Implementasi Partisipatif Smart Aquaponics Berbasis IoT untuk Pemberdayaan Masyarakat di Arjuna Farm

Adli Abdillah Nababan[1], Jefri Junifer Pangaribuan[1], Ince Ahmad Zarqan[2], Fernando Sihotang[3], Charles Jhony Mantho Sianturi[4], Yudhistira Adhitya Pratama[5], Bryant Miroslavy Limoel[1], Hritish Gaya Galani[2]

[1] Information Systems Department, School of Information Systems, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
[2] Digital Business Department, BINUS Business School, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
[3] International Trade Department, BINUS Business School, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
[4] Computer Science Department, School of Computer Science, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
[5] Informatics Engineering, Faculty of Vocational Studies, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia
Email: adli.nababan@binus.ac.id, jefri.pangaribuan@binus.ac.id, ince.zarqan@binus.ac.id, fernando.sihotang@binus.ac.id, charles.sianturi@binus.ac.id, yudhistira.adhitya@usu.ac.id, bryant.limoel@binus.ac.id, hritish.galani@binus.ac.id

Akuaponik skala kecil berpotensi mendukung produksi pangan lokal, tetapi pengelolaannya memerlukan informasi lingkungan yang mudah diakses dan pendampingan teknis yang sesuai kebutuhan mitra. Program pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan menerapkan Smart Aquaponics berbasis Internet of Things (IoT) di Arjuna Farm, Deli Tua, Sumatera Utara, melalui pelibatan mitra sejak identifikasi kebutuhan hingga penggunaan sistem. Metode pelaksanaan mencakup observasi awal, perancangan partisipatif, perakitan perangkat, integrasi sensor dan dashboard, pengujian fungsional, budidaya kangkung, serta pelatihan dan pendampingan pada 25 Juli 2026. Evaluasi deskriptif dilakukan dengan memadukan laporan kemajuan, dokumen pengadaan, tampilan sistem, materi penyuluhan, dan foto kegiatan. Prototipe mengintegrasikan Raspberry Pi 3, ESP8266, sensor suhu dan kelembapan, LCD, dashboard berbasis web, sarana sirkulasi, serta kamera EZVIZ C6N. Hasil kegiatan berupa instalasi yang telah digunakan, informasi empat parameter lingkungan pada LCD dan dashboard, dokumentasi pertumbuhan kangkung, serta hasil panen awal yang dilaporkan mitra. Penyuluhan dan diskusi turut menyediakan kesempatan belajar langsung mengenai pengoperasian dan perawatan perangkat. Penyesuaian kamera, penanganan kerusakan pompa, dan perlindungan elektronik menjadi pembelajaran untuk keberlanjutan. Program ini menunjukkan manfaat awal kolaborasi perguruan tinggi dan mitra dalam penyediaan teknologi tepat guna, sedangkan peningkatan produktivitas, literasi digital, dan efisiensi jangka panjang memerlukan pengukuran lanjutan.

Kata Kunci: Smart Aquaponics, Internet of Things, pemberdayaan masyarakat, monitoring digital, pertanian berkelanjutan

This is an open access article under the CC BY-NC license

Corresponding Author:
Adli Abdillah Nababan
Information Systems Department, School of Information Systems, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia
adli.nababan@binus.ac.id

1. Pendahuluan

Arjuna Farm merupakan mitra pengabdian kepada masyarakat yang berlokasi di Deli Tua, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Kegiatan budidaya memadukan kolam ikan dengan dua wadah tanam dalam instalasi aquaponik berskala kecil. Observasi dan analisis kebutuhan pada Oktober–November 2025, sebagaimana dicatat dalam laporan kemajuan, menunjukkan bahwa pengamatan kondisi budidaya masih bergantung pada pemeriksaan langsung. Suhu udara, kelembapan udara, suhu air, kelembapan media tanam, perkembangan kangkung, serta kondisi sirkulasi belum dicatat secara terpadu dalam antarmuka digital. Temuan tersebut merupakan hasil identifikasi kebutuhan lapangan, bukan hasil survei dengan

pengukuran dasar kuantitatif. Ketiadaan tampilan dan dokumentasi yang terintegrasi membatasi kemudahan mitra dalam menelusuri kondisi budidaya dari waktu ke waktu.

Kebutuhan mitra tidak terbatas pada pengadaan perangkat. Sistem harus mampu menampilkan parameter lingkungan di dekat instalasi melalui LCD, menyajikan informasi yang sama secara terorganisasi melalui browser, dan dapat diperiksa dengan mudah ketika kondisi pompa, sensor, atau jaringan berubah. Pendampingan operasional diperlukan karena perangkat elektronik ditempatkan pada area lembap dan berdekatan dengan air. Berdasarkan kebutuhan tersebut, program menetapkan empat sasaran implementasi: (1) menghadirkan prototipe aquaponik dengan monitoring empat parameter lingkungan; (2) menghubungkan sensor, pemrosesan data, LCD, dan dashboard web; (3) melibatkan mitra dalam penyesuaian instalasi, pembelajaran penggunaan, dan pemeriksaan dasar; serta (4) mendokumentasikan pertumbuhan kangkung dan mengevaluasi kendala lapangan sebagai dasar keberlanjutan.

Program dilaksanakan oleh tim BINUS University yang terdiri atas lima dosen dan dua mahasiswa bersama Arjuna Farm sebagai mitra penerapan. Partisipasi mitra mencakup pengungkapan kebutuhan, penentuan posisi perangkat, penyediaan sarana lokasi, penyiapan media tanam, pengamatan budidaya, penggunaan informasi pada dashboard, serta penyampaian masukan ketika muncul gangguan. Rangkaian teknis dilakukan sejak akhir 2025 hingga pertengahan 2026, dan kegiatan pelatihan serta diskusi dilaksanakan pada 25 Juli 2026. Kangkung dipilih sebagai komoditas awal agar pemanfaatan instalasi dapat diamati secara langsung. Kelompok sasaran kegiatan penyuluhan terdiri atas pihak mitra dan peserta kegiatan yang terdokumentasi, sedangkan jumlah peserta unik tidak ditetapkan karena daftar hadir terverifikasi tidak tersedia dalam berkas evaluasi.

Sejumlah penelitian aquaponik IoT telah menitikberatkan pada arsitektur sensor, integrasi data, dan pemantauan tanaman, sedangkan contoh pengabdian masyarakat lebih banyak menjelaskan pelatihan budidaya. Celah penerapan yang diangkat dalam kegiatan ini adalah bagaimana kedua pendekatan tersebut dipadukan menjadi sistem monitoring yang dapat digunakan mitra sekaligus proses pembelajaran dan pemeliharaan yang menyesuaikan kondisi lapangan. Kontribusi utama bukan penemuan sensor atau algoritma baru, melainkan rancangan partisipatif, adaptasi perangkat terhadap keterbatasan nyata, serta penyediaan sumber belajar berbasis instalasi yang bekerja. Pertanyaan evaluasi artikel ini ialah: sejauh mana implementasi partisipatif menghasilkan perangkat monitoring, dokumentasi budidaya, dan kesempatan belajar yang dapat dibuktikan di Arjuna Farm? Hasil dievaluasi berdasarkan keberadaan dan penggunaan prototipe, keterbacaan tampilan, keterlibatan mitra, dokumentasi penyuluhan, pertumbuhan tanaman, dan penanganan kendala; klaim peningkatan produksi atau keterampilan secara kuantitatif tidak menjadi indikator yang dinyatakan telah tercapai.

2. Tinjauan Pustaka dan Rumusan Masalah

Penelitian aquaponik cerdas memberikan landasan teknis untuk menghubungkan budidaya dan informasi lingkungan. Kyaw dan Ng [1] mengembangkan pendekatan aquaponik cerdas untuk pertanian perkotaan, sedangkan Reyes-Yanes dkk. [2] meninjau pemantauan, IoT, dan otomasi. Wan dkk. [3] menekankan arsitektur modular berbasis edge computing; Alselek dkk. [4] mengkaji pemantauan kondisi aquaponik; dan Lee serta Wang [5] membahas pemantauan berbasis cloud. Dua publikasi terkait dari tim penulis mengangkat desain sistem aquaponik IoT untuk keberlanjutan pangan perkotaan [6] dan pemantauan pertumbuhan tanaman menggunakan YOLOv11 [7]. Kontribusi studi-studi tersebut terutama bersifat teknis, sedangkan artikel ini menitikberatkan pada penerapan bersama mitra, penyajian informasi yang dapat dipahami, adaptasi perangkat di lokasi, dan pendampingan operasional. Dengan demikian,

keberhasilan dalam artikel ini diukur pada tingkat implementasi dan pemanfaatan awal, bukan melalui pengujian ulang kinerja algoritma dari studi sebelumnya.

Penerapan pada tingkat komunitas juga bergantung pada sumber daya lokal, kesempatan belajar, dan kemampuan pemeliharaan. Lal [8] membahas peran pertanian perkotaan bagi ketahanan pangan. Fauza dkk. [9] menghubungkan pengembangan aquaponik dengan edukasi masyarakat, sedangkan Prayitno dan Suharyono [10] menggambarkan pelatihan budidaya pada skala rumah tangga. Zamnuri dkk. [11] menyoroti tantangan pengetahuan, pemeliharaan, dan aspek ekonomi aquaponik berskala kecil. Berbeda dari program yang hanya menekankan demonstrasi budidaya atau penyerahan teknologi, kegiatan Arjuna Farm mengombinasikan keterlibatan mitra dalam identifikasi kebutuhan, penyesuaian tata letak, integrasi monitoring lingkungan, demonstrasi penggunaan, dan evaluasi gangguan perangkat. Keterlibatan tersebut menjadi mekanisme transfer teknologi yang dapat diamati melalui dokumentasi instalasi, komunikasi dengan mitra, dan kegiatan penyuluhan, walaupun tingkat penguasaan keterampilan peserta belum diukur dengan instrumen tes.

Data lingkungan yang terorganisasi dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut. Karimanzira dan Rauschenbach [12] mengkaji pemanfaatan informasi IoT untuk manajemen aquaponik, Dhal dkk. [13] mengembangkan pendekatan pembelajaran mesin bagi optimasi nutrisi, sedangkan Udanor dkk. [14] menyediakan data kualitas air berlabel. Riset tersebut menunjukkan peluang analitik, tetapi kemampuan prediksi tidak otomatis tersedia setelah sensor dan kamera dipasang. Masalah yang dijawab program ini dirumuskan sebagai berikut: bagaimana penerapan IoT yang melibatkan mitra dapat menghasilkan monitoring yang dapat diakses dan sarana pembelajaran yang relevan bagi pengelolaan aquaponik? Indikator jawaban meliputi keberadaan instalasi, tampilan informasi, kegiatan pendampingan, penggunaan di lokasi, pertumbuhan kangkung, dan respons terhadap kendala. Perubahan produktivitas, efisiensi biaya, ketahanan pangan, dan ketepatan prediksi panen menjadi agenda evaluasi lanjutan yang memerlukan data terukur.

3. Metode

Lokasi Program dan Pendekatan Evaluasi

Program menggunakan pendekatan transfer teknologi partisipatif: tim perguruan tinggi menyediakan pengembangan dan pendampingan teknis, sedangkan Arjuna Farm berkontribusi pada kebutuhan operasional, lokasi, penyesuaian tata letak, budidaya, serta masukan penggunaan. Berdasarkan kronologi laporan, koordinasi dan observasi dilakukan pada Oktober–November 2025, pengadaan serta persiapan media tanam pada November–Desember 2025, dan pemasangan perangkat pada Desember 2025–Januari 2026. Integrasi dashboard dan pengujian komunikasi data berlangsung pada Januari–Februari 2026; penggantian pendekatan kamera dilakukan pada Maret 2026; pemantauan kangkung dan panen awal dilaporkan pada Maret–April 2026; sedangkan evaluasi serta penanganan pompa berlangsung pada April–Mei 2026. Tahap diseminasi dilaksanakan melalui penyuluhan dan diskusi pada 25 Juli 2026. Informasi dievaluasi secara deskriptif dengan mengacu pada laporan kemajuan bertanggal 9 Juni 2026, materi presentasi, foto kegiatan, tampilan sistem, dan rekap pengadaan.

Telaah dokumen mengikuti prinsip analisis dokumen yang diuraikan Bowen [15] dengan tahapan penyiapan, ekstraksi, pemeriksaan, dan penyajian informasi yang sejalan secara umum dengan pendekatan READ [16]. Kesesuaian bukti diperiksa dengan menghubungkan uraian pengadaan ke daftar komponen, foto instalasi ke konfigurasi fisik, tangkapan layar ke jenis informasi yang ditampilkan, dan dokumentasi presentasi ke aktivitas berbagi pengetahuan. Laporan menjadi dasar bagi kronologi, keterlibatan mitra, serta informasi panen awal; foto dan antarmuka digunakan untuk menguatkan aktivitas atau keluaran yang

terlihat. Ketika bukti tidak cukup, seperti pada jumlah peserta, akurasi sensor, atau berat hasil panen, hasil tetap dinyatakan pada tingkat deskriptif. Literatur digunakan untuk menjelaskan relevansi penerapan, bukan sebagai pengganti hasil evaluasi khusus di Arjuna Farm.

Unit analisis adalah penerapan Smart Aquaponics di Arjuna Farm. Keberhasilan implementasi dinilai dengan empat kriteria praktis: (1) prototipe fisik dan komponen pengindraan terpasang sesuai fungsi yang dijelaskan; (2) informasi suhu udara, kelembapan udara, suhu air, dan kelembapan media tanam tersedia pada LCD maupun dashboard; (3) kegiatan penjelasan, diskusi, dan pemeriksaan perangkat bersama mitra terlaksana; serta (4) pertumbuhan kangkung, panen awal yang dilaporkan mitra, dan upaya penyelesaian kendala terdokumentasi. Lima dosen dan dua mahasiswa adalah susunan tim pelaksana, bukan jumlah peserta masyarakat. Jumlah peserta penyuluhan dan peningkatan pengetahuan tidak dihitung tanpa daftar hadir serta penilaian sebelum–sesudah. Pengujian pada program berfokus pada fungsi pemasangan dan keterbacaan keluaran; data mentah, instrumen kalibrasi pembanding, durasi uptime, serta berat panen belum tersedia untuk analisis statistik.

Konfigurasi Teknis dan Tahapan Implementasi

Arsitektur sistem memisahkan akuisisi dan pemrosesan data. Node ESP8266 menghubungkan sensor DHT21, DS18B20, dan sensor kelembapan media tanam dengan jaringan, sedangkan Raspberry Pi 3 digunakan untuk pengolahan dan dukungan server lokal. LCD 16 × 2 I2C menyediakan tampilan di lokasi, dan dashboard web memperlihatkan empat parameter pada satu antarmuka. Kamera EZVIZ C6N digunakan untuk dokumentasi tanaman setelah ESP32-CAM dinilai kurang konsisten pada kondisi lapangan. Pengujian fungsional dilaksanakan melalui pemeriksaan pembacaan pada LCD, komunikasi perangkat dan jaringan, ketersediaan informasi pada dashboard, pengambilan citra, dan fungsi sarana sirkulasi. Ketika dijumpai pembacaan yang tidak stabil, dilakukan pemeriksaan koneksi, posisi sensor, dan tampilan. Rekap pengadaan menyediakan jumlah barang, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan seluruh unit selalu aktif. Tabel 1 membedakan fungsi yang terdokumentasi, aset pengadaan, dan komponen yang belum terkonfirmasi sebagai fungsi akhir.

Tabel 1. Komponen Smart Aquaponics dan status implementasinya di lokasi mitra.

Komponen	Jumlah tercatat	Fungsi dan status dalam program
Raspberry Pi 3 dengan casing	2 unit	Pengolahan data dan dukungan server lokal; integrasi sistem dilaporkan, tetapi uptime tiap unit tidak tersedia.
ESP8266 dengan base board	2 unit	Node pembacaan dan pengiriman data melalui jaringan; fungsi integrasi didukung narasi dan tampilan monitoring.
DHT21	2 sensor	Pemantauan suhu dan kelembapan udara; nilai tampil pada dashboard, akurasi belum diuji terhadap alat rujukan.
DS18B20 tahan air	4 sensor	Pemantauan suhu air; data terlihat pada tampilan, tanpa bukti kalibrasi menyeluruh.
Sensor kelembapan media tanam	2 sensor	Indikasi kelembapan media; pembacaan persentase belum dikalibrasi secara kuantitatif.
LCD 16 × 2 dengan I2C	2 unit	Tampilan lokal pembacaan terpilih; perangkat menyala tampak pada foto lapangan.
Box X5	2 unit	Pelindung elektronik dari percikan dan kelembapan; tidak ada pengujian peringkat ketahanan air.
Kamera EZVIZ C6N	2 unit	Kamera final untuk dokumentasi pertumbuhan tanaman; menggantikan rancangan ESP32-CAM.
MicroSD 64 GB	2 unit	Media penyimpanan sesuai catatan pengadaan; operasi tiap kartu tidak dinilai terpisah.

Komponen	Jumlah tercatat	Fungsi dan status dalam program
Peralatan sirkulasi/aerasi	2 unit AA-105 tercatat	AA-105 tertera sebagai pompa udara dalam pengadaan; aliran air terlihat, tetapi model pompa sirkulasi belum terkonfirmasi.
Rangka dan instalasi aquaponik	2 paket pengadaan	Rangka, dua bed tanam atas, wadah ikan bawah, dan pipa; konfigurasi fisik terlihat pada foto.
BARDI Smart Fish Feeder	2 unit dibeli	Tercatat dalam pengadaan dan pernah muncul pada panel dashboard; fungsi auto feeder tidak dikonfirmasi sebagai implementasi final.
Bahan budidaya dan aplikasi	Sumber daya program	Bibit kangkung, pasir Malang, kerikil, dan dashboard web; penanaman serta tampilan sistem terdokumentasi.

Pelaksanaan meliputi koordinasi mitra, identifikasi kebutuhan, pengadaan, perakitan, penataan media tanam, pemasangan perangkat, konfigurasi dashboard, pemeriksaan fungsi, penanaman, dan pendampingan. Media tanam menggunakan pasir Malang dan kerikil, sedangkan komoditas awal adalah kangkung. Konfigurasi fisik yang terdokumentasi terdiri atas dua wadah tanam dari belahan drum biru pada bagian atas rangka logam dan satu drum biru pada bagian bawah sebagai wadah ikan. Gambar 1 memperlihatkan perakitan, pemantauan di dekat media tanam, dan instalasi yang digunakan mitra. Dokumentasi tersebut menguatkan keberadaan prototipe, tetapi tidak digunakan untuk menyimpulkan debit aliran atau tingkat produksi yang tidak diukur.



Gambar 1. Implementasi Smart Aquaponics: (a) rangka dan wadah pada tahap perakitan; (b) pemantauan lapangan di dekat media tanam; dan (c) prototipe terpasang dengan wadah ikan di bagian tengah bawah. Sumber: laporan kemajuan dan dokumentasi asli kegiatan.

Pendampingan Teknis, Demonstrasi, dan Evaluasi

Arjuna Farm terlibat dalam penentuan lokasi sensor dan kamera, persiapan media tanam, pengamatan kangkung, akses dashboard, serta evaluasi gangguan perangkat. Materi pembelajaran memperkenalkan konsep Smart Aquaponics, fungsi komponen IoT, pembacaan LCD dan dashboard, pemeliharaan dasar, dan peluang pengembangan usaha. Pada 25 Juli 2026, kegiatan pelatihan dan penyuluhan dilaksanakan melalui presentasi, diskusi, dan pengenalan penggunaan sistem di lokasi mitra. Foto kegiatan memperlihatkan pemateri, peserta yang mengikuti penjelasan, serta materi yang ditampilkan pada layar. Kegiatan tersebut

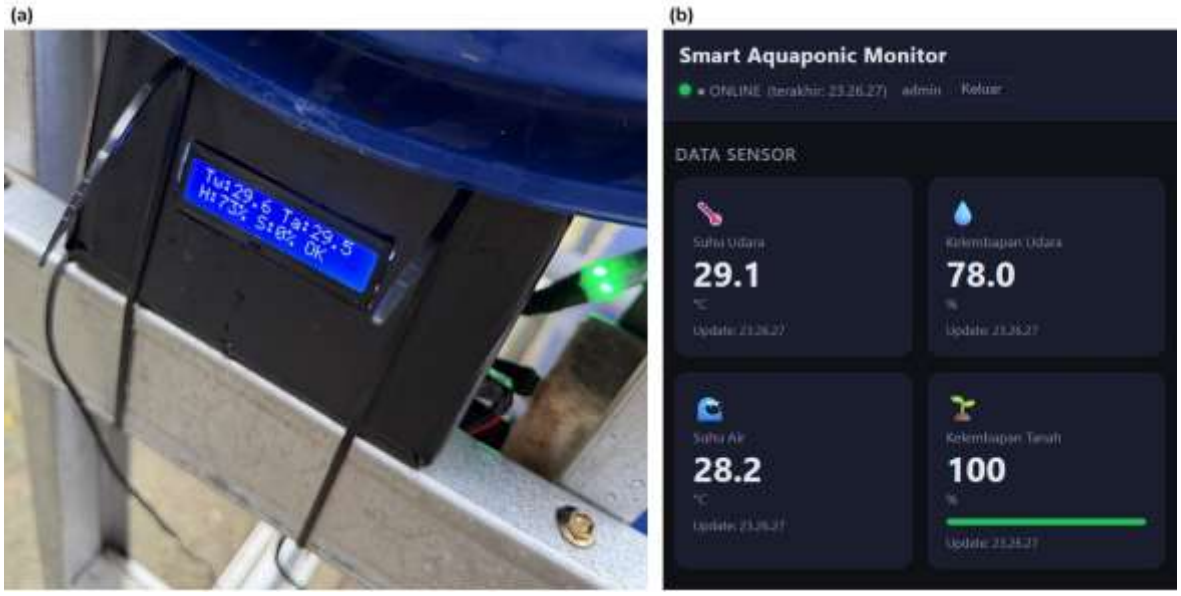
melengkapi pendampingan selama proses instalasi. Dokumentasi yang tersedia tidak mencantumkan daftar hadir lengkap atau hasil tes keterampilan; karena itu kontribusi pembelajaran dinilai melalui tersedianya kesempatan praktik dan materi yang dapat digunakan mitra, bukan berdasarkan persentase peningkatan pengetahuan.

Evaluasi dilakukan dengan mencocokkan kegiatan terhadap tujuan program. Secara teknis, pemeriksaan dilakukan pada integrasi sensor dan node, tampilan LCD, dashboard, visualisasi data, kamera, serta fungsi sarana sirkulasi; tangkapan layar menunjukkan tersedianya data lingkungan pada saat pengamatan. Secara partisipatif, bukti diperoleh dari pengamatan mitra dalam penyiapan lokasi, diskusi teknis, penggunaan perangkat, dan kegiatan penyuluhan. Secara budidaya, hasil ditelaah melalui foto pertumbuhan kangkung dan catatan panen awal dalam laporan. Ketika kamera kurang memadai atau pompa mengalami gangguan, penyesuaian perangkat dan pemeliharaan dicatat sebagai respons implementasi. Keberhasilan dipahami sebagai tercapainya keluaran langsung yang terdokumentasi. Uji akurasi sensor terhadap alat rujukan, tingkat kehilangan data, uptime, perubahan keterampilan peserta, dan produktivitas belum dihitung karena bukti pengukuran pendukung tidak tersedia.

4. Hasil dan Pembahasan

Keberhasilan Implementasi dan Akses Monitoring

Program berhasil mengintegrasikan instalasi aquaponik dengan monitoring lokal dan berbasis web, sehingga kebutuhan mitra akan informasi lingkungan yang lebih terstruktur dapat ditangani. Pada LCD yang terpasang, pengguna dapat membaca informasi langsung di dekat wadah tanam; dashboard web menampilkan kartu terpisah untuk suhu udara, kelembapan udara, suhu air, dan kelembapan media tanam. Tangkapan layar dashboard yang terdokumentasi memperlihatkan, pada satu waktu pengamatan, angka 29,1 °C untuk suhu udara, 78,0% kelembapan udara, 28,2 °C suhu air, serta 100% indikasi kelembapan media. Nilai tersebut adalah contoh tampilan sistem, bukan hasil kalibrasi atau ringkasan statistik. Gambar 2 menunjukkan kedua antarmuka, yang membantu mitra beralih dari pemeriksaan visual saja menuju pemantauan yang didukung informasi digital.



Gambar 2. Antarmuka monitoring yang digunakan mitra: (a) LCD pada perangkat terpasang; dan (b) dashboard web dari dokumentasi program. Angka yang terlihat berasal dari waktu pengamatan berbeda dan tidak digunakan sebagai perbandingan akurasi.

Pembagian fungsi pengindraan, pemrosesan, dan tampilan sejalan dengan arsitektur modular Wan dkk. [3] dan pendekatan informasi yang mudah diakses dalam Alselek dkk. [4]. Implementasi lapangan ini juga melengkapi karya desain sistem aquaponik IoT terdahulu dari tim [6] dengan menempatkan mitra sebagai pengguna dan pemberi umpan balik. Konfigurasi final memusatkan perhatian pada empat parameter lingkungan, bukan seluruh indikator kualitas air. Sensor pH dan sensor ketinggian air tidak digunakan, sementara ESP32-CAM digantikan oleh EZVIZ C6N. Dengan batasan tersebut, manfaat yang diperoleh adalah akses informasi dan dokumentasi budidaya yang lebih tertata, bukan klaim bahwa seluruh parameter kualitas air telah terukur secara lengkap.

Keberadaan kartu informasi pada dashboard, LCD yang menyala, dan catatan pemeriksaan fungsi mendukung kesimpulan bahwa sistem dapat menyajikan pembacaan pada saat didokumentasikan. Namun, ketepatan pengukuran, stabilitas transmisi selama periode panjang, dan persentase uptime belum dapat dinyatakan secara kuantitatif tanpa data log dan pembandingan dengan alat standar. Pembacaan 100% pada sensor kelembapan media tanam diperlakukan sebagai indikasi antarmuka karena prosedur kalibrasi kadar air belum disertakan. Tabel 1 juga menandai bahwa jumlah unit berasal dari laporan pembelian; keberadaan aset dalam pengadaan tidak selalu sama dengan bukti setiap unit beroperasi. Kegiatan pemeliharaan berikutnya perlu mencakup pencatatan waktu data, verifikasi berkala, serta pencatatan gangguan untuk menilai kinerja secara terukur.

Penyuluhan dan Keterlibatan Mitra

Penyuluhan pada 25 Juli 2026 menghubungkan perangkat yang telah dipasang dengan kemampuan pengguna memahami alur kerjanya. Materi disampaikan melalui pemaparan Smart Aquaponics, fungsi sensor dan perangkat komputasi, pembacaan informasi di LCD dan dashboard, serta diskusi perawatan dan pemanfaatan sistem. Gambar 3 memperlihatkan beberapa sudut dokumentasi presentasi dan peserta yang mengikuti kegiatan. Penjelasan tersebut memberi konteks terhadap pemantauan yang telah dilakukan di area budidaya. Pelaksanaan pelatihan setelah tanggal laporan kemajuan 9 Juni 2026 menjelaskan mengapa kegiatan masih tertulis sebagai rencana pada dokumen kemajuan, tetapi sudah terlaksana pada tahap penyusunan artikel ini. Dokumentasi foto memperlihatkan kegiatan, sedangkan jumlah peserta dan perubahan pengetahuan tidak ditetapkan tanpa daftar hadir dan asesmen formal.



Gambar 3. Dokumentasi penyuluhan dan diskusi pada kegiatan Smart Aquaponics, yang memperkenalkan komponen, fungsi monitoring, dan penggunaan sistem melalui materi presentasi. Sumber: foto asli kegiatan.

Aktivitas pendampingan di lokasi menghubungkan materi pembelajaran dengan instalasi yang digunakan. Gambar 1(b) memperlihatkan penggunaan smartphone selama pemantauan di dekat media tanam; keterlibatan mitra juga dicatat dalam penentuan posisi perangkat, pengamatan tanaman, serta penyampaian masukan ketika terjadi gangguan. Kombinasi penjelasan dan praktik membantu memperlihatkan hubungan antara sensor, pembacaan digital, dan kondisi tanaman secara langsung. Pendekatan ini sejalan dengan orientasi edukatif pengabdian aquaponik yang dibahas Fauza dkk. [9] serta Prayitno dan Suharyono [10], tetapi tidak menyamakan dampak belajar di lokasi tersebut dengan hasil studi lain. Keberhasilan pada aspek pembelajaran adalah tersedianya materi, demonstrasi, dan akses untuk mencoba sistem; penguasaan keterampilan independen memerlukan evaluasi lanjutan.

Gambar 4 menunjukkan dokumentasi kelompok yang terkait dengan kegiatan diseminasi. Informasi program pada layar menghubungkan sesi tersebut dengan implementasi di Arjuna Farm. Hasil langsung kegiatan bukan sekadar kehadiran pada presentasi, melainkan pengenalan cara membaca informasi budidaya, meninjau fungsi perangkat, dan mendiskusikan prosedur pemeliharaan. Pelibatan mitra sejak identifikasi kebutuhan hingga sesi penyuluhan memperlihatkan bahwa perangkat dibangun bersama pengguna, bukan hanya diserahkan tanpa proses transfer pengetahuan. Jumlah penerima manfaat dan peningkatan skor literasi digital akan lebih tepat dievaluasi melalui daftar hadir, tugas demonstrasi, serta pengukuran sebelum dan sesudah pelatihan.



Gambar 4. Dokumentasi bersama pada kegiatan diseminasi Smart Aquaponics. Materi yang terlihat pada layar mengaitkan kegiatan dengan program pengabdian di Arjuna Farm.

Hasil Budidaya dan Manfaat Awal bagi Mitra

Tanaman kangkung berhasil tumbuh pada wadah tanam yang dipasang, dan laporan kemajuan mencatat bahwa mitra memperoleh hasil panen awal pada April 2026. Foto instalasi dan tanaman menguatkan keberhasilan penanaman serta pertumbuhan vegetatif yang terlihat. Capaian ini menunjukkan bahwa prototipe digunakan untuk kegiatan budidaya nyata, bukan hanya sebagai demonstrasi elektronik. Manfaat praktis lainnya ialah tersedianya informasi lingkungan dalam tampilan yang dapat diperiksa dan dokumentasi visual perkembangan tanaman. Karena berat panen, jumlah tanaman, hasil beberapa siklus, dan data pembanding belum dicatat dalam bahan evaluasi, hasil tersebut disebut sebagai panen awal yang dilaporkan mitra, bukan peningkatan produksi atau pendapatan yang telah dibuktikan.

Tabel 2 menghubungkan sumber bukti dengan kontribusi langsung kepada mitra melalui kerangka input–proses–output–outcome. Capaian teknis meliputi prototipe dan antarmuka monitoring; capaian proses meliputi keterlibatan mitra, pelatihan, serta pendampingan; dan capaian budidaya berupa pertumbuhan kangkung serta laporan panen awal. Pembahasan ini menjelaskan manfaat yang telah tersedia: sarana pengamatan, dokumentasi data, dan wahana pembelajaran untuk pengelolaan budidaya. Dampak lebih jauh berupa peningkatan produktivitas, penghematan air, efisiensi kerja, atau peluang usaha tetap memerlukan ukuran dasar dan pengamatan lanjutan yang dapat dibandingkan.

Tabel 2. Capaian program, bukti pendukung, dan kontribusi praktis bagi mitra.

Aspek program	Bukti pendukung	Capaian langsung dan tindak lanjut
Penerapan teknis	Uraian alat, foto instalasi, LCD, dan dashboard yang menampilkan data.	Prototipe terpasang dan informasi lingkungan dapat dibaca; log uptime, kalibrasi, dan latensi diperlukan untuk evaluasi kinerja.
Partisipasi mitra	Identifikasi kebutuhan, penataan lokasi, kegiatan budidaya, pemantauan, dan diskusi pemeliharaan.	Penyesuaian sistem dengan kebutuhan setempat dan pengalaman praktik mitra; kemandirian penggunaan perlu diuji dengan tugas langsung.
Penyuluhan	Materi presentasi dan foto penyuluhan pada 25 Juli 2026.	Penjelasan, diskusi, dan peluang praktik terlaksana; jumlah peserta serta peningkatan pengetahuan belum terukur.
Budidaya	Foto kangkung tumbuh dan catatan panen awal pada laporan.	Pertumbuhan tanaman terlihat dan panen awal dilaporkan mitra; bobot panen serta hasil per siklus belum tersedia.
Visual dan AI	Kamera EZVIZ C6N, foto berkala, dan penyusunan dataset awal.	Tersedia sumber data visual; akurasi prediksi panen belum diuji melalui data rujukan.
Usaha dan ketahanan pangan	Tujuan program dan materi peluang pengembangan.	Prototipe menjadi dasar pembelajaran dan perencanaan usaha; laba, efisiensi air, dan dampak pangan belum diukur.

Penyesuaian Lapangan dan Pembelajaran untuk Operasional Berkelanjutan

Evaluasi bersama mitra menunjukkan bahwa keberhasilan teknologi tepat guna juga bergantung pada kemampuan menyesuaikan perangkat dengan kondisi lokasi. ESP32-CAM pada rancangan awal belum menghasilkan citra tanaman yang konsisten akibat keterbatasan sudut pandang, pencahayaan, dan mutu gambar. Tim kemudian menggunakan EZVIZ C6N untuk memperbaiki dokumentasi visual dan menata kembali proses pengambilan citra. Di sisi mekanis, satu pompa mengalami kerusakan setelah beberapa bulan pemakaian sehingga diperlukan pemeriksaan, perbaikan atau penggantian, serta jadwal pemeliharaan. Komponen elektronik juga ditempatkan pada Box X5 dan posisi kabel diperbaiki untuk mengurangi paparan kelembapan dan percikan air. Respons tersebut memperlihatkan pentingnya adaptasi lapangan; Tabel 3 menghubungkan kendala, penanganan, dan langkah pemeliharaan yang dibutuhkan.

Tabel 3. Kendala lapangan, respons implementasi, dan pembelajaran bagi operasional lanjutan.

Kendala	Respons implementasi	Pembelajaran dan tindak lanjut
Citra ESP32-CAM tidak konsisten	Penggantian skema pemantauan dengan kamera EZVIZ C6N.	Penempatan dan mutu citra diperiksa sesuai kondisi lapangan sebelum digunakan untuk analitik.
Pompa rusak dan sirkulasi terganggu	Pemeriksaan, perbaikan atau penggantian, serta penyiapan perawatan berkala.	Jadwalkan pemeriksaan pompa dan dokumentasikan jenis alat serta gangguan.
Kelembapan, percikan, dan konektor terbuka	Pemasangan Box X5, penyesuaian posisi komponen, dan perapian kabel.	Pelindung, isolasi, dan pemeriksaan koneksi mendukung keselamatan serta keandalan.
Pembacaan sensor dan dashboard belum stabil	Pemeriksaan fungsi berulang, penyesuaian posisi, koneksi, dan antarmuka.	Catat kalibrasi, pembacaan rujukan, kehilangan data, dan waktu operasi.

Kendala	Respons implementasi	Pembelajaran dan tindak lanjut
Dataset visual terbatas dan AI belum tervalidasi	Pengumpulan citra berkala, pelabelan, dan pengorganisasian dataset awal.	Lanjutkan pengumpulan data berlabel dan validasi prediksi sebelum dipakai untuk keputusan panen.

Konfigurasi akhir yang dapat dipastikan melalui narasi dan dokumentasi berfokus pada monitoring lingkungan serta pencatatan visual tanaman. Daftar pengadaan mencatat dua unit BARDI Smart Fish Feeder dan terdapat kontrol pemberian pakan pada salah satu tangkapan layar, tetapi narasi implementasi final menyatakan fitur auto feeder tidak digunakan. Oleh karena itu, feeder diperlakukan sebagai aset yang dibeli, bukan fungsi operasional akhir yang telah terverifikasi. Demikian pula, pengadaan mencantumkan Amara Aquarium Air Pump AA-105, yaitu perangkat yang tercatat sebagai pompa udara, sedangkan uraian sistem dan foto menunjukkan adanya aliran air pada instalasi. Model pompa sirkulasi air belum dapat dipastikan dari inventaris yang tersedia, sehingga fungsinya tidak disamakan dengan AA-105 tanpa pemeriksaan fisik. Sensor pH, sensor ketinggian air, serta ESP32-CAM tidak termasuk konfigurasi final. Pemisahan antara barang yang diadakan dan fungsi yang benar-benar terdokumentasi membantu mitra dalam penelusuran aset dan perencanaan perawatan.

Pemantauan visual menggunakan kamera menyediakan dokumentasi berkala pertumbuhan kangkung dan bahan awal penyusunan dataset tanaman. Hal ini dapat mendukung pengembangan berikutnya yang terkait dengan studi pemantauan tanaman menggunakan YOLOv11 dari tim [7]. Penelitian manajemen aquaponik prediktif [12], optimasi nutrisi [13], dan publikasi dataset berlabel [14] memperlihatkan kemungkinan pengembangan analitik. Namun, pada kegiatan PkM ini belum tersedia pengujian prediksi waktu panen berbasis label rujukan dan metrik akurasi yang dapat diverifikasi. Kehadiran panel kematangan pada antarmuka tidak dijadikan bukti bahwa kemampuan prediksi telah divalidasi. Capaian yang dapat dinyatakan adalah tersedianya infrastruktur pengamatan dan pengumpulan data sebagai dasar tahap pengembangan selanjutnya.

Keberlanjutan Program dan Peluang Pengembangan Usaha

Strategi keberlanjutan mencakup penggunaan komponen modular, dokumentasi teknis, keterlibatan mitra, pemeriksaan rutin, serta komunikasi lanjutan dengan tim perguruan tinggi. Dengan susunan tersebut, sensor, kamera, atau perangkat mekanis dapat diperiksa dan diganti secara bertahap tanpa membangun ulang instalasi secara keseluruhan. Program telah memberikan sumber informasi dan pengalaman praktik yang berguna; kesinambungan manfaat tetap memerlukan pemeriksaan perangkat, perlindungan elektronik, dan peningkatan keterampilan pemeliharaan dasar. Tantangan pengetahuan serta perawatan pada aquaponik skala kecil, sebagaimana dijelaskan Zamnuri dkk. [11], menegaskan pentingnya pendampingan berkelanjutan. Evaluasi berikutnya perlu menilai kemampuan mitra membaca tampilan, mengidentifikasi gangguan, dan menjalankan pemeriksaan secara lebih mandiri.

Materi pelatihan juga memperkenalkan peluang pengembangan berupa penjualan hasil budidaya, paket instalasi, dukungan monitoring, layanan pendampingan, dan kunjungan edukasi. Prototipe yang telah terpasang dapat menjadi contoh nyata untuk membicarakan peluang tersebut dengan mitra. Greenfeld dkk. [17] menunjukkan bahwa potensi ekonomi aquaponik perlu dibedakan dari kelayakan komersial yang dibuktikan. Pada Arjuna Farm, keputusan pengembangan usaha perlu didasarkan pada catatan hasil budidaya, biaya operasi dan perawatan, kebutuhan konsumen, serta akses pasar. Karena data transaksi, margin, dan permintaan pasar belum dievaluasi dalam program, peluang tersebut disajikan sebagai arah pengembangan, bukan kegiatan komersial yang sudah terbukti menghasilkan keuntungan.

Program mendukung arah SDG 2 (Tanpa Kelaparan), SDG 9 (Industri, Inovasi, dan Infrastruktur), dan SDG 11 (Kota dan Permukiman yang Berkelanjutan) melalui budidaya pangan lokal, penerapan inovasi tepat

guna, dan partisipasi mitra. Kontribusi langsungnya adalah sistem monitoring yang dapat digunakan, dokumentasi pertumbuhan tanaman, pendampingan, dan hasil panen awal yang dilaporkan. Untuk mengevaluasi dampak jangka panjang, disarankan pencatatan kalibrasi dan uptime, volume panen per siklus, biaya budidaya, daftar hadir serta asesmen keterampilan peserta, dan bukti penggunaan sistem setelah program. Data tersebut dapat memperkuat pengembangan serta menjadi dasar yang lebih baik apabila pendekatan ini hendak diterapkan pada komunitas lainnya.

5. Kesimpulan

Program pengabdian kepada masyarakat di Arjuna Farm berhasil menerapkan prototipe Smart Aquaponics berbasis IoT sebagai sarana monitoring dan pembelajaran budidaya. Sistem menghubungkan sensor lingkungan dengan LCD dan dashboard web sehingga informasi suhu udara, kelembapan udara, suhu air, serta kelembapan media tanam dapat diakses dalam satu alur pemantauan. Instalasi digunakan untuk menanam kangkung, dan laporan kegiatan mencatat adanya panen awal yang diperoleh mitra. Pelatihan tanggal 25 Juli 2026, diskusi, dan pendampingan menghubungkan penerapan alat dengan pengenalan cara kerja serta perawatan dasar. Kontribusi utama program terletak pada kolaborasi partisipatif antara perguruan tinggi dan mitra, yang menjadikan teknologi sebagai sumber informasi dan pengalaman praktik, bukan semata penyerahan perangkat.

Keberlanjutan hasil tersebut memerlukan pencatatan mutu sensor dan ketersediaan data, verifikasi inventaris feeder serta jenis pompa, pemeriksaan perlindungan perangkat, dan pendampingan operasional rutin. Besaran peningkatan produktivitas, penghematan air, profitabilitas, perubahan literasi digital, serta ketepatan AI prediksi panen belum dapat disimpulkan tanpa pengukuran khusus. Evaluasi selanjutnya diprioritaskan pada kalibrasi sensor, log waktu operasi, catatan panen terukur, daftar hadir dan penilaian keterampilan, serta bukti penggunaan mandiri oleh mitra. Dengan langkah tersebut, keberhasilan implementasi awal dapat berkembang menjadi manfaat yang lebih terukur dan menjadi model pembelajaran bagi penerapan aquaponik cerdas di lokasi lain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bina Nusantara University atas dukungan pendanaan melalui Hibah Internal Pengabdian kepada Masyarakat dalam program BINUS Bangun Desa – Untuk Nusantara (BBD-UN), berdasarkan Kontrak No. 096-VRTT-CE/KMG/XI/2025. Apresiasi diberikan kepada Arjuna Farm di Deli Tua, Sumatera Utara, atas partisipasi aktif selama perancangan, pemasangan, evaluasi lapangan, serta penyuluhan. Adli Abdillah Nababan mengoordinasikan program dan arsitektur sistem; Jefri Junifer Pangaribuan mendukung integrasi IoT dan pengembangan dashboard; Ince Ahmad Zarqan berkontribusi pada identifikasi kebutuhan mitra dan keberlanjutan; Fernando Sihotang memfasilitasi koordinasi serta diseminasi; dan Charles Jhony Mantho Sianturi mendukung pengujian perangkat dan evaluasi teknis. Terima kasih juga disampaikan kepada Bryant Miroslavy Limoel dan Hritish Gaya Galani atas bantuan pada instalasi, monitoring, dan dokumentasi kegiatan.

6. Referensi

[1] T. Y. Kyaw and A. K. Ng, “Smart aquaponics system for urban farming,” *Energy Procedia*, vol. 143, pp. 342–347, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.694.

[2] A. Reyes-Yanes, P. Martinez Rodriguez, and R. Ahmad, “Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 263, Art. no. 121571, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121571.

[3] S. Wan, K. Zhao, Z. Lu, J. Li, T. Lu, and H. Wang, "A modularized IoT monitoring system with edge-computing for aquaponics," *Sensors*, vol. 22, no. 23, Art. no. 9260, 2022, doi: 10.3390/s22239260.

[4] M. Alselek, J. M. Alcaraz-Calero, J. Segura-Garcia, and Q. Wang, "Water IoT monitoring system for aquaponics health and fishery applications," *Sensors*, vol. 22, no. 19, Art. no. 7679, 2022, doi: 10.3390/s22197679.

[5] C. Lee and Y.-J. Wang, "Development of a cloud-based IoT monitoring system for fish metabolism and activity in aquaponics," *Aquacultural Engineering*, vol. 90, Art. no. 102067, 2020, doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102067.

[6] A. A. Nababan, I. A. Zarqan, Y. A. Pratama, M. Jannah, R. Prandana, and A. Prabowo, "Design and Development of an IoT-Based Smart Aquaponic System for Urban Food Sustainability," in *Green Technologies and Sustainable Intelligence—Volume I: Theoretical Aspects and Computational Approaches*, S. Duarte Correia and M. Lahby, Eds. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2026, pp. 123–133, doi: 10.1007/978-3-032-19038-3_10.

[7] A. A. Nababan, I. A. Zarqan, J. J. Pangaribuan, F. Sihotang, and C. J. M. Sianturi, "Real-Time Plant Growth Monitoring in IoT-Enabled Aquaponic Systems Using YOLOv11," in *2026 International Seminar on Intelligent Business and Edge-Computing Research (ISIBER)*, 2026, pp. 107–112, doi: 10.1109/ISIBER68248.2026.11470175.

[8] R. Lal, "Home gardening and urban agriculture for advancing food and nutritional security in response to the COVID-19 pandemic," *Food Security*, vol. 12, no. 4, pp. 871–876, 2020, doi: 10.1007/s12571-020-01058-3.

[9] N. Fauza et al., "Akuaponik sebagai sarana pemberdayaan masyarakat Labuhbaru Barat dalam konsep urban farming," *Transformasi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 17, no. 2, pp. 269–278, 2021, doi: 10.20414/transformasi.v17i2.3778.

[10] R. S. Prayitno and E. Suharyono, "Pelatihan budidaya selada menggunakan sistem aquaponik di PKK Kelurahan Bendanduwur Kota Semarang," *JMM - Jurnal Masyarakat Merdeka*, vol. 6, no. 1, pp. 41–48, 2023, doi: 10.51213/jmm.v6i1.132.

[11] M. A. H. bin Zamnuri et al., "Integration of IoT in small-scale aquaponics to enhance efficiency and profitability: A systematic review," *Animals*, vol. 14, no. 17, Art. no. 2555, 2024, doi: 10.3390/ani14172555.

[12] D. Karimanzira and T. Rauschenbach, "Enhancing aquaponics management with IoT-based predictive analytics for efficient information utilization," *Information Processing in Agriculture*, vol. 6, no. 3, pp. 375–385, 2019, doi: 10.1016/j.inpa.2018.12.003.

[13] S. B. Dhal et al., "A machine-learning-based IoT system for optimizing nutrient supply in commercial aquaponic operations," *Sensors*, vol. 22, no. 9, Art. no. 3510, 2022, doi: 10.3390/s22093510.

[14] C. N. Udanor et al., "An internet of things labelled dataset for aquaponics fish pond water quality monitoring system," *Data in Brief*, vol. 43, Art. no. 108400, 2022, doi: 10.1016/j.dib.2022.108400.

[15] G. A. Bowen, "Document analysis as a qualitative research method," *Qualitative Research Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 27–40, 2009, doi: 10.3316/QRJ0902027.

[16] S. L. Dalglish, H. Khalid, and S. A. McMahon, "Document analysis in health policy research: The READ approach," *Health Policy and Planning*, vol. 35, no. 10, pp. 1424–1431, 2020, doi: 10.1093/heapol/czaa064.

[17] A. Greenfeld, N. Becker, J. McIlwain, R. Fotedar, and J. F. Bornman, "Economically viable aquaponics? Identifying the gap between potential and current uncertainties," *Reviews in Aquaculture*, vol. 11, no. 3, pp. 848–862, 2019, doi: 10.1111/raq.12269.