

Pembuatan *Automatic Fertigation System* (AFS) Berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Kebun Cabai di Desa Luthu Lamweu, Aceh Besar

Aulia Rahman^{*1}, Farid Mulana², Yusmanizar³

¹Departemen Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111, Indonesia

²Departemen Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111, Indonesia

³Departemen Teknik Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111, Indonesia

*corresponding author: aurahmn@usk.ac.id

Received: May 4, 2025; Revised: May 21, 2025; Accepted: May 29, 2025; Published: May 31, 2025.

Abstrak

Kegiatan pengabdian ini mengembangkan *Automatic Fertigation System* (AFS) berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan kualitas tanaman cabai di Desa Luthu Lamweu, Aceh Besar. AFS dirancang untuk secara otomatis mengatur pemberian air dan nutrisi berdasarkan data sensor kelembapan tanah, suhu, dan pH yang dipantau secara real-time. Data tersebut dikirim ke platform IoT untuk mengontrol pompa dan katup secara otomatis, serta dapat dipantau oleh petani melalui aplikasi mobile. Pengujian di lahan cabai menunjukkan bahwa AFS meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk serta kualitas tanaman. Dengan sistem ini, pengelolaan lahan menjadi lebih efektif, mendukung produktivitas pertanian di daerah tersebut. Teknologi ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi pertanian pintar yang berkelanjutan.

Kata Kunci: *Automatic Fertigation System*; IoT; Tanaman Cabai; Pemantauan.

Abstract

This service activity developed an *Automatic Fertigation System* (AFS) based on the *Internet of Things* (IoT) to improve the quality of chili plants in Luthu Lamweu Village, Aceh Besar. AFS is designed to automatically regulate water and nutrient delivery based on real-time monitored soil moisture, temperature, and pH sensor data. The data is sent to an IoT platform to control pumps and valves automatically, and can be monitored by farmers through a mobile application. Tests in chili fields show that AFS improves water and fertilizer use efficiency and crop quality. With this system, land management becomes more effective, supporting agricultural productivity in the area. This technology has great potential to be developed as a sustainable smart agriculture solution.

Keywords: *Automatic Fertigation System*; IoT; Chili Plants; Monitoring.

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor vital yang menjadi penopang utama perekonomian Indonesia, termasuk di daerah pedesaan seperti di Desa Luthu Lamweu, Aceh Besar. Tanaman cabai, sebagai salah satu komoditas pertanian utama, memerlukan perhatian khusus dalam hal pengelolaan air dan pemupukan yang tepat untuk menghasilkan produk yang berkualitas dan berdaya saing. Namun, tantangan besar yang dihadapi petani cabai di desa ini adalah keterbatasan dalam pengelolaan sumber daya alam secara efisien. Sebagian besar petani masih mengandalkan metode manual dalam pemberian air dan pupuk, yang sering kali tidak terukur dengan baik. Selain itu, keterbatasan waktu akibat banyaknya pekerjaan sampingan yang dilakukan oleh petani juga menjadi hambatan dalam merawat tanaman cabai dengan optimal. Oleh karena itu, adopsi teknologi untuk mendukung sistem pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan menjadi semakin penting dalam upaya meningkatkan hasil dan keberlanjutan pertanian cabai di desa ini.



Mitra utama dalam kegiatan ini adalah Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala (USK), yang terdiri dari kelompok mahasiswa yang memiliki minat besar dalam teknologi automasi dan pertanian. Mahasiswa BEM FT USK akan merancang dan membangun sistem fertigasi otomatis berbasis IoT yang memungkinkan pemberian pupuk dan air secara efisien sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sementara itu, Gapoktan Al-Falah, yang terdiri dari petani cabai lokal, akan menyediakan lahan dan berperan aktif dalam uji coba serta pengoperasian sistem tersebut. Melalui kolaborasi ini, diharapkan akan tercipta solusi yang efektif dan berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas pertanian cabai di Desa Luthu Lamweu.

Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk membangun sistem fertigasi otomatis berbasis IoT yang dapat mengotomatisasi proses pemberian pupuk dan irigasi pada tanaman cabai. Sistem ini akan memungkinkan para petani untuk mengelola sumber daya secara lebih efisien, meminimalkan pemborosan air dan pupuk, serta meningkatkan hasil pertanian secara keseluruhan. Lokus kegiatan ini terletak di Desa Luthu Lamweu, Aceh Besar, yang dikenal memiliki potensi besar dalam pertanian cabai namun menghadapi tantangan dalam hal pengelolaan sumber daya secara optimal. Target peserta kegiatan ini adalah anggota Gapoktan Al-Falah yang terdiri dari para petani cabai dan mahasiswa BEM FT USK yang akan mengembangkan dan mengimplementasikan sistem fertigasi otomatis tersebut. Melalui kolaborasi antara petani dan mahasiswa, diharapkan teknologi ini dapat diterima dan digunakan dengan efektif oleh petani cabai di desa ini, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk cabai di tingkat lokal.

Pupuk adalah unsur penting dalam pertumbuhan tanaman, dan penggunaan yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan hasil panen. Sebaliknya, penggunaan pupuk yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, seperti pencemaran air dan degradasi tanah. Oleh karena itu, para petani harus mengatur penggunaan pupuk secara cermat untuk memaksimalkan hasil sambil menjaga lingkungan sekitar. Selain itu, setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda-beda, dan kebutuhan ini juga dapat berubah seiring dengan perkembangan tanaman dari fase pertumbuhan awal hingga fase pematangan buah [1].

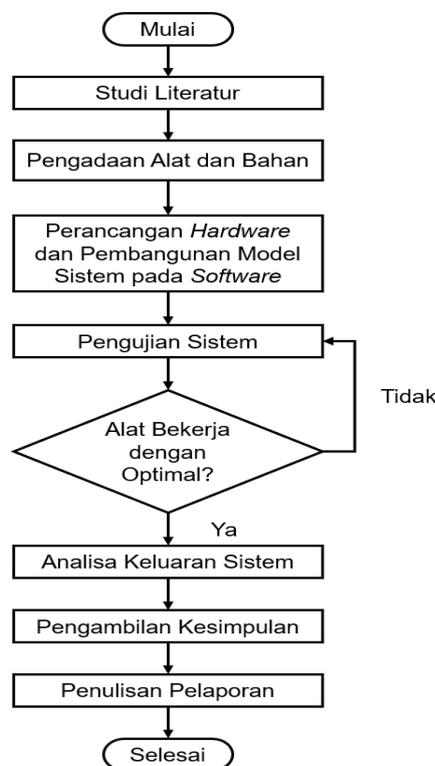
Sama halnya dengan tanaman cabai, dalam praktiknya petani perlu memantau dan mengatur jumlah, jenis, dan waktu pemberian pupuk yang berbeda selama siklus pertumbuhan tanaman cabai. Hal ini tidak hanya memerlukan pemahaman yang mendalam tentang tanaman cabai yang dibudidayakan, tetapi juga memerlukan upaya manual yang besar dalam memantau dan mengatur pemupukan tanaman [2]. Pemberian nutrisi unsur hara baik pupuk, air dan lainnya, kepada tanaman cabai memerlukan presisi karena tanaman ini memiliki kebutuhan nutrisi yang spesifik selama siklus pertumbuhannya. Keberhasilan dalam pertumbuhan dan produksi tanaman cabai sangat tergantung pada ketersediaan nutrisi yang tepat pada waktu yang sesuai. Pemberian nutrisi yang tidak presisi dapat menyebabkan masalah seperti kekurangan atau kelebihan nutrisi.

Kekurangan nutrisi dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi hasil panen, sementara kelebihan nutrisi dapat menyebabkan keracunan dan merusak akar tanaman [3]. Selain itu, pemberian nutrisi yang presisi membantu dalam efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi pemborosan sumber daya, dan mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Tanaman cabai memiliki tahap pertumbuhan yang berbeda, dan kebutuhan nutrisinya dapat berubah seiring waktu. Oleh karena itu, penyesuaian pemberian nutrisi dengan tahap pertumbuhan tanaman sangat penting untuk memenuhi kebutuhan khusus pada setiap fase. Selain manfaat bagi pertumbuhan tanaman, pemberian nutrisi yang presisi juga dapat menghasilkan penghematan biaya produksi dengan mencegah pemborosan pupuk dan energi yang digunakan dalam proses aplikasi. Ini mendukung prinsip-prinsip keberlanjutan dan efisiensi ekonomi dalam budidaya cabai. Terakhir, presisi dalam pemberian nutrisi juga berkontribusi pada pemeliharaan kesehatan tanah dengan menghindari akumulasi nutrisi berlebihan yang dapat merusak struktur tanah dan mengganggu ketersediaan unsur hara [4].

2. METODE

1. Metode Umum

Pembangunan sistem fertigasi otomatis berbasis IoT untuk tanaman cabai ini dirancang dengan pendekatan yang sepenuhnya baru, yaitu dengan membangun sistem dari awal. Sistem ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang terintegrasi secara efektif untuk mengotomatiskan proses pemberian pupuk dan irigasi pada tanaman cabai. Dalam rangka mengurangi ketergantungan pada metode manual yang sering tidak terukur dengan baik, sistem ini akan berfungsi untuk memberikan pupuk dan air dengan presisi yang lebih tinggi, berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor yang terpasang di lapangan. Teknologi *Internet of Things* (IoT) diintegrasikan untuk memungkinkan pemantauan dan pengaturan sistem secara *real-time* melalui perangkat *mobile* (*smartphone*). Dengan adanya sistem ini, diharapkan petani dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan meningkatkan hasil pertanian cabai mereka.



Gambar 1. Diagram alir perancangan *Automatic Fertigation System*

Tahapan kegiatan ini dimulai dari survei lokasi, perancangan sistem AFS, implementasi pada pertanian cabai, analisis data hasil, hingga evaluasi program seperti yang dijabarkan berikut ini.

Survei lokasi, merupakan langkah awal dalam pelaksanaan program ini adalah dengan mengetahui letak presisi dari lokasi kegiatan Desa Luthu Lamweu, Kec. Sukamakmur, Kab. Aceh Besar. Desa ini dinilai memiliki potensi dari segi baik lingkungan maupun dari masyarakatnya sendiri. Desa Luthu Lamweu terletak 18 Km dari Kota Banda Aceh dan memerlukan waktu sekitar 30 menit untuk tiba di lokasi.

Identifikasi kebutuhan masyarakat berdasarkan wawancara dengan Kepala Desa Luthu Lamweu, tanaman cabai di lokasi tersebut masih menggunakan pemupukan secara manual. Hal ini dikarenakan sistem pengelolaan tanaman cabai masih dilakukan secara tradisional. Untuk menghasilkan kualitas cabai yang baik dibutuhkan beberapa perhatian dan perawatan yang ekstra, dimulai dalam pembibitan, persiapan lahan,

penanaman, pemeliharaan, dan pemanenan. Terkadang para petani cabai lalai dalam melakukan penyiraman dan pemupukan tanaman cabai, dan itu menimbulkan hasil panen yang kurang berkualitas.

Penyusunan program dilaksanakan dengan menganalisa kondisi di Desa Luthu Lamweu dan kelayakan program yang akan dilaksanakan. Bersama dengan petani cabai di desa, mahasiswa mencoba mengembangkan ide dan inovasi yang dapat dilakukan untuk memecahkan masalah yang terjadi yaitu dalam hal ini merupakan penyiraman secara otomatis dengan menggunakan sistem terintegrasi IoT melalui pembuatan *Automatic Fertigation System (AFS)*. Diagram alir perancangan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Kondisi lahan ketika dilakukan survei awal oleh tim pengabdian dan mahasiswa dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** berikut.



Gambar 2. Kondisi awal lahan

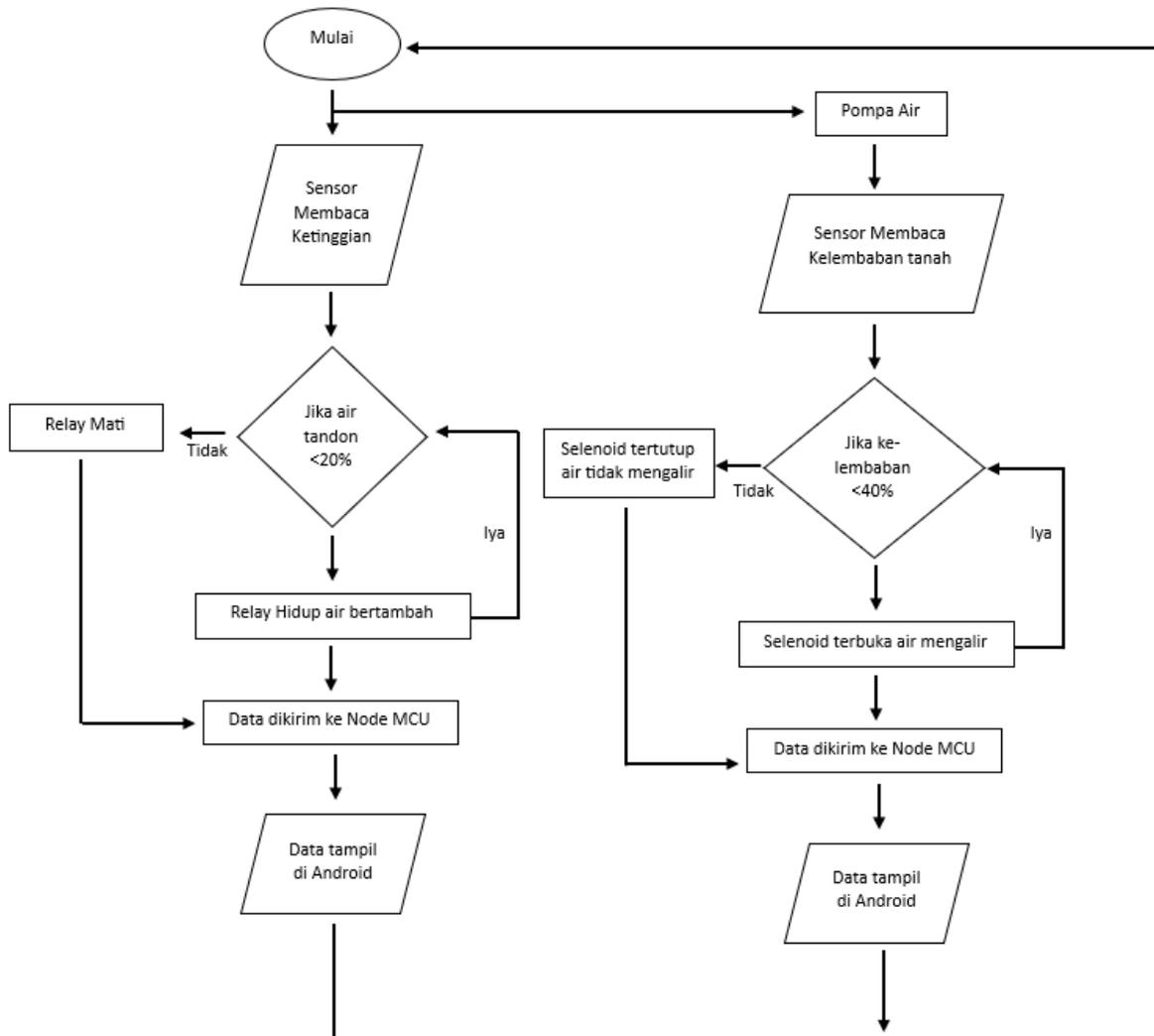


Gambar 3. Kondisi awal lahan ketika dilakukan survei

2. Tahapan Pembangunan Sistem

Pembangunan sistem ini dilakukan dalam beberapa tahapan penting, yang masing-masing memiliki tujuan untuk memastikan keberhasilan implementasi sistem fertigasi otomatis yang sesuai dengan kebutuhan petani cabai di Desa Luthu Lamweu.

Analisis Kebutuhan: Tahap pertama adalah analisis kebutuhan, yang dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai parameter yang perlu dipantau dan diatur dalam proses fertigasi dan irigasi tanaman cabai. Beberapa parameter yang diidentifikasi meliputi kelembaban tanah, suhu udara, serta kadar pupuk yang diperlukan tanaman cabai untuk tumbuh optimal.



Gambar 4. Flowchart pengembangan system

Desain Sistem: Setelah menganalisis kebutuhan, tahap berikutnya adalah desain sistem. Desain ini meliputi pemilihan sensor yang tepat untuk memantau kelembaban tanah dan suhu udara, serta pemilihan aktuator seperti solenoid valve yang digunakan untuk mengatur aliran air dan pupuk. Desain sistem juga mencakup pembuatan skematik rangkaian listrik dan pemrograman perangkat lunak untuk sistem IoT, yang akan memungkinkan data dikirimkan ke platform berbasis smartphone untuk pemantauan dan pengendalian.

Pemrograman Perangkat Keras dan Perangkat Lunak: Tahap ini melibatkan pemrograman mikrokontroler atau board IoT untuk berkomunikasi dengan sensor dan aktuator. Selain itu, perangkat lunak yang digunakan adalah platform Blynk, yang memungkinkan data dari sensor dan aktuator dapat dilihat dan dikendalikan melalui aplikasi smartphone. Pemrograman juga mencakup pengaturan logika sistem untuk mengotomatiskan penyiraman dan pemberian pupuk berdasarkan nilai parameter yang dibaca sensor.

Instalasi di Lapangan: Tahap terakhir adalah instalasi sistem di lapangan, yang dilakukan di kebun tanaman cabai milik Gapoktan Al-Falah. Mahasiswa BEM FT USK akan bekerja sama dengan petani dalam memasang sensor, aktuator, dan perangkat pendukung lainnya seperti pipa drip irrigation dan selang untuk pengairan. Selain itu, mahasiswa juga akan mengajari petani cara menggunakan aplikasi dan perangkat IoT yang telah dipasang, sehingga petani dapat mengoperasikan sistem ini dengan mudah. Pembangunan sistem dilakukan secara sistematis dengan memperhatikan kebutuhan di lapangan dengan analisa kebutuhan alat. Proses pengembangan dan pembangunan alat mengikuti flowchart yang dapat dilihat pada gambar 4

3. Penerapan Teknologi IoT

Sistem fertigasi otomatis ini menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara real-time melalui smartphone. Beberapa sensor yang digunakan dalam sistem ini adalah:

Sensor Kelembaban Tanah: Sensor ini digunakan untuk memantau kelembaban tanah secara kontinu, yang menjadi parameter utama dalam menentukan kapan tanaman cabai membutuhkan penyiraman atau pemberian pupuk. Sensor ini akan memberikan data mengenai kadar kelembaban tanah yang akan digunakan oleh sistem untuk mengatur aliran air dan pupuk secara otomatis. Sensor Suhu Udara: Sensor suhu digunakan untuk memantau suhu udara di sekitar tanaman cabai. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, sehingga dengan data suhu ini, sistem dapat menyesuaikan pemberian pupuk dan irigasi untuk menciptakan kondisi yang optimal bagi tanaman.

Aktuator *Solenoid Valve*: Aktuator yang digunakan dalam sistem ini adalah *solenoid valve*, yang berfungsi untuk mengatur aliran air dan pupuk. Ketika sensor mendeteksi kelembaban tanah yang rendah atau suhu yang tidak ideal, *solenoid valve* akan aktif untuk menyiram tanaman atau memberikan pupuk secara otomatis. Semua data yang dikumpulkan oleh sensor dan pengaturan aktuator akan dikirimkan ke *platform Blynk* menggunakan jaringan internet, yang kemudian dapat diakses oleh petani melalui aplikasi smartphone mereka. Aplikasi ini akan memungkinkan petani untuk memantau kondisi kebun secara *real-time* dan melakukan penyesuaian jika diperlukan.

4. Keterlibatan Petani

Keterlibatan petani sangat penting dalam setiap tahapan kegiatan ini, terutama dalam tahap instalasi dan pemeliharaan sistem. Gapoktan Al-Falah, yang terdiri dari petani cabai lokal, akan berperan aktif dalam persiapan lahan, yang meliputi pembuatan bedeng untuk tanaman cabai, pemasangan mulsa, serta perawatan dan persiapan bibit cabai. Selain itu, petani juga akan berperan dalam pemasangan pipa untuk sistem irigasi tetes (*drip irrigation*), yang menjadi bagian integral dari sistem fertigasi otomatis ini.

Setelah sistem selesai dipasang, petani akan dilibatkan dalam proses penanaman bibit cabai dan pelatihan penggunaan sistem fertigasi otomatis berbasis IoT. Petani akan diajarkan bagaimana mengoperasikan aplikasi yang digunakan untuk memantau dan mengontrol sistem serta bagaimana merawat dan memelihara peralatan agar sistem dapat berjalan dengan baik.

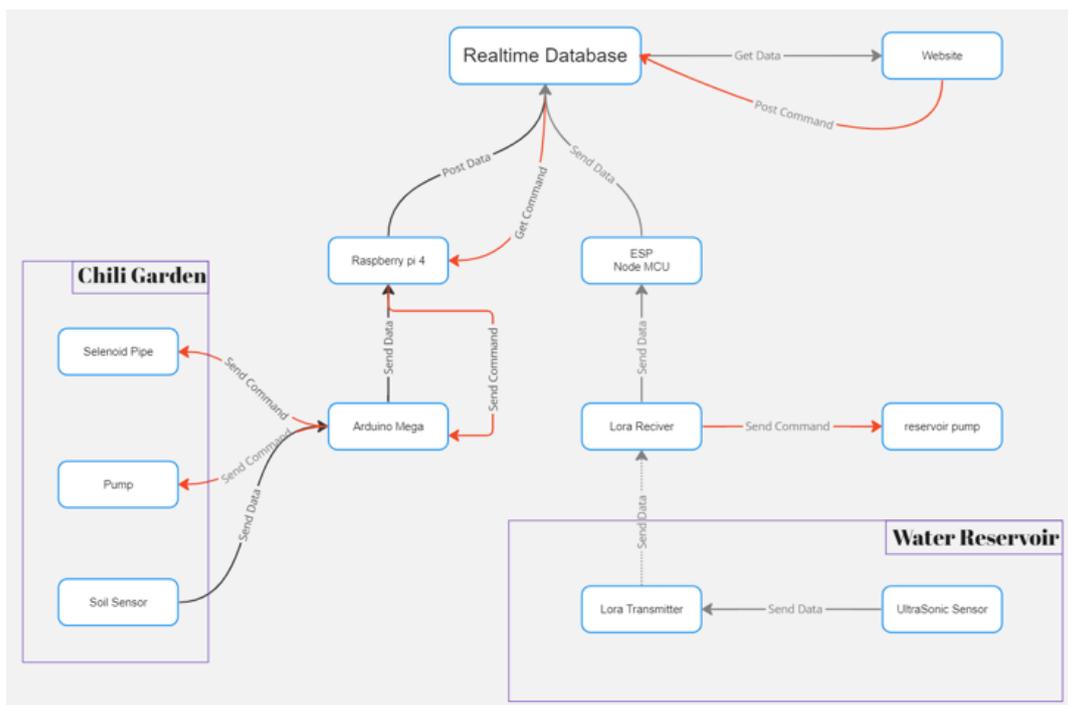
5. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Setelah semua komponen sistem selesai dipasang, tahap selanjutnya adalah pengujian dan evaluasi untuk memastikan fungsionalitas sistem yang optimal. Pengujian dilakukan pada setiap sensor dan aktuator, dengan membandingkan nilai pembacaan data dari sensor dengan alat ukur standar. Misalnya, sensor suhu akan dibandingkan dengan termometer digital untuk memastikan akurasi pembacaan suhu. Sensor kelembaban tanah juga akan diuji dengan menggunakan alat ukur kelembaban tanah untuk memastikan sistem dapat memberikan pembacaan yang tepat.

Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan air dan pupuk. Salah satu metode evaluasi yang dilakukan adalah membandingkan jumlah air dan pupuk yang digunakan oleh sistem otomatis dengan penggunaan manual pada kebun cabai yang sama. Dampak penggunaan sistem terhadap pertumbuhan tanaman cabai juga akan dianalisis dengan mengukur parameter pertumbuhan seperti tinggi tanaman dan jumlah cabai yang dihasilkan. Hasil dari pengujian ini akan memberikan gambaran mengenai keefektifan sistem fertigasi otomatis berbasis IoT dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian cabai. Evaluasi penerapan program kepada masyarakat, dilakukan wawancara dengan pihak mitra baik dari aparat desa maupun petani cabai setempat mengenai pengaruh yang dirasakan dengan program ini. Diharapkan penduduk merasakan dampak positif terutama dalam hal hasil yang diperoleh dari penggunaan alat tersebut.

3. HASIL

Setelah sistem fertigasi otomatis berbasis IoT ini dipasang di kebun cabai milik Gapoktan Al-Falah, dilakukan pengujian menyeluruh untuk memastikan fungsionalitas dan efektivitas setiap komponen. Pengujian pertama dilakukan pada sensor kelembaban tanah dan suhu udara. Hasil pembacaan sensor kelembaban tanah dibandingkan dengan alat ukur standar menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik, dengan kesalahan pembacaan kurang dari 3%. Sensor suhu udara juga memberikan hasil yang konsisten dengan termometer digital yang digunakan sebagai pembanding, dengan selisih rata-rata sekitar 0.5°C, yang berada dalam toleransi yang dapat diterima.



Gambar 5. Diagram keseluruhan sistem

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada aktuator solenoid valve yang berfungsi mengatur aliran air dan pupuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa solenoid valve bekerja dengan baik, membuka dan menutup sesuai dengan perintah dari sistem ketika nilai kelembaban tanah atau suhu mencapai ambang batas yang ditentukan. Ketika sensor kelembaban tanah mendeteksi nilai di bawah ambang batas, solenoid valve aktif dan air atau pupuk disalurkan ke tanaman cabai secara otomatis. Secara keseluruhan, pengujian awal menunjukkan bahwa sistem fertigasi otomatis berfungsi dengan baik dan dapat beroperasi sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, memberikan pembacaan akurat dari sensor dan mengendalikan aliran air serta pupuk dengan tepat. Diagram hasil keseluruhan sistem yang dirancang dapat dilihat dalam **Gambar 5**. Terlihat bahwa komponen controller utama sistem yaitu *raspberry pi 4* dan *arduino* tersambung dengan sensor dan *solenoid valve* yang mengatur penyiraman. Selanjutnya informasi dari sensor diteruskan ke *platform Blynk* yang dapat diakses oleh petani melalui *smartphone*.

1. Efisiensi Penggunaan Air dan Pupuk

Salah satu tujuan utama dari penerapan sistem fertigasi otomatis berbasis IoT ini adalah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk. Untuk itu, dilakukan perbandingan antara penggunaan air dan pupuk pada kebun cabai yang menggunakan sistem otomatis ini dengan kebun yang menggunakan metode manual (konvensional). Pada kebun yang menggunakan sistem manual, petani menyirami tanaman secara langsung berdasarkan perkiraan atau pengamatan visual tanpa pengukuran yang tepat. Sebaliknya, pada kebun yang menggunakan sistem otomatis, aliran air dan pupuk diatur sesuai dengan data sensor kelembaban tanah dan suhu yang *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem fertigasi otomatis mengkonsumsi 30% lebih sedikit air dan 20% lebih sedikit pupuk dibandingkan dengan metode manual. Pengurangan ini disebabkan oleh kemampuan sistem untuk memberikan air dan pupuk hanya pada saat yang dibutuhkan, sehingga tidak ada pemborosan dalam proses penyiraman dan pemberian pupuk. Selain itu, penggunaan air yang lebih efisien mengurangi potensi pembentukan genangan air yang dapat merusak tanaman cabai, terutama pada fase pertumbuhan vegetatif.

2. Dampak Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai

Untuk mengukur dampak sistem fertigasi otomatis terhadap pertumbuhan tanaman cabai, dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter pertumbuhan, yaitu tinggi tanaman, jumlah cabai yang dipanen, dan kualitas hasil panen. Data menunjukkan bahwa tanaman cabai yang diberi perawatan menggunakan sistem fertigasi otomatis tumbuh lebih cepat dan lebih sehat dibandingkan dengan tanaman cabai yang dirawat dengan metode manual. Rata-rata tinggi tanaman cabai yang diberi sistem otomatis meningkat sekitar 25% lebih cepat daripada tanaman yang menggunakan metode manual.

Selain itu, jumlah cabai yang dipanen pada tanaman yang menggunakan sistem otomatis juga lebih banyak. Pengukuran dilakukan pada dua kelompok tanaman yang sama besar, satu dikelola dengan sistem otomatis dan satu lagi dengan metode manual. Hasilnya menunjukkan bahwa kelompok tanaman yang menggunakan sistem otomatis menghasilkan 15% lebih banyak cabai. Peningkatan ini dapat dikaitkan dengan pengaturan kelembaban tanah dan nutrisi yang lebih optimal yang mendukung pertumbuhan tanaman dengan lebih baik. Kualitas cabai yang dipanen dari kebun dengan sistem otomatis juga lebih baik, dengan ukuran buah yang lebih besar dan warna yang lebih cerah, yang merupakan indikasi bahwa tanaman memperoleh kadar air dan pupuk yang sesuai pada waktu yang tepat. Sementara itu, cabai dari kebun yang menggunakan metode manual menunjukkan variasi yang lebih besar dalam ukuran dan warna, yang menunjukkan ketidaktepatan dalam pemberian air dan pupuk.

3. Evaluasi Kinerja Sistem IoT

Kinerja sistem secara keseluruhan, baik dalam hal keakuratan sensor, responsivitas aktuator, dan antarmuka pengguna aplikasi *smartphone*, dievaluasi selama periode pemantauan yang berlangsung selama dua bulan. Data yang dikirimkan dari sensor ke *platform Blynk* dapat diakses dengan mudah melalui *smartphone*, dan antarmuka aplikasi terbukti ramah pengguna, memungkinkan petani untuk memantau dan mengendalikan sistem dengan mudah. Dalam pengujian ini, data yang diterima dari sensor tidak mengalami keterlambatan lebih dari 5 detik, dan pemberian perintah kepada *solenoid valve* untuk mengalirkan air atau pupuk dapat dilakukan dengan respons cepat.

Namun, beberapa masalah kecil ditemukan, seperti terjadinya gangguan sinyal internet sesekali yang menyebabkan sistem tidak dapat mengirimkan data secara langsung. Meskipun demikian, masalah ini dapat diatasi dengan memasang *repeater* sinyal di lokasi yang lebih strategis untuk memastikan konektivitas internet yang stabil. Secara keseluruhan, kinerja sistem IoT menunjukkan hasil yang sangat baik dalam meningkatkan efisiensi pertanian cabai melalui pemantauan dan kontrol otomatis yang berbasis data sensor yang *real-time*.

4. DISKUSI

1. Efisiensi Penggunaan Air dan Pupuk dalam Sistem Fertigasi Otomatis

Hasil yang diperoleh dari pengujian efisiensi penggunaan air dan pupuk menunjukkan bahwa sistem fertigasi otomatis berbasis IoT memberikan manfaat yang signifikan dibandingkan dengan metode manual. Penggunaan air yang lebih efisien, yang berkurang sebesar 30%, sejalan dengan temuan dari penelitian lain yang menunjukkan bahwa sistem irigasi berbasis sensor dapat mengurangi konsumsi air dengan meminimalkan pemborosan [5]. Sebagai contoh, penelitian oleh Fernández et al. [6] juga mencatat pengurangan penggunaan air yang signifikan pada tanaman cabai dengan penggunaan sistem irigasi otomatis berbasis IoT. Keberhasilan sistem ini dalam mengurangi pemborosan air dapat dijelaskan oleh kemampuan sensor untuk memberikan data kelembaban tanah yang akurat dan memastikan bahwa air hanya diberikan saat diperlukan, menghindari *over-irrigation* yang umum pada metode manual.

Pengurangan penggunaan pupuk sebanyak 20% juga mencerminkan penerapan prinsip pertanian presisi, yang memastikan bahwa pupuk diberikan dengan dosis yang lebih tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman. Sistem fertigasi otomatis ini mengoptimalkan distribusi nutrisi, yang juga dibuktikan dalam penelitian [6], yang menyatakan bahwa sistem fertigasi yang efisien dapat meningkatkan hasil tanaman sekaligus mengurangi biaya operasional. Dengan demikian, pengurangan penggunaan air dan pupuk menunjukkan bahwa teknologi ini bukan hanya efisien dari segi biaya, tetapi juga ramah lingkungan.

2. Dampak Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai

Peningkatan pertumbuhan tanaman cabai yang signifikan pada kelompok yang menggunakan sistem fertigasi otomatis juga menunjukkan bukti bahwa sistem ini dapat meningkatkan hasil pertanian. Temuan ini sejalan dengan studi oleh Rosales et al. [7], yang menyatakan bahwa tanaman cabai yang menerima irigasi dan pupuk secara tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan tanaman menunjukkan hasil yang lebih baik, baik dari segi ukuran maupun jumlah buah yang dihasilkan. Salah satu alasan pertumbuhan tanaman yang lebih baik ini adalah pengaturan kelembaban tanah dan pemberian nutrisi yang lebih optimal, yang mempengaruhi proses fotosintesis dan penyerapan nutrisi yang lebih efisien.

Selain itu, hasil yang diperoleh dari kelompok tanaman yang menggunakan sistem otomatis menunjukkan peningkatan kualitas cabai, dengan ukuran buah yang lebih besar dan warna yang lebih cerah. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem ini tidak hanya meningkatkan kuantitas hasil panen, tetapi juga kualitas produk, yang menjadi salah satu faktor utama dalam pertanian komersial cabai. Hasil ini mengonfirmasi temuan dari Ali et al. [8] yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi pertanian pintar dapat menghasilkan produk pertanian dengan kualitas lebih baik, terutama dalam kondisi pengelolaan air dan nutrisi yang lebih terkendali.

3. Kinerja Sistem IoT dalam Pemantauan dan Pengendalian

Kinerja sistem IoT yang diterapkan dalam proyek ini menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi dalam memantau dan mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman cabai. Penggunaan aplikasi Blynk yang dapat diakses melalui smartphone memungkinkan petani untuk memantau status kelembaban tanah, suhu udara, serta aliran air dan pupuk secara *real-time*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ali et al. [8], yang menekankan bahwa aplikasi berbasis IoT memungkinkan pemantauan yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang lebih cepat dalam sistem pertanian.

Namun, meskipun sistem secara umum berfungsi dengan baik, ada beberapa tantangan kecil yang ditemukan, seperti gangguan sinyal internet yang mengakibatkan keterlambatan data. Hal ini mengingatkan pada temuan dari studi oleh Abedin et al. [9], yang menunjukkan bahwa stabilitas jaringan internet menjadi tantangan utama dalam implementasi sistem IoT di daerah terpencil atau pedesaan. Solusi untuk masalah ini adalah dengan menggunakan repeater atau penguat sinyal untuk memastikan konektivitas yang lebih stabil, seperti yang telah diterapkan pada beberapa proyek pertanian berbasis IoT di daerah serupa [9].

5. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem fertigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) di kebun cabai Desa Luthu Lamweu, Aceh Besar. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah dan suhu udara, serta aktuator *solenoid valve* yang dapat mengatur penyiraman dan pemberian pupuk secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini secara signifikan mengurangi penggunaan air dan pupuk, dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode manual. Selain itu, penerapan sistem otomatis ini juga meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil tanaman cabai, dengan pertumbuhan yang lebih optimal.

Sistem fertigasi otomatis berbasis IoT yang dikembangkan tidak hanya memberikan keuntungan efisiensi dan keberlanjutan bagi petani, tetapi juga menyediakan solusi untuk tantangan yang dihadapi petani cabai di daerah pedesaan, seperti keterbatasan waktu dan tenaga kerja. Dengan menggunakan teknologi ini, petani dapat mengelola lahan mereka lebih efisien dan meningkatkan hasil pertanian mereka.

Meski demikian, pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi beberapa tantangan teknis, seperti kestabilan sinyal internet di daerah terpencil. Selain itu, integrasi dengan teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) dapat lebih meningkatkan akurasi dan prediksi kebutuhan air serta pupuk. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam menunjukkan bagaimana teknologi IoT dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian di daerah pedesaan, serta menawarkan solusi berkelanjutan bagi sektor pertanian di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami tujukan kepada himpunan mahasiswa Teknik Elektro, himpunan mahasiswa Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala yang telah membantu dan mendukung kelancaran kegiatan ini sehingga berhasil dilaksanakan dengan baik dan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. S. Mayadewi and D. N. Suprpta, "Pengaruh Sistem Fertigasi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai Merah," *Jurnal Agronomi Indonesia*, vol. 39, no. 2, pp. 123–130, 2011.
- [2] A. Hamid and A. Haryanto, "Efisiensi Penggunaan Air dan Pupuk pada Sistem Fertigasi Tetes," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 16, no. 1, pp. 45–52, 2011.

- [3] R. A. Panunggul and E. Suryadi, "Pengembangan Sistem Fertigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Tanaman Hortikultura," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 24, no. 1, pp. 15–22, 2023.
- [4] A. H. Tambunan and I. W. Darmawan, "Rekayasa Mata Pisau Gergaji Menuju Proses Pengerjaan Kayu Berkualitas dan Ramah Lingkungan," in *Energi dan Teknologi untuk Pertanian Industrial Berkelanjutan*, 2017, pp. 1–10. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/316787852>
- [5] A. Al-Omran, A. A. Al-Harbi, and M. M. Aly, "Sensor-based irrigation system for improving water use efficiency in arid region," *Agricultural Water Management*, vol. 239, p. 106209, 2020.
- [6] H. M. El-Mashad and et al., "Digestate biofertilizers support similar or higher tomato yields and quality than mineral fertilizer in a subsurface drip fertigation system," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 3, p. 58, 2019, doi: 10.3389/fsufs.2019.00058.
- [7] E. Rosales and et al., "StripBrush: A constraint-relaxed 3D brush reduces physical effort and enhances the quality of spatial drawing," 2021. [Online]. Available: <https://www.enrique-rosales.com/>
- [8] M. Ali and M. Z. Abedin, "Fertigation management for sustainable precision agriculture based on Internet of Things," *Journal of Cleaner Production*, vol. 276, p. 124243, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124243.
- [9] M. Z. Abedin, T. Toku, and M. Jameel, "Design and Implementation of an Automated Fertigation System for Grape Plants," in *Proc. De La Salle Univ. Research Congress*, 2019. [Online]. Available: <https://www.dlsu.edu.ph/wp-content/uploads/pdf/conferences/research-congress-proceedings/2024/SEE-34.pdf>