

## Penerapan dan Pelatihan AIoT Berbasis Pengendalian Mikroklimat Pada Budidaya Melon di Desa Ngablak

Achmad Azhar Aldiansyah<sup>1</sup>, Nidea Noviana<sup>2</sup>, Rana Arta Maylova<sup>3</sup>, Pradipta Eka Nugraha<sup>4</sup>, Bayu Rahmat Sabila<sup>5</sup>, Daniel Setyo Nugroho<sup>6</sup>, Yehezkiel Revan Santoso<sup>7</sup>, Zudha Pratama<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup> Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro

E-mail: <sup>1</sup>aldiansyahazhar710@gmail.com, <sup>2</sup>nideanoviana28@gmail.com, <sup>3</sup>rrana294480@gmail.com, <sup>4</sup>pradiptaekan8@gmail.com, <sup>5</sup>bayu30200@gmail.com, <sup>6</sup>daniellnugroho18@gmail.com, <sup>7</sup>santosoyehezkiel95@gmail.com, <sup>8</sup>zudhapratama@dsn.dinus.ac.id

### Abstrak

Budidaya melon dalam greenhouse memerlukan pengelolaan suhu, kelembapan udara, kelembapan media tanam, irigasi, dan nutrisi secara konsisten. Kegiatan pengabdian ini bertujuan memberdayakan masyarakat Desa Ngablak, Kecamatan Banyakan, Kabupaten Kediri melalui penerapan Artificial Intelligence of Things (AIoT) Smart Crop Protection Farming berbasis environmental risk-based prevention. Sistem tidak mendiagnosis virus secara langsung, tetapi memantau suhu udara, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam untuk mengenali kondisi mikroklimat yang perlu dikoreksi. Kelembapan udara tinggi ditangani melalui aktivasi blower, kondisi udara terlalu kering melalui sistem misting, sedangkan media tanam kering ditangani dengan irigasi/fertigasi otomatis. Data sensor dan status aktuator dikirim ke server untuk dipantau melalui website dan bot WhatsApp. Program dilaksanakan secara partisipatif melalui koordinasi mitra, pembangunan demplot greenhouse, instalasi irigasi/fertigasi, pengembangan IoT dan AIoT, sosialisasi, FGD, serta monitoring dan evaluasi. Hasil evaluasi capaian menunjukkan bahwa 120 dari 120 media tanam terpasang, empat skenario uji fungsional berhasil, dua dari dua kanal pemantauan tersedia, dan satu kelompok pengelola terbentuk.

Kata kunci: AIoT; smart farming; greenhouse; mikroklimat; melon; fertigasi; pemberdayaan masyarakat

### Abstract

*Melon cultivation in greenhouse environments requires consistent management of temperature, air humidity, growing-media moisture, irrigation, and nutrients. This community service program aimed to empower the community of Ngablak Village, Banyakan District, Kediri Regency through the implementation of Artificial Intelligence of Things (AIoT) Smart Crop Protection Farming based on an environmental risk-based prevention approach. The system does not directly diagnose plant viruses; instead, it monitors air temperature, air humidity, and growing-media moisture to identify microclimate conditions that require corrective action. High air humidity is managed by activating blowers, overly dry air is treated using a misting system, while dry growing media is managed through automatic irrigation/fertigation. Sensor data and actuator status are transmitted to a server and monitored through a website and WhatsApp bot. The program was implemented through partner coordination, greenhouse demonstration plot construction, irrigation/fertigation installation, IoT and AIoT development, socialization, focus group discussions, and monitoring and evaluation. The achievement evaluation showed that 120 of 120 planting media were installed, four functional test scenarios were successful, both planned monitoring channels were available, and one local management group was established.*

*Keywords: AIoT; smart farming; greenhouse; microclimate; melon; fertigation; community empowerment*

## 1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) mendorong perubahan pengelolaan pertanian dari pengambilan keputusan yang dominan berbasis pengalaman menuju pendekatan kuantitatif berbasis data. Sistem Ag-IoT umumnya menggabungkan sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, aktuator, dan platform aplikasi untuk melakukan pemantauan lingkungan serta mengotomatisasi proses budidaya. Sebuah artikel penelitian menunjukkan bahwa monitoring lingkungan terkontrol dan penjadwalan irigasi berbasis kandungan air tanah merupakan dua aplikasi utama Ag-IoT [1]. Pada greenhouse, integrasi sensor, aktuator, dan platform cloud juga memungkinkan pemantauan dan pengendalian lingkungan secara jarak jauh [2].

Pada budidaya melon (*Cucumis melo* L.), pengelolaan lingkungan menjadi penting karena tanaman berada pada interaksi yang kompleks antara kondisi iklim mikro, kebutuhan air dan nutrisi, organisme pengganggu tanaman, serta serangga vektor penyakit. Salah satu virus yang relevan adalah Cucurbit yellow stunting disorder virus (CYSDV), yaitu crinivirus yang ditularkan secara efisien oleh kutu kebul *Bemisia tabaci* [3]. Pada 2026, CYSDV dilaporkan untuk pertama kalinya pada melon di Indonesia berdasarkan sampel tanaman bergejala yang berasal dari Kabupaten Kediri, Jawa Timur, sehingga isu pengelolaan risiko penyakit virus pada melon menjadi relevan bagi wilayah program [4].

Hubungan suhu dan kelembapan dengan risiko penyakit virus tidak boleh ditafsirkan sebagai hubungan langsung bahwa kondisi tertentu menyebabkan virus muncul. Suhu dan kelembapan merupakan faktor lingkungan yang dapat memengaruhi fisiologi tanaman, iklim mikro greenhouse, serta dinamika vektor. Perkembangan *Bemisia tabaci* diketahui dipengaruhi oleh temperatur [5], sementara kombinasi suhu dan kelembapan relatif juga berpengaruh terhadap kelangsungan hidup whitefly [6]. Oleh karena itu, pengendalian iklim mikro lebih tepat diposisikan sebagai tindakan preventif untuk menghindari kondisi lingkungan yang tidak diinginkan dan membantu mengelola risiko, bukan sebagai metode diagnosis virus.

Diagnosis spesifik penyakit virus tetap memerlukan metode diagnostik yang sesuai. Penelitian Wang menegaskan bahwa pengujian molekuler merupakan rujukan penting dalam diagnosis virus tanaman, sedangkan pendekatan sensing dan pengolahan citra lebih tepat digunakan sebagai metode tidak langsung untuk skrining, pemantauan gejala, atau pemodelan risiko [7]. Berdasarkan landasan tersebut, sistem yang diterapkan dalam program ini menggunakan konsep *environmental risk-based prevention*: sensor membaca kondisi iklim mikro, sistem menentukan apakah parameter perlu dikoreksi, kemudian aktuator melakukan tindakan otomatis untuk mengembalikan kondisi menuju rentang target.

Sejumlah penelitian terkait menunjukkan bahwa penerapan IoT pada pertanian umumnya mengintegrasikan sensor, jaringan komunikasi, komputasi, dan aplikasi untuk mendukung pemantauan serta pengambilan keputusan berbasis data. Ayaz et al. menguraikan arsitektur *smart agriculture* yang menghubungkan perangkat lapangan dengan layanan pemrosesan data [8], sedangkan Khanna dan Kaur menekankan peran IoT dalam pengembangan pertanian presisi melalui pemantauan kondisi lahan secara berkelanjutan [9]. Tzounis et al. juga menunjukkan bahwa penerapan IoT di bidang pertanian memerlukan integrasi sensor, protokol komunikasi, dan sistem pendukung keputusan [10]. Dalam konteks lingkungan terkendali, Shamshiri et al. menjelaskan bahwa otomatisasi greenhouse memungkinkan pengaturan iklim mikro melalui kombinasi sensing, pemodelan, dan kontrol aktuator [11].

Pada aspek pengelolaan air, Kamienski et al. mengembangkan platform *precision irrigation* berbasis IoT untuk menghubungkan pemantauan lapangan dengan pengelolaan irigasi [12]. Goap et al. menerapkan data sensor dan *machine learning* untuk menentukan kebutuhan irigasi [13], sedangkan Garcia et al. menegaskan bahwa kelembapan media, kondisi lingkungan, dan konektivitas merupakan komponen utama sistem irigasi cerdas [14]. Survei Farooq et al. menunjukkan bahwa tantangan penerapan *smart farming* tidak hanya terletak pada perangkat, tetapi juga pada interoperabilitas, konektivitas, pengelolaan data, dan kesiapan pengguna [15]. Berbeda dari penelitian yang dominan berfokus pada rancangan teknis, kegiatan ini

mengintegrasikan pengendalian mikroklimat, irigasi/fertigasi, dashboard, bot WhatsApp, pendampingan masyarakat, dan pembentukan kelompok pengelola dalam satu demplot. Integrasi tersebut menjadi dasar penerapan teknologi yang tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga dapat dipahami, dioperasikan, dan dilanjutkan oleh mitra.

Program dilaksanakan di Desa Ngablak, Kecamatan Banyakan, Kabupaten Kediri melalui PPK Ormawa Biro Teknik Informatika Universitas Dian Nuswantoro. Hasil observasi awal menunjukkan perlunya sarana percontohan yang menggabungkan budidaya melon, greenhouse, otomatisasi irigasi/fertigasi, pemantauan lingkungan, dan teknologi digital yang mudah digunakan masyarakat. Berdasarkan kebutuhan tersebut, dibangun demplot smart farming yang dilengkapi AIoT Smart Crop Protection Farming, website pengelolaan, dan bot WhatsApp.

Kegiatan pengabdian bertujuan: (1) membangun demplot greenhouse sebagai sarana percontohan budidaya melon berbasis smart farming; (2) menerapkan sistem pemantauan suhu, kelembapan udara, dan kelembapan media tanam; (3) menerapkan closed-loop microclimate control menggunakan blower, misting, dan irigasi/fertigasi; (4) menyediakan monitoring jarak jauh melalui website dan WhatsApp; serta (5) meningkatkan kapasitas masyarakat dan membentuk kelembagaan pengelola untuk mendukung keberlanjutan program.

## 2. METODE

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan dengan pendekatan partisipatif melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perencanaan, pembangunan demplot greenhouse, instalasi sistem irigasi/fertigasi dan perangkat AIoT, pengembangan sistem monitoring dan kontrol mikroklimat, sosialisasi, pendampingan, serta monitoring dan evaluasi. Pelaksanaan kegiatan melibatkan tim pelaksana, kelompok tani, pemerintah desa, dan mitra terkait untuk mendukung penerapan serta keberlanjutan teknologi di Desa Ngablak.

### 2.1 Lokasi, Waktu, dan Sasaran

Kegiatan dilaksanakan di Desa Ngablak, Kecamatan Banyakan, Kabupaten Kediri, Jawa Timur pada Juni-Agustus 2026. Sasaran kegiatan meliputi kelompok tani, masyarakat desa, dan kelompok pengelola demplot. Program melibatkan Pemerintah Desa Ngablak, BUMDes, Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Kediri, Dinas Ketahanan Pangan dan Peternakan, Penyuluh Pertanian Lapangan, mahasiswa pelaksana, dan Universitas Dian Nuswantoro.

Demplot greenhouse digunakan sebagai tempat implementasi teknologi sekaligus media pembelajaran. Sebanyak 120 media tanam disiapkan untuk budidaya melon dan dihubungkan dengan instalasi irigasi/fertigasi serta perangkat monitoring.

### 2.2 Pendekatan Pemberdayaan

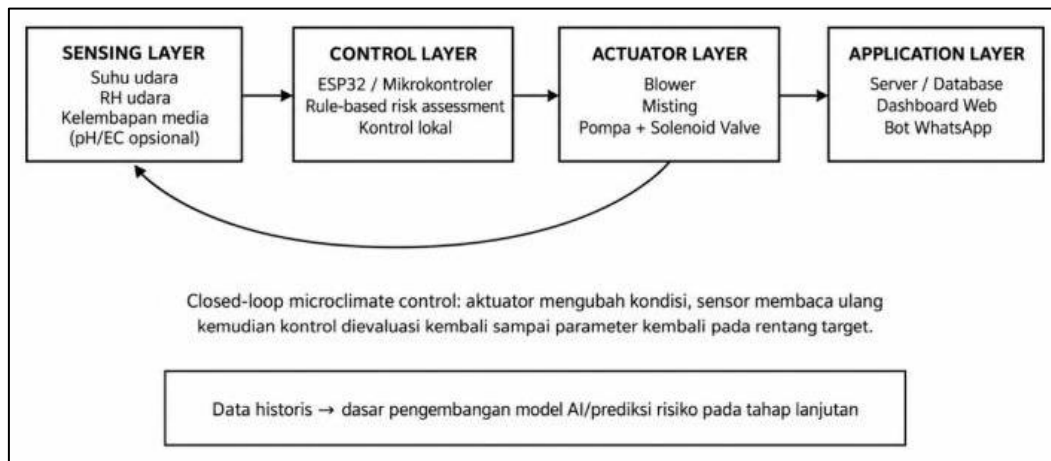
Metode pengabdian menggunakan pendekatan partisipatif. Teknologi tidak hanya dipasang sebagai produk akhir, tetapi diperkenalkan melalui tahapan koordinasi, perancangan, pembangunan demplot, implementasi teknologi, sosialisasi, praktik, FGD, monitoring, dan evaluasi. Tahapan kegiatan meliputi:

Identifikasi kebutuhan dan koordinasi dengan pemerintah desa, kelompok tani, penyuluh, serta dinas terkait.

- a. Pembangunan demplot greenhouse dan penataan media tanam.
- b. Pemasangan jaringan irigasi/fertigasi dan pengujian otomatisasi.
- c. Pengembangan sensor, kontrol lokal, server, website, dan bot WhatsApp.
- d. Sosialisasi dan FGD tentang budidaya melon, smart farming, dan pengoperasian sistem.
- e. Monitoring dan evaluasi bersama perguruan tinggi, masyarakat, dan mitra.
- f. Pembentukan kelompok pengelola sebagai bagian dari strategi keberlanjutan.

### 2.3 Desain Sistem AIoT Smart Crop Protection

Sistem dirancang sebagai pengendalian mikroklimat berbasis closed-loop control. Pendekatan ini membedakan sistem dari monitoring pasif karena data sensor tidak hanya ditampilkan, tetapi juga digunakan untuk memicu tindakan koreksi melalui aktuatur. Sistem terdiri atas sensing layer, control layer, actuator layer, dan application layer.



Gambar 2. Arsitektur AIoT Smart Crop Protection berbasis closed-loop microclimate control

### 2.3.1 Sensing Layer

Sensing layer memperoleh data suhu udara, kelembapan relatif udara, dan kelembapan media tanam. Pembacaan dilakukan secara periodik oleh mikrokontroler. Sensor pH dan EC/TDS dapat digunakan sebagai parameter pendukung untuk memantau larutan nutrisi. Parameter pH dan EC/TDS tidak digunakan untuk menyatakan keberadaan virus.

Tabel 1. Parameter sistem, perangkat sensor dan respons aktuator

| Parameter                          | Perangkat               | Fungsi                                      | Respons utama                                                            |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Suhu udara                         | Sensor suhu/kelembapan  | Menilai temperatur mikroklimat              | Blower dan/atau strategi ventilasi; misting hanya jika RH memungkinkan   |
| Kelembapan relatif udara (RH)      | Sensor suhu/kelembapan  | Menilai kondisi udara terlalu lembap/kering | RH tinggi → blower; RH rendah → misting                                  |
| Kelembapan media tanam             | Sensor kelembapan media | Menilai kebutuhan air di zona akar          | Media kering → irigasi/fertigasi; media basah → pemberian air dihentikan |
| pH dan EC/TDS (opsional/pendukung) | Sensor pH dan EC/TDS    | Monitoring kualitas larutan nutrisi         | Peringatan/penyesuaian nutrisi; bukan indikator virus                    |

### 2.3.2 Control Layer dan Environmental Risk Assessment

Control layer menjalankan rule-based environmental risk assessment menggunakan batas bawah dan batas atas yang dapat dikonfigurasi. Nilai batas tidak ditetapkan sebagai ambang biologis universal virus, melainkan sebagai setpoint operasional greenhouse yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, fase pertumbuhan, rekomendasi budidaya, serta hasil evaluasi lapangan. Dengan pendekatan ini, istilah “risiko” mengacu pada kondisi mikroklimat yang perlu dikoreksi, bukan kepastian adanya infeksi.

Tabel 2. Klasifikasi status operasional berbasis risiko lingkungan

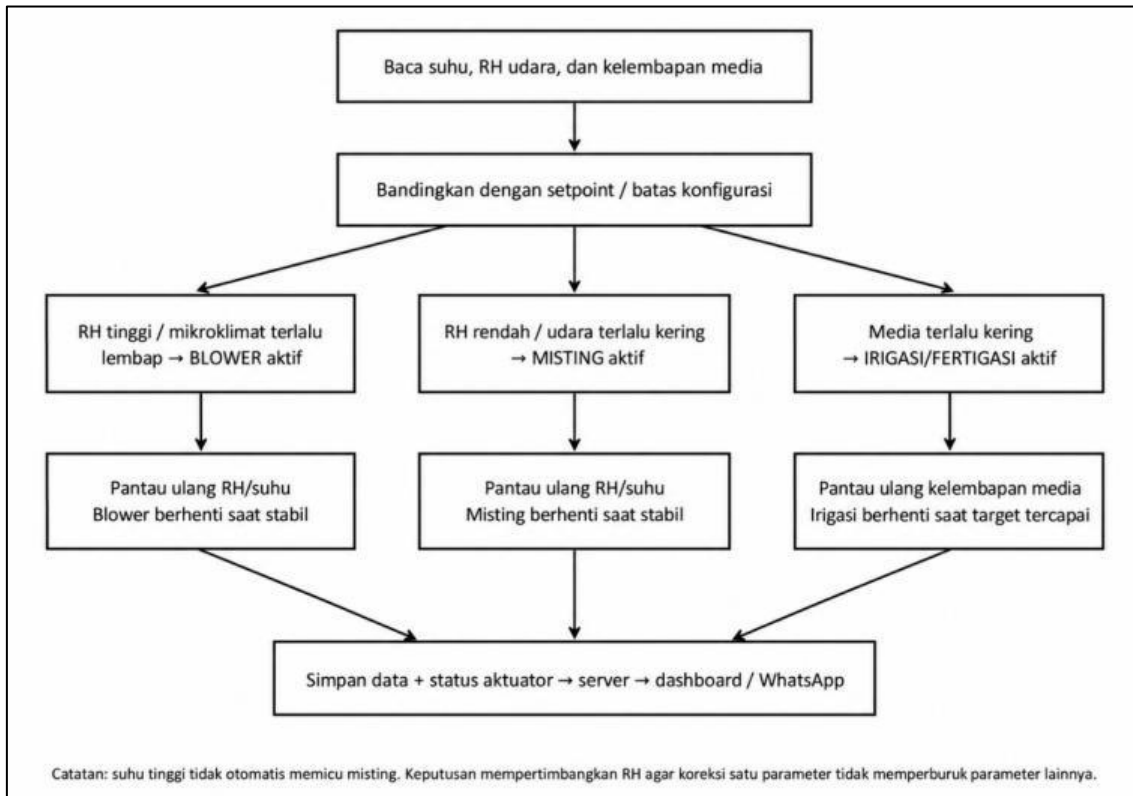
| Status        | Kondisi                                                   | Respons                                  |
|---------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Normal        | Semua parameter berada dalam rentang target               | Monitoring dan pencatatan data           |
| Waspada       | Salah satu parameter mendekati batas konfigurasi          | Notifikasi dan monitoring lebih intensif |
| Perlu Koreksi | Parameter melewati batas atas/bawah                       | Aktuator yang relevan diaktifkan         |
| Pemulihan     | Aktuator bekerja dan parameter bergerak kembali ke target | Aktuator dipantau sampai kondisi stabil  |

### 2.3.3 Actuator Layer: Blower, Misting, dan Irigasi/Fertigasi

Blower digunakan untuk meningkatkan sirkulasi udara ketika kelembapan relatif udara terlalu tinggi atau kondisi panas-lembap perlu dikoreksi. Setelah blower aktif, sensor tetap membaca suhu dan RH sehingga blower dapat dihentikan ketika kondisi kembali stabil.

Misting digunakan ketika udara terlalu kering. Pengaktifan misting tidak hanya mempertimbangkan suhu tinggi, karena misting pada kondisi RH yang sudah tinggi dapat meningkatkan kelembapan secara berlebihan. Oleh sebab itu, keputusan koreksi suhu dan kelembapan dianalisis secara bersama.

Irigasi/fertigasi digunakan untuk menangani kelembapan media tanam. Ketika media lebih kering dari batas minimum, pompa dan solenoid valve dapat mengalirkan air atau larutan nutrisi. Ketika kelembapan media telah mencapai target atau terlalu tinggi, pemberian air dihentikan.



Gambar 2. Logika pengendalian mikroklimat dan irigasi/fertigasi

#### 2.3.4 Integrasi IoT, Server, Website, dan WhatsApp

Mikrokontroler membaca sensor dan mengontrol aktuator melalui relay. Data pembacaan, status perangkat, dan aktivitas aktuator dikirim melalui koneksi internet menuju server untuk disimpan sebagai histori. Website digunakan sebagai dashboard monitoring dan pengelolaan, sedangkan bot WhatsApp menjadi antarmuka yang lebih sederhana bagi kelompok pengelola untuk memperoleh status sistem, kondisi sensor, jadwal, dan peringatan.

Fungsi pengendalian dasar diprioritaskan agar tetap dapat berjalan pada perangkat lokal menggunakan konfigurasi terakhir yang tersimpan. Pendekatan ini mengurangi ketergantungan penuh terhadap koneksi internet untuk fungsi kritis, sementara server berperan dalam sinkronisasi konfigurasi, penyimpanan data, visualisasi, dan layanan komunikasi pengguna.

#### 2.3.5 Posisi Artificial Intelligence dalam Sistem

Pada tahap implementasi kegiatan, kontrol mikroklimat menggunakan rule-based control karena mudah divalidasi, transparan, dan dapat dipahami pengguna. Komponen AI diarahkan secara bertahap melalui pemanfaatan data historis sensor, status aktuator, kondisi tanaman, dan hasil budidaya. Dataset yang terkumpul dapat digunakan pada tahap lanjutan untuk membangun model prediksi risiko yang lebih adaptif. Dengan demikian, istilah AIoT pada program mencakup integrasi perangkat IoT dengan layanan cerdas dan pengembangan kemampuan analitik, tetapi tidak digunakan untuk mengklaim diagnosis virus tanpa data validasi diagnostik.

#### *2.4 Evaluasi Kegiatan*

Evaluasi dilakukan menggunakan lembar cek capaian dan pengujian fungsional. Lembar cek capaian membandingkan target dan realisasi pada enam indikator, yaitu jumlah media tanam, parameter utama yang dipantau, jenis aktuatur koreksi, skenario uji fungsional, kanal monitoring, dan kelompok pengelola. Setiap indikator dinyatakan tercapai apabila realisasi memenuhi target yang ditetapkan.

Persentase capaian dihitung dengan rumus:  $\text{capaian (\%)} = (\text{realisasi/target}) \times 100\%$ . Keberhasilan fungsional dihitung dari jumlah skenario berstatus berhasil dibandingkan seluruh skenario yang diuji. Hasil kemudian dianalisis secara deskriptif untuk menilai ketercapaian keluaran program dan kesiapan awal sistem untuk digunakan oleh kelompok pengelola.

Evaluasi kebermanfaatan oleh pengguna disiapkan menggunakan kuesioner skala Likert 1-5 yang mencakup kemudahan penggunaan, kemudahan memahami informasi, manfaat monitoring jarak jauh, manfaat otomatisasi irigasi/mikroklimat, dan niat melanjutkan penggunaan. Nilai indeks dihitung dengan rumus:  $\text{indeks (\%)} = (\text{total skor aktual/total skor maksimum}) \times 100\%$ . Data persepsi pengguna tidak digunakan dalam artikel ini karena pengisian kuesioner belum selesai pada saat naskah disusun.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### *3.1 Kondisi Awal dan Kebutuhan Mitra*

Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa penerapan teknologi pada budidaya melon di Desa Ngablak masih memerlukan penguatan, terutama dalam aspek pemantauan kondisi lingkungan dan pengelolaan irigasi secara terintegrasi. Pengamatan terhadap suhu, kelembapan udara, dan kondisi media tanam pada budidaya konvensional cenderung dilakukan secara langsung sehingga perubahan kondisi mikroklimat tidak selalu dapat diketahui secara kontinu. Kondisi tersebut dapat menyebabkan tindakan koreksi terhadap lingkungan budidaya terlambat dilakukan.

Pada sisi lain, budidaya melon menghadapi risiko gangguan penyakit, termasuk penyakit virus yang penyebarannya dapat berkaitan dengan keberadaan vektor seperti *Bemisia tabaci*. Suhu dan kelembapan tidak dapat digunakan untuk memastikan tanaman telah terinfeksi virus, namun perubahan mikroklimat dapat memengaruhi kondisi tanaman, lingkungan greenhouse, serta dinamika organisme pengganggu. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan secara konsisten menjadi salah satu pendekatan preventif dalam budidaya tanaman.

Berdasarkan kondisi tersebut, kebutuhan mitra diarahkan tidak hanya pada penyediaan alat monitoring, tetapi pada sistem yang mampu melakukan pemantauan sekaligus memberikan respons terhadap perubahan mikroklimat. Konsep tersebut menjadi dasar pengembangan AIoT Smart Crop Protection Farming dengan pendekatan *environmental risk-based prevention*. Teknologi digunakan untuk membantu masyarakat mengenali kondisi lingkungan yang memerlukan tindakan koreksi sebelum berlangsung dalam waktu yang terlalu lama.

#### *3.2 Pembangunan Demplot Greenhouse*

Implementasi program diawali dengan pembangunan demplot greenhouse sebagai sarana penerapan teknologi sekaligus media pembelajaran bagi masyarakat. Demplot dibangun melalui koordinasi antara tim pelaksana, kelompok tani, pemerintah desa, dan mitra terkait. Greenhouse kemudian dilengkapi dengan jaringan irigasi dan sebanyak 120 media tanam melon.



Gambar 3. Peresmian Pembangunan Demplot *Greenhouse*

Keberadaan demplot memiliki fungsi ganda. Dari sisi teknis, greenhouse menjadi lokasi penerapan perangkat sensor, aktuator, sistem irigasi/fertigasi, dan perangkat komunikasi IoT. Dari sisi pemberdayaan, demplot menjadi sarana demonstrasi bagi masyarakat untuk memahami penerapan smart farming secara langsung. Pendekatan berbasis demplot dinilai sesuai karena teknologi tidak hanya diperkenalkan melalui sosialisasi, tetapi dapat diamati dan digunakan pada kondisi budidaya sebenarnya.

Infrastruktur irigasi dikembangkan menggunakan pompa, jaringan distribusi air, dripper, dan solenoid valve yang memungkinkan proses pemberian air dikendalikan oleh sistem. Infrastruktur tersebut kemudian diintegrasikan dengan perangkat kontrol sehingga fungsi pengairan dapat dikembangkan dari sistem berbasis jadwal menuju sistem yang mempertimbangkan kondisi media tanam.

### 3.3 Implementasi *AIoT Smart Crop Protection*

Sistem *AIoT Smart Crop Protection* dikembangkan menggunakan prinsip closed-loop microclimate control. Sistem terdiri atas sensing layer, control layer, actuator layer, dan application layer. Sensor digunakan untuk memperoleh data lingkungan, mikrokontroler melakukan evaluasi kondisi, aktuator memberikan tindakan koreksi, sedangkan aplikasi digunakan untuk menyimpan dan menampilkan informasi kepada pengguna. Keempat lapisan tersebut bekerja secara terintegrasi sehingga perubahan kondisi iklim mikro dapat dipantau dan dikoreksi secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditetapkan.

Parameter utama yang digunakan meliputi suhu udara, kelembapan relatif udara, dan kelembapan media tanam. Data tersebut dibaca oleh mikrokontroler dan dibandingkan dengan batas atau setpoint yang telah dikonfigurasi. Hasil evaluasi kemudian digunakan sebagai dasar pengaktifan aktuator. Ketika kelembapan udara melebihi batas yang ditentukan, blower dapat diaktifkan untuk meningkatkan sirkulasi udara di dalam greenhouse. Sebaliknya, ketika kelembapan udara terlalu rendah, sistem misting dapat diaktifkan untuk meningkatkan kelembapan lingkungan. Apabila kelembapan media tanam berada di bawah batas yang ditentukan, pompa dan solenoid valve dapat mengaktifkan proses irigasi atau fertigasi.

Keputusan aktuator tidak hanya mempertimbangkan satu parameter secara terpisah. Suhu yang tinggi, misalnya, tidak secara otomatis memicu misting karena kondisi kelembapan udara juga perlu diperhatikan. Pada suhu tinggi dengan kelembapan yang telah tinggi, penambahan kabut justru berpotensi meningkatkan kelembapan lebih lanjut. Oleh karena itu, kombinasi suhu dan kelembapan digunakan dalam menentukan tindakan koreksi.

Setelah aktuator aktif, sensor tetap melakukan pembacaan ulang. Blower, misting, maupun irigasi dihentikan ketika parameter telah kembali pada rentang yang ditentukan. Mekanisme tersebut membedakan sistem yang dikembangkan dari sistem monitoring pasif karena perangkat tidak hanya memberikan informasi, tetapi juga melakukan tindakan koreksi terhadap kondisi lingkungan. Pendekatan ini dalam konteks Smart Crop Protection, fungsi deteksi dini diarahkan pada deteksi dini kondisi lingkungan berisiko, bukan identifikasi keberadaan virus secara langsung.

### 3.4 Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat menjalankan fungsi sesuai dengan rancangan sistem. Pengujian mencakup pembacaan sensor, evaluasi nilai terhadap setpoint, aktivasi aktuator, penghentian aktuator setelah kondisi kembali stabil, serta pengiriman data menuju server.

Tabel 3. Hasil Pengujian Fungsional

| Skenario         | Hasil Pengamatan                                                                                     | Status   |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Aktivasi blower  | Blower aktif ketika RH melewati setpoint dan berhenti setelah RH kembali pada rentang target         | Berhasil |
| Aktivasi misting | Misting aktif ketika RH berada di bawah batas minimum dan berhenti setelah kondisi stabil            | Berhasil |
| Irigasi otomatis | Pompa dan valve aktif ketika kelembapan media di bawah setpoint dan berhenti setelah target tercapai | Berhasil |
| Pengiriman data  | Data sensor berhasil diterima server dan ditampilkan pada dashboard                                  | Berhasil |

Pada kondisi simulasi kelembapan udara tinggi, sistem diarahkan untuk memberikan respons berupa aktivasi blower. Sistem kemudian melakukan pembacaan ulang terhadap suhu dan kelembapan hingga kondisi kembali berada pada rentang target. Skenario serupa diterapkan pada kondisi kelembapan udara rendah dengan aktivasi misting dan kondisi media tanam kering dengan aktivasi irigasi/fertigasi. Pengujian juga dilakukan terhadap proses komunikasi antara perangkat dengan server. Data sensor dan status aktuator dikirim untuk disimpan sebagai data historis dan ditampilkan melalui antarmuka pengguna. Integrasi tersebut memungkinkan kondisi greenhouse dipantau tanpa harus melakukan pemeriksaan langsung pada control box.

### 3.5 Integrasi Website dan Bot WhatsApp

Data sensor dan status aktuator dikirim ke server untuk disimpan dan ditampilkan melalui dashboard website. Dashboard menyediakan informasi kondisi mikroklimat, status perangkat, jadwal irigasi/fertigasi, dan data historis. Sistem juga dilengkapi bot WhatsApp agar kelompok pengelola dapat memperoleh informasi sensor, status perangkat, dan peringatan melalui platform komunikasi yang telah familier digunakan. Data historis yang terkumpul dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi pola perubahan mikroklimat dan menjadi dasar pengembangan model prediksi risiko berbasis data.

### 3.6 Pemberdayaan, Adopsi Teknologi, dan Penguatan Pengelola

Penerapan teknologi disertai sosialisasi, Focus Group Discussion (FGD), praktik, dan pendampingan kepada masyarakat. Materi pendampingan meliputi konsep smart farming, fungsi sensor dan aktuator, pengoperasian irigasi/fertigasi, serta penggunaan aplikasi monitoring. Demplot memungkinkan peserta mempelajari penerapan teknologi secara langsung pada kondisi budidaya, sehingga pembelajaran tidak hanya diberikan secara teoritis.

Program juga menghasilkan kelompok pengelola yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan greenhouse, pemantauan tanaman, pengoperasian perangkat, dan koordinasi penanganan gangguan sistem. Pelibatan pemerintah desa, kelompok tani, BUMDes, penyuluh pertanian, dan instansi terkait memperkuat peluang keberlanjutan demplot sebagai sarana budidaya dan pembelajaran smart farming setelah periode program berakhir.

### 3.7 Keberlanjutan dan Keterbatasan Implementasi

Keberlanjutan program diarahkan pada pengelolaan demplot oleh kelompok lokal, pendampingan berkala oleh perguruan tinggi, serta pengembangan sistem berdasarkan data historis suhu, kelembapan, kondisi media tanam, aktivitas aktuator, dan perkembangan tanaman. Akumulasi data tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan sistem dari pengendalian berbasis aturan menuju model prediksi yang lebih adaptif.

Sistem yang diterapkan masih memiliki keterbatasan karena belum dapat mendiagnosis infeksi virus secara langsung. Fungsi Smart Crop Protection difokuskan pada identifikasi kondisi mikroklimat yang memerlukan tindakan koreksi dan pengendalian lingkungan secara otomatis. Data historis dan evaluasi penggunaan jangka panjang juga masih terbatas. Pengembangan berikutnya perlu mencakup validasi akurasi sensor, evaluasi efektivitas kontrol, pengukuran manfaat oleh pengguna, pengumpulan data budidaya yang lebih panjang, serta pengembangan model prediksi dengan data acuan yang memadai.

### 3.8 Evaluasi Capaian Kegiatan

Evaluasi dilakukan pada beberapa indikator berikut hasil evaluasi yang dilakukan pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Evaluasi Capaian Kegiatan

| Indikator                     | Target      | Realisasi   | Capaian | Sumber verifikasi                  |
|-------------------------------|-------------|-------------|---------|------------------------------------|
| Media tanam pada demplot      | 120 unit    | 120 unit    | 100%    | Observasi demplot                  |
| Parameter utama yang dipantau | 3 parameter | 3 parameter | 100%    | Suhu, RH, kelembapan media         |
| Jenis aktuator koreksi        | 3 jenis     | 3 jenis     | 100%    | Blower, misting, irigasi/fertigasi |
| Skenario uji fungsional       | 4 skenario  | 4 berhasil  | 100%    | Tabel 3                            |
| Kanal monitoring              | 2 kanal     | 2 kanal     | 100%    | Website dan bot WhatsApp           |
| Kelompok pengelola            | 1 kelompok  | 1 kelompok  | 100%    | Dokumentasi pembentukan kelompok   |

Seluruh indikator keluaran mencapai target yang ditetapkan. Demplot memuat 120 media tanam dari target 120 unit. Sistem memantau tiga parameter utama dan menyediakan tiga jenis respons aktuator. Empat skenario pengujian fungsional seluruhnya berstatus berhasil, sehingga tingkat keberhasilan fungsional mencapai  $4/4 \times 100\% = 100\%$ . Website dan bot WhatsApp juga tersedia sebagai dua kanal monitoring, serta satu kelompok pengelola telah terbentuk.

Capaian tersebut menunjukkan bahwa keluaran teknis dan kelembagaan program telah terealisasi sesuai rencana. Namun, persentase capaian keluaran tidak dapat langsung diartikan sebagai tingkat kepuasan atau dampak jangka panjang. Penilaian manfaat menurut pengguna memerlukan hasil kuesioner dan pemantauan penggunaan setelah kelompok menjalankan sistem secara mandiri.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Program pengabdian di Desa Ngablak menghasilkan demplot *greenhouse smart farming* dengan 120 media tanam, sistem irigasi/fertigasi otomatis, pemantauan mikroklimat, website, bot WhatsApp, dan kelompok pengelola. Sistem AIoT menerapkan *environmental risk-based prevention* dan *closed-loop microclimate control* untuk mengoreksi kelembapan udara dan media tanam melalui blower, misting, serta irigasi/fertigasi. Hasil evaluasi menunjukkan seluruh enam indikator keluaran tercapai dan empat skenario pengujian fungsional berhasil (100%).

Sistem tidak mendeteksi virus secara langsung, tetapi mengenali kondisi mikroklimat yang memerlukan tindakan pencegahan. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada validasi *setpoint*, evaluasi efektivitas kontrol, pengumpulan data budidaya dan persepsi pengguna, pemantauan vektor, serta pengembangan model AI berbasis data yang tervalidasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan melalui Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa), Universitas Dian Nuswantoro, Pemerintah Desa Ngablak, BUMDes Desa Ngablak, kelompok tani dan masyarakat Desa Ngablak, Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Kediri, Dinas Ketahanan Pangan dan Peternakan, Penyuluh Pertanian Lapang, serta seluruh mitra yang mendukung pelaksanaan program.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Chamara, M. D. Islam, G. (Frank) Bai, Y. Shi, and Y. Ge, "Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past, present, and future," *Agric. Syst.*, vol. 203, p. 103497, 2022, doi: 10.1016/j.agsy.2022.103497.
- [2] Y. Song, J. Bi, and X. Wang, "Design and implementation of intelligent monitoring system for agricultural environment in IoT," *Internet Things*, vol. 25, p. 101029, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2023.101029.
- [3] W. M. Wintermantel, R. L. Gilbertson, J. D. McCreight, and E. T. Natwick, "Host-Specific Relationship Between Virus Titer and Whitefly Transmission of Cucurbit yellow stunting disorder virus," *Plant Dis.*, vol. 100, no. 1, pp. 92–98, 2016, doi: 10.1094/PDIS-11-14-1119-RE.
- [4] H. R. Kwak, H. S. Byun, J. J. Song, and J. Yu, "First report of cucurbit yellow stunting disorder virus and Cucumis melo alphaendornavirus in Cucumis melo in Indonesia," *Plant Dis.*, 2026, doi: 10.1094/PDIS-05-26-0902-PDN.
- [5] E.-J. Han, B.-R. Choi, and J.-H. Lee, "Temperature-dependent development models of Bemisia tabaci (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) Q biotype on three host plants," *J. Asia-Pac. Entomol.*, vol. 16, no. 1, pp. 5–10, 2013, doi: 10.1016/j.aspen.2012.08.006.
- [6] M. J. Berlinger, N. Lehmann-Sigura, and R. A. J. Taylor, "Survival of Bemisia tabaci adults under different climatic conditions," *Entomol. Exp. Appl.*, vol. 80, no. 3, pp. 511–519, 1996, doi: 10.1111/j.1570-7458.1996.tb00967.x.
- [7] Y. M. Wang, B. Ostendorf, D. Gautam, N. Habili, and V. Pagay, "Plant Viral Disease Detection: From Molecular Diagnosis to Optical Sensing Technology—A Multidisciplinary Review," *Remote Sens.*, vol. 14, no. 7, p. 1542, 2022, doi: 10.3390/rs14071542.
- [8] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E.-H. M. Aggoune, "Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.
- [9] A. Khanna and S. Kaur, "Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of precision agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 157, pp. 218–231, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.039.
- [10] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, and C. Kittas, "Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosyst. Eng.*, vol. 164, pp. 31–48, 2017, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007.
- [11] R. R. Shamshiri, F. Kalantari, K. C. Ting, K. R. Thorp, I. A. Hameed, C. Weltzien, D. Ahmad, and Z. M. Shad, "Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture," *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–22, 2018, doi: 10.25165/j.ijabe.20181101.3210.
- [12] C. Kamienski, J.-P. Soininen, M. Taumberger, R. Dantas, A. Toscano, T. S. Cinotti, R. F. Maia, and A. Torre Neto, "Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture," *Sensors*, vol. 19, no. 2, p. 276, 2019, doi: 10.3390/s19020276.
- [13] A. Goap, D. Sharma, A. K. Shukla, and C. Rama Krishna, "An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 41–49, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.09.040.

- [14] L. Garcia, L. Parra, J. M. Jimenez, J. Lloret, and P. Lorenz, "IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture," *Sensors*, vol. 20, no. 4, p. 1042, 2020, doi: 10.3390/s20041042.
- [15] M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, T. Umer, and Y. B. Zikria, "A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156237–156271, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949703.