

Implementasi IoT Untuk Monitoring Suhu Dan Kelembaban Tanah Tanaman Kuini Berbasis Arduino Cloud

Implementation of IoT for Monitoring Soil Temperature and Humidity of Kuini Crops Based on Arduino Cloud

Iwan Fitrianto Rahmad^{a,1}, Elsa Aditya^{b,2}, Fhery Agustin^{c,3}, Said Al Fajar^{d,4}, Sandi Pratama Tarigan^{e,5}, Ahwi Rahul Hutajulu^{f,6}, Rafael Gidion Simarmata^{g,7}

^{a,b,c,d,e,f}Universitas Potensi Utama, JL K.L Yos Sudarso Km 6,5 No 3A Tj. Mulia, Medan 20124, Indonesia
iwanfitriah@yahoo.com¹, elsaaditya15@gmail.com², fheryagustin@gmail.com³, saiddalfajar@gmail.com⁴,
sandipratama1704@gmail.com⁵, rafaelsimarmata304@gmail.com⁶, ahwirahulhutajulu@gmail.com⁷

ABSTRAK

Pengelolaan irigasi yang tidak tepat pada pertanian konvensional sering menyebabkan pemborosan air dan stres tanaman akibat ketidaksesuaian tingkat kelembaban tanah. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) untuk memonitor suhu dan kelembaban tanah pada tanaman kuini (*Mangifera odorata*) secara real-time guna mendukung pengambilan keputusan irigasi yang lebih efisien. Kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan sistem monitoring mandiri yang ekonomis untuk petani skala kecil dengan visualisasi data historis dan sistem notifikasi otomatis. Sistem dibangun menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor DHT11 (akurasi suhu $\pm 2^{\circ}\text{C}$, kelembaban $\pm 5\%$), dan sensor kapasitif FC-28 (akurasi $\pm 5\%$). Hasil pengujian selama tujuh hari (168 jam) menunjukkan sistem beroperasi stabil dengan tingkat keberhasilan transmisi data (keandalan) mencapai 95%. Rata-rata parameter yang tercatat meliputi suhu $28,8^{\circ}\text{C}$, kelembaban udara 74,0%, dan kelembaban tanah 50,0%. Sistem ini terbukti memberikan informasi akurat yang dapat diakses melalui dashboard Arduino Cloud, sehingga mampu mengoptimalkan efisiensi pengelolaan air melalui peringatan dini saat kelembaban tanah turun di bawah 30%.

Kata Kunci : IoT, Arduino Cloud, Monitoring, Kelembaban tanah, Tanaman kuini

ABSTRACT

Improper irrigation management in conventional agriculture often leads to water wastage and plant stress. This study aims to implement an Internet of Things (IoT)-based system to monitor soil temperature and moisture in kuini (*Mangifera odorata*) plants in real-time. The primary contribution of this research is the development of a cost-effective, self-contained monitoring system for smallholder farmers featuring historical data visualization and automatic notification systems. The system utilizes NodeMCU ESP8266, DHT11 sensors (temperature accuracy $\pm 2^{\circ}\text{C}$, humidity $\pm 5\%$), and FC-28 capacitive sensors (accuracy $\pm 5\%$). Results from a seven-day (168-hour) test period demonstrate stable operation with a data transmission success rate of 95%. The recorded average parameters include a temperature of 28.8°C , air humidity of 74.0%, and soil moisture of 50.0%. The system provides accurate information accessible via the Arduino Cloud dashboard, optimizing water management efficiency through early warnings when soil moisture drops below the 30% threshold.

Keywords : IoT, Arduino Cloud, Monitoring, Soil moisture, Quini plants

Info Artikel :

Disubmit:

Direview:

Diterima :

Copyright © 2026 - Journal UPU. All rights reserved.

1. PENDAHULUAN

Pertanian hortikultura sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, terutama suhu dan kelembaban yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Kelembaban tanah yang berada pada kondisi ideal dapat memberikan produktivitas tinggi terhadap pertumbuhan tanaman, sedangkan kekurangan air akan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi kurang maksimal dan berdampak pada penurunan hasil panen. Air di dalam tanah berfungsi sebagai media penyerapan unsur hara serta menjaga aktivitas fisiologis tanaman sehingga kestabilan kondisi tanah perlu dijaga secara berkelanjutan.

Tanaman kuini (*Mangifera odorata*) sebagai salah satu tanaman buah tropis juga sangat bergantung pada kondisi lingkungan tanah, khususnya suhu dan kelembaban tanah. Kondisi tanah yang tidak stabil, baik terlalu kering maupun terlalu basah, dapat mengganggu proses penyerapan air dan unsur hara oleh akar sehingga pertumbuhan dan kualitas hasil tanaman menjadi tidak optimal. Oleh karena itu, pengelolaan suhu dan kelembaban tanah menjadi aspek penting dalam budidaya tanaman kuini, terutama pada wilayah tropis dengan perubahan cuaca yang relatif cepat.

Dalam praktik di lapangan, pemantauan kondisi tanah masih banyak dilakukan secara manual. Namun, pada beberapa wilayah pertanian, tanah dapat menjadi cepat kering apabila tidak memperoleh pasokan air yang cukup, sehingga petani sulit mengetahui kondisi aktual tanah jika hanya mengandalkan pengamatan langsung. Kondisi ini menyebabkan pengelolaan irigasi menjadi kurang tepat waktu dan berpotensi menurunkan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang mampu memantau kondisi tanah secara berkala dan berkelanjutan.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan diterapkannya sistem monitoring kondisi tanah berbasis sensor yang terhubung dengan jaringan internet. Sistem IoT telah digunakan untuk memantau kelembaban tanah dan parameter lingkungan lainnya dengan menampilkan data secara real-time pada website serta memberikan informasi kondisi lahan secara cepat kepada pengguna. Selain itu, IoT juga digunakan dalam sistem monitoring lahan yang memanfaatkan beberapa sensor lingkungan seperti kelembaban tanah dan pH tanah sehingga kondisi lahan dapat diketahui secara lebih menyeluruh.

Implementasi IoT dalam penelitian ini dilakukan melalui platform Arduino Cloud sebagai media pengelolaan dan visualisasi data sensor. Arduino Cloud merupakan platform berbasis web yang berfungsi sebagai perantara antara perangkat IoT dan pengguna, sehingga data suhu dan kelembaban tanah yang dikirimkan oleh sensor dapat diakses secara real-time melalui internet. Pendekatan ini sejalan dengan konsep sistem monitoring berbasis web yang telah diterapkan pada penelitian sebelumnya, di mana data sensor ditampilkan dalam bentuk informasi yang dapat digunakan sebagai dasar pengelolaan irigasi dan kondisi lahan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring pertanian berbasis Internet of Things (IoT) dengan berbagai pendekatan. Mahfud dkk. mengembangkan sistem monitoring kelembaban tanah berbasis IoT yang mampu menampilkan kondisi tanah secara real-time, namun penelitian tersebut hanya berfokus pada parameter kelembaban tanah tanpa menyediakan penyimpanan data historis berbasis cloud. Arifin dkk. mengembangkan sistem monitoring kesuburan lahan dengan mengintegrasikan sensor pH, suhu, intensitas cahaya, dan kelembaban tanah sehingga mampu memantau kondisi lahan secara lebih komprehensif, namun implementasinya belum diarahkan pada tanaman buah tertentu. Sementara itu, Abdiansyah dkk. mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis IoT yang telah mampu melakukan pengendalian irigasi, tetapi belum memanfaatkan platform cloud sebagai media visualisasi historis maupun evaluasi performa komunikasi data.

Berdasarkan hasil telaah tersebut dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada implementasi perangkat keras maupun otomatisasi penyiraman. Aspek visualisasi data historis, keandalan komunikasi data, serta penerapan sistem monitoring pada tanaman kuini masih belum banyak dibahas. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kekosongan tersebut melalui implementasi sistem monitoring berbasis Arduino Cloud yang memungkinkan proses pemantauan suhu dan kelembaban tanah secara real-time, penyimpanan data historis, serta notifikasi otomatis kepada pengguna.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Objek Penelitian	Sensor	Platform	Kelebihan	Keterbatasan
Mahfud et al. (2023)	Monitoring kelembaban tanah	Soil Moisture	IoT	Monitoring real-time	Belum menggunakan cloud

Arifin et al. (2025)	Kesuburan lahan	pH, suhu, kelembaban	IoT	Parameter lebih lengkap	Tidak spesifik tanaman kuini
Abdiansyah et al. (2024)	Penyiraman otomatis	DHT11, Soil Moisture	IoT	Otomatisasi penyiraman	Belum menyediakan histori data cloud
Penelitian ini	Monitoring tanaman kuini	DHT11, FC28	Arduino Cloud	Monitoring real-time, histori data, notifikasi	Fokus pada monitoring

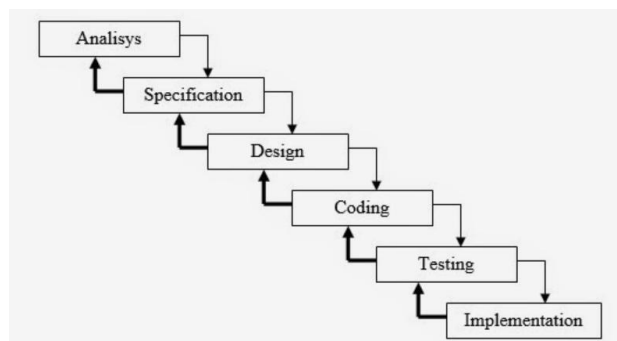
Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (research gap). Pertama, sebagian besar penelitian hanya diterapkan pada tanaman hortikultura secara umum, sedangkan implementasi sistem monitoring berbasis IoT pada tanaman kuini masih sangat terbatas. Kedua, sebagian penelitian berfokus pada implementasi perangkat keras atau sistem penyiraman otomatis tanpa mengevaluasi keandalan komunikasi data maupun penyimpanan data historis berbasis cloud. Ketiga, pembahasan mengenai pemanfaatan Arduino Cloud sebagai media visualisasi data dan sistem notifikasi otomatis pada budidaya tanaman buah masih relatif sedikit. Kesenjangan tersebut menunjukkan bahwa masih diperlukan penelitian yang mengintegrasikan monitoring real-time, visualisasi data historis, dan evaluasi performa sistem dalam satu platform yang mudah digunakan oleh petani.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada implementasi IoT untuk monitoring suhu dan kelembaban tanah tanaman kuini berbasis Arduino Cloud. Sistem ini diharapkan mampu menyediakan informasi kondisi tanah secara real-time dan berkelanjutan sehingga dapat membantu dalam pengelolaan lahan dan irigasi tanaman kuini secara lebih efektif dan berbasis data.

2. METODE

A. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam proses penelitian berikut adalah



Gambar 1. Metode Waterfall

(Sumber: metodepengebangansistem.blogspot.com)

Gambar tersebut menunjukkan penerapan model Waterfall sebagai metode pengembangan sistem pada penelitian implementasi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan suhu dan kelembaban tanah tanaman kuini berbasis Arduino Cloud. Model Waterfall dipilih karena memiliki tahapan kerja yang sistematis dan berurutan, sehingga memudahkan proses perancangan hingga implementasi sistem secara terstruktur.

B. Tahap Analisis

Tahap analisis bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan serta kebutuhan sistem dalam proses pemantauan kondisi tanah tanaman kuini. Pada tahap ini dilakukan kajian terhadap kebutuhan perangkat keras, seperti sensor suhu dan kelembaban tanah serta mikrokontroler Arduino, dan perangkat lunak berupa platform Arduino Cloud sebagai media pemantauan berbasis internet. Analisis juga mencakup kebutuhan pengguna terhadap sistem monitoring yang mampu menyajikan data secara real-time dan akurat[10].

- Tahap Spesifikasi Kebutuhan

Tahap spesifikasi difokuskan pada perumusan kebutuhan sistem secara detail dan terdokumentasi. Spesifikasi tersebut meliputi parameter suhu dan kelembaban tanah yang dipantau, mekanisme pengambilan dan pengiriman data sensor, interval pembaruan data, serta kebutuhan konektivitas jaringan. Dokumen spesifikasi berfungsi sebagai pedoman dalam proses perancangan dan pengembangan sistem.

- Tahap Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan, kebutuhan sistem yang telah ditetapkan diterjemahkan ke dalam desain teknis. Perancangan mencakup arsitektur sistem IoT, alur komunikasi data antara sensor, mikrokontroler, dan Arduino

Cloud, serta desain antarmuka pemantauan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan integrasi antar komponen sistem berjalan secara optimal.

- Tahap Pengkodean

Tahap pengkodean merupakan proses implementasi rancangan sistem ke dalam bentuk program. Pada tahap ini dikembangkan kode menggunakan bahasa pemrograman Arduino untuk membaca data sensor suhu dan kelembaban tanah, mengolah data tersebut, serta mengirimkannya ke Arduino Cloud secara berkala. Hasil dari tahap ini adalah sistem monitoring yang telah berfungsi secara teknis.

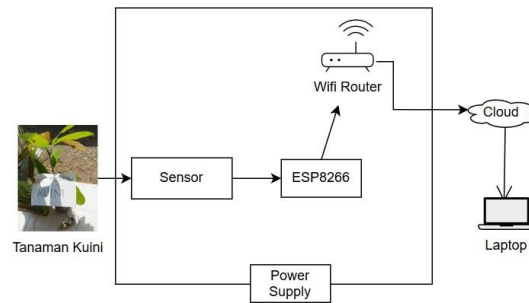
- Tahap Pengujian

Tahap pengujian dilakukan untuk menilai kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian mencakup evaluasi akurasi sensor, kestabilan komunikasi data, serta kesesuaian hasil pemantauan dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Apabila ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan perbaikan dengan mengacu pada tahap sebelumnya.

- Tahap Implementasi

Tahap implementasi merupakan tahap penerapan sistem pada lingkungan nyata, yaitu pada tanaman kuini. Sistem digunakan untuk memantau suhu dan kelembaban tanah secara real-time melalui Arduino Cloud. Informasi yang dihasilkan diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan dan perawatan tanaman kuini secara lebih efektif.

C. Skema Rangkaian



Gambar 2. Skema Rangkaian

Skema rangkaian *Internet of Things* (IoT) pada penelitian ini dirancang untuk memantau suhu lingkungan dan kelembaban tanah tanaman kuini secara real-time. Sistem terdiri atas mikrokontroler Arduino sebagai unit pengendali utama yang bertugas membaca data sensor, mengolah informasi, serta mengirimkan data ke platform Arduino Cloud melalui koneksi internet. Sensor suhu digunakan untuk mengukur kondisi temperatur di sekitar tanaman, sedangkan sensor kelembaban tanah berfungsi untuk mendeteksi kadar air pada media tanam. Seluruh komponen sistem memperoleh catu daya dari sumber listrik eksternal yang stabil guna memastikan kinerja sistem berjalan optimal. Data hasil pengukuran selanjutnya dikirimkan dan disimpan pada Arduino Cloud, sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk nilai numerik maupun grafik sebagai sarana pemantauan jarak jauh.

- Mikrokontroler Arduino
Berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang mengolah data dari sensor, mengatur proses pengiriman data, serta menghubungkan perangkat dengan platform Arduino Cloud melalui jaringan internet.
- Sensor Suhu Lingkungan
Digunakan untuk mengukur suhu udara di sekitar tanaman kuini sebagai parameter kondisi lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman.
- Sensor Kelembaban Tanah
Berperan dalam mendeteksi tingkat kelembaban media tanam dengan membaca perubahan karakteristik listrik tanah, yang kemudian dikonversi menjadi data digital.
- Modul Konektivitas Internet (Wi-Fi)
Memungkinkan mikrokontroler mengirimkan data hasil pengukuran ke Arduino Cloud secara real-time.
- Power Supply
Menyediakan suplai tegangan yang stabil untuk menjamin keandalan kinerja mikrokontroler dan sensor selama sistem beroperasi.
- Arduino Cloud
Berfungsi sebagai platform penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data, sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi tanaman kuini secara jarak jauh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

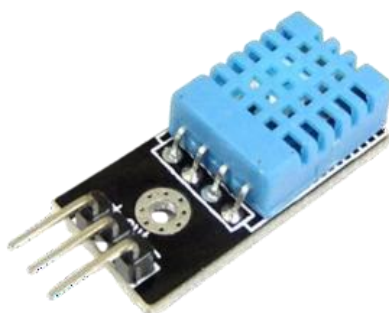
A. Komponen Sistem Penelitian

Sistem penelitian ini merupakan suatu integrasi menyeluruh antara perangkat keras berbasis *Internet of Things* (IoT) dan perangkat lunak yang dirancang secara khusus untuk melakukan pemantauan dua parameter agronomi

kritis, yaitu suhu udara dan kelembaban tanah, pada tanaman kuini (*Mangifera odorata*) secara *real-time*. Pemantauan berlangsung selama satu siklus pengamatan tujuh hari yang bertujuan menangkap dinamika harian dan pola perubahan parameter lingkungan. Media tanam yang digunakan adalah polibag berkapasitas terbatas, yang merepresentasikan skenario pembibitan atau budidaya intensif di lahan sempit. Pemanfaatan platform *Arduino IoT Cloud* sebagai tulang punggung infrastruktur data memungkinkan visualisasi, pencatatan, dan notifikasi yang terpusat[11]. Pemilihan media polibag bukan hanya sekadar keputusan praktis, tetapi juga merupakan solusi inovatif yang ramah lingkungan dan berbiaya rendah. Pendekatan ini secara khusus dirancang untuk fase pembibitan tanaman buah di mana kontrol terhadap media tanam dan efisiensi sumber daya menjadi faktor penentu. Selain itu, sistem ini sangat sesuai dengan kebutuhan operasional petani skala kecil (*smallholder farmers*) di wilayah tropis seperti Indonesia, yang memerlukan teknologi monitoring yang ekonomis, mudah diimplementasikan, namun tetap memberikan akurasi data yang andal untuk mendukung pengambilan keputusan irigasi dan perawatan. Setiap komponen dalam sistem ini dipilih melalui pertimbangan ketat terhadap ketahanannya dalam menghadapi kondisi cuaca ekstrem khas tropis, dengan rentang suhu operasional yang diuji antara 25–35°C. Aspek konektivitas juga menjadi prioritas, di mana modul WiFi harus menjaga kestabilan koneksi di lingkungan luar ruangan dengan kekuatan sinyal minimum di atas -70 dBm. Yang tak kalah penting adalah kompatibilitas sistem dengan integrasi cloud *cross-platform*, yang memungkinkan akses data secara bersamaan dan *real-time* melalui dua antarmuka utama: peramban web pada komputer laptop dan aplikasi seluler pada *smartphone*. Fleksibilitas akses ini dirancang untuk mendukung kolaborasi yang lancar antara peneliti di lapangan dan petani sebagai pengguna akhir, sehingga menciptakan ekosistem monitoring yang inklusif dan berbasis data.

1. Perangkat Keras
 - a) NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah *firmware* bersifat *open-source* sekaligus *development kit* yang secara khusus dirancang untuk merangkai dan mempermudah proses pembuatan prototipe produk berbasis *Internet of Things* (IoT). Pada intinya, platform ini menyediakan lingkungan pengembangan yang komprehensif dengan menggunakan skrip Lua yang relatif sederhana sehingga dapat diakses oleh pengembang dengan berbagai tingkat keahlian. Keunggulan utama NodeMCU ESP8266 terletak pada sifatnya yang terbuka (*open-source*), interaktif, terprogram, berbiaya sangat rendah, serta mudah diintegrasikan dalam berbagai skenario IoT[12]. Modul ini dilengkapi dengan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang telah memiliki konektivitas WiFi terintegrasi, sehingga menghilangkan kebutuhan akan modul komunikasi eksternal dan menyederhanakan desain sistem secara signifikan. Dalam konteks penelitian ini, NodeMCU ESP8266 berperan sebagai *gateway* atau pusat pemrosesan data. Ia bertugas membaca sinyal digital dan analog dari sensor-sensor yang terhubung, melakukan



Gambar 2. NodeMCU ESP8266

konversi dan pra-pemrosesan data dasar, serta mengirimkan paket data tersebut ke platform *cloud* melalui jaringan WiFi. Pemilihan NodeMCU ESP8266 didasarkan pada rasio performa-harga

yang sangat baik, dukungan komunitas pengembang yang luas, dan kompatibilitasnya yang tinggi dengan berbagai library sensor dan platform IoT, termasuk Arduino IDE yang digunakan dalam pemrograman.

(Sumber: <https://www.arduino.biz.id/2022/08/io-node-mcu-esp8266-lolin.html>)

b) Sensor DHT11

Sensor suhu dan kelembaban udara DHT11 merupakan komponen kunci dalam sistem monitoring lingkungan ini. Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi dua parameter atmosferik penting di sekitar kanopi tanaman, yaitu suhu udara ambient dan kelembaban udara relatif (*Relative Humidity* atau RH). Peran sensor suhu sangat krusial karena laju proses biokimiawi tanaman, seperti fotosintesis dan respirasi, sangat dipengaruhi oleh fluktuasi suhu. DHT11 tersusun atas dua elemen sensor utama: sebuah elemen polimer kapasitif untuk mengukur kelembaban dan sebuah termistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk mengukur suhu. Keduanya terintegrasi dalam satu paket yang ringkas. Sensor ini juga dilengkapi dengan memori kalibrasi internal (*on-chip memory*) yang menyimpan koefisien kalibrasi pabrik, memastikan bahwa setiap unit sensor menghasilkan data yang akurat dan konsisten tanpa perlu kalibrasi ulang oleh pengguna. Dari sisi komunikasi, DHT11 mengeluarkan data berupa sinyal digital terenkripsi melalui protokol komunikasi serial satu-kabel (*single-bus*), yang menyederhanakan antarmuka dengan mikrokontroler. Rentang operasional sensor DHT11 untuk pengukuran kelembaban adalah 20–90% RH dengan akurasi $\pm 5\%$ RH, sedangkan untuk suhu adalah 0–50°C dengan akurasi $\pm 2^\circ\text{C}$. Dalam operasinya, pembacaan suhu yang lebih rendah akan memengaruhi resistansi internal dan menghasilkan sinyal tegangan yang dapat diinterpretasi berbeda, sehingga memerlukan algoritma pembacaan yang sesuai pada mikrokontroler.



Gambar 3. Sensor DHT11

(Sumber: <https://www.arduino.biz.id/2025/06/sensor-dht11-vs-dht22-mana-yang-lebih-akurat-untuk-projek-iot.html>)

c) Sensor FC28

Sensor kelembaban tanah FC28 merupakan perangkat yang didedikasikan untuk mengukur kadar air volumetrik dalam media tanam. Berbeda dengan sensor resistif konvensional yang rentan terhadap korosi elektrolitik, sensor FC28 beroperasi berdasarkan prinsip kapasitif yang lebih stabil dan tahan lama. Prinsip kerjanya melibatkan dua pelat logam paralel yang bertindak sebagai elektroda kapasitor, dengan tanah itu sendiri (atau bahan dielektrik khusus pada probe) berfungsi sebagai material dielektrik di antara keduanya. Perubahan kadar air tanah secara langsung mengubah permitivitas dielektrik material tersebut. Peningkatan kadar air meningkatkan permitivitas, yang kemudian meningkatkan kapasitansi antara dua elektroda. Perubahan kapasitansi ini diukur oleh sirkuit elektronik dalam modul sensor dan dikonversi menjadi sinyal tegangan analog (biasanya 0–3.3V atau 0–5V). Sinyal analog ini kemudian dibaca oleh pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*) pada NodeMCU. Modul FC-28 yang

digunakan biasanya telah dilengkapi dengan komparator digital (seperti LM393) yang dapat memberikan keluaran digital *high/low* berdasarkan *threshold* kelembaban yang dapat diatur via *potentiometer*. Dalam penelitian ini, keluaran analog dari FC28 dimanfaatkan untuk mendapatkan nilai persentase kelembaban yang lebih presisi. Rentang pengukuran sensor ini adalah 0–100% dengan akurasi sekitar $\pm 5\%$ dalam kondisi tanah yang terkalibrasi[13]. Penggunaan prinsip kapasitif membuat sensor ini relatif lebih kebal terhadap degradasi jangka panjang akibat efek elektrolisis, sehingga cocok untuk pengukuran berkelanjutan di lapangan.



Gambar 4. Sensor FC28

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Soil-Moisture-Sensor-FC-28_fig7_322945052)

d) Kabel Jumper Female-to-Male

Konektivitas listrik yang andal dan tahan lama antara sensor dengan board NodeMCU ESP8266 menjadi prasyarat bagi sistem lapangan. Dalam penelitian ini, koneksi tersebut dibangun menggunakan kabel jumper *female-to-male* sepanjang 20 cm dengan isolasi terbuat dari material silicone. Pemilihan kabel jumper ini secara strategis menghilangkan kebutuhan akan papan percobaan (*breadboard*) yang rentan terhadap koneksi longgar dan oksidasi ketika diterapkan di lingkungan luar ruangan yang lembab. Isolasi silicone memberikan sejumlah keunggulan kritis: ketahanan tinggi terhadap suhu ekstrem, fleksibilitas yang baik, dan sifat kedap air (*water-resistant*). Selama periode pengujian lapangan selama tujuh hari di kondisi tropis dengan fluktuasi cuaca, koneksi yang dibangun dengan kabel ini terbukti sangat stabil tanpa mengalami gangguan sinyal atau korosi pada konektor. Selain keandalan, pendekatan ini menghasilkan desain fisik sistem yang sangat kompak, portabel, dan rapi. Desain yang sederhana dan kokoh ini secara langsung meningkatkan kemudahan perakitan dan pemeliharaan di lapangan, menjadikannya sangat sesuai untuk diadopsi oleh pengguna akhir seperti petani yang mungkin tidak memiliki keahlian teknis yang mendalam. Dengan kata lain, kabel jumper ini bukan hanya penghubung listrik, tetapi juga merupakan elemen desain yang mendukung *user-experience* dan *durability* sistem secara keseluruhan.



Gambar 5. Kabel Jumper Female-to-male

(Sumber: <https://amsanelectronics.com>)

e) Kabel USB

Stabilitas pasokan daya adalah fondasi dari setiap sistem elektronik yang beroperasi secara kontinu. Dalam sistem penelitian ini, fungsi vital tersebut diemban oleh set kabel USB *Type-A to Micro-USB* yang dihubungkan ke sebuah adaptor *switching* berkualitas dengan spesifikasi keluaran 5V DC dan 2A. Konfigurasi ini berfungsi sebagai sumber daya utama (*main power supply*) yang menggantikan ketergantungan pada baterai yang memiliki umur terbatas dan tegangan yang tidak stabil seiring waktu. Adaptor 5V/2A memastikan bahwa tegangan yang disuplai ke NodeMCU ESP8266 tetap konstan pada level 5V, terlepas dari fluktuasi kecil pada tegangan input dari jaringan PLN. Kestabilan tegangan ini sangat penting untuk mencegah gangguan pada dua proses kritis: pembacaan sensor yang presisi dan proses transmisi data via WiFi ke *cloud*. Fluktuasi tegangan dapat menyebabkan *reset* spontan pada mikrokontroler atau pembacaan nilai ADC yang tidak akurat. Dengan menggunakan pasokan daya dari stop kontak via kabel USB ini, sistem dapat dioperasikan 24 jam non-stop selama tujuh hari pengujian tanpa interupsi, memastikan kelengkapan dan kontinuitas *dataset* yang dikumpulkan. Dengan demikian, kabel USB dan adaptor ini merupakan komponen pendukung yang bersifat *enabling*, yang memungkinkan seluruh sistem perangkat keras berfungsi secara optimal dan andal.



Gambar 6. Kabel USB

B. Platform Perangkat Lunak

Perancangan dan implementasi perangkat lunak merupakan tahap di mana logika sistem dan alur data ditetapkan. Dalam penelitian ini, perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino Integrated Development Environment (IDE), yang merupakan lingkungan pemrograman open-source yang sangat populer untuk pengembangan berbasis mikrokontroler[14]. Arduino IDE menyediakan editor kode, compiler, dan uploader dalam satu paket yang sederhana namun powerful[15]. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah varian dari C/C++ dengan struktur dan library yang disederhanakan, sehingga memudahkan penulisan kode untuk tugas-tugas seperti membaca sensor, pemrosesan data, dan komunikasi jaringan. Keunggulan Arduino IDE terletak pada dukungan komunitas yang masif, ketersediaan library untuk ribuan sensor (termasuk DHT11 dan pembacaan ADC untuk FC-28), serta kemudahannya untuk diintegrasikan dengan platform cloud seperti Arduino IoT Cloud[16].

Di sisi cloud, dibangun sebuah dashboard monitoring yang dapat diakses secara multiplatform. Aksesibilitas ini merupakan fitur utama, dimana pengguna dapat memantau kondisi tanaman baik melalui peramban web (seperti Google Chrome atau Mozilla Firefox) pada komputer desktop/laptop, maupun melalui aplikasi seluler resmi Arduino IoT Cloud yang tersedia untuk sistem operasi Android dan iOS. Antarmuka dashboard ini didesain secara intuitif untuk menyajikan visualisasi data real-time dalam beberapa bentuk. Pertama, gauge atau panel meter dengan jarum dan warna memberikan gambaran sesaat (snapshot) yang cepat mengenai nilai suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah. Kedua, grafik tren (time-series chart) menampilkan histori data selama tujuh hari pengamatan, memungkinkan analisis pola dan fluktuasi parameter dari waktu ke waktu. Ketiga, sistem dilengkapi dengan mesin notifikasi otomatis (alert system) yang akan memicu peringatan (melalui email atau notifikasi push di aplikasi) ketika parameter melewati batas ambang (threshold) yang telah ditetapkan, yaitu saat suhu $>32^{\circ}\text{C}$ atau kelembaban tanah $<30\%$. Seluruh data mentah yang dikirimkan dari perangkat lapangan disimpan secara aman di server cloud dengan kapasitas penyimpanan tak terbatas (unlimited cloud storage), menjamin ketersediaan data historis untuk analisis lebih lanjut kapanpun dibutuhkan[17].

C. Langkah-langkah Penelitian

1. Persiapkan Tanaman dan Tempat Pengujian

Penelitian diawali dengan tahap persiapan material biologis dan konfigurasi fisik sistem di lokasi pengujian. Tanaman kuini (*Mangifera odorata*) dipilih sebagai subyek penelitian, dengan bibit berumur sekitar 3-4 bulan yang ditanam dalam polibag berukuran sedang. Media tanam yang digunakan adalah campuran tanah topsoil, pupuk kandang, dan sekam bakar dengan perbandingan tertentu untuk memastikan drainase yang baik. Pemilihan polibag sebagai media bukan hanya karena kepraktisan dan mobilitasnya, tetapi juga karena merepresentasikan skenario budidaya modern yang hemat ruang dan terkontrol. Penempatan sensor dilakukan dengan presisi untuk memastikan data yang representatif. Probe sensor kelembaban tanah FC-28 ditancapkan secara vertikal sedalam sekitar 5-7 cm ke dalam media tanam, posisinya sekitar 5 cm dari pangkal batang utama untuk menghindari zona akar utama yang terlalu padat sekaligus menangkap kelembaban di zona perakaran aktif. Sensor DHT11 ditempatkan pada ketinggian sekitar 10-15 cm di atas permukaan media tanam, diikat pada sebuah tiang kecil. Posisi ini dirancang untuk mengukur kondisi mikro-klimat di sekitar daun muda (*canopy level*) sekaligus melindungi sensor dari cipratan air hujan atau penyiraman langsung yang dapat merusak atau memberikan pembacaan kelembaban udara semu (*false reading*). Setelah penempatan sensor, seluruh kabel jumper disambungkan dengan rapi ke pin-pin yang sesuai pada board NodeMCU, dan keseluruhan perangkat kemudian dialiri daya melalui kabel USB yang tersambung ke stop kontak dalam sebuah housing pelindung sederhana dari hujan.



Gambar 7. Tanaman kuini

2. Pembuatan Program dan *Setup Cloud*

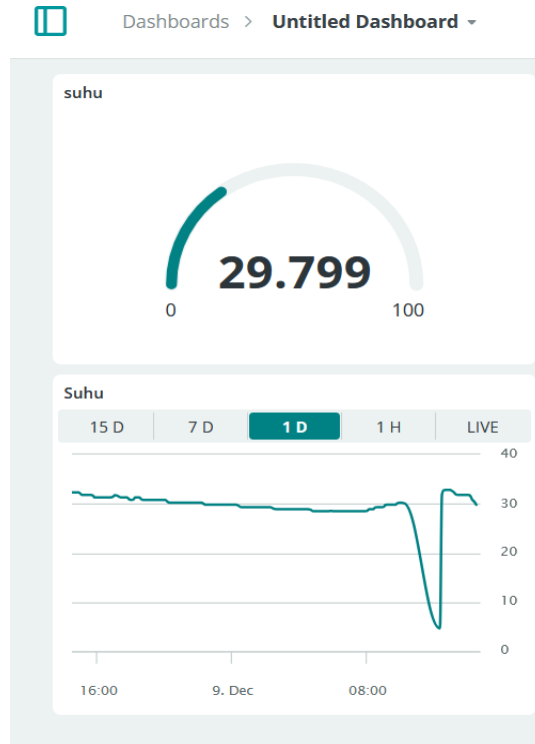
Tahap pemrograman melibatkan pembuatan firmware atau kode yang akan dijalankan oleh NodeMCU. Kode dikembangkan di platform Arduino IDE dengan memanfaatkan library khusus untuk DHT11 dan library WiFiManager untuk koneksi jaringan. Alur logika program dirancang sebagai berikut: sistem melakukan inisialisasi terhadap semua sensor dan menghubungkan diri ke jaringan WiFi yang telah dikonfigurasi. Setelah terkoneksi, sistem masuk ke loop utama. Di dalam loop, program akan membaca nilai dari sensor DHT11 (suhu dan kelembaban udara) serta nilai analog dari sensor FC28 setiap interval 10 detik. Nilai analog dari FC-28 (berkisar 0-1023) kemudian dikonversi ke dalam persentase kelembaban tanah (0-100%) menggunakan rumus mapping dan dikalibrasi berdasarkan pembacaan basah-kering awal. Nilai-nilai tersebut kemudian dirata-ratakan selama satu menit untuk mengurangi noise. Setiap lima menit, paket data yang berisi rata-rata suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah dikirimkan ke platform Arduino IoT Cloud melalui koneksi WiFi menggunakan protokol MQTT. Pengiriman data dilakukan secara asinkronus dan dilengkapi dengan mekanisme error-handling; jika pengiriman gagal, data akan disimpan sementara di memori dan dicoba kembali pada siklus berikutnya.

Secara paralel, di platform Arduino IoT Cloud, dilakukan konfigurasi sebuah "Thing" baru. Thing adalah representasi virtual dari perangkat fisik (dalam hal ini unit NodeMCU ESP8266) di dunia cloud. Prosesnya meliputi: Pertama mendaftarkan perangkat NodeMCU ESP8266 sebagai device baru di akun cloud, yang akan menghasilkan ID unik dan secret key. Lalu, menghasilkan token autentikasi (device token) yang akan dimasukkan ke dalam kode firmware sebagai "kunci" untuk mengakses Thing tersebut. Ketiga, mengonfigurasi variabel-variabel data yang akan disinkronkan. Dalam penelitian ini, didefinisikan tiga variabel: "Suhu" (tipe float, satuan °C), "Kelembaban Udara" (tipe float, satuan %), dan "Kelembaban Tanah" (tipe float, satuan %). Setelah Thing dan variabel dibuat, dashboard dapat dirancang dengan menambahkan widget sesuai kebutuhan, seperti gauge, chart, dan value display. Setelah kode di-upload ke NodeMCU ESP8266 dan perangkat di-restart, proses sinkronisasi data antara perangkat lapangan dan dashboard cloud akan berjalan secara otomatis dan real-time.

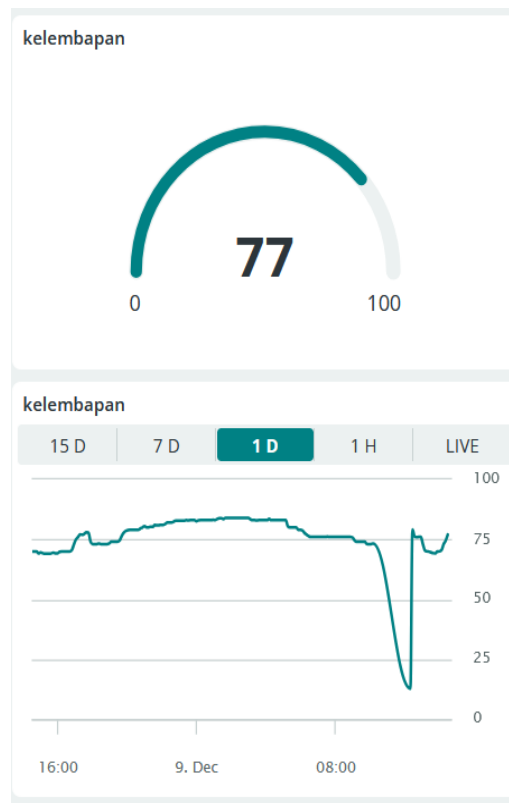
```
/*  
  Combined Sketch for Arduino IoT Cloud + DHT11 + Soil Moisture  
  Menggabungkan code 1 & code 2 tanpa error  
*/  
  
#include "thingProperties.h"  
#include <DHT.h>  
  
#define DHTPIN 4           // Pin sensor DHT (bisa ubah sesuai wiring)  
#define DHTTYPE DHT11  
#define SOIL_PIN A0       // Sensor soil moisture  
  
const unsigned long READ_INTERVAL = 2000;  
unsigned long lastRead = 0;  
  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  delay(1500);  
  
  dht.begin();  
  
  initProperties();  
  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);  
  
  setDebugMessageLevel(2);  
  ArduinoCloud.printDebugInfo();  
}  
  
void loop() {  
  ArduinoCloud.update();  
  
  unsigned long now = millis();  
  if (now - lastRead >= READ_INTERVAL) {  
    lastRead = now;  
  
    // --- Baca DHT11 ---  
    float h = dht.readHumidity();  
    float t = dht.readTemperature();  
  
    if (isnan(h) || isnan(t)) {  
      Serial.println("Gagal membaca DHT11. Periksa wiring.");  
      return;  
    }  
  
    // --- Baca Soil Moisture ---  
    int soilValue = analogRead(SOIL_PIN);  
  
    // --- Kirim ke Arduino Cloud ---  
    humidity = h; // variabel Cloud (float)  
    temperature = t; // variabel Cloud (float)  
    soil = soilValue; // variabel Cloud (int)  
  
    // --- Debug Serial Monitor ---  
    Serial.print("Suhu: ");  
    Serial.print(temperature);  
    Serial.print(" °C | Humidity: ");  
    Serial.print(humidity);  
    Serial.print(" % | Soil: ");  
    Serial.println(soil);  
  }  
}
```

Gambar 8. Coding Program

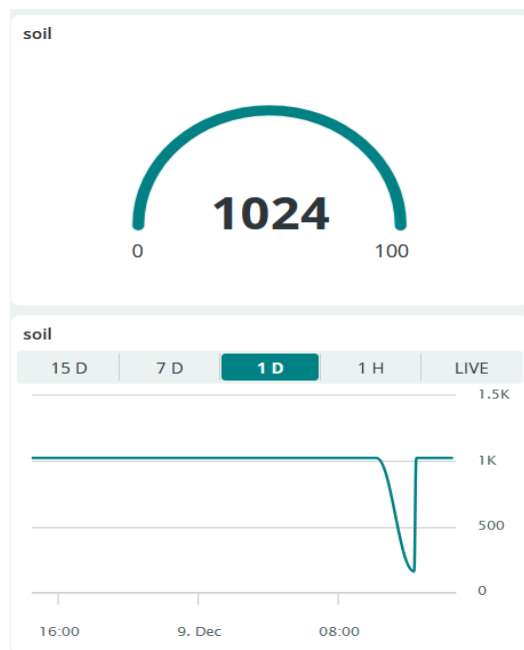
Dashboard dibuat dengan 3 gauge (Suhu 10-40°C, Kelembapan 20-90%, Soil 0-1000%) plus grafik line. Tampilan ini memudahkan pantau kondisi tanaman kuini secara *real-time* dari laptop/HP.



Gambar 9. Tampilan Dashboard Bagian Suhu di Hari Terakhir Penelitian



Gambar 10. Tampilan Dashboard Bagian Kelembapan di Hari Terakhir Penelitian



Gambar 11. Tampilan Dashboard Soil Bagian di Hari Terakhir Penelitian

3. Pengambilan Data

Fase pengambilan data berjalan sepenuhnya otomatis selama tujuh hari penuh (168 jam). Sistem bekerja secara otonom: sensor membaca data setiap 10 detik, data dirata-ratakan per menit, dan paket data dikirim ke *cloud* setiap 5 menit. Interval pengiriman 5 menit merupakan kompromi yang tepat antara resolusi data yang cukup tinggi untuk menangkap tren dan penghematan penggunaan data serta energi (meskipun menggunakan daya listrik). Seluruh data yang terekam di *cloud* dilengkapi dengan *timestamp* yang akurat, memungkinkan penelusuran kronologis yang presisi. Selain mengandalkan data otomatis, dilakukan juga observasi manual harian untuk mencatat kondisi lingkungan faktual (seperti ada/tidaknya hujan, intensitas cahaya matahari, dan kondisi visual tanaman) sebagai pembanding dan konteks untuk data digital. Pengamatan manual ini penting untuk memberikan anotasi pada data dan menginterpretasikan anomali atau pola yang muncul pada grafik.

4. Pengolahan Data

Setelah periode pengumpulan data selesai, dilakukan tahap pengolahan dan analisis. Data mentah diekspor dari Arduino IoT Cloud dalam format *spreadsheet* (CSV). Data kemudian diolah untuk menghitung statistik deskriptif harian, seperti nilai rata-rata, maksimum, minimum, dan standar deviasi untuk setiap parameter (suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah). Analisis lebih lanjut dilakukan untuk melihat korelasi antar parameter, misalnya hubungan antara penurunan kelembaban tanah dengan kenaikan suhu udara di siang hari, atau respons kelembaban tanah terhadap kejadian hujan yang tercatat. Hasil analisis dituangkan dalam bentuk tabel ringkasan dan grafik yang informatif. Sebagai contoh, berikut adalah tabel ringkasan data harian yang diperoleh:

Tabel 1. Hasil Akhir

Hari ke-	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Soil (%)	Keterangan
1	26.0	85	60	Lembab
2	34.5	72	45	Cerah
3	18.2	90	65	Hujan Ringan
4	38.0	40	25	Panas, Kering
5	29.7	78	55	Berawan
6	31.2	65	38	Normal
7	23.8	88	62	Setelah Hujan

Hasil monitoring selama tujuh hari menunjukkan bahwa sistem berhasil melakukan akuisisi dan pengiriman data suhu udara, kelembaban udara, serta kelembaban tanah secara kontinu ke platform Arduino Cloud. Selama periode pengamatan, suhu lingkungan berkisar antara 18,2°C hingga 38,0°C dengan rata-rata sebesar 28,8°C. Nilai tersebut masih berada pada rentang suhu yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman tropis, meskipun pada hari keempat terjadi peningkatan suhu yang cukup tinggi akibat kondisi cuaca cerah.

Kelembaban tanah berada pada rentang 25% hingga 65% dengan rata-rata sebesar 50%. Penurunan kelembaban tanah hingga mencapai 25% terjadi ketika suhu lingkungan meningkat menjadi 38°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu lingkungan berpengaruh terhadap laju penguapan air dari media tanam sehingga kadar air tanah menurun. Sebaliknya, setelah terjadi hujan pada hari ketujuh, kelembaban tanah kembali meningkat hingga mencapai 62%.

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa sistem monitoring mampu menggambarkan dinamika perubahan kondisi lingkungan secara real-time sehingga informasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan waktu penyiraman tanaman secara lebih tepat.

D. Analisis Statistik

Tabel 3. Analisis Statistik

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Suhu	18,2°C	38°C	28,8°C
Kelembaban Udara	40%	90%	74%
Kelembaban Tanah	25%	65%	50%

Berdasarkan analisis statistik deskriptif, suhu udara menunjukkan variasi yang cukup tinggi akibat perubahan kondisi cuaca selama masa pengamatan. Variasi tersebut juga diikuti oleh perubahan kelembaban tanah yang cenderung menurun ketika suhu meningkat. Nilai rata-rata kelembaban tanah sebesar 50% menunjukkan bahwa media tanam masih berada pada kondisi cukup lembab untuk mendukung pertumbuhan bibit tanaman kuini.

Data tersebut juga memperlihatkan bahwa sistem mampu merekam perubahan lingkungan secara kontinu tanpa kehilangan informasi penting sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kondisi lahan secara periodik.

E. Analisis Kinerja Sistem

Pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan transmisi data sebesar 95% selama tujuh hari pengamatan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa komunikasi antara NodeMCU ESP8266 dan Arduino Cloud berlangsung secara stabil. Keberhasilan transmisi dipengaruhi oleh kualitas koneksi internet yang digunakan selama proses monitoring.

Selain itu, dashboard Arduino Cloud mampu menampilkan data secara real-time dengan jeda pembaruan sesuai interval pengiriman yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa platform Arduino Cloud cukup andal untuk digunakan sebagai media monitoring kondisi tanaman pada skala budidaya.

F. Analisis Berdasarkan Karakteristik Sensor

Tabel 4. Analisis Statistik

Sensor	Datasheet	Hasil
DHT11	Akurasi $\pm 2^{\circ}\text{C}$	sesuai
FC28	Akurasi $\pm 5\%$	sesuai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DHT11 mampu bekerja pada rentang suhu pengamatan sebesar 18,2–38°C yang masih berada dalam spesifikasi operasional sensor. Sensor FC28 juga mampu mendeteksi perubahan kelembaban tanah secara konsisten selama tujuh hari pengamatan. Tidak ditemukan kegagalan pembacaan sensor maupun gangguan komunikasi yang signifikan sehingga performa sistem dinilai sesuai dengan karakteristik teknis sensor yang digunakan.

G. Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Tabel 4. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Monitoring	Cloud	Histori	Notifikasi
Mahfud (2023)	Ya	Tidak	Tidak	Tidak
Arifin (2025)	Ya	Sebagian	Ya	Tidak
Penelitian ini	Ya	Arduino Cloud	Ya	Ya

Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki beberapa keunggulan. Selain mampu melakukan monitoring suhu dan kelembaban tanah secara real-time, sistem juga menyediakan penyimpanan data historis pada Arduino Cloud serta notifikasi otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Fitur tersebut memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pemantauan kondisi tanaman tanpa harus berada langsung di lokasi budidaya.

Meskipun demikian, penelitian ini masih berfokus pada sistem monitoring sehingga proses penyiraman masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan aktuator pompa air otomatis sehingga terbentuk sistem irigasi cerdas berbasis Internet of Things.

H. Analisis Statistik Hasil Monitoring

Selain menghitung nilai rata-rata setiap parameter, penelitian ini juga melakukan analisis statistik deskriptif untuk mengetahui karakteristik data hasil monitoring selama tujuh hari pengamatan. Analisis dilakukan terhadap nilai minimum, maksimum, serta rata-rata suhu udara, kelembaban udara, dan kelembaban tanah. Hasil analisis statistik disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Statistik Deskriptif Hasil Monitoring

Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
Suhu (°C)	18,2	38	28,8
Kelembaban Udara (%)	40	90	74
Kelembaban Tanah (%)	25	65	50

Berdasarkan Tabel 5 diketahui bahwa suhu udara memiliki rentang pengukuran antara 18,2°C hingga 38,0°C dengan nilai rata-rata sebesar 28,8°C. Variasi suhu tersebut menunjukkan adanya perubahan kondisi cuaca selama masa pengamatan yang memengaruhi kondisi lingkungan di sekitar tanaman kuini.

Kelembaban udara berada pada rentang 40% hingga 90% dengan nilai rata-rata sebesar 74%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan relatif lembab dan masih sesuai untuk pertumbuhan tanaman tropis.

Sementara itu, kelembaban tanah berada pada rentang 25% hingga 65% dengan nilai rata-rata sebesar 50%. Penurunan kelembaban tanah hingga mencapai 25% terjadi ketika suhu lingkungan meningkat, sedangkan peningkatan kelembaban tanah terjadi setelah hujan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya hubungan antara perubahan suhu lingkungan dengan kadar air media tanam sehingga sistem monitoring mampu merekam dinamika kondisi lahan secara kontinu.

I. Analisis Hubungan Antar Parameter

Hasil pengamatan menunjukkan kecenderungan hubungan negatif antara suhu udara dan kelembaban tanah. Ketika suhu udara meningkat hingga mencapai 38°C pada hari keempat, kelembaban tanah menurun hingga 25%. Sebaliknya, setelah terjadi hujan pada hari ketujuh, suhu udara menurun menjadi 23,8°C dan kelembaban tanah meningkat hingga 62%.

Fenomena tersebut menunjukkan bahwa perubahan suhu lingkungan memberikan pengaruh terhadap laju penguapan air pada media tanam. Dengan demikian, data hasil monitoring dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam menentukan waktu penyiraman tanaman secara lebih tepat sehingga penggunaan air menjadi lebih efisien.

Tabel 6. Hubungan Antar Parameter

Penelitian	Hasil Utama
Mahfud et al. (2023)	Monitoring kelembaban tanah secara real-time
Arifin et al. (2025)	Monitoring multi-parameter lahan
Penelitian ini	Monitoring suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, histori data Arduino Cloud, notifikasi otomatis

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Mahfud et al. yang menunjukkan bahwa teknologi Internet of Things mampu melakukan monitoring kondisi tanah secara real-time. Namun demikian, penelitian ini memberikan nilai tambah berupa integrasi dengan Arduino Cloud sehingga pengguna dapat mengakses data historis, memantau perubahan kondisi lingkungan secara kontinu, serta menerima notifikasi otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah batas yang telah ditentukan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan irigasi tanaman kuini.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah tanaman kuini (*Mangifera odorata*) berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor DHT11, sensor FC-28, dan platform Arduino Cloud. Sistem mampu melakukan akuisisi, pengiriman, serta visualisasi data secara real-time dengan tingkat keberhasilan transmisi data mencapai 95% selama tujuh hari pengujian. Hasil monitoring menunjukkan rata-rata suhu sebesar 28,8°C, kelembaban udara 74%, dan kelembaban tanah 50%, sehingga sistem mampu menggambarkan perubahan kondisi lingkungan yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan penyiraman tanaman.

Berdasarkan hasil analisis, penggunaan Arduino Cloud memberikan kemudahan dalam memantau kondisi tanaman melalui dashboard berbasis web maupun perangkat bergerak. Selain itu, fitur penyimpanan data historis dan notifikasi otomatis memungkinkan pengguna mengetahui perubahan kondisi tanah secara lebih cepat dibandingkan metode pengamatan konvensional.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengujian hanya dilakukan pada satu lokasi pengamatan dengan satu objek tanaman kuini, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan pada kondisi lahan yang berbeda. Kedua, periode pengamatan hanya berlangsung selama tujuh hari, sehingga belum mampu menggambarkan perubahan kondisi tanah pada berbagai musim maupun kondisi iklim yang lebih beragam. Ketiga, sistem yang dikembangkan masih berfungsi sebagai sistem monitoring, sehingga proses penyiraman tanaman masih dilakukan secara manual dan belum terintegrasi dengan aktuator irigasi otomatis. Selain itu, sensor yang digunakan masih merupakan sensor kategori ekonomis sehingga akurasi masih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan memerlukan kalibrasi berkala.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan sistem menjadi smart irrigation system dengan mengintegrasikan pompa air otomatis, sensor dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi, sumber energi mandiri seperti panel surya, serta algoritma kecerdasan buatan atau machine learning untuk memprediksi kebutuhan air tanaman berdasarkan pola perubahan suhu dan kelembaban tanah. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air sekaligus mendukung penerapan pertanian cerdas (smart agriculture) yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

REFERENCES

- [1] F. Mahfud, H. Ardiansyah, and M. R. Aprillya, "SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH DENGAN SENSOR SOIL MOISTURE BERBASIS INTERNET OF THINGS," *JIP (Jurnal Inform. Polinema)*, vol. 10, no. 1, pp. 117–124, 2023, [Online]. Available: <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/jip/article/view/4788/3103>
- [2] S. Arifin, N. Kurniawati, R. Agustiani, and G. Elsandika, "Sistem Monitoring Kesuburan Lahan Pertanian menggunakan Sensor pH, Sensor Suhu, Intensitas Cahaya, dan Kelembapan Tanah Berbasis Internet of Things," *J. Ris. Fis. Indones.*, vol. 5, no. 2, pp. 97–106, 2025, [Online]. Available: <https://journal.ubb.ac.id/index.php/jrfi/article/view/5334/2752>
- [3] Abdiansyah, A. Rahman, and R. Maulidda, "SISTEM MONITORING SUHU DAN KELEMBABAN TANAH UNTUK PENYIRAMAN TANAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT," *J. TELISKA*, vol. 18, no. II, pp. 8–15, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teliska/article/view/8937/3257>
- [4] Supriyanto and A. A. Magriyanti, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Tanah Sawah Dengan Parameter Suhu Dan Kelembaban Tanah Menggunakan Arduino Berbasis Internet Of Things (Iot)," *J. Ilm. Elektron. DAN Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 234–241, 2022, [Online]. Available: <https://journal.stekom.ac.id/index.php/elkom/article/view/896/633>
- [5] A. A. Aulia, L. D. Samsumar, and E. Suryadi, "SISTEM MONITORING KELEMBABAN DAN OTOMATISASI PENYIRAMAN TANAMAN CABAI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *J. Rekayasa Sist. Inf. dan Teknol.*, vol. 2, no. 2, pp. 681–695, 2024, [Online]. Available: <https://journal.ppmi.web.id/index.php/jrsit/article/view/1366/1007>
- [6] E. Anugrah, M. Hasbi, and M. P. Lukman, "PENERAPAN SISTEM MONITORING DAN KENDALI PINTAR UNTUK TANAMAN TERUNG BERBASIS INTERNET OF THINGS DENGAN METODE PENYIRAMAN IRIGASI TETES," *J. Resist.*, vol. 4, no. 2, pp. 204–212, 2021, [Online]. Available: <https://s.id/jurnalresistor>
- [7] M. C. A. Prabowo, A. A. Janitra, and N. M. Wibowo, "Sistem Monitoring Hidroponik Berbasis IoT Dengan Sensor

- Suhu, pH, dan Ketinggian Air Menggunakan ESP8266,” *TECNOSCIENZA*, vol. 7, no. 2, pp. 312–323, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.kahuripan.ac.id/index.php/TECNOSCIENZA/article/view/894/660>
- [8] R. Doni and M. Rahman, “Sistem Monitoring Tanaman Hidroponik Berbasis Iot (Internet of Thing) Menggunakan Nodemcu ESP8266,” *J. Sains Komput. Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 516–522, 2020, [Online]. Available: <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti>
- [9] A. S. Rusdianto, L. M. Khasanah, B. Suryadharma, Y. Wibowo, and N. S. Mahardika, “Pengembangan Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban di Ruang Fermentasi Tembakau Bawah Naungan (TBN) Berbasis Internet of Things (IoT),” *JOFE J. Food Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 90–100, 2022, [Online]. Available: <https://publikasi.polije.ac.id/jofe/article/view/3111/1886>
- [10] R. Amami *et al.*, “Soil quality and eggplant productivity in response to different mulching strategies under conservation tillage in organic greenhouse production,” *Front. Agron.*, pp. 1–18, 2025, doi: 10.3389/fagro.2025.1603762.
- [11] Y. E. Lestari, K. Pangestuning, and A. Hadi, “PENGARUH FAKTOR SUHU DAN KELEMBABAN TERHADAP PEMBUNGAAN DAN PEMBUAHAN TANAMAN BUAH NAGA (*Hylocereus polyrhizus*),” *J. Agroradix*, vol. 8, no. 1, pp. 20–30, 2024, [Online]. Available: <https://ejurnal.unisda.ac.id/index.php/agro/article/view/7415/3437>
- [12] D. Muriyatmoko, F. R. Pradhana, and F. Aditiya, “SISTEM PEREKAYASA SUHU PADA SMART GREENHOUSE BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK TANAMAN KENTANG,” *Biner J. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 2, pp. 79–90, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/binerhttps://ojs.unsiq.ac.id/index.php/biner/article/view/2889/1852>
- [13] K. P. K. Riyanti and Y. Prastyo, “ANALISIS PENGGUNAAN SENSOR SUHU DAN KELEMBABAN UNTUK MONITORING LINGKUNGAN GREENHOUSE BERBASIS ARDUINO,” *ANTIVIRUS J. Ilm. Tek. Inform.*, vol. 16, no. 2, pp. 200–210, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unisbablitar.ac.id/index.php/antivirus/article/view/2512/1373>
- [14] T. Supriyanto, A. Fiani, and H. M. Ulfa, “SISTEM PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN TANAH BILIK TANAMAN SELADA BERBASIS IOT MENGGUNAKAN APLIKASI WHATSAPP,” *ELECTRICES*, vol. 4, no. 1, pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/electrices/article/view/4419/2402>
- [15] Zulhijayanto and A. Fadlil, “Desain Sistem Monitoring dan Penyiraman Tanaman Tomat Berbasis Internet of Things (IoT),” *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 94–104, 2022, doi: 10.12928/biste.v4i2.5884.
- [16] F. R. Imran, G. Rahana, F. H. Mahda, and D. A. L. Sari, “Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Otomatis Berbasis Internet of Things Untuk Greenhouse Dengan Algoritma Fuzzy Logic,” *J. Electr. F.*, vol. 1, no. 2, pp. 59–69, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.sekawansiji.org/index.php/jef/article/view/41/38>
- [17] A. Izudin, A. Sumaedi, Mardiansyah, and Romdhoni, “Simulasi Pendeteksi Suhu Ruangan Menggunakan Sensor Suhu LM35 Dan Arduino IDE Untuk Otomatisasi Pengaturan Suhu Pada Air Conditioner (AC) Dengan Pemograman Software Proteus,” *J. Inf. Comput.*, vol. 02, no. 1, pp. 64–72, 2024, [Online]. Available: <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/jisc/article/view/38640/17954>