

Implementasi Teknologi *Smart Farming* Berbasis IoT untuk Ketahanan Pangan Berkelanjutan dan *Green Economy*

Vera Noviana Sulistyawan^{1*}, Maharani Kusumaningrum²,
Khoirudin Fathoni³, Muhammad Zidna Mubarak⁴, Heru Abi Waskito⁵,
Stifani Aprilia⁶, Sulthan Helmy Athallah⁷

^{1, 3, 4, 5, 7} Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang

^{2, 6} Teknik Kimia, Universitas Negeri Semarang

* veranovianas@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Desa Kiringan di Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, merupakan wilayah pertanian yang menghadapi tantangan keterbatasan lahan, rendahnya akses pelatihan teknologi, dan risiko kerugian akibat perubahan iklim. Kegiatan pengabdian ini bertujuan meningkatkan kapasitas dan kemandirian Kelompok Wanita Tani "Sekar Makmur" melalui penerapan teknologi pertanian modern berbasis sistem budidaya ikan dan tanaman yang terintegrasi dengan pemantauan digital serta pelatihan pembuatan pakan organik. Metode pelaksanaan meliputi tahapan persiapan, sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, serta pendampingan dan evaluasi secara partisipatif, dengan melibatkan 15 anggota kelompok wanita tani sebagai peserta utama. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan signifikan pada pengetahuan dan keterampilan peserta, yang tercermin dari rata-rata hasil evaluasi pasca pelatihan sebesar 98,5 persen. Peserta mampu merakit, mengoperasikan, dan memantau sistem pertanian digital secara mandiri, serta memproduksi pakan organik untuk mendukung keberlanjutan usaha. Manfaat yang dirasakan meliputi efisiensi kerja, penurunan biaya produksi, peningkatan kualitas hasil budidaya, serta tumbuhnya kepercayaan diri dan kemandirian kelompok dalam mengadopsi teknologi. Kegiatan ini membuktikan bahwa transfer teknologi digital yang terstruktur dan berbasis partisipasi masyarakat dapat mempercepat transformasi pertanian berkelanjutan di tingkat desa, serta menjadi model pemberdayaan yang dapat direplikasi di komunitas lain.

Kata Kunci: *IoT, smart farming, green economy*

Pendahuluan

Desa Kiringan, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, merupakan wilayah dengan jumlah penduduk 2.269 jiwa, terdiri dari 1.136 laki-laki dan 1.133 perempuan. Sektor pertanian menjadi tumpuan utama ekonomi desa, dengan 467 dari 1.095 penduduk produktif (42,6%) bekerja sebagai buruh tani. Indonesia masih memiliki banyak wilayah yang dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian, salah satunya adalah pertanian padi di lahan sawah. Indonesia masih memiliki banyak area yang digunakan untuk kegiatan pertanian,

salah satunya adalah budidaya padi di lahan sawah, yang merupakan lahan pertanian yang terbagi menjadi petak-petak kecil, dipisahkan oleh pematang (galengan), dan dilengkapi dengan saluran untuk mengendalikan aliran air (Pratiwi & Ritonga, 2022). Namun, sebagian besar buruh tani tidak memiliki lahan sendiri, meskipun wilayah desa didominasi area persawahan.

Kelompok wanita tani "Sekar Makmur" di desa ini menghadapi berbagai tantangan, seperti rendahnya akses pelatihan teknologi pertanian, keterbatasan infrastruktur, keterbatasan lahan, serta risiko kerugian akibat perubahan iklim. Instalasi hidroponik yang pernah diterima kini terbengkalai karena kurangnya pendampingan dan keterampilan operasional. Ketergantungan pada metode konvensional dan lahan terbatas memperburuk situasi, sehingga diperlukan solusi inovatif berbasis teknologi. Pertanian konvensional yang masih menggunakan bahan kimia sintetis seperti pupuk dan pestisida secara berlebihan sering menyebabkan pencemaran tanah dan air, sehingga berdampak negatif pada kualitas ekosistem serta kesehatan manusia (Laia dkk., 2025).

Perubahan iklim juga menjadi faktor krusial yang berdampak langsung pada keberlanjutan pertanian rakyat. Perubahan pola curah hujan, suhu yang ekstrem, serta dampak El Nino dan La Nina mengakibatkan penurunan produktivitas pertanian, bahkan berpotensi menimbulkan kegagalan panen yang mengancam kesejahteraan petani kecil dan ketahanan pangan nasional (Harahap dkk., 2025). Kondisi ini menegaskan pentingnya strategi adaptasi, seperti penyesuaian pola tanam, pemanfaatan varietas unggul tahan iklim, serta penerapan teknologi pengelolaan air dan irigasi, agar komunitas petani mampu bertahan menghadapi risiko perubahan iklim.

Selain itu, konsep *urban farming* juga mulai banyak dikembangkan sebagai solusi menjaga ketahanan pangan di tengah keterbatasan lahan. (Setiawan & Pratama, 2024) menjelaskan bahwa kegiatan urban farming dengan pendekatan budidaya sayuran hijau melalui teknik vertikultur mampu memanfaatkan lahan sempit secara optimal sekaligus menyediakan pangan sehat bagi masyarakat. Kegiatan ini bahkan melibatkan kelompok ibu-ibu PKK sebagai penggerak utama, sehingga tidak hanya berkontribusi pada pemenuhan kebutuhan pangan, tetapi juga pada pemberdayaan perempuan dan peningkatan ekonomi keluarga. Temuan tersebut menunjukkan bahwa praktik pertanian modern berbasis lahan terbatas dapat diterapkan tidak hanya di wilayah perkotaan, tetapi juga relevan di pedesaan, seperti yang dihadapi oleh Kelompok Wanita Tani "Sekar Makmur".

Peran perempuan tani juga sangat strategis dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Strategi pemberdayaan yang menitikberatkan pada peningkatan kapasitas, penguatan lembaga, serta perluasan akses pasar terbukti mampu meningkatkan peran perempuan tani sebagai agen perubahan dalam mendukung terwujudnya pertanian berkelanjutan di Kecamatan Konda (Kasim dkk., 2025). Dengan demikian, pemberdayaan Kelompok Wanita Tani "Sekar Makmur" melalui implementasi *smart farming* berbasis IoT tidak hanya bertujuan meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperkuat kemandirian ekonomi perempuan desa secara berkelanjutan. Penelitian serupa di Desa Sri Bandung, Banyuasin, juga menunjukkan bahwa Kelompok Wanita Tani berperan penting dalam meningkatkan perekonomian keluarga melalui kegiatan pengolahan hasil pertanian menjadi produk bernilai tambah, seperti keripik pisang dan singkong, kegiatan tersebut

tidak hanya memberikan kontribusi ekonomi, tetapi juga mendorong peningkatan keterampilan serta kemandirian perempuan desa (Kahfi dkk., 2024).

Pendampingan intensif, pelatihan terstruktur, serta modernisasi sistem hidroponik menjadi kebutuhan mendesak. Tujuan idealnya adalah masyarakat mampu mengadopsi teknologi pertanian modern untuk meningkatkan hasil panen, mengurangi ketergantungan lahan sawah, dan menciptakan diversifikasi usaha berkelanjutan. Namun, kesenjangan antara kondisi ideal dan realita masih besar, terutama terkait keterbatasan pengetahuan, keterampilan, dan infrastruktur. Salah satunya ketersediaan infrastruktur pertanian yang memadai dapat memperlancar aliran barang dan jasa serta menekan biaya produksi dan distribusi, sedangkan infrastruktur yang buruk justru meningkatkan biaya tersebut sehingga produk pertanian sulit bersaing di pasar (Sihombing dkk., 2023).

Urgensi pengabdian ini terletak pada rendahnya akses kelompok wanita tani terhadap pelatihan teknologi, minimnya infrastruktur, serta risiko kerugian akibat perubahan iklim. Untuk menjawab permasalahan tersebut, diusulkan penerapan teknologi smart farming berbasis aquaponik yang mengintegrasikan hidroponik dan budidaya ikan lele dengan *Internet of Things* (IoT), sensor, sistem otomatisasi, dan pakan organik. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengelolaan tanaman serta ikan secara real-time melalui perangkat digital, sehingga meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sistem pertanian terpadu. Penelitian oleh (Sukmawan dkk., 2025) menunjukkan bahwa sistem *smart aquaponic* berbasis IoT dengan mikrokontroler ESP32, sensor suhu DS18B20, dan sensor pH PH-4502C yang terintegrasi dengan cloud Firebase mampu menjaga parameter lingkungan dalam kondisi optimal sekaligus memberikan akses pemantauan jarak jauh. Temuan tersebut memperkuat bukti bahwa pemanfaatan IoT dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan usaha tani melalui integrasi teknologi pintar.

Meskipun demikian penerapan teknologi di sektor agribisnis Indonesia masih terhambat oleh sejumlah faktor, seperti infrastruktur yang belum sepenuhnya tersedia, tingkat literasi digital petani yang masih rendah, serta besarnya biaya awal yang diperlukan untuk mengadopsi teknologi (Wanda dkk., 2024). Rendahnya literasi digital juga menjadi salah satu faktor penghambat utama dalam adopsi teknologi pertanian modern di kalangan petani kecil. Rendahnya literasi digital merupakan salah satu penghambat utama dalam adopsi teknologi pertanian modern oleh petani skala kecil, karena keterbatasan kemampuan penggunaan aplikasi dan kurangnya pengalaman digital mengurangi motivasi serta kapasitas mereka untuk memanfaatkan solusi pertanian berbasis teknologi (Hidayati dkk., 2025). Oleh karena itu, peningkatan literasi digital melalui pelatihan dan pendampingan intensif diperlukan agar transformasi pertanian modern dapat berjalan efektif serta memberikan dampak ekonomi yang signifikan bagi masyarakat desa.

Inovasi teknologi dalam bidang pertanian juga terbukti berperan penting dalam mendukung ketahanan pangan berkelanjutan dan ekonomi hijau. Inovasi teknologi seperti penggunaan *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan, dan sistem pertanian presisi telah terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, memperbaiki kualitas hasil panen, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, penerapan teknologi ini juga mendukung tercapainya ketahanan pangan berkelanjutan dan ekonomi hijau di sektor pertanian Indonesia (Mendrofa, 2025).

Penerapan konsep *green economy* dalam sektor pertanian juga semakin relevan dengan arah pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Penerapan prinsip ekonomi hijau dalam pertanian pedesaan tidak hanya mendorong produktivitas dan efisiensi sumber daya, tetapi turut berkontribusi terhadap kesejahteraan petani dan kesinambungan lingkungan, sejalan dengan target pembangunan berkelanjutan di Indonesia (Nurfasira dkk., 2025). Konsep ini menunjukkan bahwa integrasi pertanian modern dengan prinsip ekonomi hijau mampu memperkuat ketahanan pangan sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan di tingkat lokal.

Sistem akuaponik juga terbukti menjadi solusi strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan pemberdayaan masyarakat. Penelitian serupa terkait penerapan akuaponik di Kelurahan Bejen, Karanganyar, mampu menyediakan sumber pangan mandiri berupa sayuran dan ikan bagi rumah tangga, dengan keunggulan efisiensi air, diversifikasi hasil, serta keberlanjutan lingkungan (Negara dkk., 2024). Melalui sosialisasi dan pelatihan, program ini berhasil memberdayakan ibu rumah tangga untuk memanfaatkan lahan terbatas sekaligus memperkuat perekonomian keluarga. Temuan ini menguatkan peran akuaponik sebagai bagian dari pertanian berkelanjutan yang mendukung ketahanan pangan dan ekonomi hijau.

Program pengabdian masyarakat di Desa Cintamulya, Lampung Selatan, menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam *smart farming* dapat berhasil diimplementasikan melalui pelatihan dan pendampingan kelompok tani. Kegiatan ini tidak hanya meningkatkan keterampilan petani dalam mengoperasikan teknologi, tetapi juga mendorong adopsi sistem pertanian modern yang lebih efisien dan berkelanjutan (Setyawan dkk., 2023).

Rumusan masalah dalam kegiatan pengabdian ini adalah bagaimana meningkatkan keterampilan dan kapasitas KWT Sekar Makmur dalam mengadopsi teknologi *smart farming* berbasis IoT dan pakan organik untuk menjawab tantangan keterbatasan lahan, rendahnya literasi teknologi, risiko perubahan iklim, serta meningkatkan budidaya ikan lele.

Program ini mendukung pencapaian beberapa tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs). SDGs adalah bagian penting dari Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan yang bertujuan menciptakan masa depan lebih berkelanjutan serta mengatasi permasalahan global seperti kemiskinan, ketimpangan, perubahan iklim, kerusakan lingkungan, dan ketidakadilan (Aminullah dkk., 2025). Selain itu, program ini juga berkontribusi pada Indikator Kinerja Utama (IKU) perguruan tinggi, seperti pengalaman belajar mahasiswa di luar kampus, dosen sebagai konsultan, luaran ilmiah terapan, dan pengembangan materi ajar berbasis studi kasus.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan program pengabdian yang tidak hanya memberikan solusi teknologi, tetapi juga pendampingan berkelanjutan agar KWT Sekar Makmur mampu mengelola *smart farming* secara mandiri. Berdasarkan hasil riset tim pengabdian dan berbagai literatur, pemanfaatan teknologi IoT dalam pertanian terbukti mampu meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan usaha tani. Pelatihan dan pendampingan teknologi juga berkontribusi pada peningkatan keterampilan, kemandirian ekonomi, serta keberlanjutan usaha berbasis *green economy*.

Tujuan kegiatan ini adalah meningkatkan kapasitas dan kemandirian kelompok wanita tani "Sekar Makmur" melalui implementasi teknologi *smart farming* berbasis IoT dan pakan

organik, sehingga mampu meningkatkan hasil panen, produksi ikan, serta membuka peluang ekonomi baru berbasis pertanian terpadu yang berkelanjutan.

Metode Pelaksanaan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Desa Kiringan, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, dengan melibatkan Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur" sebagai mitra utama. Program ini berlangsung selama bulan Mei hingga Desember 2025, dengan lokasi utama di Balai Desa yang didukung penuh oleh pemerintah desa setempat. Peserta kegiatan terdiri dari 15 anggota KWT, yang dipilih berdasarkan keterlibatan aktif dan kesiapan mereka dalam mengadopsi teknologi pertanian modern. Penentuan mitra dilakukan melalui survei kebutuhan dan diskusi bersama perangkat desa, memastikan bahwa kelompok yang terlibat benar-benar membutuhkan intervensi teknologi dan siap untuk berpartisipasi aktif.

Metode pelaksanaan kegiatan ini mengadopsi pendekatan kolaboratif dan partisipatif, di mana mitra dilibatkan secara aktif mulai dari tahap perencanaan hingga evaluasi. Setiap tahapan dirancang untuk memberdayakan kelompok wanita tani, meningkatkan kapasitas teknis dan manajerial, serta memastikan keberlanjutan program setelah pendampingan selesai.

Persiapan

Tahap persiapan menjadi fondasi utama dalam pelaksanaan program pengabdian masyarakat ini. Pada fase ini, tim pengabdian bersama mitra melakukan perencanaan secara menyeluruh untuk memastikan bahwa seluruh kebutuhan dan tantangan telah teridentifikasi dengan baik. Proses dimulai dengan survei awal di lapangan untuk menggali permasalahan utama yang dihadapi oleh kelompok wanita tani, serta memetakan kondisi eksisting yang ada. Hasil survei ini menjadi dasar dalam penyusunan rencana kerja yang melibatkan pembagian peran, penetapan jadwal pelaksanaan, dan identifikasi kebutuhan alat serta bahan yang diperlukan untuk implementasi teknologi. Seluruh perangkat pendukung, mulai dari sistem aquaponik berbasis IoT, sensor pemantauan, hingga modul pelatihan dan panduan teknis, dipersiapkan secara terstruktur agar pelaksanaan program dapat berjalan efektif dan efisien. Koordinasi intensif antara tim pengabdian dan mitra juga dilakukan untuk memastikan setiap langkah yang diambil sesuai dengan kebutuhan dan kesiapan kelompok wanita tani.

Sosialisasi

Setelah tahap persiapan selesai, program dilanjutkan dengan sosialisasi kepada mitra. Pada fase ini, tim pengabdian memperkenalkan konsep *smart farming* berbasis IoT secara komprehensif kepada kelompok wanita tani. Penjelasan difokuskan pada pentingnya pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi usaha pertanian serta budidaya ikan. Sosialisasi dilakukan melalui pemaparan konsep dan manfaat teknologi yang akan diterapkan dalam sistem pertanian terpadu berbasis aquaponik. Selain itu, dilakukan diskusi interaktif dengan mitra untuk membahas potensi dampak ekonomi dan keberlanjutan teknologi yang diusung, sehingga mitra dapat memahami peluang dan tantangan yang mungkin dihadapi.

Pelatihan

Tahap pelatihan dirancang untuk meningkatkan keterampilan teknis dan manajerial anggota kelompok wanita tani dalam mengoperasikan teknologi yang diterapkan. Selama pelatihan, peserta mendapatkan pengetahuan mendalam mengenai pengoperasian sistem IoT dalam aquaponik, termasuk penggunaan sensor suhu dan pH. Selain itu, pelatihan juga mencakup pembuatan pakan ikan organik yang bertujuan untuk mendukung keberlanjutan budidaya ikan secara mandiri dan ramah lingkungan. Materi pelatihan manajemen kelompok tani turut diberikan agar setiap anggota memahami pembagian peran dan tanggung jawab, sehingga tercipta organisasi kelompok yang solid dan efektif dalam menjalankan usaha pertanian modern.

Penerapan Teknologi

Setelah mitra dibekali dengan pengetahuan dan keterampilan yang memadai, tahap penerapan teknologi pun dimulai. Pada fase ini, seluruh teknologi yang telah diperkenalkan mulai diimplementasikan secara langsung di lingkungan pertanian mitra. Proses instalasi sistem aquaponik berbasis IoT dilakukan secara bertahap, dimulai dari pemasangan sensor kualitas air dan lingkungan, hingga pengujian sistem monitoring secara real-time. Selain itu, dilakukan pengoptimalan sarana dan prasarana melalui penyediaan pakan organik berkelanjutan untuk ikan lele serta penyesuaian sistem pertanian terpadu guna meningkatkan produksi ikan dan tanaman.

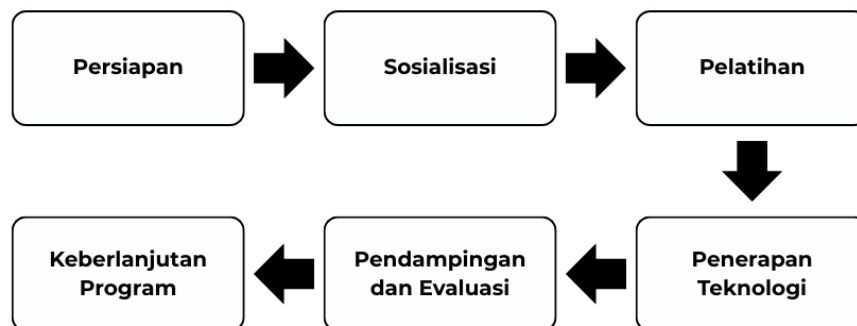
Pendampingan dan Evaluasi

Pendampingan dan evaluasi merupakan tahapan penting untuk memastikan keberhasilan implementasi teknologi aquaponik IoT di lingkungan mitra. Pemantauan terhadap hasil implementasi dilakukan secara berkala melalui berbagai metode evaluasi yang terukur dan sistematis. Untuk memastikan keberhasilan implementasi teknologi, dilakukan pendampingan dan evaluasi secara berkala. Pendampingan teknis diberikan melalui monitoring penggunaan sistem IoT oleh mitra serta bimbingan dalam mengatasi berbagai permasalahan teknis yang muncul selama operasional sistem. Evaluasi keberhasilan program dilakukan dengan mengukur efisiensi produksi dan manajemen usaha, serta mengidentifikasi kendala yang dihadapi untuk kemudian dilakukan perbaikan sistem berdasarkan masukan dari mitra. Evaluasi ini dilakukan secara formatif selama pelaksanaan untuk memastikan setiap tahapan berjalan sesuai rencana, serta secara sumatif setelah seluruh kegiatan selesai untuk menilai capaian target program, efektivitas pelatihan, peningkatan produktivitas, dan perubahan perilaku serta kemandirian kelompok.

Penilaian keberhasilan kegiatan dilakukan dengan menggunakan pre-test dan post-test pengetahuan untuk mengukur peningkatan pemahaman anggota kelompok, observasi partisipasi selama proses pelatihan dan operasional sistem, serta evaluasi keterampilan praktis dalam mengoperasikan dan merawat sistem aquaponik IoT. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas program sekaligus menjadi dasar dalam perbaikan dan pengembangan kegiatan di masa mendatang.

Keberlanjutan Program

Keberlanjutan program menjadi perhatian utama setelah kegiatan pengabdian selesai. Untuk itu, dibentuk sistem manajemen kelompok yang berkelanjutan dan dilakukan peningkatan kapasitas mitra melalui pelatihan lanjutan serta pendampingan secara periodik. Seluruh anggota kelompok telah dibekali dengan keterampilan teknis yang memadai, dan ditunjuk satu atau dua anggota sebagai operator teknologi dan pengelola sistem digital yang juga berperan sebagai pelatih internal bagi anggota lainnya. Tim pengabdian menyediakan dokumentasi dan modul operasional dalam bentuk cetak dan digital sebagai referensi jangka panjang, serta membuka kanal komunikasi melalui grup pada *mobile apps* untuk monitoring dan bimbingan teknis jarak jauh minimal selama enam bulan pasca program. Jika program terbukti efektif, model kegiatan ini dapat direplikasi ke kelompok tani atau komunitas lain di wilayah sekitar dengan skema kolaboratif lintas sektor, sehingga dampak positif program dapat meluas dan berkelanjutan.



Gambar 1. Diagram alir tahapan kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

Hasil dan Pembahasan

Tahap Persiapan dan Koordinasi dengan Mitra Pengabdian

Tahap persiapan dan koordinasi dengan mitra pengabdian diawali dengan perencanaan yang matang dan terstruktur untuk memastikan seluruh kebutuhan program dapat terakomodasi secara optimal. Tim pengabdian melakukan survei awal di Desa Kiringan guna mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi oleh Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur", khususnya terkait rendahnya pemanfaatan teknologi pertanian modern dan keterbatasan infrastruktur pendukung. Survei ini juga memetakan kondisi eksisting, potensi sumber daya lokal, serta kesiapan kelompok dalam menerima inovasi teknologi.

Koordinasi intensif kemudian dilakukan antara tim pengabdian, Kepala Desa Kiringan, dan perwakilan KWT "Sekar Makmur" untuk menyusun rencana kerja yang komprehensif. Dalam proses ini, seluruh pihak terlibat aktif dalam diskusi untuk menentukan lokasi instalasi sistem aquaponik berbasis IoT, yang akhirnya disepakati akan ditempatkan di Balai Desa. Selain itu, disusun jadwal pelaksanaan kegiatan yang terintegrasi dengan agenda kelompok tani, sehingga tidak mengganggu aktivitas rutin anggota.

Persiapan teknologi pada tahap ini meliputi pengadaan alat dan bahan yang diperlukan, seperti sistem aquaponik berbasis IoT, sensor pemantauan kualitas air dan lingkungan, perangkat digital untuk pencatatan, serta modul pelatihan dan panduan teknis. Komponen utama sistem yang dipersiapkan antara lain mikrokontroler ESP32 DevKitC V4, sensor pH-4502c dan suhu DS18B20, pompa air, serta perangkat monitoring berbasis aplikasi *mobile apps* dan *web monitoring*. Seluruh perangkat diuji terlebih dahulu untuk memastikan fungsionalitas dan kemudahan operasional bagi mitra.



Gambar 2. Persiapan Teknologi Sistem Aquaponik IoT

Selain aspek teknis, penyusunan modul pelatihan dan panduan operasional juga menjadi bagian penting dalam tahap persiapan. Modul ini dirancang agar mudah dipahami oleh anggota KWT, dengan penekanan pada praktik langsung dan pemecahan masalah yang sering dihadapi dalam pengelolaan sistem pertanian terpadu. Identifikasi peserta dilakukan secara selektif, dengan mempertimbangkan motivasi, keaktifan dalam kegiatan kelompok, serta potensi untuk menjadi agen perubahan di lingkungan desa.

Melalui koordinasi yang intensif dan persiapan yang menyeluruh, tahap awal ini berhasil membangun fondasi yang kuat bagi pelaksanaan program pengabdian, sekaligus memastikan adanya dukungan penuh dari pemerintah desa dan partisipasi aktif dari seluruh anggota kelompok wanita tani.

Sosialisasi Program Smart Farming IoT

Sosialisasi mengenai konsep *smart farming* IoT telah dilaksanakan pada kegiatan pengabdian masyarakat sebelumnya sebagai langkah awal dalam membangun pemahaman dasar bagi Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur". Pada kegiatan tersebut, tim pengabdian memberikan pemaparan komprehensif mengenai berbagai aspek pertanian modern berbasis teknologi, mulai dari pengenalan hidroponik dan prinsip-prinsip dasarnya, penjelasan tentang sistem hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT), hingga pentingnya penggunaan nutrisi organik untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Selain itu, anggota KWT juga mendapatkan penjelasan rinci

mengenai komponen-komponen utama yang digunakan dalam sistem IoT, seperti sensor pH, sensor suhu, mikrokontroler, serta perangkat pendukung lain yang menjadi bagian integral dari sistem monitoring dan kontrol jarak jauh.



Gambar 3. Sosialisasi Teknologi Smart Farming IoT

Pada sesi sosialisasi tersebut, mitra diperkenalkan pada berbagai platform digital yang digunakan untuk pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time*, antara lain *mobile apps* dan *web monitoring*. Penjelasan mengenai cara menghubungkan perangkat IoT ke platform-platform ini memberikan gambaran praktis kepada anggota KWT tentang bagaimana mereka dapat memantau kondisi tanaman dan sistem secara langsung melalui perangkat digital, serta melakukan penyesuaian jika diperlukan. Selain materi teknis, sosialisasi juga mencakup diskusi interaktif mengenai manfaat dan tantangan penerapan teknologi *smart farming* di lingkungan kelompok tani, sehingga anggota KWT dapat memahami peluang ekonomi, keberlanjutan sistem, serta potensi kendala yang mungkin dihadapi.

Pemaparan materi pada sosialisasi *smart farming* ini menjadi pondasi penting bagi mitra dalam memahami konsep dan manfaat pertanian berbasis teknologi. Pengetahuan dan pemahaman yang telah diperoleh oleh anggota KWT memudahkan proses transfer teknologi pada tahapan pelatihan dan implementasi berikutnya. Dengan adanya sosialisasi ini, anggota kelompok telah memiliki gambaran yang jelas mengenai manfaat dan cara kerja sistem aquaponik berbasis IoT, sehingga mereka lebih siap dan percaya diri untuk mengikuti pelatihan perakitan, instalasi, serta pengoperasian sistem secara mandiri. Selain itu, kegiatan sosialisasi ini juga membangun antusiasme dan komitmen anggota kelompok untuk terlibat aktif dalam setiap tahapan program, memperkuat rasa kebersamaan, dan semangat kolaborasi di antara anggota KWT. Dengan demikian, proses adopsi teknologi dapat berjalan lebih efektif dan berkelanjutan, sejalan dengan tujuan utama program pengabdian untuk meningkatkan kemandirian dan produktivitas kelompok wanita tani melalui inovasi teknologi pertanian.

Sosialisasi dan Pelatihan Pembuatan Pakan Organik untuk Ikan Lele

Pada tahapan ini, kegiatan diawali dengan sesi sosialisasi yang bertujuan untuk memberikan pemahaman dasar kepada anggota Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur" mengenai konsep pakan ikan organik. Materi yang disampaikan mencakup

penjelasan tentang apa itu pakan organik, perbedaan antara pakan organik dengan pakan konvensional, serta kelebihan dan kekurangan dari penggunaan pakan organik dalam budidaya ikan lele. Dalam pemaparan tersebut, dijelaskan bahwa pakan ikan organik merupakan pakan yang dibuat dari bahan-bahan alami dan bebas dari bahan kimia berbahaya, sehingga lebih ramah lingkungan dan aman bagi pertumbuhan ikan. Pakan organik sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu pakan alami hidup dan pakan olahan organik.

Kelebihan pakan organik yang ditekankan dalam sosialisasi antara lain adalah kemudahan pencernaan oleh ikan, kemampuannya menjaga kualitas air kolam, kandungan nutrisi yang lengkap, serta biaya produksi yang relatif murah. Namun, peserta juga diberikan pemahaman mengenai beberapa kekurangan pakan organik, seperti proses pembuatannya yang memerlukan waktu lebih lama dan komposisi nutrisinya yang tidak dapat diatur secara presisi seperti pakan pabrikan.

Setelah sesi pemaparan materi, kegiatan dilanjutkan dengan penjelasan mengenai alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan pakan organik. Peserta diperkenalkan dengan berbagai alat seperti timbangan digital, wadah plastik atau kaca tertutup, mesin cetak pakan manual, dan gelas ukur. Penekanan juga diberikan pada pemilihan wadah yang tepat, di mana wadah logam dan berlubang tidak dianjurkan karena dapat mengganggu proses fermentasi dan berpotensi menyebabkan korosi, sedangkan wadah plastik tertutup atau kaca sangat direkomendasikan.

Selanjutnya, peserta diajak untuk mengenal bahan-bahan utama yang digunakan dalam pembuatan pakan organik, seperti tepung kedelai, tepung jagung, bekatul, tepung ikan, vitamin ikan, tepung tapioka, ragi instan, molase, EM4, dan air. Seluruh bahan ini ditimbang sesuai takaran yang telah ditentukan untuk memastikan komposisi nutrisi yang seimbang.



Gambar 4. Sosialisasi dan Pelatihan Pembuatan Pakan Organik Ikan Lele

Setelah sosialisasi, kegiatan berlanjut ke sesi pelatihan pembuatan pakan organik secara langsung. Peserta diajak untuk mempraktikkan setiap tahapan proses pembuatan, mulai dari menimbang dan mencampurkan bahan-bahan kering, melarutkan tepung tapioka sebagai perekat, hingga mencampurkan bahan fermentasi seperti molase, EM4, dan ragi instan. Seluruh bahan kemudian diaduk hingga merata dan disimpan dalam

wadah tertutup di tempat yang sejuk selama 2 hingga 4 hari untuk proses fermentasi. Setelah fermentasi selesai, adonan dicetak menggunakan alat pencetak pakan manual dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama dua hingga lima hari, tergantung pada kondisi cuaca.

Melalui pelatihan ini, anggota KWT "Sekar Makmur" tidak hanya memperoleh pengetahuan teoretis mengenai pakan organik, tetapi juga keterampilan praktis dalam memproduksi pakan secara mandiri. Kegiatan ini diharapkan dapat meningkatkan kemandirian kelompok dalam memenuhi kebutuhan pakan ikan lele, menekan biaya produksi, serta mendukung keberlanjutan sistem aquaponik yang telah diimplementasikan dalam program pengabdian masyarakat ini.

Pelatihan Teknis Aquaponik dan Instalasi Sistem IoT

Tahapan pelatihan teknis aquaponik dan instalasi sistem IoT menjadi inti dari proses transfer teknologi kepada Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur". Kegiatan ini diawali dengan penjelasan ulang secara singkat mengenai konsep dasar aquaponik berbasis *Internet of Things* (IoT), agar peserta dapat mengingat kembali prinsip kerja sistem yang akan mereka implementasikan. Penjelasan ini menekankan bagaimana sistem aquaponik IoT mengintegrasikan budidaya ikan dan tanaman tanpa tanah dengan dukungan teknologi sensor pH dan suhu, sehingga kondisi air dapat dipantau secara real-time dan pompa air dapat dikendalikan langsung melalui *smartphone*. Dengan demikian, peserta memahami bahwa teknologi ini bertujuan untuk membuat budidaya aquaponik menjadi lebih mudah, efisien, dan praktis.

Pada sesi pelatihan, peserta diperkenalkan secara langsung dengan berbagai komponen utama yang digunakan dalam sistem aquaponik IoT. Mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 menjadi pusat kendali seluruh sistem otomatisasi, dengan kemampuan WiFi dan Bluetooth bawaan yang memungkinkan pembacaan data sensor, pengendalian aktuator seperti pompa, serta komunikasi data melalui aplikasi *mobile apps*. Untuk memastikan koneksi tetap stabil, terutama di area dengan jangkauan sinyal rendah, sistem dilengkapi dengan WiFi Antenna 2.4 GHz 3DBi sebagai penguat sinyal.

Pemantauan kualitas air dilakukan menggunakan Sensor PH-4502C untuk mengukur tingkat keasaman (pH) air, dan Sensor Suhu Air DS18B20 yang tahan air untuk memantau suhu kolam dan aliran air. Agar pembacaan sensor pH lebih akurat, digunakan modul ADS1115 sebagai konverter ADC 16-bit dengan antarmuka I2C, mengingat resolusi ADC bawaan ESP32 hanya 12-bit. Informasi penting seperti nilai pH, suhu air, dan status pompa dapat dipantau secara langsung melalui LCD 20x4 I2C yang terpasang pada sistem.

Untuk kebutuhan daya, sistem menggunakan Mini 560 Step Down (Buck Converter) 20–7V to 5V sebagai regulator tegangan DC, yang menurunkan input dari *Power Supply* 12V menjadi 5V stabil untuk ESP32 dan sensor, sehingga perangkat tetap aman dari risiko *over-voltage*. Relay 5V 1 Channel digunakan untuk memungkinkan ESP32 mengendalikan pompa air celup bertegangan tinggi. Resistor 4700 Ohm (4.7k Ω) dipasang sebagai *pull-up* resistor pada sensor suhu DS18B20 agar komunikasi data tetap stabil. Sementara itu, Pompa Air Celup 8W berfungsi sebagai pompa utama yang mensirkulasikan air dari kolam ikan menuju media tanam pada sistem aquaponik DFT, dan dapat bekerja secara otomatis maupun manual sesuai kondisi yang terdeteksi sensor.

Setelah pemaparan konsep dan pengenalan komponen, pelatihan dilanjutkan dengan praktik penyusunan rangka aquaponik. Peserta secara berkelompok melakukan perakitan mulai dari menyusun kaki penyangga, rangka tiang depan dan belakang, penyangga talang aquaponik, hingga pemasangan talang pada setiap tingkat. Setiap komponen dirakit secara sistematis sesuai dengan instruksi yang telah diberikan, sehingga tidak hanya melatih keterampilan teknis peserta, tetapi juga menumbuhkan kerja sama tim dan rasa kepemilikan terhadap sistem yang akan mereka operasikan.



Gambar 5. Pelatihan Perakitan Aquaponik dan Instalasi Sistem IoT

Setelah rangka aquaponik selesai dirakit, kegiatan berlanjut pada instalasi sistem IoT. Peserta diajarkan cara menyambungkan berbagai komponen elektronik sesuai diagram yang telah disediakan, memastikan seluruh sistem dapat berfungsi secara optimal. Selanjutnya, perangkat dihubungkan ke sumber listrik dan dilakukan pengecekan awal untuk memastikan tidak ada kesalahan instalasi.

Tahapan berikutnya adalah proses pengkoneksian sistem ke jaringan WiFi menggunakan fitur WiFi Manager pada ESP32. Peserta dipandu untuk mengaktifkan WiFi pada *smartphone*, menghubungkan ke SSID yang sesuai dengan kelompok masing-masing, dan mengakses halaman konfigurasi melalui browser. Setelah memilih jaringan WiFi yang akan digunakan dan memasukkan password, sistem akan secara otomatis menyimpan pengaturan dan mencoba terhubung ke internet. Jika terjadi kendala, peserta diajarkan cara melakukan reset dan mengulangi proses konfigurasi hingga berhasil.

Setelah sistem terhubung ke jaringan, peserta diarahkan untuk mengunduh *mobile apps* melalui penyedia aplikasi android, membuat akun pada *mobile apps*, dan mencari *username* bot yang telah disediakan untuk sistem aquaponik IoT. Peserta kemudian mempelajari cara mengoperasikan alat melalui *mobile apps*, mulai dari menampilkan status sensor, menghidupkan dan mematikan pompa air, mengatur rentang nilai pH, hingga melakukan reset konfigurasi WiFi jika diperlukan. Seluruh perintah dapat dijalankan melalui menu interaktif yang tersedia pada bot, sehingga peserta dapat memantau dan mengendalikan sistem secara mudah dan praktis.

Sebagai bagian akhir dari pelatihan, peserta diajarkan cara memantau data hasil pembacaan sensor secara *real-time* melalui *web monitoring*. Setiap kelompok diberikan tautan khusus untuk mengakses *web monitoring* yang terintegrasi dengan sistem mereka.

Pada lembar kerja tersebut, peserta dapat melihat riwayat data berupa waktu pencatatan (*timestamp*), nilai suhu, nilai pH, dan status pompa air. Fitur ini memungkinkan peserta untuk melakukan *monitoring* dan evaluasi kondisi sistem secara berkala, serta mendokumentasikan hasil budidaya secara digital.

Melalui pelatihan teknis ini, anggota KWT "Sekar Makmur" tidak hanya memperoleh pemahaman teoretis mengenai sistem aquaponik IoT, tetapi juga keterampilan praktis dalam merakit, menginstalasi, mengoperasikan, dan memantau sistem secara mandiri. Kegiatan ini diharapkan dapat meningkatkan kemandirian dan kepercayaan diri kelompok dalam mengelola sistem pertanian terpadu berbasis teknologi, sekaligus menjadi langkah awal menuju digitalisasi dan modernisasi usaha tani di Desa Kiringan.

Monitoring dan Evaluasi

Monitoring pelaksanaan program dilakukan secara intensif melalui pemanfaatan grup pada *mobile apps* yang telah dibuat khusus untuk komunikasi antara tim pengabdian dan peserta dari Kelompok Wanita Tani (KWT) "Sekar Makmur". Melalui grup ini, setiap kendala atau permasalahan yang dihadapi peserta, baik terkait operasional sistem aquaponik IoT maupun pembuatan pakan organik, dapat segera disampaikan secara *real-time*. Tim pengabdian secara responsif memberikan pendampingan, solusi, maupun arahan teknis untuk memastikan setiap permasalahan dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Pendekatan ini terbukti efektif dalam menjaga kelancaran implementasi teknologi serta meningkatkan rasa percaya diri dan kemandirian peserta dalam mengelola sistem yang telah diadopsi.

Evaluasi keberhasilan program dilakukan dengan menggunakan metode *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta. Pada tahap sosialisasi sebelumnya, *pre-test* untuk materi hidroponik IoT menunjukkan tingkat pemahaman awal sebesar 10%, yang kemudian meningkat signifikan menjadi 94% pada *post-test* setelah pelatihan. Pada kegiatan pengabdian kali ini, *pre-test* untuk materi aquaponik IoT menunjukkan hasil sebesar 50. Namun, setelah pelatihan teknis, hasil *post-test* meningkat tajam menjadi 100%, menunjukkan efektivitas pelatihan dalam meningkatkan pemahaman peserta. Untuk materi pakan organik, *pre-test* menunjukkan tingkat pemahaman awal 70%, dan setelah pelatihan meningkat menjadi 100%. Serta Untuk materi nutrisi organik yang dipaparkan pada sosialisasi sebelumnya, *pre-test* menunjukkan tingkat pemahaman awal 70%, dan setelah pelatihan meningkat menjadi 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pelatihan yang diterapkan sangat efektif dalam meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta, baik dalam aspek teknologi aquaponik IoT maupun pembuatan pakan organik.

Tabel 1. *Pre-test dan Post-test*

No.	Materi	Pre-test (%)	Post-test (%)
1	Hidroponik IoT	10	94
2	Aquaponik IoT	50	100
3	Pakan Organik	70	100
4	Nutrisi Organik	70	100
Rata-rata		50	98,5

Kebermanfaatan program ini sangat dirasakan oleh mitra, yang tercermin dari meningkatnya kepercayaan diri dan kemandirian anggota KWT dalam mengoperasikan sistem aquaponik IoT serta memproduksi pakan organik secara mandiri. Peserta menyampaikan bahwa mereka kini lebih mudah memantau kondisi air dan mengendalikan pompa air melalui *smartphone*, sehingga pekerjaan menjadi lebih efisien dan risiko kegagalan panen dapat diminimalkan. Selain itu, kemampuan untuk membuat pakan organik sendiri memberikan dampak ekonomi yang nyata, karena dapat menekan biaya operasional dan meningkatkan kualitas hasil budidaya ikan lele. Beberapa anggota kelompok juga mengungkapkan bahwa mereka merasa lebih siap untuk berbagi pengetahuan dan pengalaman kepada anggota lain maupun kelompok tani di desa sekitar, sehingga kebermanfaatan program ini berpotensi meluas secara berkelanjutan.

Kesimpulan

Kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Kiringan menghadirkan inovasi baru berupa implementasi sistem *smart farming* berbasis IoT yang terintegrasi dengan akuaponik dan pembuatan pakan organik. Kebaruan dari program ini terletak pada transfer teknologi digital pertanian yang mudah diakses dan dioperasikan oleh kelompok wanita tani, serta integrasi *monitoring real-time* melalui perangkat *mobile*. Hasil kegiatan menunjukkan peningkatan signifikan pengetahuan dan keterampilan anggota KWT "Sekar Makmur", yang kini mampu mengelola sistem akuaponik IoT dan memproduksi pakan organik secara mandiri. Manfaat nyata dirasakan oleh masyarakat, berupa efisiensi kerja, penurunan biaya produksi, peningkatan kualitas hasil budidaya, serta tumbuhnya kemandirian dan kepercayaan diri perempuan tani dalam mengadopsi teknologi.

Secara teoritis, kegiatan ini memperkuat konsep pemberdayaan masyarakat dan adopsi inovasi teknologi dalam pertanian, membuktikan bahwa pendampingan intensif dan pelatihan terstruktur dapat mempercepat transformasi digital di sektor pertanian rakyat. Untuk pengabdian berikutnya, disarankan dilakukan penguatan jejaring pemasaran digital hasil panen, pengembangan modul pelatihan lanjutan, serta replikasi model pemberdayaan ini ke kelompok tani lain agar manfaat inovasi teknologi pertanian dapat meluas dan berkelanjutan.

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) tahun 2025 sebagai pemberi dana pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat untuk skema pemberdayaan kemitraan masyarakat. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi, serta Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan dukungan penuh, serta kepada Kelompok Wanita Tani "Sekar Makmur" Desa Kiringan yang telah aktif berpartisipasi dalam program ini.

Referensi

- Aminullah, I., Nindya, R., Nur Sabrina, A., Putri Rahmah, M., & Danial, R. D. M. (2025). Optimalisasi Branding UMKM Khas Sukabumi Melalui Platform Digital Menuju Pengembangan Ekonomi dan Sosial Berbasis SDGs. *Jurnal Ilmu Manajemen Retail Universitas Muhammadiyah Sukabumi*, 6(2), 131–143. <https://doi.org/10.37150/jimat.v6.i2.3674>
- Harahap, L. M., Sitanggang, C. B., Tambunan, D. M., Pinem, D. A., & Hasugian, A. B. (2025). Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Strategi Manajemen Agribisnis: Studi Kasus Di Wilayah Pertanian Indonesia (the Effect of Climate Change on Agribusiness Management Strategies: a Case Study in Indonesian Agriculture). *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Manajemen*, 3(3), 451–462. <https://doi.org/10.61722/jiem.v3i3.4220>
- Hidayati, F. F., Syahni, R., Suliansyah, I., & Tanjung, H. B. (2025). Adoption Of Agricultural Technology Innovation In Indonesia: Challenges And Alternative Solutions. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, 12(1), 329–348. <https://doi.org/10.37676/agritepa.v12i1.8646>
- Laia, I. A., Gulo, E. A. K. D., Gulo, L. L., & Ndraha, A. B. (2025). Dampak penerapan pertanian organik terhadap kualitas tanah dan hasil pertanian tanaman padi sawah di Kepulauan Nias. *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(1), 177–187. <https://doi.org/10.62951/flora.v2i1.263>
- Kahfi, A., Oktaviani, Y., Fadilah, N., & Mahmudi, I. (2024). Transformasi Pemberdayaan Ekonomi Perempuan : Strategi Pemberdayaan Kelompok Wanita Tani Berbasis Ekonomi Islam di Desa Sri Bandung, Banyuasin. *Jurnal Hukum Ekonomi Syariah : AICONOMIA*, 3(2), 107–121. <https://doi.org/10.32939/acm.v3i2.4366>
- Kasim, S. S., Roslan, S., Supiyah, R., A. Tawulo, M., & Sarpin, S. (2025). Strategi Pemberdayaan Perempuan Tani Dalam Mendukung Pertanian Berkelanjutan (Studi Kasus di Kecamatan Konda Kabupaten Konawe Selatan). *Welvaart: Jurnal Ilmu Kesejahteraan Sosial*, 6(1), 40–53. <https://doi.org/10.52423/welvaart.v6i1.88>
- Mendrofa, A. I. P. (2025). Inovasi Teknologi Pengelolaan Tanah dan Air untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 8(2), 1197–1210. <https://doi.org/10.20527/jptt.v8i2.3233>
- Negara, Muh. R. K., Milal, M., Simanjuntak, M. P., Putri, D. A., Hapsari, S. K., Chairani, D. P., Respati, Y. N. L., & Istiqomah, N. (2024). Akuaponik Sebagai Solusi Untuk Ketahanan Pangan dan Pemberdayaan Masyarakat di Kelurahan Bejen Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(2), 263–272. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v2i2.808>
- Nurfasira, Fahrika, A. I., & Shadriyah. (2025). Penerapan Prinsip Ekonomi Hijau dalam Pengembangan Pertanian Pedesaan dalam Perspektif Ekonomi Islam. *Digital Bisnis: Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen dan E-Commerce*, 4(1), 373–393. <https://doi.org/10.30640/digital.v4i1.3955>
- Pratiwi, U., & Ritonga, F. U. (2022). Strategi Bertahan Hidup Keluarga Buruh Tani Penyewa Lahan di Desa Tanjung Mulia Kecamatan Tanjung Morawa. *Jurnal Cakrawala Akademika*, 2(2), 62–71. <https://doi.org/10.70182/jca.v2i2.877>
- Setiawan, T., & Pratama, M. F. A. (2024). Pemenuhan Pangan Berkelanjutan melalui Pemanfaatan Lahan Pekarangan sebagai Adaptasi Baru Urban Farming di Kota Bandung. *Jurnal Pengabdian Sosial*, 1(9), 973–983. <https://doi.org/10.59837/cfatc896>

- Setyawan, D. Y., Nurfiana, N., Novi Herawadi Sudibyo, Retno Dwi Handayani, Nurjoko, N., Rohiman, R., Melia Gripin Setiawati, Hefri Juanto, & Ananda Angelia Purba. (2023). Pelatihan Dan Implementasi lot Smart Farming Pada Kelompok Tani Desa Cintamulya Kecamatan Candipuro Kabupaten Lampung Selatan. *J-ABDI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 3(1), 43–50. <https://doi.org/10.53625/jabdi.v3i1.5731>
- Sihombing, A., Sipayung, T., Damanik, S. E., & Nainggolan, P. (2023). Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Jalan, Pertanian Dan Kesehatan Terhadap Pendapatan Asli Daerah (PAD) Di Kabupaten Simalungun. *Jurnal Regional Planning*, 5(2), 79–89. <https://doi.org/10.36985/jrp.v5i2.755>
- Sukmawan, B. A., -, A., Zaeni, L. A. E., Faiz, M. R., Susilo, S. W., & Rahmadhani, N. A. S. (2025). Implementasi Smart Akuaponik Dengan lot Untuk Pertanian Perkotaan Yang Efisien. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i2.6377>
- Wanda, T., Mado, T. W., & Mado, Y. J. (2024). Transformasi Agribisnis Melalui Teknologi: Peluang Dan Tantangan Untuk Petani Indonesia. *HOAQ (High Education of Organization Archive Quality) : Jurnal Teknologi Informasi*, 15(2), 146–150. <https://doi.org/10.52972/hoaq.vol15no2.p146-150>