

Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT pada Aplikasi Smart Farming Berbasis Arduino Menggunakan Protokol MQTT

Latifah Citra Mahkota¹, Medilla Kusriyanto^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

*Email: medilla@uui.ac.id

| Info Artikel | Abstrak |
|--|---|
| Kata Kunci : pertanian pintar, MQTT, IoT, webserver | Meskipun sumber daya pertaniannya melimpah, Indonesia masih berjuang untuk mencapai swasembada pangan. Indonesia masih bergantung pada impor untuk beberapa bahan pangan, yang menunjukkan produktivitas pertanian nasional belum optimal. Tantangan utama meliputi terbatasnya akses petani terhadap informasi, ketergantungan pada metode konvensional yang tidak efisien, dan kurangnya pemanfaatan teknologi modern di lapangan. Penelitian ini mengatasi kendala tersebut dengan merancang dan menguji sistem pemantauan lingkungan berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) untuk mendukung pertanian cerdas. Sistem ini memanfaatkan empat sensor utama, yaitu sensor DHT11, Soil Moisture Hygrometer, LDR, serta sensor curah hujan. Data sensor dikumpulkan oleh Arduino Uno, disimpan di MicroSD Card, dan dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 untuk diteruskan ke broker MQTT HiveMQ. Data sensor divisualisasikan secara real-time pada <i>dashboard</i> web yang dilengkapi sistem notifikasi ambang batas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT11 stabil dalam mengukur suhu (30–32 °C) dan sensitif terhadap kelembaban (76–92 %), Soil Moisture Hygrometer mampu membedakan kondisi tanah dari kering hingga jenuh, LDR menunjukkan variasi nilai sesuai intensitas cahaya (47–667), dan sensor hujan efektif mendeteksi kondisi basah maupun kering (620–846). Sistem ini berhasil memantau kondisi lingkungan pertanian secara <i>real-time</i> , memberikan notifikasi ketika parameter melewati ambang batas, dan mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian cerdas dan berkelanjutan. |
| Keywords : smart farming, MQTT, IoT, webserver | |
| Tanggal Artikel Dikirim : 20 September 2025 Direvisi : 27 Desember 2025 Diterima : 30 Desember 2025 | |
| Abstract <i>Indonesia, despite abundant agricultural resources, continues to face challenges in achieving food self-sufficiency. Reliance on imports highlights suboptimal national productivity. Key obstacles include farmers' limited access to information, dependence on inefficient conventional methods, and underutilization of modern technology. This research addresses these issues by designing and testing an Internet of Things (IoT)-based environmental monitoring system to support smart agriculture. The system employs four sensors: DHT11, Soil Moisture Hygrometer, LDR, and a rainfall sensor. Data from these sensors is collected by an Arduino Uno, stored on a MicroSD Card, and transmitted via NodeMCU ESP8266 to the HiveMQ MQTT broker. A web dashboard visualizes the data in real-time and provides threshold-based notifications. Test results show the DHT11 sensor is stable in measuring temperature (30–32°C) and sensitive to humidity (76–92%). The Soil Moisture Hygrometer effectively distinguishes soil conditions from dry to saturated. The LDR records variations in light intensity (47–667), while the rainfall sensor reliably detects wet and dry states (620–846). Overall, the system successfully monitors agricultural environmental conditions in real-time, issues alerts when parameters exceed thresholds, and supports informed decision-making for smart, sustainable agricultural management.</i> | |

1. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan manusia. Undang-Undang No. 18 Tahun 2012 mendefinisikan pangan sebagai segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan, dan air, baik yang diolah maupun tidak diolah, yang diperuntukkan sebagai makanan atau minuman bagi konsumsi manusia. Dengan demikian, ketersediaan pangan yang cukup dan berkelanjutan menjadi syarat utama bagi keberlangsungan hidup manusia dan ketahanan suatu bangsa [1]. Namun, tantangan dalam pemenuhan kebutuhan pangan semakin kompleks akibat pertumbuhan penduduk, keterbatasan lahan pertanian, degradasi tanah, dan dampak perubahan iklim global [2].

Indonesia sebagai negara agraris memiliki sumber daya alam yang melimpah untuk mewujudkan kemandirian pangan. Akan tetapi, kenyataannya Indonesia masih sering bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan pangan tertentu. Kondisi ini menunjukkan bahwa produktivitas pertanian nasional belum optimal dan masih menghadapi berbagai hambatan, seperti keterbatasan akses informasi bagi petani, penggunaan metode konvensional yang kurang efisien, serta lemahnya penerapan teknologi modern di tingkat lapangan. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi di bidang pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan, salah satunya melalui penerapan konsep *smart farming* atau pertanian cerdas [2].

Pertanian cerdas merupakan pendekatan modern yang mengintegrasikan teknologi informasi dan komunikasi dengan praktik budidaya pertanian. Konsep ini memanfaatkan *Internet of Things* (IoT), sensor, jaringan nirkabel, serta *cloud computing* untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data secara *real-time*. Data yang dikumpulkan dapat berupa suhu dan kelembaban udara, kelembaban tanah, intensitas cahaya, curah hujan, hingga unsur hara. Informasi tersebut kemudian digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan, seperti pengaturan sistem irigasi, pemupukan, atau pengendalian hama dan penyakit [3], [4].

Dengan adanya otomasi dan integrasi data, petani dapat mengurangi penggunaan air, pupuk, dan pestisida secara berlebihan, sekaligus meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Di era Revolusi Industri 4.0, penerapan IoT pada sektor pertanian tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga memperluas akses pengawasan lahan secara jarak jauh melalui *dashboard* berbasis web maupun aplikasi mobile. Sistem monitoring yang terhubung dengan MQTT broker, misalnya, memungkinkan data sensor dikirimkan secara *real-time* ke perangkat pengguna sehingga kondisi lahan dapat dipantau kapan saja dan di mana saja. Hal ini mendukung transformasi pertanian dari pola tradisional menuju sistem yang lebih modern, adaptif, dan berbasis data [4].

Urgensi penerapan pertanian cerdas semakin besar jika dikaitkan dengan proyeksi pertumbuhan penduduk dunia, di mana pada tahun 2050 sekitar 70% populasi akan tinggal di perkotaan. Kondisi ini akan meningkatkan permintaan pangan secara signifikan, sementara ketersediaan lahan semakin terbatas [5]. Tanpa inovasi teknologi, sektor pertanian tidak akan mampu menjawab tantangan tersebut. Oleh karena itu, integrasi teknologi IoT dalam pertanian dipandang sebagai solusi strategis untuk mewujudkan sistem pangan yang berkelanjutan dan mandiri, khususnya di Indonesia [6].

Penggunaan teknologi IoT pada pertanian dewasa ini berkembang sangat pesat. Eksplorasi penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mengurangi konsumsi air yang tinggi dan biaya operasional terkait dalam pertanian kurma di Perkebunan Al-Aziziah Palm Trees di Hail, Arab Saudi. Praktik irigasi konvensional sering kali menyebabkan penggunaan air yang tidak efisien dan peningkatan biaya, terutama dari pompa air bertenaga diesel. Untuk mengatasi hal ini, sebuah laboratorium hidup di lahan pertanian diterapkan menggunakan jaringan *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan sensor secara *real-time*, di mana data yang terkumpul dianalisis menggunakan analitik *cloud* untuk memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data dengan efisiensi air yang lebih baik [7]. Sistem pertanian pintar inovatif yang mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT), algoritma prediktif. Sistem ini terintegrasi dengan mekanisme kontrol otomatis untuk mengoptimalkan irigasi dan meningkatkan efisiensi sumber daya [8].

Integrasi *Internet of Things* (IoT) dan Robotika telah memajukan praktik agroekologi. Meskipun terdapat banyak solusi untuk aplikasi pertanian tertentu, arsitektur referensi komprehensif yang menjawab beragam kebutuhan pengelolaan data dan operasional agroekologi masih belum ada. Makalah ini memperkenalkan konsep arsitektur baru untuk sistem *Internet of Robotic Things* (IoRT) yang dirancang untuk mengelola data yang besar, *real-time*, dan heterogen dalam aplikasi pertanian. Dengan memanfaatkan kerangka kerja dan teknologi yang ada, arsitektur ini bertujuan untuk menyediakan pengelolaan data yang tangguh, memastikan kualitas data, dan mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan [9].

Pengembangkan sistem pemantauan dan kontrol otomatis berbasis IoT untuk pengukuran berkelanjutan parameter hidroponik yaitu pH, suhu, total padatan terlarut (TDS), dan konduktivitas listrik (KD) telah dilakukan dan diaplikasikan pada tanaman bayam (*Spinacia Oleracea*) untuk uji lapangan. Sistem ini menggabungkan sensor dengan mikrokontroler dan mengandalkan koneksi Wi-Fi untuk pemrosesan data *real-time* melalui aplikasi seluler yang telah dikembangkan [10]. Selain itu,

sistem pemantauan nutrisi hidroponik berbasis IoT juga telah dikembangkan untuk memantau parameter TDS dan suhu air secara stabil menggunakan platform digital [11]. Eksplorasi bagaimana kerangka kerja terintegrasi *Internet of Things* (IoT), Kecerdasan Buatan (AI), dan teknologi *blockchain* dapat mengubah akuakultur menjadi industri yang lebih efisien, berkelanjutan, dan cerdas telah dilakukan. IoT meningkatkan pemantauan waktu nyata dan pemberian pakan yang presisi, AI mengoptimalkan deteksi penyakit dan manajemen sumber daya, sementara *blockchain* memastikan transparansi dan keterlacakkan di seluruh rantai pasokan. Pendekatan baru ini tidak hanya memitigasi tantangan yang ada, tetapi juga mendorong analitik prediktif, otomatisasi, dan pengambilan keputusan berbasis data [12].

Kerangka kerja berbasis IoT yang efisien untuk memprediksi kerusakan tanaman dalam sistem pertanian cerdas, dengan fokus pada integrasi data sensor *Internet of Things* (IoT) dengan teknik pembelajaran mesin (ML) dan pembelajaran ensambel (EL) yang canggih telah dilakukan. Tujuan utamanya adalah mengembangkan sistem pendukung keputusan yang andal yang mampu memprediksi status kesehatan tanaman, mengklasifikasikan tanaman sebagai tanaman sehat, tanaman rusak akibat pestisida, atau tanaman yang terdampak stresor lain, sekaligus mengatasi tantangan kritis: keberadaan data yang hilang dalam kumpulan data pertanian waktu nyata [13]. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan pendekatan transformatif dalam agribisnis, yang memungkinkan akuisisi data waktu nyata, kontrol otomatis, dan konektivitas yang ditingkatkan untuk manajemen lingkungan di kandang unggas. Studi ini memperkenalkan unit pemantauan dan kontrol otomatis (AMCU) berbiaya rendah yang dirancang untuk operasi unggas skala kecil [14].

Pengumpulan dan analisis data *real-time* tentang tanah, tanaman, dan cuaca, *Agriculture 4.0* memungkinkan pengelolaan tanah dan tanaman yang disesuaikan, mengurangi biaya input eksternal, memitigasi kendala tenaga kerja, melindungi lingkungan, meningkatkan ketahanan iklim, dan mendorong keberlanjutan jangka panjang sekaligus menjaga sumber daya alam. Terlepas dari potensinya, adopsi *Agriculture 4.0* masih lambat dan tidak merata, terutama di negara-negara berkembang dan di kalangan petani kecil. Kajian hambatan utama dalam adopsi dan usulan strategi untuk meningkatkan skala implementasi telah dilakukan. Hambatan utama meliputi biaya investasi awal yang tinggi, kepemilikan lahan yang terfragmentasi, sistem tanam yang beragam, terbatasnya kesadaran petani, kurangnya keterampilan teknis, literasi digital yang tidak memadai, algoritma AI yang kompleks, infrastruktur yang tidak andal, data pelatihan berkualitas tinggi yang tidak memadai, konektivitas internet yang buruk, kekhawatiran akan privasi data, dan kurangnya kebijakan pemerintah yang mendukung [15].

Perkembangan *smart farming* berbasis IoT menjadi fokus utama dalam literatur terkini. Pentingnya arsitektur komunikasi menggunakan MQTT dan Node.js mendukung antarmuka web yang efisien, dengan kapasitas hingga 400 pengguna dan 900 perangkat secara simultan [16]. Faktor adopsi IoT melalui kerangka *Technology-Organization-Environment* (TOE), di mana dukungan pemerintah, kompatibilitas teknologi, serta aspek finansial menjadi penentu utama keberhasilan transformasi pertanian [17].

Penelitian tentang peran sensor IoT dalam pemantauan nutrisi tanah telah dilakukan, namun sebagian besar penelitian masih bersifat prototipe dan belum tervalidasi melalui uji tanaman skala besar [18]. Diskusi peran sensor dalam smart farming dengan menekankan sensor NPK, kelembaban, dan deteksi penyakit sebagai komponen vital dalam efisiensi pertanian modern telah dilakukan [19]. Adopsi IoT dengan perspektif Prospect Theory, menunjukkan bahwa keputusan petani dipengaruhi oleh persepsi keuntungan dari penerapan IoT dan kerugian akibat perubahan iklim bila tidak diadopsi [20].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pengujian sistem monitoring lingkungan pertanian berbasis IoT. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor untuk mendeteksi suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, intensitas cahaya, serta kondisi hujan, yang datanya ditransmisikan melalui protokol MQTT menuju *dashboard* berbasis web. Dengan rancangan ini, sistem mampu memberikan informasi secara *real-time*, menyediakan notifikasi ketika nilai sensor melewati ambang batas aman, serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan pertanian secara cerdas dan berkelanjutan.

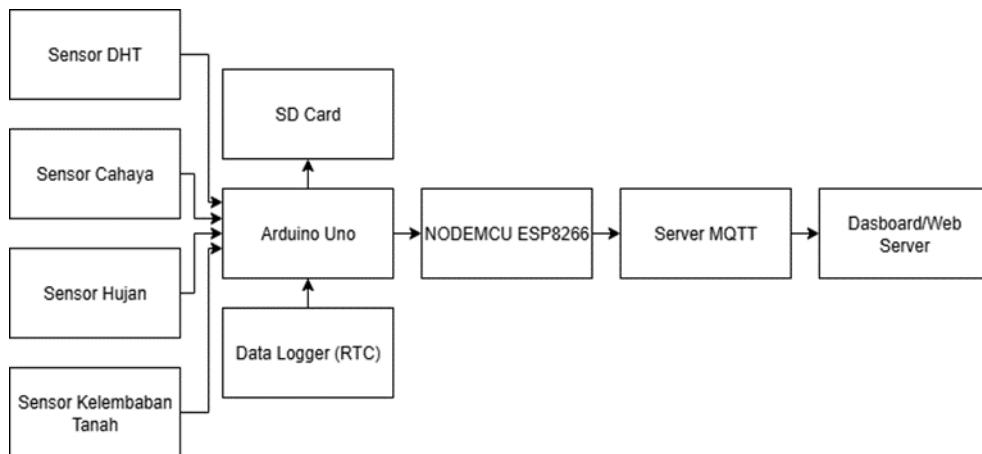
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan merancang sistem monitoring lingkungan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat diaplikasikan di *smart farming*. Sistem ini dikembangkan untuk memantau empat parameter lingkungan utama, yaitu suhu dan kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, serta kelembaban tanah.

2.1 Perangkat Keras Sistem

Sistem monitoring lingkungan pada *smart farming* ini dirancang agar dapat diimplementasikan baik pada lahan pertanian skala kecil maupun area persawahan. Perangkat keras utama terdiri atas beberapa sensor, modul mikrokontroler, serta modul komunikasi nirkabel yang saling terintegrasi. Sensor yang digunakan meliputi DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban

udara, sensor hujan untuk mendekripsi intensitas curah hujan, *Soil Moisture Hygrometer* untuk memantau kelembaban tanah, serta Light Dependent Resistor (LDR) untuk mengukur intensitas cahaya. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Seluruh data dari sensor dikumpulkan oleh Arduino Uno sebagai mikrokontroler utama. Arduino Uno juga terhubung dengan RTC DS3231 yang memberikan penanda waktu (timestamp) pada setiap data hasil akuisisi. Data tersebut disimpan dalam MicroSD sebagai penyimpanan lokal sekaligus cadangan (backup). Selanjutnya, data dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 melalui komunikasi serial.

NodeMCU ESP8266 berperan sebagai modul komunikasi berbasis Wi-Fi untuk mentransmisikan data sensor ke MQTT broker (HiveMQ). Dengan demikian, data yang dikirim dapat divisualisasikan secara *real-time* pada antarmuka pengguna.

2.2 Perancangan Dashboard Web

Arsitektur komunikasi sistem memanfaatkan protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) yang dikenal ringan dan efisien untuk perangkat dengan keterbatasan sumber daya [16]. Dalam arsitektur ini, NodeMCU ESP8266 berperan sebagai publisher yang mengirimkan data sensor ke topik tertentu pada MQTT broker HiveMQ, sedangkan antarmuka pengguna berbasis web berperan sebagai subscriber yang menerima data dari topik yang sama.

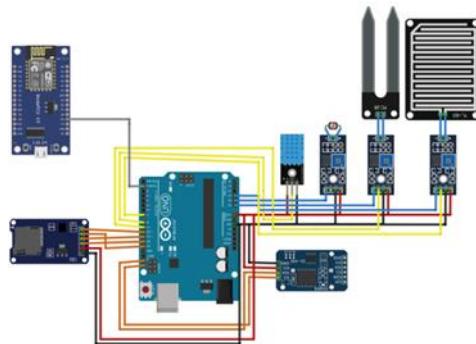
Antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan kombinasi HTML, CSS, dan JavaScript, yang dijalankan melalui Visual Studio Code (VS Code). Dashboard web ini dirancang agar mampu menampilkan data sensor secara *real-time* melalui integrasi dengan protokol MQTT. Dashboard dilengkapi dengan sistem notifikasi berbasis ambang batas. Artinya, ketika data sensor seperti suhu, kelembaban tanah, atau hujan berada di luar rentang aman yang telah ditentukan, sistem secara otomatis menampilkan peringatan visual pada layar. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengetahui kondisi kritis dan melakukan tindakan yang diperlukan untuk menjaga kestabilan lingkungan. Dengan mekanisme tersebut, alur komunikasi antara NodeMCU, broker MQTT, dan dashboard web dapat digambarkan secara jelas pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Komunikasi

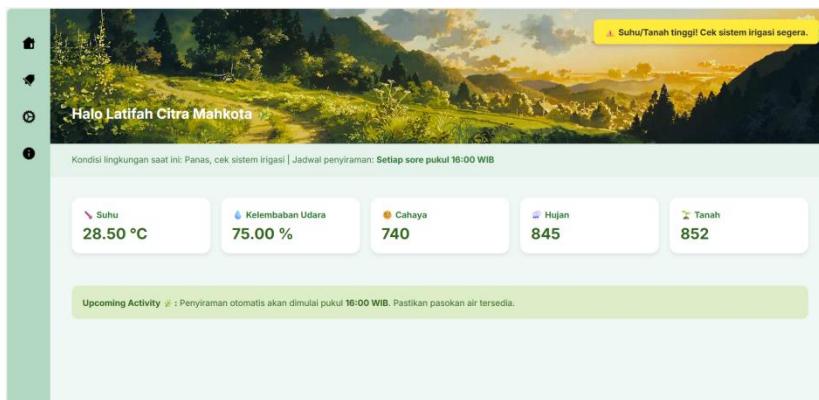
2.3 Implementasi Sistem

Implementasi perangkat terbagi menjadi dua tahapan yaitu implementasi perangkat keras yang melibatkan mikrokontroller Arduino Uno, NodeMCU ESP8266, modul RTC, SD Card, serta sensor-sensor yang dirakit sesuai dengan gambar 3.

**Gambar 3. Implementasi Alat**

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa arduino merupakan pusat pengolahan dan pengambilan data sensor. Sistem ini dilengkapi dengan RTC dan modul *SD Card* untuk menyimpan data yang akan dikirim ke *dashboard* web. Komunikasi dilakukan dengan menggunakan jaringan wifi dengan memanfaatkan NODEMCU Esp 8266.

Tampilan *dashboard* web yang digunakan untuk menampilkan data sensor secara *real-time* dan notifikasi melalui integrasi dengan MQTT broker sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.

**Gambar 4. Dashboard Web**

Gambar 4 menunjukkan tampilan *dashboard* web. *Dashboard* web ini akan digunakan untuk menampilkan kondisi lahan pertanian dari data hasil pembacaan sensor sekaligus menampilkan peringatan apabila nilai acuan dari setiap parameter terlampaui.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap empat jenis sensor yang digunakan dalam sistem, yaitu sensor DHT11 (untuk suhu dan kelembaban udara), sensor kelembaban tanah, sensor cahaya, serta sensor hujan. Setiap sensor diuji pada beberapa kondisi lingkungan berbeda untuk mengetahui respon perubahan nilai yang dihasilkan. Hasil pengujian sensor DHT11 ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pembacaan Sensor DHT 11

| Kondisi | Nilai Suhu (°C) | Nilai Kelembaban (%) |
|----------------------|-----------------|----------------------|
| Siang hari | 32.00 | 77.00 |
| Ditutup tisu basah | 31.80 | 92.00 |
| Dikeringkan 3 menit | 30.80 | 76.00 |
| Di dekat tanah basah | 31.30 | 87.00 |
| Dekat air tergenang | 31.80 | 90.00 |

Tabel 1 menunjukkan bahwa sensor DHT11 cukup stabil dalam mengukur suhu pada kisaran 30–32 °C, sementara kelembaban lebih bervariasi sesuai kondisi lingkungan. Saat ditutup tisu basah atau didekatkan dengan air tergenang, kelembaban meningkat hingga 90% lebih, sedangkan pada kondisi normal seperti siang hari di teras nilai kelembaban berada di kisaran 76–77%. Hal ini membuktikan bahwa sensor lebih sensitif terhadap perubahan kelembaban dibandingkan suhu, sehingga dapat diandalkan untuk pemantauan kondisi sekitar. Faktor perubahan cuaca sangat berpengaruh terhadap penyebaran hama dan penyakit [20] dan juga dapat digunakan dapat digunakan untuk mendeteksi kandungan uap air dilingkungan untuk menentukan pengelolaan pengeringan biji-bijian [19].

Pengujian juga dilakukan untuk pembacaan kelembaban tanah. Hasil pengujian disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pembacaan Soil Moisture Hygrometer Sensor

| Kondisi | Nilai ADC | Kondisi Tanah |
|------------------------|-----------|---------------|
| Tanah Kering | 851 | Kering |
| Tanah Disiram Air 25% | 716 | Kering |
| Tanah Disiram Air 50% | 447 | Cukup |
| Tanah Disiram Air 75% | 289 | Cukup |
| Tanah Disiram Air 100% | 208 | Cukup |

Pada Tabel 2 didapatkan pola penurunan yang membuktikan bahwa sensor bekerja dengan baik dalam membedakan tingkat kelembaban tanah. Nilai yang tinggi menunjukkan kondisi tanah kering, sedangkan nilai yang semakin rendah menandakan tanah lebih lembab hingga jenuh air. Dengan karakteristik tersebut, sensor ini dapat diandalkan untuk pemantauan kelembaban tanah, khususnya pada sistem pertanian dan irigasi otomatis. Di banyak pustaka, sensor ini merupakan sensor utama yang digunakan dalam memonitor kondisi tanah. Pembacaan data sensor berupa data float sesuai dengan resolusi yang digunakan [16].

Pengujian kondisi pencahayaan pada tanah pertanian dilakukan dengan beberapa perlakuan. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pembacaan LDR Sensor

| Kondisi | Nilai ADC | Kondisi Cahaya |
|------------------------------------|-----------|----------------|
| Teras Rumah Saat Siang | 142 | Normal |
| Didekatkan dengan flashlight HP | 47 | Terang |
| Di Bawah Daun Tanaman | 254 | Normal |
| Di Tutup Tangan | 667 | Gelap |
| Di Luar Ruangan Bawah Langit Cerah | 85 | Terang |

Pembacaan sensor cahaya pada Tabel 3 memperlihatkan perbedaan nilai sesuai kondisi pencahayaan. Pada intensitas cahaya tinggi seperti saat terkena flashlight atau sinar matahari langsung, nilai sensor relatif kecil. Sebaliknya, pada kondisi redup hingga gelap seperti di bawah daun atau ditutup tangan, nilai sensor meningkat cukup besar. Hal ini sesuai dengan prinsip kerja LDR yang sensitif terhadap perubahan intensitas cahaya di sekitarnya. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui intensitas hujan. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pembacaan Sensor Hujan

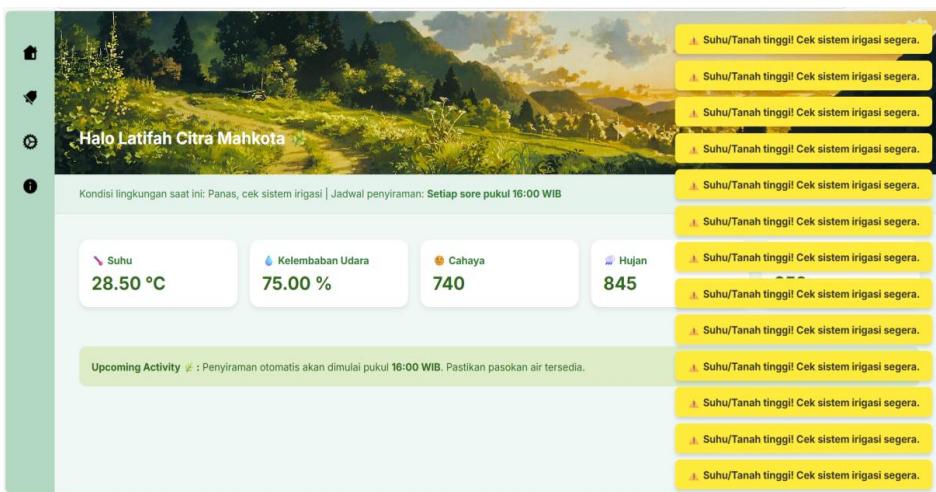
| Kondisi | Nilai ADC | Kondisi Hujan |
|------------------------------|-----------|---------------|
| Didiamkan | 846 | Tidak Hujan |
| Diteteskan Beberapa Air | 642 | Hujan |
| Dicelupkan Setengah ke Gelas | 620 | Hujan |
| Dikeringkan 5 Menit | 846 | Tidak Hujan |
| Dialiri Air | 657 | Hujan |

Pada Tabel 4 ditunjukkan bahwa sensor hujan memiliki karakteristik nilai keluaran tinggi pada kondisi kering dan menurun signifikan ketika permukaan basah. Hal ini terlihat dari nilai 846 saat kering, yang turun menjadi 642–620 ketika terkena tetesan

atau dicelupkan ke dalam air. Setelah dikeringkan, nilai kembali normal ke 846. Pola ini menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan prinsip perubahan resistansi akibat keberadaan air, sehingga efektif membedakan kondisi basah dan kering.

Karakteristik serupa juga terlihat pada sensor lain yang digunakan dalam sistem, di mana setiap perubahan kondisi lingkungan akan menghasilkan variasi nilai keluaran. Data inilah yang kemudian dikirimkan ke *dashboard* web untuk divisualisasikan secara *real-time*. Tidak hanya menampilkan nilai sensor, *dashboard* juga dilengkapi mekanisme notifikasi ambang batas untuk mendeteksi kondisi kritis.

Hasil implementasi pada *dashboard* web menunjukkan kemampuan sistem dalam menyajikan data sensor secara *real-time* serta memberikan peringatan dini jika parameter lingkungan melewati ambang batas. Tampilan antarmuka pemantauan beserta fitur notifikasinya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Notifikasi yang Muncul Dalam *Dashboard* Pengguna

Berdasarkan tampilan pada Gambar 5, sistem dapat memvisualisasikan parameter lingkungan, meliputi suhu, kelembaban udara, cahaya, hujan, serta kelembaban tanah. Nilai kelembaban tanah yang tinggi mengindikasikan kondisi kering, sehingga memicu munculnya notifikasi kuning bertuliskan "Suhu/Tanah tinggi! Cek sistem irigasi segera." Munculnya peringatan ini membuktikan bahwa mekanisme *thresholding* pada *dashboard* telah terintegrasi dengan baik dengan data yang dikirimkan oleh sensor.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, keempat sensor yang digunakan dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT menunjukkan kinerja yang sesuai dengan karakteristik masing-masing. Sensor DHT11 terbukti stabil dalam mengukur suhu pada rentang 30,80 °C hingga 32,00 °C namun lebih sensitif terhadap perubahan kelembaban udara dengan fluktuasi nilai 76% hingga 92%. Soil Moisture Hygrometer mampu membedakan tingkat kelembaban tanah dengan jelas melalui pola penurunan nilai sesuai kadar air, nilai *Analog-to-Digital Converter* (ADC) menurun dari 851 (kondisi kering) hingga mencapai 208 (kondisi basah 100%). Sensor LDR menunjukkan respon konsisten terhadap variasi intensitas cahaya, dengan nilai rendah sebesar 47 pada kondisi terang dan meningkat pada kondisi redup hingga gelap yang mencapai nilai 667. Sementara itu, sensor hujan efektif mendeteksi perbedaan kondisi basah dengan rentang 620-657 dan kering hingga 846 melalui perubahan resistansi permukaan. Perangkat yang dirancang juga berhasil memberikan notasi ke pengguna melalui pesan yang muncul pada *dashboard* web.

Integrasi seluruh sensor dengan sistem *dashboard* web memungkinkan pemantauan data secara *real-time*, disertai fitur notifikasi ambang batas yang memberikan peringatan saat parameter lingkungan berada di luar rentang normal. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, di mana sistem kontrol irigasi dan modifikasi lingkungan masih bergantung pada intervensi pengguna setelah menerima notifikasi (belum sepenuhnya bersifat otomatisasi). Selain itu, jangkauan pengiriman data masih terbatas pada ketersediaan jaringan internet di area lahan pertanian.

Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan sistem kendali otomatis untuk mengaktifkan pompa atau aktuator lainnya secara langsung tanpa menunggu respon manual dari pengguna. Pengembangan juga dapat diarahkan pada penggunaan protokol komunikasi jarak jauh yang lebih efisien di area *low-signal*, serta penerapan algoritma kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk memprediksi kebutuhan pengairan berdasarkan pola cuaca historis agar penggunaan air menjadi lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmini Saparita, "PENDUDUK DAN KEBUTUHAN PANGAN DI INDONESIA 2005-2050: SUATU PROYEKSI," *J. Mat. Sains Dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 25–39, Aug. 2006, doi: 10.33830/jmst.v7i1.626.2006.
- [2] H. S. Lestari, "PERTANIAN CERDAS SEBAGAI UPAYA INDONESIA MANDIRI PANGAN," *AGRITA AGRI*, vol. 2, no. 1, p. 55, June 2020, doi: 10.35194/agri.v2i1.983.
- [3] V. Dankan Gowda, M. Sandeep Prabhu, M. Ramesha, J. M. Kudari, and A. Samal, "Smart Agriculture and *Smart farming* using IoT Technology," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2089, no. 1, p. 012038, Nov. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2089/1/012038.
- [4] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," *Agriculture*, vol. 12, no. 10, p. 1745, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101745.
- [5] P. Asnur *et al.*, "IMPLEMENTASI PERTANIAN CERDAS BERBASIS INTERNET OF THINGS DI DESA WISATA MUCILA - MUNJUL, JAKARTA TIMUR," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Darma Saskara*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2024, doi: 10.35760/abdimasug.2024.v4i1.11497.
- [6] M. Radja and A. Mude, "Revolusi Pertanian Cerdas Melalui Teknologi Multi Sensor Berbasis IoT," 2025.
- [7] A. Aljumaiah *et al.*, "The applications of IoT network to enhance farming at Al-Aziziah palm trees farm in Saudi Arabia," *Smart Agric. Technol.*, vol. 12, p. 101391, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101391.
- [8] S. Gupta *et al.*, "Smart agriculture using IoT for automated irrigation, water and energy efficiency," *Smart Agric. Technol.*, vol. 12, p. 101081, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101081.
- [9] S. Bimonte, G. Bellocchi, F. Pinet, G. Chalhoub, M. Sakr, and P. Skrzypczyński, "Data engineering for sustainable agriculture: developments, challenges, and case studies of a novel IoRT architecture," *J. Big Data*, vol. 12, no. 1, p. 195, Aug. 2025, doi: 10.1186/s40537-025-01253-z.
- [10] Md. A. Awal, A. S. Pio, M. J. Mim, P. K. P. Partha, Md. A. A. Kafi, and S. Farha, "A smart IoT-based hydroponics system for small-scale household in Bangladesh," *Smart Agric. Technol.*, vol. 12, p. 101163, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101163.
- [11] M. S. Rais, S. Sadi, dan M. N. Alfian, "Sistem Monitoring Nutrisi Tanaman Hidroponik Berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Komputer dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, hlm. 15–22, Jan. 2023.
- [12] P. J. I. Chandran, H. A. Khalil, P. Hashir, and V. S., "Smart technologies in aquaculture: An integrated IoT, AI, and blockchain framework for sustainable growth," *Aquac. Eng.*, vol. 111, p. 102584, Oct. 2025, doi: 10.1016/j.aquaeng.2025.102584.
- [13] N. G. Rezk, A.-F. Attia, M. A. El-Rashidy, A. El-Sayed, and E. E.-D. Hemdan, "An efficient IoT-based crop damage prediction framework in smart agricultural systems," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 27742, July 2025, doi: 10.1038/s41598-025-12921-8.
- [14] A. E. Elwakeel, "A smart automatic control and monitoring system for environmental control in poultry houses integrated with earlier warning system," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 31630, Aug. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-17074-2.
- [15] S. Vijayakumar, V. Murugaiyan, S. Ilakkiya, V. Kumar, R. M. Sundaram, and R. M. Kumar, "Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption," *Discov. Food*, vol. 5, no. 1, p. 265, Aug. 2025, doi: 10.1007/s44187-025-00576-3.
- [16] A. Turnip, F. R. Pebriansyah, T. Simarmata, P. Sihombing, and E. Joelianto, "Design of smart farming communication and web interface using MQTT and Node.js," *Open Agric.*, vol. 8, no. 1, p. 20220159, Oct. 2023, doi: 10.1515/opag-2022-0159.
- [17] M. Bahari, I. Arpacı, O. Der, F. Akkoyun, and A. Ercetin, "Driving Agricultural Transformation: Unraveling Key Factors Shaping IoT Adoption in Smart Farming with Empirical Insights," *Sustainability*, vol. 16, no. 5, p. 2129, Mar. 2024, doi: 10.3390/su16052129.
- [18] N. O. Fauziah, B. N. Fitriatin, H. Fakhrurroja, and T. Simarmata, "Enhancing Soil Nutritional Status in Smart Farming: The Role of IoT-Based Management for Meeting Plant Requirements," *Int. J. Agron.*, vol. 2024, no. 1, p. 8874325, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/8874325.
- [19] S. Palarimath, P. Maran, T. K. C. Balakumar, T. Sujatha, and W. B. N. R, "Exploring Sensor-Based Smart Farming Technologies in the Internet of Things (IoT)," in 2024 International Conference on Computing and Data Science (ICCDs), Chennai, India: IEEE, Apr. 2024, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICCDs60734.2024.10560398.
- [20] A. Piancharoenwong and Y. F. Badir, "IoT smart farming adoption intention under climate change: The gain and loss perspective," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 200, p. 123192, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.techfore.2023.123192.