irigasi cerdas yang dirancang.

2. Perancangan dan Pembuatan Sistem

Tahap selanjutnya adalah perancangan dan pembuatan sistem irigasi cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dan tenaga surya. Sistem ini dirancang untuk menjawab tantangan efisiensi penggunaan air sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil yang selama ini mendominasi operasional pertanian di Desa Sidomulyo. Komponen utama yang digunakan dalam sistem meliputi sensor kelembaban tanah, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, pompa air DC untuk distribusi air ke tanaman, serta panel surya sebagai sumber energi terbarukan yang bekerja secara mandiri tanpa ketergantungan pada jaringan listrik PLN.

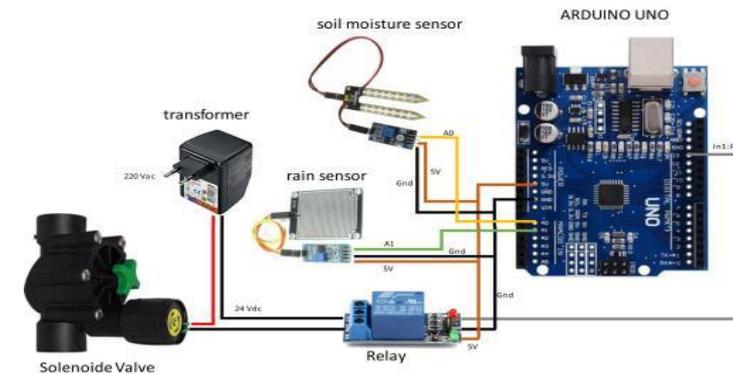


Gambar 5. Desain Umum Sistem Irigasi Berbasis IoT dan Tenaga Surya.

Gambar 5 memperlihatkan skema dasar sistem irigasi yang diimplementasikan, mulai dari panel surya sebagai sumber daya, hingga pompa air dan saluran irigasi tetes. Sistem ini dirancang dengan prinsip kesederhanaan dan efisiensi energi agar dapat direplikasi oleh petani secara mandiri dan mudah dalam perawatan. Seluruh perangkat dikonfigurasi untuk bekerja secara otomatis berdasarkan data real-time dari sensor yang tertanam di dalam tanah, sehingga penyiraman dilakukan hanya saat kadar kelembaban tanah berada di bawah ambang batas tertentu.

Proses perakitan sistem dilakukan di laboratorium mitra universitas, dimulai dari pemrograman mikrokontroler, integrasi sensor dan aktuator, hingga uji logika sistem. Untuk memastikan kinerja yang stabil, dilakukan simulasi dan kalibrasi di lingkungan terkendali, dengan pengukuran terhadap keakuratan sensor serta ketepatan sistem dalam merespons perubahan kadar kelembaban. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara otomatis, adaptif terhadap kondisi lapangan, dan hemat energi.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, sistem kontrol otomatis ini memproses data dari sensor kelembaban, yang dikirim ke mikrokontroler. Apabila nilai kelembaban berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, mikrokontroler akan mengaktifkan pompa DC untuk mengalirkan air ke zona akar tanaman. Setelah tingkat kelembaban tercapai, sistem akan menghentikan penyiraman secara otomatis. Skema ini juga menunjukkan bahwa sistem dapat dimodifikasi untuk ditambahkan modul WiFi atau GSM agar dapat dipantau secara jarak jauh, meskipun pada tahap awal pengabdian ini difokuskan pada sistem *standalone* tanpa koneksi internet.



Gambar 6. Diagram Sistem Kontrol Otomatis IoT untuk Irigasi.

3. Instalasi Sistem di Lahan Pertanian

Setelah sistem dirancang dan diuji di lingkungan laboratorium, tahapan selanjutnya adalah instalasi sistem irigasi cerdas di lahan percontohan milik petani mitra. Lokasi percontohan dipilih berdasarkan hasil identifikasi awal yang mempertimbangkan akses sinar matahari, ketersediaan lahan aktif, serta kesiapan petani dalam mengadopsi teknologi baru. Sebanyak dua hingga tiga petak lahan pertanian digunakan sebagai lokasi implementasi awal. Instalasi dimulai dengan pemasangan panel surya di area terbuka yang memperoleh paparan cahaya matahari optimal. Panel ini berfungsi sebagai sumber utama energi listrik untuk mengoperasikan mikrokontroler dan pompa air DC, menjadikan sistem ini sepenuhnya mandiri secara energi.

Selanjutnya, dilakukan penanaman sensor kelembaban tanah di zona perakaran utama tanaman, pada kedalaman sekitar 10–15 cm, tergantung jenis tanaman dan kondisi tanah. Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 yang sebelumnya telah diprogram untuk mengaktifkan pompa air secara otomatis jika kelembaban tanah turun di bawah ambang batas tertentu. Sistem irigasi tetes yang telah dipasang akan menyalurkan air langsung ke akar tanaman melalui jaringan pipa fleksibel, sehingga efisiensi distribusi air dapat dimaksimalkan.

Instalasi seluruh komponen dilakukan secara bertahap dengan melibatkan petani mitra secara langsung sebagai bagian dari proses pembelajaran lapangan. Setelah sistem terpasang, dilakukan proses kalibrasi sensor dan pengujian sistem secara menyeluruh selama dua minggu awal. Pengujian ini mencakup observasi terhadap respons sistem terhadap perubahan kadar kelembaban, efektivitas aliran air, serta kestabilan suplai energi dari panel surya selama berbagai kondisi cuaca. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar untuk menyempurnakan pengaturan ambang batas kelembaban dan memperkuat penyesuaian teknis di lapangan.

4. Pelatihan dan Pendampingan

Setelah sistem berhasil diinstal dan diuji di lahan percontohan, kegiatan dilanjutkan dengan tahapan pelatihan dan pendampingan teknis kepada petani mitra. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas petani dalam mengoperasikan, memelihara, serta memecahkan masalah teknis sederhana yang mungkin muncul selama penggunaan sistem. Pelatihan disusun secara aplikatif dan kontekstual, dengan pendekatan *learning by doing*, sehingga petani dapat memahami secara langsung proses kerja sistem dari pembacaan data sensor hingga aktivasi pompa air otomatis.

Materi pelatihan meliputi pengenalan komponen sistem (sensor, mikrokontroler, pompa, dan panel surya), cara membaca tingkat kelembaban tanah, identifikasi kondisi error atau kerusakan sistem, serta prosedur perawatan berkala seperti pembersihan panel surya dan pemeriksaan kabel. Untuk mendukung keberlanjutan pengetahuan, tim pengabdian juga menyusun modul pelatihan dalam format cetak dan digital, berisi panduan bergambar dan bahasa sederhana yang mudah dipahami oleh petani dengan latar belakang pendidikan dasar hingga menengah.

Pendekatan pelatihan dan pendampingan ini dirancang agar tidak berhenti pada transfer teknologi, tetapi menciptakan rasa memiliki (*sense of ownership*) dan tanggung jawab bersama terhadap

keberlanjutan sistem. Dengan demikian, diharapkan masyarakat mampu mengelola teknologi secara mandiri bahkan setelah program pengabdian selesai dilaksanakan.

5. Monitoring, Evaluasi, dan Replikasi

Tahapan terakhir dari pelaksanaan kegiatan ini adalah monitoring dan evaluasi terhadap kinerja sistem serta penyusunan strategi replikasi. Monitoring dilakukan secara rutin selama masa implementasi untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan logika kontrol yang telah ditetapkan, khususnya dalam merespons perubahan kadar kelembaban tanah dan kestabilan suplai energi dari panel surya. Parameter yang diamati mencakup tingkat efektivitas penyiraman, volume air yang digunakan, frekuensi aktivasi pompa, serta kestabilan perangkat keras dan perangkat lunak sistem. Seluruh data ini didokumentasikan sebagai dasar evaluasi teknis.

Evaluasi dampak program dilakukan melalui perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan sistem, baik dari sisi efisiensi penggunaan air, peningkatan hasil panen, maupun penurunan biaya operasional irigasi. Selain evaluasi kuantitatif, dilakukan pula penilaian kualitatif melalui wawancara dan kuesioner kepada petani mitra untuk mengukur perubahan pengetahuan, keterampilan, dan persepsi mereka terhadap teknologi yang digunakan. Dari hasil evaluasi ini, disusun rekomendasi teknis dan sosial yang dapat dijadikan acuan untuk menyempurnakan sistem maupun memperluas cakupannya.

Sebagai bagian dari strategi keberlanjutan, kegiatan ini juga menghasilkan dokumen teknis berupa manual instalasi dan panduan replikasi sistem yang disusun dalam bahasa sederhana dan disesuaikan dengan konteks lokal. Dokumen ini ditujukan untuk mendukung kelompok tani, dinas pertanian, serta komunitas lain yang ingin mengadopsi sistem serupa di wilayah mereka. Dengan demikian, pengabdian ini tidak hanya berdampak pada peningkatan efisiensi pertanian di Desa Sidomulyo, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan model pertanian cerdas dan mandiri energi yang dapat direplikasi di berbagai wilayah pedesaan lainnya di Indonesia

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan program pengabdian masyarakat di Desa Sidomulyo menghasilkan sejumlah capaian penting dari aspek teknis, efisiensi sumber daya, dan respons petani terhadap penggunaan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya. Kegiatan ini telah berhasil melalui seluruh tahapan dengan baik, mulai dari perancangan sistem, instalasi di lahan mitra, hingga pelatihan dan monitoring dampak langsung di tingkat petani.

Hasil Implementasi Sistem

Sistem terdiri dari mikrokontroler ESP32, dua sensor kelembaban tanah, pompa air DC *submersible* 12V, dua panel surya 100 WP, dan *solar charge controller* yang terhubung dengan sistem penyimpanan daya (battery 12V 18Ah). Perangkat ini dipasang di lahan petani dan dikalibrasi untuk menyiram tanaman secara otomatis saat kelembaban tanah berada di bawah 40%.



Gambar 7. Pompa Air DC Ketika Diimplementasikan Ke Lahan Sawah.

Sensor mampu membaca kelembaban tanah secara *real-time* dan mengaktifkan pompa air melalui mikrokontroler secara otomatis. Sistem pemantauan dapat diakses melalui antarmuka lokal berbasis web seperti ditunjukkan dalam Gambar 8. Energi sistem sepenuhnya disuplai oleh dua panel surya 100

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

WP, yang mampu menghasilkan daya harian rata-rata lebih dari 600 Wh. Instalasi panel ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 8. Sistem Monitoring dengan IoT.



Gambar 9. Panel Surya Kapasitas 100 WP sebanyak 2 Unit.

Efisiensi Konsumsi Energi dan Biaya Operasional

Salah satu dampak paling signifikan dari implementasi sistem ini adalah penghapusan total penggunaan bahan bakar minyak (BBM). Sebelumnya, petani menggunakan rata-rata 18–20 liter solar per musim tanam untuk mengoperasikan pompa diesel. Dengan beralih ke energi surya, sistem kini bebas dari ketergantungan BBM. Akibatnya, biaya operasional juga menurun drastis, dari sekitar Rp250.000 menjadi Rp100.000 per musim. Penurunan ini berasal dari eliminasi total biaya pembelian BBM dan pengurangan upah tenaga kerja untuk penyiraman manual. Dari sisi produktivitas, hasil panen tercatat meningkat sebesar 31%, dari 4,2 ton per hektar menjadi 5,5 ton per hektar (Tabel 1). Data hasil panen diperoleh dari pencatatan produksi dua petak lahan mitra selama musim tanam Februari–April 2025, berdasarkan timbangan langsung oleh petani dibantu tim pengabdian.

Tabel 1. Perbandingan Parameter Pertanian Sebelum dan Sesudah Implementasi Sistem Irigasi Cerdas

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Parameter	Sebelum (manual + diesel)	Sesudah (IoT+Surya)	Efisiensi/Kenaikan
Konsumsi BBM (liter/musim/petak)	20	0	Naik 100%
Biaya Operasional Irigasi	Rp 250.000	Rp 100.000	Naik 100%
Hasil Panen (ton per hektar)	4,2	5,5	Naik 31%

Evaluasi Program, Peningkatan Kapasitas Petani, dan Strategi Replikasi

Menjawab kebutuhan untuk memastikan keberlanjutan dan kemandirian mitra, evaluasi program dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif sesuai metode yang dirancang. Evaluasi kuantitatif dilakukan melalui perbandingan data sebelum dan sesudah implementasi, yang hasilnya telah dipaparkan pada peningkatan hasil panen dan efisiensi biaya.

Sementara itu, evaluasi kualitatif dilakukan melalui kuesioner pascapelatihan dan diskusi kelompok terfokus (FGD) untuk mengukur peningkatan kapasitas petani. Hasilnya menunjukkan bahwa 90% petani menyatakan mampu mengoperasikan sistem secara mandiri, memahami cara memantau kelembaban tanah, dan merespons gangguan teknis sederhana. Suasana kegiatan pelatihan yang interaktif terekam dalam Gambar 10.



Gambar 10. Pelatihan dan Pendampingan Petani Mitra.

Sebagai tindak lanjut dari hasil evaluasi, diidentifikasi bahwa petani memerlukan dukungan berkelanjutan untuk penanganan masalah teknis yang lebih kompleks dan untuk menjaga adopsi teknologi dalam jangka panjang. Serta Menyadari latar belakang petani yang tidak familiar dengan bidang elektronik, tim menyusun dokumen teknis berupa manual instalasi dan panduan replikasi. Dokumen ini dirancang dengan bahasa sederhana, dilengkapi ilustrasi langkah demi langkah, dan disesuaikan dengan konteks lokal. Panduan ini mencakup daftar komponen, rekomendasi tempat pembelian, serta prosedur perakitan dan perawatan dasar. Tujuannya adalah agar Kelompok Tani "Gapoktan Mulia Tani" dapat mereplikasi sistem secara mandiri dan menjadi pusat rujukan bagi petani lain di Desa Sidomulyo, sehingga teknologi ini dapat menyebar secara organik. Langkah ini dirancang untuk memastikan bahwa teknologi yang diperkenalkan tidak hanya terpasang, tetapi juga terintegrasi secara berkelanjutan dan dapat direplikasi oleh komunitas, sejalan dengan tujuan utama program untuk menciptakan kemandirian teknologi di tingkat desa.

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

Peningkatan Kapasitas Petani

Hasil implementasi memperlihatkan bahwa sistem irigasi otomatis berbasis IoT dan tenaga surya dapat menjadi solusi praktis dan berkelanjutan untuk pertanian skala kecil di daerah pedesaan. Efisiensi sumber daya dan peningkatan hasil produksi memperkuat temuan dari studi Nanda et al. (2024) dan Nuryanti et al. (2024), yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi sensor dan otomatisasi mampu meningkatkan produktivitas hingga 30–50% dan menurunkan emisi karbon secara signifikan (Nanda et al., 2024; Nuryanti et al., 2024). Lebih jauh, kegiatan ini mendukung pencapaian empat poin dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), yaitu:

- a. SDG 2 (Tanpa Kelaparan): melalui peningkatan hasil produksi pangan,
- b. SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi): karena sistem hanya menyiram saat diperlukan,
- c. SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau): melalui pemanfaatan panel surya,
- d. SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim): karena penghapusan penggunaan BBM dan emisi CO₂.Pelatihan

SIMPULAN DAN SARAN

Pelaksanaan program pengabdian masyarakat di Desa Sidomulyo melalui penerapan sistem irigasi cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dan tenaga surya berhasil meningkatkan produktivitas pertanian secara signifikan. Sistem ini mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dengan penghapusan total konsumsi solar dari 20 liter per musim tanam menjadi 0 liter, yang berdampak langsung pada pengurangan biaya operasional sebesar 60%, dari Rp250.000 menjadi Rp100.000 per musim tanam. Produktivitas lahan mengalami peningkatan sebesar 31%, dari 4,2 ton per hektar menjadi 5,5 ton per hektar. Selain itu, melalui pelatihan teknis dan pendampingan langsung kepada petani mitra, sebanyak 90% petani mampu mengoperasikan sistem secara mandiri, memahami pemantauan kelembaban tanah, dan merespon gangguan teknis sederhana. Program ini tidak hanya mengoptimalkan potensi energi terbarukan desa tetapi juga mendukung empat tujuan Sustainable Development Goals (SDGs), yaitu SDG 2 (Tanpa Kelaparan), SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi), SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim).

Untuk pengembangan program lebih lanjut, disarankan agar dilakukan perluasan implementasi sistem irigasi cerdas ini ke lahan pertanian lain di Desa Sidomulyo dan wilayah sekitar untuk menciptakan skala ekonomi yang lebih besar dan dampak yang lebih luas. Hambatan teknis seperti potensi gangguan pada sensor dan kendala operasional pada musim hujan perlu diantisipasi dengan peningkatan teknologi sensor tahan air dan sistem kontrol yang lebih adaptif terhadap kondisi cuaca ekstrem. Selain itu, diperlukan penguatan kapasitas petani melalui pelatihan lanjutan yang mencakup manajemen data pertanian digital, pemeliharaan perangkat teknologi secara mandiri, serta pengelolaan kelompok tani digital untuk meningkatkan literasi teknologi dan kemandirian komunitas dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Medan yang telah memberikan dukungan penuh melalui pendanaan dari Dana Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) Unimed Tahun Anggaran 2025. Dukungan ini memungkinkan terlaksananya kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan optimal sehingga berhasil memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo. Terimakasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu kelancaran pelaksanaan program ini, terutama Kelompok Tani Gapoktan Mulia Tani yang menjadi mitra utama dalam kegiatan ini.

DAFTAR RUJUKAN

Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 6(1), 43. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i1.997>

Penerapan sistem irigasi cerdas berbasis IoT dan tenaga surya untuk meningkatkan produktivitas pertanian di Desa Sidomulyo Kabupaten Langkat

- Amirya, M., & Irianto, G. (2023). Tantangan Implementasi Sustainable Development Goals (SDGs) di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Akuntansi Peradaban*, 9(1), 187–198. <https://doi.org/10.24252/jiap.v9i1.38916>
- BPS Kabupaten Langkat. (2024). *Kabupaten Langkat Dalam Angka Tahun 2024* (17th ed., Vol. 17). BPS Kabupaten Langkat. <https://langkatkab.bps.go.id/id/publication/2024/02/28/cc534f0746f238773af35c9c/kabupaten-langkat-dalam-angka-2024.html>
- Budiawati, Y., Gunawan, G., & Suherana, S. (2025). Smart Agriculture vs Pertanian Konvensional: Tantangan atau Peluang Pertanian Masa Depan di Indonesia? *Agri Wiralodra*, 17(1), 16–28. <https://doi.org/10.31943/agriwiralodra.v17i1.119>
- Ilamsyah, Jawahir, & Akhyar, M. (2022). Pemanfaatan Alat Pendeteksi Kelembaban Tanah dan Suhu Pohon Mangrove Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Informatika*, 8(2), 59–66. <https://doi.org/10.51998/jti.v8i2.498>
- Lubis, A. A. P., Safrida, E., & Situngkir, A. (2024). Pengaruh Efektivitas dan Strategi Pengelolaan Dana Desa Terhadap Pembangunan di Desa Sidomulyo Kecamatan Binjai Kabupaten Langkat. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP) 2024*, 405–412. <https://doi.org/10.51510/konsep.v5i1>
- Megawati, E., Handoko, S., & Zahra, A. A. (2021). Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid pada Atap Kandang Ayam Closed House di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(2), 384–389. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i2.384-389>
- Nagara, Y. S., Yuliati, Y., & Toyba, H. (2024). Peran Dinas Terkait dalam Pemanfaatan Teknologi Informasi di Desa Temayang Kecamatan Temayang Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(3), 2012. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v24i3.5529>
- Nanda, A. P., Jeprianto, J., & Mahdi, M. I. (2024). Sistem Otomatis Penyiram Tanaman Berbasis Sensor Kelembaban Tanah untuk Peningkatan Produktivitas Pertanian. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 15(4), 764. <https://doi.org/10.31602/tji.v15i4.16300>
- Nasution, M. I., & Nuh, M. (2018). Kajian Iklim Berdasarkan Klasifikasi Oldeman di Kabupaten Langkat. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, 3(2). <https://doi.org/10.30829/jistech.v3i2.3157>
- Nuryanti, Bhaskoro, S. B., & Erliansyah, M. F. (2024). Manajemen Pengondisian Suhu Ruang Berdasarkan Beban Termal Menggunakan Sensor Thermopile Infrared Array. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 13(2), 277–288. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v13i2.83996>
- Prabu Aji, S., & Kartono, D. T. (2022). Kebermanfaat Adanya Sustainable Development Goals (Sdgs). *Journal of Social Research*, 1(6), 507–512. <https://doi.org/10.55324/josr.v1i6.110>
- Rimbawati, Siregar, Z., Yusri, M., & Al Qamari, M. (2021). Penerapan Pembangkit Tenaga Surya pada Objek Wisata Kampung Sawah Guna Mengurangi Biaya Pembelian Energi Listrik. *MARTABE: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 145–151. <https://doi.org/10.31604/jpm.v4i1.145-151>
- Saidah, N., Khasanah, L., Asriyatuzzahra, & Ridloah, S. (2022). Analisis Strategi Kesuksesan Kampung Digital Krandegan dalam Mendukung Program Smart Village. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 6(2), 123–135. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2022.6.2.123-135>
- Saputra, M. J., & Suryono, R. R. (2024). Implementasi Teknologi Irigasi Tetes pada Tanaman Jagung Menggunakan Sensor Soil Moisture dan Mikrokontroler Esp 32. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 111–118. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1642>
- Siregar, S., Rangkuti, K., & Norman. (2016). Analisis Optimasi Penggunaan Input Produksi pada Usaha Tani Mentimun. *AGRIUM: Jurnal Ilmu Pertanian*, 20(2), 139–146. <https://doi.org/10.30596/agrium.v20i2.637>